

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—23/5098
Lund 2023

Ombyggnad av kulturmärkt fabrik till kontor och bostäder

En fallstudie av Eslövs spritfabrik avseende
energianvändning, termiskt klimat och fuktsäkerhet



Edvin Ottosson
Emil Palmenäs



LUNDS
UNIVERSITET

Ombyggnad av kulturmärkt fabrik till kontor och bostäder

En fallstudie av Eslövs spritfabrik avseende
energianvändning, termiskt klimat och fuktsäkerhet

Edvin Ottosson
Emil Palmenäs

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

© Edvin Ottosson & Emil Palmenäs

ISRN LUTVDG/TVIT—23/5098--SE(154)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Titel/Title:**Ombyggnad av kulturmärkt fabrik till kontor och bostäder**

En fallstudie av Eslövs spritfabrik avseende energianvändning, termiskt klimat och fuktsäkerhet

Reconstruction of a heritage factory to office and dwellings

A case study of Eslövs distillery regarding energy use, thermal climate and moisture safety

Författare/Authors:

Edvin Ottosson & Emil Palmenäs

Handledare/Supervisor:

Kristina Mjörnell

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Avdelningen för Byggnadsfysik

Biträdande handledare/Assistant supervisor:

Akram Abdul Hamid

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examinator/Examiner:

Dennis Johansson

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära

Nyckelord:

Energianvändning, Primärenergital, Energieffektivisering, Energisimulering, Fuktsäkerhet, Kulturbevarande, Termiskt klimat, Anpassad återanvändning av byggnader

Keywords:

Energy use, Primärenergital, Energy efficiency, Energy simulation, Moisture safety, Cultural preservation, Thermal climate, Adaptive reuse

Abstract

Global warming is constantly reminding us of its presence through extreme weather and natural disasters. At the COP21 climate conference in 2015, almost every country in the world signed the Paris Agreement with the aim of limiting temperature increase. The countries need to reduce their greenhouse gas emissions to achieve this. Since 1990, Sweden has reduced its emissions by 35 percent, and in 2020, its total greenhouse gas emissions were 46,3 million tonnes of CO₂e. The construction industry accounted for about 9,8 million tonnes of CO₂e, which equates to about 21 percent of Sweden's total emissions. This means that Sweden, and the world in general, needs to reduce the climate impact of the construction industry. Given that many future buildings have already been built, the need to renovate and convert existing buildings to suit new users and their needs is increasing.

This work focuses on the conversion of the old distillery in Eslöv from a factory into offices and residential. The purpose is to analyse and compare different conversion measures and their effect on energy use, thermal comfort, and moisture safety while considering cultural preservation. The work includes a comparison of how each conversion measure meets requirements and recommendations. These analyses and comparisons are carried out on buildings using the simulation programs IDA ICE (EQUA, u.å) and WUFI 2D (Fraunhofer IBP, 2023).

The results for energy use differ for the two buildings. It is evident that the size of the building envelope relative to the living space plays a significant role in how difficult it is to meet today's building requirements for energy. For the building with a large building envelope relative to the living space, external insulation is required to meet the requirements, but this means that the requirements for cultural preservation cannot be fulfilled. For the building with a small enveloping area, internal insulation is sufficient to meet the requirements. The results of the thermal comfort analysis show that the operative temperature for the conversion measures without any improvement of the exterior walls will be somewhat low. This is mainly due to the low surface temperature of the brick wall, which could result in many dissatisfied users (PPD). Results from moisture simulations show that parts of the roof structure, which is located far out in the construction, will be very damp and therefore there is a great risk of mold growth. For the conversion measures with internal insulation, there is also a risk of frost damage to the brick walls.

The work concludes that when converting a brick factory from the early 1900s in Eslöv, it is very difficult to meet the requirements for cultural preservation and at the same time, meet new building requirements for energy efficiency, achieve the demands of thermal comfort, and guarantee a moisture safe construction.

Sammanfattning

Den globala uppvärmningen gör sig ständigt påmind genom extremväder och naturkatastrofer. Vid klimatkonferensen COP21 år 2015 undertecknade i stort sett alla världens länder Parisavtalet med målet att temperaturökningen ska begränsas. För att uppnå Parisavtalets mål ligger en stor del i att länder behöver minska sina utsläpp av växthusgaser. Sverige har minskat sina utsläpp med 35 procent sedan 1990 och år 2020 var Sveriges totala utsläpp av växthusgaser 46,3 miljoner ton CO₂e. Byggbranschen stod för ca 9,8 miljoner ton CO₂e vilket motsvarar ungefär 21 procent av Sveriges totala utsläpp. Detta medför att Sverige, och även omvärlden, har ett behov i att minska klimatpåverkan från byggbranschen och med tanke på att en stor del av morgondagens byggnader redan är byggda ökar det behovet av renovering och ombyggnad av befintliga byggnader för att kunna anpassas till nya brukare med nya behov.

Detta arbete behandlar ombyggnationen av den kulturmärkta gamla spritfabriken i Eslöv som ska göras om från fabrik till kontor och bostäder. Syftet är att analysera och jämföra olika ombyggnadsåtgärder med fokus på energianvändning, termiskt klimat och fuktsäkerhet samtidigt som hänsyn tas till kulturbevarande. Arbetet innehåller en jämförelse hur respektive ombyggnadsåtgärd uppfyller krav och rekommendationer. Dessa analyser och jämförelser görs på två av projektets byggnader och genomförs med hjälp av simuleringsprogrammen IDA ICE (EQUA, u.å) och WUFI 2D (Fraunhofer IBP, 2023).

Resultaten visar att energianvändning skiljer sig åt för de två byggnaderna. Det är tydligt att den omslutande areans storlek i jämförelse med boarea spelar stor roll för hur svårt det är att uppfylla dagens nybyggnadskrav på primärenergital. För byggnaden med stor omslutande area i förhållande till boarea krävs det utvändigt tilläggsisolering för att uppfylla kraven, men då kan man inte uppfylla kraven för kulturbevarande. För byggnaden med liten omslutande area räcker det med invändig tilläggsisolering för att klara kraven. Resultaten för det termiska klimatet visar att den operativa temperaturen för ombyggnadsåtgärderna utan någon förbättring av ytterväggarna kommer bli något låg. Detta beror till stor del på att tegelväggens yttemperatur kommer bli låg, vilket i förlängningen kan leda till en stor andel missnöjda brukare. Fuktresultaten visar att takstolen, som ligger långt ut i konstruktionen, kommer vara mycket fuktig och därmed finns en stor risk för mögelpåväxt där. För ombyggnadsåtgärderna med invändig tilläggsisolering finns även viss risk för frostsprängning hos tegelväggarna.

Slutsatsen av arbetet är att det vid ombyggnationen av en fabrik i tegel från 1900-talets början i aktuellt klimat är mycket svårt att följa kraven på kulturbevarande och samtidigt uppfylla nybyggnadskrav på primärenergital, få ett behagligt termiskt klimat samt garantera en fuktsäker konstruktion.

Förord

Slutet på våra fem år vid Lunds Tekniska Högskola närmar sig med stormsteg. Genom detta examensarbete avslutas vår tid vid LTH och kvar står vi med en civilingenjörsexamen inom Väg- och vattenbyggnad med en master inom husbyggnadsteknik. Framför allt vill vi tacka våra handledare Kristina Mjörnell och Akram Abdul Hamid för all vägledning i examensarbetet. Ett tack riktas även till byggtreprenör NCC och projektledare hos Ebo, Anders Sätmark, för god kunskap och stöttning genom platsbesök, bygghandlingar och information om projektet vid Eslövs spritfabrik.

Examensarbetet ingår som en del i forskningsprojektet BoLokal som är finansierat av Energimyndighetens program E2B2. Utan detta hade inte möjligheten till detta examensarbete funnits och vi vill därför rikta ett tack till forskningsprojektet och möjligheten vi givits att genomföra detta.

Tack för alla svar Ni givit på de frågor som uppstått under resans gång. Tillsammans med Er, hoppas vi att examensarbetet ska bidra till utökade kunskaper vid ändrad användning av befintliga byggnader med avseende energianvändning, termiskt klimat och fuktsäkerhet.

Lund i maj 2023

Edvin Ottosson & Emil Palmenäs

Innehållsförteckning

Abstract	iii
Sammanfattning.....	v
Förord	vii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Eslövs spritfabrik.....	5
1.2 Syfte.....	7
1.3 Avgränsningar	7
2 Teori.....	9
2.1 Anpassad återanvändning	9
2.2 Ändring av byggnader enligt PBL.....	9
2.3 Kulturhistorisk bebyggelse och kulturvården	11
2.4 Energianvändning.....	13
2.5 Inomhusmiljö.....	15
2.5.1 Termiskt klimat.....	15
2.5.2 Relativ fuktighet	19
2.6 Fuktsäkerhet	21
3 Tidigare forskning.....	23
3.1 Anpassad återanvändning	24
3.2 Livscykelanalys	25
3.3 Utmaningar vid ändrat användningsområde av byggnader	26
3.4 Renovering med hänsyn till fukt, energi och termiskt klimat för..... kulturhistoriska byggnader	27
3.5 Sammanfattning tidigare forskning	29
4 Metod.....	31
4.1 Förutsättningar, indata och modelleringsfall	31
4.2 Beräkning av energianvändning och termiskt klimat	35
4.2.1 Zonindelning, byggnadsvolym och fasader	36
4.2.2 Geografisk placering och omgivning.....	38
4.2.3 Internlast	38
4.2.4 Köldbryggor	40
4.2.5 Installationer – Uppvärmnings- och kylsystem	40

4.2.6	Andelen missnöjda med inomhusklimatet (PPD).....	40
4.3	Modellering av Bobutiken för olika ombyggnadsfall.....	41
4.3.1	A1 – Befintlig byggnad	41
4.3.2	A2 – Projekterat utfall	43
4.3.3	A3 – Invändig tilläggsisolering av ytterväggar	45
4.3.4	A4 – Aktiv kyla	47
4.3.5	A5 – Förbättrat klimatskal.....	47
4.3.6	A6 – Utvändig tilläggsisolering av ytterväggar.....	49
4.3.7	A7 – Ökad personlast	50
4.4	Modellering av Byggnad 5 för olika ombyggnadsfall	51
4.4.1	B1 – Befintlig byggnad.....	51
4.4.2	B2 – Projekterat utfall.....	53
4.4.3	B3 – Invändig tilläggsisolering av ytterväggar.....	54
4.4.4	B4 – Utvändig tilläggsisolering av ytterväggar	56
4.5	Känslighetsanalys köldbrygga.....	57
4.6	Fuktberäkningar.....	58
4.6.1	Uppbyggande av modell.....	58
4.6.2	A1 – Befintlig byggnad	63
4.6.3	A2 – Projekterat utfall	64
4.6.4	A3 – Invändig tilläggsisolering av yttervägg.....	65
4.6.5	A5 – Förbättrat klimatskal.....	66
4.6.6	A6 – Utvändig tilläggsisolering.....	67
5	Resultat och analys	69
5.1	Energianvändning.....	69
5.1.1	Primärenergital	72
5.1.2	Känslighetsanalys köldbrygga.....	73
5.2	Termiskt klimat	74
5.2.1	Relativ fuktighet	74
5.2.2	Operativ temperatur.....	75
5.2.3	Andel missnöjda med inomhusklimatet.....	78
5.2.4	Sammanfattning termiskt klimat.....	86
5.3	Fuktsäkerhet	88
5.3.1	A1 – Befintlig byggnad	89

5.3.2	A2 – Projekterat utfall	95
5.3.3	A3 – Invändig tilläggsisolering av yttervägg.....	100
5.3.4	A5 – Förbättrat klimatskal	104
5.3.5	A6 – Utvändig tilläggsisolering av yttervägg	110
5.3.6	Sammanställning fuktsäkerhet.....	114
5.3.7	Fortsatta studier på fuktsäkerhet.....	114
5.4	Bevarande av kulturvärdena	117
5.5	Sammanställning resultat.....	118
6	Diskussion.....	119
6.1	Energianvändning	119
6.2	Termiskt klimat	120
6.2.1	Relativ fuktighet	120
6.2.2	Operativ temperatur och andelen missnöjda med inomhusklimatet (PPD)	121
6.3	Fuktsäkerhet	122
6.4	Ombyggnadsåtgärder.....	124
6.5	Arbetets resultat i förhållande till tidigare forskning.....	125
6.6	Felkällor och osäkerheter.....	126
7	Slutsats	129
8	Fortsatt forskning.....	131
8.1	Primärenergital vid kulturbevarande	131
8.2	Frostsprängning	131
8.3	Mögelpåväxt takstol	131
8.4	Lufttäthet i äldre byggnader	132
8.5	Ändrat brukarbeteende för kontor och bostäder efter pandemin	132
	Referenser.....	133
	Bilaga 4.1	138

1 Inledning

Det inledande kapitlet avser att ge en förståelse för det studerade ämnet och det specifika projektet, Eslövs spritfabrik. Detta görs genom att presentera en bakgrund som förklarar varför det är viktigt att bygga energieffektivt och varför dagens byggnader bör utnyttjas mer effektivt i stället för att riva och bygga nytt samt information om spritfabrikens historia. Vidare presenteras syftet med examensarbetet och de avgränsningar som gjorts.

1.1 Bakgrund

Kunskapen om klimatförändringarna och dess konsekvenser ökar för varje dag som går och den globala uppvärmningen gör sig ständigt påmind genom extremväder och naturkatastrofer. Detta resulterade i att man år 2015 undertecknade Parisavtalet i samband med klimatkonferensen COP21. Bakom avtalet står i stort sett alla världens länder och målet är att den globala temperaturökningen ska vara som mest 2 °C men med ambitionen att försöka begränsa den till 1,5 °C. Sverige bidrar både nationellt genom åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser och internationellt genom bidrag till utvecklingsländer i form av genomförandestöd (Naturvårdsverket, u.å). Sedan 1990 har Sverige minskat sina utsläpp med 35 procent och år 2020 var Sveriges totala utsläpp av växthusgaser 46,3 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO_{2e}) (Statistikmyndigheten, 2022). Byggbranschen stod för ca 9,8 miljoner ton CO_{2e} år 2020 vilket motsvarade ungefär 21 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser under året. Utöver de inhemska utsläppen av växthusgaser bidrog även byggbranschen till utsläpp utomlands genom importvaror. Byggbranschens utsläpp utomlands på ca 6,1 miljoner ton CO_{2e} ger ett totalt utsläpp från byggbranschen på 15,9 miljoner ton CO_{2e} år 2020 (Boverket, u.å).

Utsläppen i Sverige uppskattas ha ökat med 4 procent under 2021 jämfört med 2020 enligt preliminär statistik från Naturvårdsverket (u.å). Anledningen till detta är att industrin har återhämtat sig ekonomiskt under 2021 efter pandemiutbrottet 2020 samt att 2021 var ett kallt år och att det som följd av detta fanns ett stort uppvärmningsbehov (Regeringen, 2022). Även om det finns naturliga orsaker till att utsläppen ökade 2021 är det viktigt att år som avviker från den nedåtgående trenden undviks så att utsläppen kan fortsätta minska över tid. Genom att vidare studera uppvärmningens klimatpåverkan ser man att utsläppsminskningarna från just uppvärmning av bostäder och lokaler har varit den del som minskat utsläppen mest. Anledningen är dels omställningen från oljeeldade värmepannor till uppvärmning genom direktverkande el, fjärrvärme och värmepumpar, dels utvecklad byggteknik med energieffektivare konstruktionslösningar och installationer (Naturvårdsverket, u.å). Under åren 2008 – 2020 har sysselsättningen ökat med 27 procent och förädlingsvärdet ökat med 22 procent i bygg- och fastighetssektorn samtidigt som utsläppen har minskat (Boverket, u.å).

För att stimulera en fortsatt minskning av utsläpp tillämpas styrmedel. Den 1 januari 2022 infördes en ny lag om klimatdeklarationer för nya byggnader. Med denna lag ska klimatpåverkan från uppförandet av byggnader minska ytterligare och som hjälpmedel har Boverket publicerat en klimatdatabas och ett klimatdeklarationsregister. I omställningen att minska klimatpåverkan och utsläppen av växthusgaser finns det ett nationellt initiativ, ”Fossilfritt Sverige”, där 22 branscher antagit planer som beskriver vägen till att bli klimatneutrala och fossilfria senast 2045. Metoder som byggsektorn nämner i detta är att öka elektrifieringen av maskiner och pilotprojekt inom återbruk men även en ökad användning av klimatförbättrad betong (Boverket, u.å).

Byggbranschen arbetar aktivt med utveckling av nya byggtekniker för att minska sin klimatpåverkan, bland annat genom återbruk av byggmaterial och ombyggnation av befintliga byggnader. Det finns många byggnader i Sverige som övergivits när verksamheter lagts ned eller flyttats utomlands. I många av dessa fall rivs byggnaderna förr eller senare för att göra plats åt nya byggnader som är anpassade efter dagens behov (Johansson, 2021). Det finns dock många fall där Länsstyrelsen kan skydda kulturhistoriskt värdefulla byggnader och märka dessa med en kulturmärkning. Med en kulturmärkning begränsas möjligheten till rivning och ombyggnad och den som vill göra ändringar i ett byggnadsminne måste söka tillstånd hos Länsstyrelsen (Länsstyrelsen, u.å). I många fall krävs omfattande ombyggnationer för att kunna anpassa en byggnad till en ny brukare med andra behov och att då stå med en byggnad som har kulturhistoriska värden som ska bevaras genom återbruk skapar utmaningar men också möjligheter. Genom att bevara en stomme där ingående byggmaterial inte behöver produceras på nytt är exempel på klimatbesparing som är möjlig då en stomme av exempelvis betong ofta har en lång livslängd. Dessutom är stommen den byggnadsdel som har absolut störst klimatpåverkan. En genomsnittlig stomme står för ca 50 procent av byggnadens totala klimatpåverkan, denna andel kan minskas till ca 40 procent genom att man använder klimatanpassad betong och stål. För att få med så stor andel av en byggnads klimatpåverkan i klimatdeklarationen utan att arbetet ska bli för omfattande är det klimatskärm, stomme samt garage/källare som ska dokumenteras. Med detta täcks ca 90 procent av en byggnads klimatpåverkan (Malmqvist, et al., 2021).

Eftersom ett begränsat antal byggnadsdelar står för en mycket stor andel av den totala klimatpåverkan för en byggnad är det viktigt att dessa delar inte rivs i onödan utan återbrukas i så hög grad som möjligt. För att göra detta på ett bra sätt kan man använda fyrstegsprincipen (Trafikverket, 2021). Detta är en strategi som framför allt Trafikverket arbetar med när det kommer till Sveriges infrastruktur. Fyrstegsprincipen ska säkerställa en god resurshållning och hållbar samhällsutveckling. De fyra stegen ska utredas i ordning och om behovet inte kan tillgodoses i steg ett går man vidare till steg två, och så vidare. De fyra stegen är: 1) Tänk om 2) Optimera 3) Bygg om 4) Bygg nytt. Trafikverkets fyrstegsprincip kan anpassas för applicering på byggnader eftersom

infrastrukturen såväl som byggnader bör utvecklas med hänsyn till god resurshållning och hållbar samhällsutveckling. Höjer och Mjörnell (2018) presenterade en fyrstegsprincip för hållbart utnyttjande av byggnader. 1) Minska efterfrågan på utrymme 2) Öka användandet av befintligt utrymme 3) Ombyggnad 4) Nybyggnad. Genom att använda denna strategi kan dagens byggnader utnyttjas mer hållbart och därmed minskas behovet av nyproduktion.

2001 presenterades en doktorsavhandling (Blakstad, 2001) som delvis tog upp steg tre i fyrstegsprincipen. Avhandlingen tar upp hur kunskapen om att anpassa kontorslokaler till nya behov och arbetssätt kan förbättras. Det projektet handlade alltså om konvertering inom samma verksamhet. Under de senaste 100 åren har arbetssättet på kontor ändrats och till exempel har många verksamheter gått från enskilda kontor till kontorslandskap. Kontorsbyggnader har helt enkelt en längre livslängd än vad den ideala utformningen på ett kontor har och det är därför viktigt att kunna konvertera lokaler så att de uppfyller dagens behov vid kontorsarbete i stället för att bygga helt nya byggnader. Resultaten av projektet visade att det är viktigt att arbeta strategiskt, vilket bygger på förståelsen av dynamiken mellan byggnad och användare (Blakstad, 2001). Resultaten från avhandlingen är relevanta än idag, men syftet med detta arbete är att ta metoden ett steg längre och utreda konverteringen från ett användningsområde till ett helt annat. Då användningsområdet ändras från lokaler till bostäder ställs helt andra krav på byggnaden och ofta krävs en mer omfattande ombyggnad. Omvandlingen från kontor till bostäder är en trend som började i Stockholm då sekelskiftesbyggnader som en gång konverterats till kontor konverterades tillbaka till bostäder. På senare år har även bostadskonverteringar av kontorshus byggda på 1960- och 1970-talet skett. På detta sätt skapas fler bostäder i storstäder med bostadsbrist samtidigt som äldre och omoderna kontor som inte är särskilt attraktiva för företag kan användas till annat. Genom att det byggs bostäder i dessa gamla kontor skapas en mer dynamisk och levande stadsdel då det befinner sig människor i och runtomkring byggnaderna dygnet runt (Mjörnell, 2022).

I närtiden förändrade verkligen coronapandemin arbetssättet i kontor och människors levnadssätt i stort. Vardagliga saker som handslag och kramar fick undvikas och att gå till kontoret innebar att ta sig från ett rum i hemmet till ett annat. När pandemin sedan tog slut antogs människor falla tillbaka till en vardag som liknade vardagen före pandemin. Trots saknaden av mänskliga interaktioner med kollegor på kontoret infördes i en stor utsträckning policys hos företag som tillät mer eller mindre arbete på distans. Detta kom att påverka alla de byggnader som en gång i tiden byggts i syfte att användas som kontor, eller den där gamla sekelskiftesbyggnaden som omvandlats från bostad till ett häftigt kontor. Detta ledde till att år 2020 stod nära 1,4 miljoner m² kontorsyta tomma i våra storstäder efter pandemin (Byggvärlden, 2020). Utöver tomma kontorsytor finns det gamla fabriker och lokaler som står outnyttjade över Sverige (och världen) som

skulle kunna användas för att täcka dagens och framtidens bostadsbrist och även ändrade bostadsbehov (Johansson, 2021).

Vid en lyckad omvandling förbättras byggnadens energiprestanda och fuktsäkerhet kombinerat med att det termiska klimatet förbättras till att möta dagens standarder. Detta samtidigt som byggnadens kulturella värden bevaras.

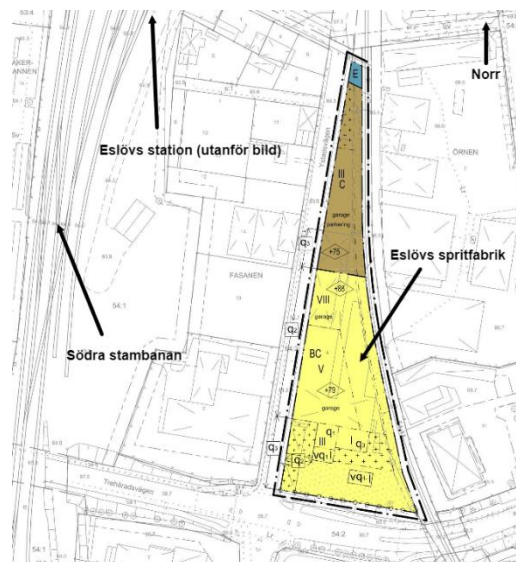
I detta examensarbete görs en fallstudie på en kulturmärkt byggnad med ändrat användningsområde i södra Sverige för att analysera hur olika ombyggnadsåtgärder påverkar energianvändningen, termiskt klimat och fuktsäkerhet samtidigt som de kulturella värdena ska bevaras.

1.1.1 Eslövs spritfabrik

Arbetet har utgått från en fallstudie på den gamla spritfabriken i Eslöv. Fabriken är belägen på fastigheten Örnén 4, söder om Eslövs station och öster om stambanan. Hur spritfabriken såg ut 2018/2019 visas i Figur 1. Fastighetens utformning och placering presenteras i Figur 2.



Figur 1. Spritfabriken 2018–2019 (Ebo)



Figur 2. Plankarta Eslövs spritfabrik från detaljplan

Fabriken uppfördes 1904 och var till en början en mjölkpulverfabrik som drevs av AB Siccator. Efter bara ett par år, 1910, ändrades dock verksamheten till att tillverka sprit och AB Siccator bytte namn till Skånsk Spritförädling AB. År 1917 köptes företaget upp av AB Vin & Spritcentralen och sprittillverkningen i Eslöv blev därmed förstatligad. År 1957 lades verksamheten ned eftersom sprittillverkningen blivit mer och mer centraliserad under 1900-talets första hälft. Sedan 1957 har fabriksbyggnaderna mestadels stått tomma, men även använts till andra ändamål under kortare perioder. Dessa ändamål har till exempel varit lager, utställningar, svartklubbar och filmstudio (Eslövs kommun, 2022).

Under 2000-talet har den framtida användningen av spritfabrikens lokaler diskuterats vid flera tillfällen. 2008 beviljade Eslövs Kommun ett rivningslov för spritfabriken efter att Mark AB lämnat en begäran om ändring av detaljplanen för området. Syftet var att bygga ett 16-våningshus på platsen och då behövdes ändamålet för platsen ändras från industri till bostäder (Håkansson, 2007). Trots att kommunen lämnade rivningslov revs aldrig fabriken, Länsstyrelsen stoppade det genom ett beslut våren 2008 som innebar att alla bygg-, rivnings- och marklov inom centrala Eslöv skulle förhandsgranskas av Länsstyrelsen innan kommunen fattade beslut. Detta eftersom Eslöv är utpekad som

riksintresse för kulturmiljön av Riksantikvarieämbetet sedan 1997. Kommunen hade redan beviljat ett antal rivningar i stadens centrala delar under 2000-talets början och därför ansågs det viktigt att bevara spritfabriken. Kommunen valde i stället för att gå vidare med 16-våningshuset att upprätta en handlingsplan för bevarandet av kulturmiljön tillsammans med Länsstyrelsen och spritfabriken stod kvar. (Eslövs Kommun, u.å).

2013 köpte Eslöv Bostads AB, fortsättningsvis benämnt Ebo, fastigheten av Mark AB (Eslövs Bostads AB, u.å.a). Hösten 2017 beslutades det i kommunfullmäktige att kommunens kulturskola skulle flytta in i den tomma spritfabriken under 2019 eller 2020, detta hände dock aldrig eftersom man tidigt insåg att det skulle bli för dyrt att bygga om fabriken till skola. Det togs i stället ett beslut i Ebos styrelse om att fabriken ska byggas om till 55 hyresbostäder i 1–4 rum och kök, 45 garageplatser och drygt 1 300 kvadratmeter lokalyta som Ebo ska ha som kontor. Ombyggnationen började hösten 2022 och ska stå klar 2024–2025. Byggnationen sker med NCC som totalentreprenör i samverkan med Ebo (Eslövs kommun, 2022).

Ombyggnationen ska bevara den gamla industrikänslan genom att återbrukat tegel och gjutjärnsfönster från platsen används samtidigt som byggnaderna ska hålla hög standard genom att det används moderna material där det behövs. Fasaderna på de flesta huskropparna ska bevaras och insidan ska byggas om. Även helt nya huskroppar ska byggas som ska smälta samman med de befintliga (Eslövs Bostad AB, u.å.b). Återbruk och hållbarhet ska stå i fokus under hela projektets gång. Detta ska genomföras genom att återbruka så mycket material som möjligt och bygga klimatsmart (NCC, 2022). En visualisering av det färdiga projektet visas i Figur 3.



Figur 3. Visualisering av färdigt projekt (LINK Arkitektur)

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att med Eslövs spritfabrik som fallstudie jämföra och analysera olika ombyggnadsåtgärder och dess effekter på energianvändning, fuktsäkerhet och termiskt klimat samtidigt som hänsyn tas till kulturbevarande vid ändring från lokal till bostad eller kontor. Energianvändning och termiskt klimat för de olika ombyggnadsåtgärderna simuleras med programmet IDA ICE och fuktsäkerheten för en utvald konstruktion simuleras i programmet WUFI 2D.

1.3 Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts:

- Spritfabriken är ett stort projekt med många olika huskroppar och det skulle bli för omfattande att modellera hela projektet, därför analyseras endast två byggnader. Dessa är benämnda Bobutiken och Byggnad 5. Med dessa byggnader täcks både funktionen bostad och lokal (kontor) in, vilket gör att resultaten kan anses vara representativa för olika typer av konverteringar.
- Fuktberäkningar görs endast på anslutningen av yttervägg, träbjälken i takstolen och yttertakets för Bobutiken. Beräkningar görs både i nordlig och sydlig riktning, vilket gör att det hade blivit för omfattande att göra det för alla konstruktionsdetaljer för både Bobutiken och Byggnad 5. Eftersom konstruktionerna för de två byggnaderna är liknande anses det som en rimlig avgränsning.
- Dagsljusberäkningar har genomförts tidigare i projektet på samtliga byggnader bortsett från Bobutiken. I detta arbete kommer ingen ny dagsljusberäkning att genomföras.
- Kostnad för de olika ombyggnadsåtgärderna beräknas inte.
- Antalet studerade ombyggnadsåtgärder har begränsats till sju respektive fyra för Bobutiken och Byggnad 5 med anledning av att arbetet är tidsbegränsat.
- Resultaten från simuleringarna från både IDA ICE och WUFI 2D valideras inte mot faktiska mätdata då byggnaderna inte är i drift ännu och därmed finns inga uppmätta värden. Studien är därmed komparativ.

2 Teori

I detta avsnitt presenteras teori för de viktigaste aspekterna i examensarbetet. Dessa är: anpassad återanvändning, ändring av byggnader enligt PBL, kulturhistorisk bebyggelse och kulturvärden, energianvändning, inomhusmiljö och fuktsäkerhet.

2.1 Anpassad återanvändning

Anpassad återanvändning, eller det mer etablerade engelska begreppet adaptive reuse, är ett begrepp som innebär konvertering av en byggnad för att kunna möta kraven på ett nytt användningsområde för nya eller befintliga brukare. En sådan konvertering kan omfatta allt från en mindre renovering där endast byggnadens funktion ändras till en total ombyggnation där till exempel planlösningen och installationer ändras. Anpassad återanvändning är vanligt att tillämpa på byggnader som står oanvända eller inte är väl anpassade till sitt användningsområde. Gamla byggnader med stort kulturhistoriskt värde är sällan anpassade till dagens användningsområden och de uppfyller sällan dagens krav. Genom att sådana byggnader får genomgå en omvandling kan arkitektoniska, sociala, kulturella och historiska värden bevaras samtidigt som de kan utnyttjas bättre. Återbruk är dessutom i allmänhet mer resurseffektivt än att bygga nytt. Det finns dock byggnader som är i så dåligt skick att en ombyggnad både blir ohållbart rent ekonomiskt och att dagens krav inte kan uppfyllas. Ombyggnadsobjekt måste därmed väljas varsamt (Bullen & Love, 2011).

2.2 Ändring av byggnader enligt PBL

Alla byggnader omfattas av plan- och bygglagen (2010:900), förkortat PBL, där det finns bestämmelser om byggande samt planläggning av mark och vatten. Syftet med PBL är att främja en samhällsutveckling med jämlika och goda sociala levnadsförhållanden samt en god och långsiktigt hållbar livsmiljö för dagens samhälle och för kommande generationer (1 kap 1 § PBL).

Ändring av en byggnad kan ske genom en rad olika åtgärder. I PBL är det definierat som en eller flera åtgärder som ändrar en byggnads: konstruktion, funktion, användningssätt, utseende eller kulturhistoriska värde. Att ändrat användningssätt anses som ändring av byggnad innebär att det inte krävs några byggnadstekniska åtgärder för att det ska anses ha skett en ändring av byggnaden. Många ändringsåtgärder är inte bygglovs- eller anmälningspliktiga, men omfattas trots detta av reglerna om ändring (1 kap 4 § PBL).

De krav som gäller vid ändring av byggnad är utformningskraven, de tekniska egenskapskraven och varsamhetskravet. Dessutom gäller förbud mot förvanskning om

det är en särskilt värdefull byggnad. Kraven behöver normalt endast tillämpas på den ändrade delen. Utformningskraven och de tekniska egenskapskraven vid ändring är generellt samma som vid nybyggnation. Utformningskraven finns i 8 kap 1 § PBL och de uppfylls om byggnaden är lämplig för sitt ändamål, har en god form-, färg- och materialverkan samt är tillgänglig och användbar för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga. De tekniska egenskapskraven är elva till antalet och finns i 8 kap 4 § PBL, där ingår bland annat bärförmåga, säkerhet vid brand och energihushållning. Varsamhetskravets syfte är att ändring av byggnad ska utföras med hänsyn till byggnadens befintliga egenskaper, det kan till exempel handla om att byggnadens ursprungliga utseende ska respekteras. Varsamhetskravet ska inte tillämpas om det förhindrar att utformningskraven eller de tekniska egenskapskraven kan tillgodoses. Det kan dock förvanskningförbudet göra (Boverket, 2020).

Om man endast ändrar en byggnads användningsområde, utan några byggnadstekniska åtgärder, kan detta tolkas som att exakt samma krav som vid nybyggnation måste följas. Detta anses vara orimligt och man tillåts därför göra avsteg från kraven med hänsyn till ändringens omfattning, byggnadens förutsättningar, varsamhetskravet och förvanskningförbudet. Vid ändring av byggnad är kraven vid nybyggnation aldrig direkt tillämpbara utan kravnivån måste alltid fastställas utifrån den aktuella åtgärden i enskilda fall. Det grundas i att förutsättningarna för nybyggnation och ändring skiljer sig åt. Vid nybyggnation är det rimligt att följa krav och generella regler som gäller för alla nya byggnader eftersom man kan välja material och tekniska lösningar efter dessa regler. Vid ändring är det viktigaste att utgå från den befintliga byggnaden och välja lösningar och material efter byggnadens förutsättningar. Det kan handla om tekniska och ekonomiska skäl. Tekniska skäl kan vara att det inte finns plats för en viss åtgärd eller att man vid uppfyllandet av ett krav måste göra en ändring som medför att ett annat krav inte längre kan tillgodoses. Ett vanligt sådant fall är att risken för fuktskador ökar vid tilläggsisolering av vissa konstruktioner. Sådana konstruktioner bör därmed inte isoleras så mycket att risk för dessa skador uppstår, trots att väggens U-värde inte är tillräckligt bra. Ekonomiska skäl handlar inte om åtgärdens kostnad i absoluta tal, utan det är jämförelsen mellan kostnaden och den samhällsekonomiska nyttan som kan modifiera kraven (Boverket, 2020).

Vid ändrad användning ska tillämpning av kraven bedömas bland annat efter ändringens omfattning. Omfattningen bedöms efter om nya eller förbättrade egenskaper behöver tillföras för att klara utformningskraven och de tekniska egenskapskraven. Ändringar som kan påverka omfattningen är väsentligt ökade laster, ökat antal personer som kräver förändrat brandskydd och/eller ökade luftflöden eller att ett tidigare ouppvärmigt utrymme ska användas för ändamål som ställer andra krav på termisk komfort (Boverket, 2020).

Som nämnt tidigare ska kravnivån bestämmas från fall till fall. Om man ska tillämpa detta på Spritfabriken i Eslöv kan man ta hjälp av de exempel som Boverket har tagit fram för ändringssituationer. Ett av exemplen är en större skolbyggnad från 1900-talets början som ska ändras till bostäder. Eftersom både planlösningen och de tekniska installationerna ändras i stora drag utgör ändringen en ombyggnad. Därmed kan krav ställas på hela byggnaden. Om byggnaden utgör en särskilt värdefull byggnad finns ett utrymme att anpassa och göra avsteg från de tekniska egenskapskraven. Om de tekniska egenskapskraven inte kan tillgodoses på en godtagbar nivå utan att varsamhetskravet eller förvanskningförbudet bryts kan det medföra att den tänkta ändringen inte är möjlig (Boverket, 2020). Detta exempel är mycket likt Spritfabriken, vilket betyder att ändringen bör anses utgöra en ombyggnad i PBL:s mening. Vissa anpassningar och avsteg från kraven är dock möjliga eftersom det är en särskilt värdefull byggnad.

2.3 Kulturhistorisk bebyggelse och kulturvärden

En Orts historia och identitet är viktig att bevara och detta görs genom att man värnar om dess kulturvärden. De tre perspektiven som kulturvärden bedöms utifrån är kulturhistoriska, sociala och estetiska. Att värna om kulturvärden kan till exempel handla om att bevara gestaltningar av byggnader som användes för länge sedan. Kulturvärden kan dock tillskrivas allt från enskilda byggnader och anläggningar till hela miljöer och landskapsavsnitt. På nationell nivå är det Riksantikvarieämbetet som fattar beslut om vilka områden som ska vara riksintresse för kulturmiljövärden och som nämnts i avsnitt 1.1.1 är Eslöv ett sådant område. Riksantikvarieämbetets uppgift är att bevara och ge en bild av hela Sveriges kulturhistoria, från forntid till nutid. Resultatet innebär att bruksmiljöer, stadskärnor, äldre brukningslandskap och efterkrigstidens bebyggelse i olika delar av Sverige har utsetts till riksintresse för kulturmiljövärden. Det är Länsstyrelsens uppgift att ha regional uppsikt över dessa områden och ta fram revideringar för områdena. Boverket har den allmänna uppsikten över hushållningen med mark- och vattenområden. Det är till sist kommunernas ansvar att ange hur riksintressena ska tillgodoses i översiktsplanen (Aspfors & Mathiesen, 2022). Fördelen med att kommunerna ansvarar för översiktsplanen är att de kan föra diskussioner med medborgarna för att tillsammans skapa en attraktiv kommun samtidigt som kulturvärdena bevaras.

Enskilda byggnader och mindre områden regleras juridiskt i detaljplaner där det anges vad som får byggas, vad byggnaderna får användas till samt tillåtna byggnadshöjder och utformning. Hur omfattande regler som behövs för att man ska lyckas bevara kulturvärdena måste alltid bedömas utifrån det specifika området. Ofta räcker det med att anpassa bygggrätterna och styra ovan nämnda utformningsbestämmelser. Men i exempelvis områden med högt exploateringsstryck och stora kulturhistoriska värden kan

ett rivningsförbud göra stor nytta (Boverket, 2021). Allmänt används begreppet ”K-märkt” för byggnader och miljöer med ett kulturhistoriskt värde. Detta är dock endast ett samlingsbegrepp för många olika typer av lagskydd. De olika skydden är Q, q respektive k och regleras i detaljplaner (Riksantikvarieämbetet, 2021).

Q är ett skydd som inte längre kan ges. Kommuner kunde tidigare använda det på en kvartersmark med bestämmelsen att användningen skulle vara anpassad till bebyggelsens kulturvärde. Marken fick då endast användas för befintlig, värdefull bebyggelse. Det fanns inga tydliga krav på hur detta skulle tolkas och därmed beslutade Boverket att ta bort Q som skydd. Det starkaste skyddet som en byggnad idag kan få i en detaljplan är q. Skyddet innebär att byggnaden har ett särskilt kulturhistoriskt värde och därmed inte får förvanskas. Skyddsbestämmelser i plankartan preciserar vad som inte får förvanskas. På plankartan kan även rivningsförbud anges samt bestämmelser för hur den befintliga utformningen ska bevaras. Även ej bygglovspliktiga åtgärder kan regleras med q (Riksantikvarieämbetet, 2021).

Det något svagare skyddet är k, som även det beaktar byggnadens karaktär och kulturhistoriska värden. Varsamhetsbestämmelserna preciseras i plankartan. Skyddet hindrar dock inte att originaldetaljer byts ut och ej bygglovspliktiga åtgärder kan inte regleras med denna märkning (Riksantikvarieämbetet, 2021).

Att värna om kulturvärden är ett sätt att främja sociala levnadsförhållanden och en långsiktig hållbar livsmiljö, vilket är ett av PBL:s syften. Förutom i PBL framgår det även i miljöbalken att kulturvärden och kulturmiljö ska bevaras. Områden och miljöer med riksintressen ska enligt miljöbalkens tredje kapitel skyddas mot åtgärder i mark- och vattenområden som påtagligt kan skada kulturvärdena. I PBL hanteras kulturvärden med ett antal allmänna intressen i kapitel två där det bland annat anges att hänsyn ska tas till stads- och landskapsbilden och platsens natur- och kulturvärden. Därutöver ska särskilda historiska, kulturhistoriska, miljömässiga och konstnärliga värden skyddas (Boverket, 2021).

En utmaning hos befintlig bebyggelse är hur man ska kunna minska energianvändningen och miljöpåverkan utan att påverka kulturvärdena negativt. Alla politiska mål, lagar och regler påverkar det befintliga byggnadsbeståndet, inklusive det med kulturvärden. Detta innebär att varsamma och effektiva åtgärder som minskar energiförbrukningen till en överkomlig kostnad är nödvändiga. Oavsett hur man gör en sådan energieffektivisering kommer det alltid krävas en avvägning mellan bevarande och energibesparing. För att kunna fortsätta använda de kulturhistoriska byggnaderna på lång sikt är dock energieffektiviserande åtgärder helt avgörande (Boverket, 2021).

2.4 Energianvändning

Energianvändningen i en byggnad är den energi som krävs för drift under ett normalår och i det ingår uppvärmning, tappvarmvatten, komfortkyla och fastighetsel. Kraven på energianvändningen gäller för ombyggnad, tillbyggnad eller renovering precis som för nybyggnad eftersom det är ett av de tekniska egenskapskraven. Energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kyl användning samt effektiv elanvändning. Kraven på energianvändning och energihushållning ska tillämpas så att byggnadens kulturvärden inte skadas samt så att arkitektoniska och estetiska värden kan tas tillvara. Avsteg får göras från nybyggnadskraven gällande energianvändning beroende på ändringens omfattning men bör stämmas av med berörd byggnadsnämnd i förväg. Ändringen av byggnaden får inte resultera i att energieffektiviteten försämras om inte särskilda skäl finns (Boverket, u.å).

Byggnadens primärenergital är ett mått på dess energiprestanda och ger information om byggnadens energirelaterade egenskaper som är en sammanvägning av byggnadstekniska och installationstekniska egenskaper. Primärenergitalet beräknas genom att byggnadens olika delar av energianvändning multipliceras med en viktningsfaktor. Viktningsfaktorn beror på vilken energibärare de olika delarna av energianvändningen har och finns eftersom det är olika viktigt att hushålla med olika typer av energi. Boverket vill uppmuntra till användning av hållbara energibärare genom att mindre hållbara energibärare har högre viktningsfaktorer vilket leder till högre primärenergital och därmed blir kraven svårare att uppfylla. Uppvärmningsenergin divideras med en geografisk justeringsfaktor för att likställa primärenergitalet med likadana byggnader i andra delar av Sverige. Justeringsfaktorn är högre i landets norra delar på grund av det kallare klimatet. De olika delarna summeras och till sist divideras resultatet med byggnadens uppvärmda area (A_{temp}) för att ge primärenergitalet för byggnaden. Den uppvärmda arean beskriver arean för de våningsplan som befinner sig inom byggnadens klimatskärm och värms upp till mer än 10 °C. Genom att primärenergitalet divideras med uppvärmda arean kan energiprestandan för byggnader jämföras trots olika storlek (Boverket, u.å).

Ekvationen för en byggnads primärenergital ser ut enligt ekv. 1 nedan (BFS 2020:4),

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) \cdot VF_i}{A_{temp}} \quad (\text{ekv. 1})$$

E_{uppv}	Energi till uppvärmning	kWh/år
F_{geo}	Geografisk justeringsfaktor	-
$E_{kyl,i}$	Energi till komfortkyla	kWh/år
E_{tvv}	Energi till tappvarmvatten	kWh/år
$E_{f,i}$	Byggnadens fastighetsenergi	kWh/år
VF_i	Viktningfaktor för energibärare	-
A_{temp}	Area som är värms till mer än 10 °C	m ²

Elanvändningen delas upp i fastighetsel och hushållsel för bostäder samt i fastighetsel och verksamhetsel för lokaler. Det är endast fastighetselen som är med i beräkningen för primärenergitalet, detta är el som krävs för att byggnadens installationer och gemensamma funktioner ska kunna drivas. I fastighetselen ingår till exempel elanvändningen för fläktar, pumpar, hissar och belysning i gemensamma utrymmen. I hushållsel eller verksamhetsel ingår i stället det som används för hushållsändamål eller för att driva verksamheten. Exempel på detta är belysning, datorer, köksutrustning och TV (Sveby, 2013).

Boverkets krav för primärenergital i BBR presenteras i Tabell 1. Om bostaden eller lokalen har mindre A_{temp} än 50 m² gäller inte kravet på primärenergital.

Tabell 1. Krav på högsta tillåtna primärenergital enligt Boverket (BFS 2020:4)

Byggnadskategori	Primärenergital EP_{pet} (kWh/(m ² A_{temp} ·år))
Småhus >130 m ² A_{temp}	90
Småhus >90–130 m ² A_{temp}	95
Småhus >50–90 m ² A_{temp}	100
Flerbostadshus	75
Lokaler	70

Viktningfaktor för respektive energibärare och geografisk justeringsfaktor är presenterade i Tabell 2.

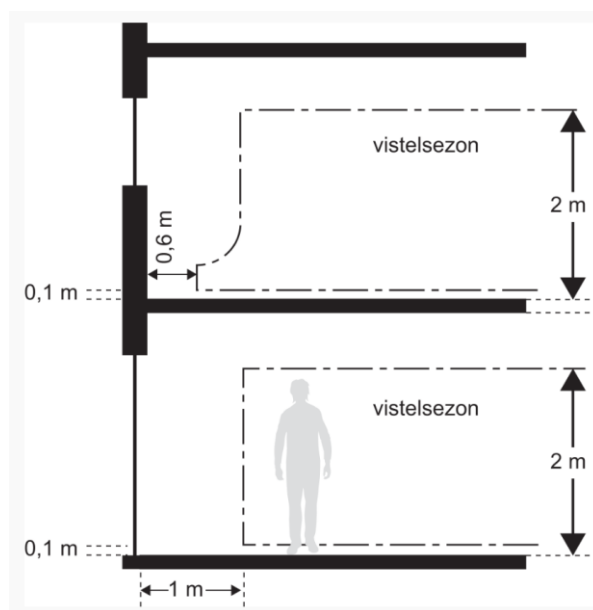
Tabell 2. Viktningsfaktorer och geografiska justeringsfaktorer.

Parameter	Energibärare	Viktningsfaktor	Källa
Viktningsfaktor för energibärare	El	1,8	(BFS 2011:6)
	Fjärrvärme	0,7	
	Fjärrkyla	0,6	
	Fasta, flytande och gasformiga biobränslen	0,6	
	Fossil olja	1,8	
	Fossil gas	1,8	
Geografisk justeringsfaktor, F_{geo}	Från 0,9 i längst söderut i Sverige till 1,9 längst norrut		(BFS 2011:6)

2.5 Inomhusmiljö

2.5.1 Termiskt klimat

Inomhusmiljön kan bedömas både utifrån det termiska klimatet och den termiska komforten. Den stora skillnaden mellan dessa begrepp är att termiskt klimat gäller för hela byggnaden medan termisk komfort endast gäller för vistelsezonen i ett rum eller för avskiljbara delar i ett rum där man vistas mer än tillfälligt. Vistelsezonen gäller 0,6 m från yttervägg, 1 m från dörrar/fönster samt 0,1 m ovan golv upp till 2 m ovan golv. Figur 4 visar en illustration av vistelsezonen.



Figur 4. Illustration av vistelsezonen och dess begränsningar (BFS 2014:3)

För att uppfylla kraven på termiskt klimat finns det ett par faktorer som man bör ta hänsyn till. Byggnader bör vara täta och värmeisolerade för att undvika ofrivilligt drag och ventilation. Beroende på årstid bör även värme eller kyla tillföras så att inomhustemperaturen kan hållas på en behaglig nivå. Boverket ställer ett allmänt krav i BBR på att *”Byggnader ska utformas så att tillfredsställande klimat kan erhållas”* (BFS 2011:6). I Boverkets byggregler förtydligas att ett tillfredsställande klimat avser *”när termiskt komfort i vistelsezonen uppnås”* och *”när ett för byggnaden lämpligt klimat kan upprätthållas i övriga utrymmen i byggnaden med beaktande av avsedd användning”* (BFS 2011:6).

Operativ temperatur ger en god uppfattning om det termiska klimatet i ett rum. Det är medelvärdet av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor i rummet. Faktorer som operativ temperatur tar hänsyn till är lufttemperatur, luftfuktighet och omgivande ytors temperaturer. Obehag kan uppstå för personer om den operativa temperaturen i en punkt skiljer sig åt i olika riktningar. Förutom operativ temperatur används därför även riktad operativ temperatur vid beräkning av det termiska klimatet. Den riktade operativa temperaturen i en viss punkt blir olika om de omgivande ytornas temperatur skiljer sig åt.

Benämningen termisk komfort avser hur personen upplever klimatet i vistelsezonen och beror på den riktade operativa temperaturen, hur mycket den skiljer sig mellan olika punkter, golvtemperatur, lufthastighet, egen aktivitet och klädsel. Utöver dessa faktorer påverkar även byggnaden den termiska komforten genom bland annat värmeisoleringsförmåga, fönsterstorlekar, uppvärmningssystem och ventilationssystem.

Boverket har vid dimensionerande vinterutetemperatur (DVUT) satt allmänna råd för hur byggnader och dess installationer ska utformas så att den termiska komforten anpassad till utrymmenas avsedda användning kan erhållas vid normal drift. Enligt avsnitt 6:42 Termisk komfort (BFS 2011:6) sätter Boverket som allmänt råd för byggnader att dess utformning ska ske så att följande kan erhållas vid DVUT:

- Den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i arbetsrum och 20 °C i hygienrum.
- Den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5K.
- Yttemperaturen på golvet i vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (18 °C i hygienrum) och kan begränsas till högst 26 °C.

Förutom råd om temperatur bör lufthastigheten i ett rums vistelsezon inte överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen eller 0,25 m/s under övrig tid.

Arbetsmiljöverket (2023) anser att arbetsplatser ska ha en lämplig temperatur som är anpassad efter verksamheten och det är arbetsgivarens ansvar att detta uppnås, oavsett om lokalerna hyrs av en hyresvärd eller ägs av arbetsgivaren. Om man hyr lokalerna kan man normalt ställa krav på hyresvärden att temperaturerna ska följa gällande regler. Det kan till exempel handla om att komfortkyla finns men inte fungerar och arbetsgivaren kan då i vissa fall begära ersättning. Arbetsmiljöverket anser att det lämpliga temperaturområdet för stillasittande arbete med normal klädsel är 21-25 °C eller 19-23 °C med förstärkt klädsel. Med dessa värden i åtanke rekommenderar Arbetsmiljöverket att lufttemperaturen i kontor bör vara 20-24 °C. Under sommartid kan dock temperaturer upp till 26 °C accepteras vid kortvarig värmebölja, vilket anses motsvara ungefär en vecka (Arbetsmiljöverket, 2023).

Utöver Boverkets allmänna krav och Arbetsmiljöverkets riktlinjer finns även allmänna råd från Folkhälsomyndigheten kring temperaturer och bedömning av olägenhet för människors hälsa inomhus, dessa presenteras i Tabell 3. Om en indikerande mätning över- respektive underskrider riktvärdena bör en utförligare mätning göras och jämföras med rekommenderade värden (FoHMFS 2014:17).

Tabell 3. Värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa (FoHMFS 2014:17)

	Riktvärden	Rekommenderade värden
Operativ temperatur	Under 18 °C ¹	20–23 °C ³
Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C ²	
Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C ⁴	
Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golv		Ej över 3 °C
Strålningstemperaturskillnad		
Fönster – motsatt vägg		Ej över 10 °C
Tak – golv		Ej över 5 °C
Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s ⁵
Yttemperatur, golv	Under 16 °C ⁶	20–26 °C

¹ För känsliga grupper, 20 °C

² Under sommaren, högst 26 °C

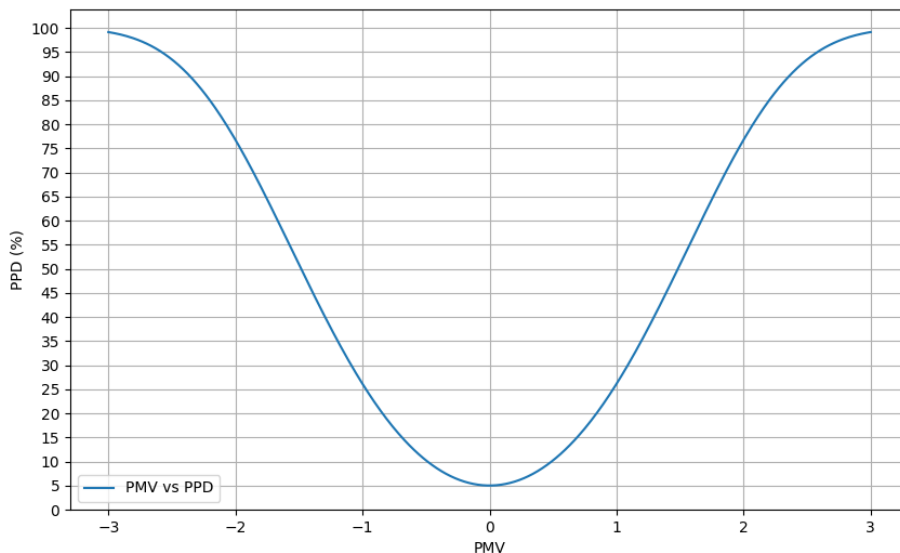
³ För känsliga grupper, 22-24 °C

⁴ Under sommaren, högst 28 °C

⁵ Vid inomhustemperaturer över 24 °C kan högre lufthastigheter accepteras

⁶ För känsliga grupper 18 °C

Andelen missnöjda med det termiska klimatet, eller ”Predicted Percentage Dissatisfied” (PPD), är ett index på hur stor andel av vinstande i ett rum eller byggnad som kan förväntas vara missnöjda med det termiska klimatet. Sambandet mellan människors upplevelse och klimatfaktorer utvecklades av professor Fanger och är ett samband skapat genom försök i laboratorium och med en stor grupp människor. Utöver klimatfaktorer som lufttemperatur, strålningstemperatur, luftrörelser och luftfuktighet ingår även metabolism, klädsel och klädernas temperatur (Abel & Elmrot, 2006). Detta samband är komplext och brukar redovisas i diagram, se Figur 5.



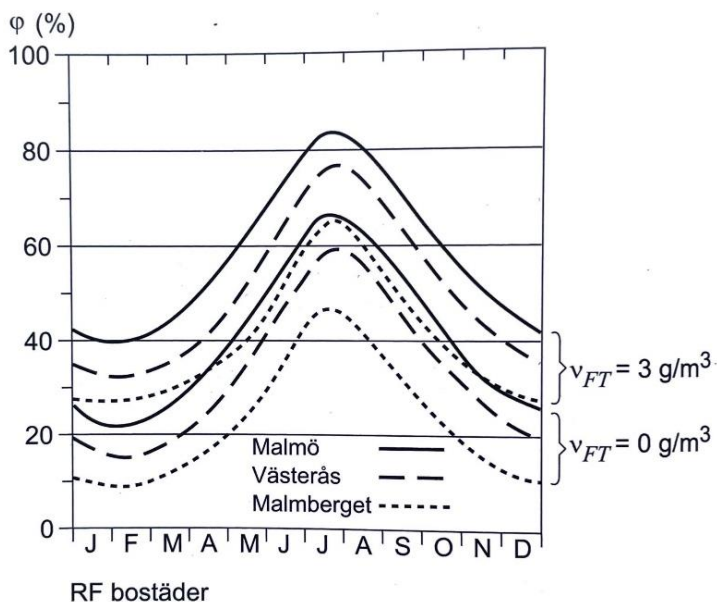
Figur 5. I diagrammet kan PPD avläsas med hjälp av PMV

Diagrammet för PPD visar även ”Predicted Mean Vote” (PMV), vilket hur en grupp människor genomsnittligt kan förväntas bedöma inomhusklimatet. Skalan går från -3 till +3, där + är för varmt och - är för kallt, 0 är neutralt. Genom att låta de vinstande i ett rum bedöma inomhusklimatet från -3 till +3 kan man beräkna det genomsnittliga PMV-talet i gruppen. Sedan kan man sedan läsa av PPD i diagrammet och på så sätt ta reda på hur stor andel som beräknas vara missnöjd med inomhusklimatet.

Det lägsta PPD som kan uppnås är 5 procent, lägre anses inte vara möjligt då det inte går att skapa ett inneklimat som alla nöjda med. Med ett optimalt inneklimat kommer alltså 5 procent ändå vara missnöjda. Ett bra riktvärde för PPD är max 10 procent för att inneklimatet ska anses vara bra, det betyder att 90 procent anses vara nöjda (Abel & Elmrot, 2006).

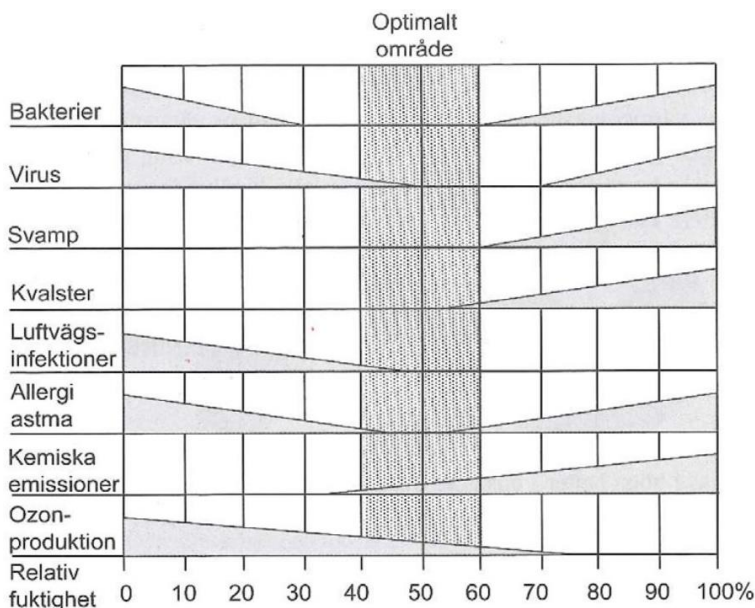
2.5.2 Relativ fuktighet

Relativ fuktighet (RF) inomhus kan bli ett problem om luften antingen är för torr eller för fuktig. RF varierar med utomhusluften under året, med höga inomhusvärden på sommaren och låga på vintern. Inomhus sker även ett fukttillskott från människor i form av exempelvis svett, andning, matlagning och dusch. Normal RF i bostäder med och utan fukttillskott på 3 g/m^3 presenteras i Figur 6.



Figur 6. RF:s variation i bostäder under ett år, med och utan fukttillskott på 3 g/m^3 (Arfvidsson, et al., 2017)

RF på omkring 40 – 60 procent ger bäst komfort och kraven på RF för kontor bör ställas så att den är 40 – 60 procent under sommaren och 30 – 40 procent på vintern (Bokalders & Block, 2014). Men som man ser i figuren är det vanligt att RF blir låg under vintern, speciellt i norra delarna av landet i kombination med lågt fukttillskott. RF kan även överstiga rekommendationerna om det är högt fukttillskott under sommaren, speciellt i söder. I Figur 7 redovisas faktorer kopplat till inomhusklimat och vilken relativ fuktighet som är optimal. Det går även att utläsa vid vilken RF som problem med respektive faktor kan uppstå.



Figur 7. Faktorer som påverkar inomhusklimatet kopplat till relativ fuktighet (Warfvinge & Dahlblom, 2010)

Vid torr luft, under 20 procent RF, kan besvär uppstå i form av problem med torra ögon, läppar eller hud. Man kan även få problem med slemhinnor, allergi och andning. Problemen uppstår oftast på grund av luftföroreningar och inte specifikt att luften är för torr, men däremot beror mängden luftföroreningar i luften till viss del på RF och därmed går det att använda det som värde för en acceptabel inomhusmiljö. Vid alltför hög RF kan fuktproblem uppstå och en ökad risk för kvalster, virus, kemiska emissioner, svamp och övriga bakterier finns (se Figur 7). Denna gräns för hög RF anges normalt till ca 70 procent. Generellt är dock människans förmåga att känna av RF dålig och tecken på för hög eller låg RF uppdagas i stället genom ovan nämnda faktorer (eller genom mätningar med hygrometer). Klagomål som tyder på för torr luft (låg RF) kan lösas genom att man till exempel sänker temperaturen, sätter in mer växter i byggnaden eller hänger tvätten i rummet i stället för att använda torktumlare för att öka fuktillskottet. Det går även att sätta in luftfuktare, men detta är en mindre vanlig åtgärd. För att åtgärda för hög RF kan man i stället öka ventilationen (Socialstyrelsen, 2005).

2.6 Fuktsäkerhet

Enligt Boverket ska byggnader utformas på sådant sätt att fukt inte orsakar lukt, mikrobiell tillväxt eller andra skador som kan påverka hygien eller hälsa. För att uppfylla detta behöver hänsyn tas till flera faktorer i projekteringen, bland annat lufttemperaturer och RF vid val av konstruktionslösningar (Boverket, 2018). Fukten påverkar material och konstruktioner på en rad olika sätt vilket gör att det är viktigt att bedöma om risken kan accepteras eller inte. Missfärgning, fysikalisk/biologisk/kemisk nedbrytning, hälsorisker, lukt, hållfasthet, deformation och energibehov är faktorer som fukten har en inverkan på hos byggnadsmaterial och som därför måste bedömas om fuktens konsekvens kan accepteras eller ej både på lång och kort sikt (Arfvidsson, et al., 2017).

Alla byggnadsmaterial har olika bra förmåga att motstå fukt och relativ fuktighet. Via laboratoriestudier har riktvärden för olika byggnadsmaterials kritiska fuktnivåer tagits fram, så kallad kritisk relativ fuktighet (RF_{krit}). Av studierna framgår även vad som kan ske om den kritiska relativa fuktigheten för ett byggnadsmaterial överskrids. För många byggnadsmaterial spelar även tiden in på fuktens inverkan och en viss acceptans för att den kritiska relativa fuktigheten överskrids under kortare tidsperioder finns utan att olägenheter uppstår. Exempel på detta är mögelangrepp på trä. För till exempel frostsprängning räcker det däremot att överskrida den kritiska relativa fuktigheten en gång för att skada ska uppstå (Arfvidsson, et al., 2017). I Tabell 4 redovisas riktvärden för kritisk relativ fuktighet för vanliga byggnadsmaterial.

Tabell 4. Riktvärden gällande kritisk relativ fuktighet för utvalda byggnadsmaterial (Arfvidsson, et al., 2017)

Material	Kritisk relativ fuktighet (RF_{krit})	Risk
Trä och träbaserade material	75–80 %	Mögel, missfärgningar, avsevärd svällning och krympning
Gipsskiva för inomhusbruk	80–85 %	Mögel och missfärgningar
Gipsskiva för utomhusbruk	90–95 %	Mögel och missfärgningar
Betong	90–95 %	Mögel och missfärgningar
Mineralull	90–95 %	Mögel och missfärgningar
"Smuts och damm"	75 %	Lukt och mögel

Eftersom Eslövs spritfabrik har tegeltytteryväggar är det viktigt att ta hänsyn till eventuell fuktproblematik hos tegel och murbruk. Den vanligaste fuktproblematiken med tegel och murbruk är att det kan bli utsatt för frostsprängning. Frostsprängning är ett komplext fenomen, men förenklat kan man utgå från att det kan uppstå då fukthalten i materialet ligger nära mättnadsvärdet när temperaturen sjunker under 0 grader. Om mer än 90 procent av porerna är vattenfyllda vid frysning kommer inte isen ha tillräckligt med

utrymme i teorin och då kan teglet gå sönder. Även vid lägre andel vattenfyllda porer kan problem uppstå om porsystemets vattenfördelning är ojämn. Många äldre byggnader, inklusive spritfabriken, har homogena tegelväggar utan någon isolering vilket betyder att U-värdet är högt. För att spara energi till uppvärmning är det vanligt att tilläggsisolera sådana väggar. Detta kan göras invändigt eller utvändigt, men ur fuktsynpunkt är det bäst att isolera utvändigt eftersom den ursprungliga väggen då hamnar i ett varmare klimat. Utvändig tilläggsisolering är dock i många fall inte möjligt, exempelvis för att det inte går att göra byggnadsvolymen större eller att byggnadens fasad är kulturmärkt. Det enda alternativet för att tilläggsisolera i sådana fall blir genom invändig tilläggsisolering. Med denna metod hamnar den ursprungliga väggen i ett kallare klimat och därmed får teglet en högre medelfukthalt vilket leder till ökad risk för frostsador. Det är alltså större del av väggen som hamnar i minusgrader under vinterhalvåret. Risken för frostsprängning gäller främst i riktning med mycket slagregn och/eller lite solstrålning. För träbjälkar upplagda i eller på en invändigt tilläggsisolerad vägg ökar risken för fuktador eftersom även de får en högre medelfukthalt, detsamma gäller för träreglar som ligger mot väggen (Arfvidsson, et al., 2017).

I BBR benämner man den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa som högsta tillåtna fukttillstånd. Det är RF_{krit} som används som högsta tillåtna fukttillstånd, men det är viktigt att hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar och mätmetoder. Om RF_{krit} inte är väl undersökt och dokumenterat ska 75 procent användas som kritiskt fukttillstånd (BFS 2011:6, 2020).

I projekteringsskedet bör byggnadens fukttillstånd kontrolleras genom en fuktsäkerhetsprojektering. Detta kan göras genom kvantitativ bedömning, beprövad lösning samt kvalitativ bedömning eller med en kombination av dessa bedömningsmetoder. Kvantitativ bedömning innebär att man genom beräkningar eller prover kontrollerar byggnadsdelarnas fukttillstånd. Resultatens rimlighet måste bedömas och hänsyn ska tas till mätosäkerhet. Beprövad lösning innebär att man använder konstruktioner som har fungerat, dokumenterats och kontrollerats under lång tid, gärna över 10 år. Vid kvalitativ bedömning används tillämpbara anvisningar och utförandeexempel från handböcker, tidigare provningsresultat och branschavvisningar.

Oavsett vilken metod eller vilka metoder som används är det viktigt att arbetet med fuktsäkerhet sker systematiskt under hela byggprocessen. För att underlätta och strukturera detta arbete kan branschstandarderna ByggaF användas. Metoden förvaltas av Fuktcentrum vid Lunds Tekniska Högskola och den kan användas under hela byggprocessen, från planering till förvaltning av byggnaden. Rutiner och hjälpmedel för alla aktörer finns med i metoden för att strukturera upp vem som är ansvarig för vad och under vilken tid av byggnadens livslängd (Fuktcentrum, 2013).

3 Tidigare forskning

I arbetets inledande skede genomfördes en litteraturstudie för att undersöka vilken forskning som tidigare utförts inom området för anpassad återanvändning. Efter detta identifierades kunskapsluckor som den aktuella studien ska lyfta. Olika databaser användes och de innehåller olika mycket information om tidigare forskning och för att få ett hanterbart antal träffar valdes ett antal olika sökord för de olika databaserna. I vissa databaser gjordes en sökning, i andra flera. Engelska sökord valdes då det svenska utbudet av litteratur i ämnet är begränsat. I alla sökningar användes termen anpassad återanvändning (adaptive reuse), vilket kan göra att relevanta publiceringar utan detta begrepp inte hittas, men denna term ansågs så pass viktig att denna avgränsning var rimlig. Avgränsningen gör även att ett hanterbart antal träffar kunde uppnås. Databaser, sökord, antalet träffar, antalet relevanta träffar och hur många publikationer som hämtats via ”pearl growing” presenteras i Tabell 5.

Tabell 5. Databaser, sökord och träffar litteraturstudie

Databas	Sökord	Antal träffar	Antal relevanta träffar	Pearl Growing
LUBSearch	(transformation AND factory AND building AND residence OR dwelling AND adaptive reuse AND heritage)	57	10	-
SwePub	("adaptive reuse" building)	9	-	-
Engineering Village	(transformation adaptive reuse building)	54	-	-
Google Scholar	("adaptive reuse" kulturmärkning),	34	9	2
	(transformation factory building heritage moisture residence OR dwelling "thermal comfort" "adaptive reuse") (2013-2023)	157	7	4
Taylor & Francis Online	("adaptive reuse" "industrial building" OR "factory building")	42	4	-

Följande arbetsprocess användes vid litteraturstudien:

- 1) Titel och abstract för alla träffar lästes igenom för att avgöra vilka publikationer som är relevanta och vilka som kan uteslutas (353 st).
- 2) De relevanta publikationerna kategoriserades och strukturerades upp i Excel (30 st).
- 3) De relevanta publikationerna lästes igenom i sin helhet.
- 4) Om det fanns relevanta referenser i artiklarna söktes dessa upp och lästes igenom, s.k. pearl growing (6 st).
- 5) Resultatet av litteraturstudien presenterades i löpande text. Av de totalt 36 publikationerna som lästes igenom användes 17 i resultatet. Resultatet presenteras nedan.

3.1 Anpassad återanvändning

Cellucci (2021) redogör för hur en stor del av framtidens byggnadsbestånd redan är byggt och kommer fram till att bevarandet av det befintliga beståndet är minst lika viktigt som nybyggnation. I studien diskuteras cirkularitet kombinerat med människans utmaningar vad gäller återanvändning och hur man kan planera framtidens byggnation. En slutsats är att det inte alltid är byggnaden och dess begränsningar som är avgörande, utan att det även kan vara brukaren eller ägarens möjlighet att anpassa sig till byggnaden.

Med tanke på att en stor del av framtidens byggnader redan är byggda och det faktum att historiska byggnader behöver återanvändas analyserar Foster, Kreinin och Stagl (2020) hur cirkulär ekonomi för historiska byggnader med ändrad användning fungerar. Enligt författarna är reglerna för cirkulär ekonomi dåligt definierade för just historiska byggnader och de presenterar därför ett nytt regelverk för cirkulär ekonomi kopplat till historiska byggnader. De drar även slutsatsen att den snabba expansionen av cirkulär ekonomi inom EU medför att vidare forskning behövs inom området för att viktiga delar inte ska uteslutas.

Vad gäller det befintliga byggnadsbeståndet konstaterar Puttoo (2014) att det finns tre huvudfaktorer som påverkar slutresultatet av anpassad återanvändning, områdesbegränsningar (till exempel krav på mer parkeringar där ytan för detta inte finns), byggnadsfysiska parametrar (till exempel annan takhöjd och spännvidder) och arkitektur (till exempel vad arkitekturen tillåter i förändringar sett till laster).

I en enkätundersökning drogs slutsatsen att det finns en rad problem med anpassad återanvändning trots alla positiva hållbarhetsaspekter. Framför allt finns det delade meningar om huruvida kulturarvsbyggnader ska ses som viktiga symboler som därmed bör bevaras eller om de i stället är problem som är olämpliga för anpassad

återanvändning och därmed bör rivas. Fördelarna med anpassad återanvändning av byggnader är den sociala hållbarheten för lokala samhällen, en gammal byggnad har ett starkare band med lokalbefolkningen än vad en ny byggnad har. Det kan även uppstå en intressekonflikt mellan bevarande av kulturarv och utvecklingen av agendan för hållbar statsutveckling (Bullen & Love, 2011).

3.2 Livscykelanalys

Alba-Rodríguez, et al. (2021) tar upp livscykelanalys (LCA) kopplat till energi och ekologiskt fotavtryck för att kunna göra bedömningen när man ska bygga om respektive riva och bygga nytt. I studien konstaterar de att kostnaden för restaurering av äldre befintliga byggnader i jämförelse med att bygga nytt ger en kostnadsbesparing på endast 5–15 procent, men att klimatpåverkan kan minskas med upp till 70 procent. Det är alltså en större besparing på miljön jämfört med den ekonomiska vinsten. LCA tas upp i flera sammanhang för att jämföra ombyggnad med nybyggnad. Sesana, et al. (2019) drar slutsatsen att energiförbrukningen för gamla historiska byggnader måste minska för att de klimatförändringar som världen står inför ska minskas. Samtidigt betonar författarna vikten av anpassad renovering för att bevara de kulturhistoriska värdena.

Atmaca, Atmaca och Özçetom (2021) utvärderar och jämför energiförbrukning under byggnaders livscykel och utsläpp av koldioxid. En historisk byggnad lokaliserad i Turkiet studeras i detalj för följande tre fall, 1) en historisk icke renoverad byggnad, 2) renovering av en historisk byggnad och 3) nyproduktion som efterliknar den historiska byggnaden. Resultaten visar att den nyproducerade byggnaden hade lika stor klimatpåverkan som den renoverade byggnaden i form av energiförbrukning och koldioxidutsläpp. Den icke renoverade hade högst påverkan där energiförbrukningen var den största bidragande faktorn. Fallet med renovering hade dock sina fördelar i att alla material inte behöver tillverkas på nytt vilket innebär att en stor besparing i utsläpp kan göras vid tillverkning av material. Till exempel redovisar författarna att ett dubbelglasfönster tillverkat i trä endast har en tiondel av utsläppet jämfört vid tillverkningen av ett modernt dubbelglasfönster i aluminium. Genom att således renovera en befintlig byggnad och välja byggnadsmaterial som har en lägre klimatpåverkan kan man motivera en renovering av befintlig byggnad framför att bygga nytt. Dessutom nämner författarna också kortfattat att det inte går att bevara de kulturhistoriska värdena genom att riva och bygga nytt.

Kyaw (2020) gjorde en fallstudie på en historisk byggnad i medelhavsklimat för att bedöma och jämföra vilket som är det bästa av att behålla befintlig byggnad, renovera eller riva och bygga nytt. LCA används som beräkningsverktyg och slutsatsen är att det bästa sättet att använda en historisk byggnad på med hänsyn till LCA är att ha den som

en icke uppvärmd offentlig byggnad. Detta är dock inte möjligt i ett skandinaviskt klimat, framför allt om den ska brukas under vinterhalvåret.

3.3 Utmaningar vid ändrat användningsområde av byggnader

Vid ändrat användningsområde för en byggnad finns det flera aspekter att ta hänsyn till. Dagsljus kan bli ett problem då äldre industribyggnader med stora spännvidder byggs om till bostäder eller liknande. Stora spännvidder kan betyda att dagsljuset inte når in till mitten av byggnaden och dagsljuskraven kan därmed blir svåra att klara. Petković-Grozdanovića, et al. (2016) redogör för hur man kan hantera detta och kommer fram till att man till exempel kan öppna upp taket för att få in ljus uppifrån. Även tillgången till utemiljö kan vara ett problem då det inte alltid går att bygga balkonger på dessa byggnader. I sådana fall kan exempelvis terrasser på taket ersätta balkonger. Eftersom avstånden mellan trapphusen på gamla industrifastigheter ofta är långa kan man bygga till ett trapphus med hiss utanpå den befintliga byggnaden, på detta sätt kan man även klara brandkraven (Petković-Grozdanovića, et al., 2016).

Flera artiklar hanterar anpassad återanvändning hos byggnader där verksamheten som funnits inte längre är aktuell. Exempel på detta är Remøy och van der Voordt (2014) som har utrett ombyggnationen av 15 oanvända kontor till bostäder i Nederländerna, ett land där 15 procent av kontorsbyggnaderna står tomma. Studien visar att fördelarna med renovering innebär en kostnadsbesparing framför att riva och bygga nytt. De nackdelar som tas upp är till exempel svåråldra bostäder på grund av att uteplats saknas, endast fönster i ett väderstreck och svårt att uppskatta renoveringskostnader ty osäkerheten i hur omfattande renoveringsåtgärder som behövs. Liknande nackdelar tas även upp som utmaningar för anpassad återanvändning av Häggman (2022) som genom två fallstudier identifierat likande utmaningar. Resultaten visar att anpassning av gamla byggnader till nybyggnadskrav och detaljplaners begränsning vad gäller ändrad funktion av en byggnad är utmanande. Denna studie kom fram till att det blir högre kostnader för renovering än nybyggnation, vilket är motsatsen till vad Remøy och van der Voordt (2014) kom fram till. Detta tyder på hur svårt det är att uppskatta kostnaden för renoveringar samt att det är stor skillnad på vilken byggnad som analyseras.

3.4 Renovering med hänsyn till fukt, energi och termiskt klimat för kulturhistoriska byggnader

Martínez-Molina, et al. (2016) har sammanställt ett antal renoveringar som har skett under olika epoker (1978–2014). Gemensamt för alla åtgärder är att de är gjorda för att skapa byggnader som är energieffektiva och har ett bra termiskt klimat. Det innefattar alla möjliga typer av byggnader: bostäder, religiösa byggnader, palats, museum, teatrar med mera. Slutsatsen är att intresset för energieffektivitet och termiskt klimat för historiska byggnader ökar och kommer fortsätta öka i framtiden. Detta eftersom historiska byggnader behöver bevaras och det är inte möjligt att fortsätta ignorera dem enligt internationella standarder för energieffektivitet. Målet hos 73 procent av renoveringarna var att minska energiförbrukningen och förbättra inneklimatet samtidigt som det historiska värdet behålls. Ett av exemplen var Johansson, et al. (2014) som har analyserat hur fukt och temperatur påverkar tegelväggar med anslutande träbalkar då invändig isolering med vakuumisoleringspaneler (VIPs) används. Både beräkningar och laboratorieförsök gjordes med nordiskt klimat (Göteborg och Bergen) och resultaten jämfördes med resultat från samma vägg utan VIPs. Slutsatsen var att U-värdet minskade kraftigt med VIPs, men att träbalkarna är kraftiga köldbryggor vilket ökar väggens slutgiltiga U-värde. Eftersom den invändigt isolerade tegelväggen hamnar i ett kallare klimat ökar risken för frostsprängning. Störst risk var det i Bergen eftersom den relativa fuktigheten var högre där. I Göteborg blev det dock betydligt fler frostcykler vilket kan leda till skador. Fukthalten ökade mer i änden av balken än nära teglets inre yta, vilket var väntat. Längst ut på träbalken var den relativa fuktigheten ungefär samma med och utan VIPs, men med VIPs ökade den relativa fuktigheten i träbalken nära teglets inre yta då hela väggen är i ett kallare klimat.

En undersökning om hur fuktsäkra renoveringar med fokus på minskad energianvändning i gamla flervåningshus med kulturvärde kan göras gjordes på en byggnad i Köpenhamn från 1896. Mätningar gjordes i byggnaden och beräkningar gjordes i IDA-ICE. Invändig isolering användes då arkitekturen av originalbyggnaden skulle behållas. Då fuktsäkerheten prioriterades över energibesparingar undersöktes en lösning där den invändiga isoleringen slutade 200 mm över golvet. Detta resulterar i större värmetransport vid träbjälklaget som hamnar i varmare klimat och därmed blir konstruktionen mer fuktsäker. Studien visade att renovering med invändig isolering, mekanisk ventilation och nya fönster resulterade i en årlig energiförbrukning på 61–96 kWh/m², vilket motsvarar energibesparingar på 39–61 procent. Intervallet beror på vilken invändig temperatur som eftersträvas (20–23 °C). Att isolera hela vägen ner till golvet hade sparat ytterligare 3 kWh/m²/år, men då hade risken för fuktskador ökat (Harrestrup & Svendsen, 2015).

Samma författare, Harrestrup & Svendsen, har även undersökt tre olika invändiga isoleringsprinciper för tegelväggar med träbalkar. 1) Isolering på hela väggen 2) Isolering slutar 200 mm ovan golv 3) Isolering slutar 200 mm ovan golv och 200 mm under tak. Simuleringar gjordes med olika isoleringstjocklekar (40 och 80 mm), väggstjocklekar (1,5 och 2 tegelstenar) regnkoefficienter (0,1, 0,3, 0,5) och orientering (väst och norr). Resultatet visar att lösningen då 40 mm isolering slutar 200 mm ovan golv och 200 mm under tak för en vägg orienterad mot väst och vid en regnexponeringskoefficient på 0,1 är fuktsäker. Risken för mögel i träbalkarna är hög för en isolerad vägg i norr, eftersom det är sämre uttorkning i detta väderstreck. Därmed rekommenderar författarna att en sådan vägg inte isoleras. De rekommenderar inte heller att det används mer än 40 mm invändig isolering för en tegelvägg med 1,5 eller 2 tegelstenar (Harrestrup & Svendsen, 2016).

Aleva, et al. (2014) analyserade renoveringsalternativ för att öka energiprestandan för historiska landsbygdshus i Sverige, Finland och Estland. Analysen visade att det som sparar mest energi är att förbättra byggnadens installationer och val av energikälla. Gamla byggnaders skal måste dock också förbättras, eftersom mycket värme och luft läcker igenom skalet. Den mest effektiva förbättringen av byggnadsskalet är att isolera ytterväggarna. För att klara nationella energiprestandamål tog man fram renoveringspaket med fokus på scenarierna: minimal påverkan på byggnadens utseende, förbättring av inomhusmiljön och förbättring av byggnadens installationer.

En undersökning av hur gamla stationsbyggnader som är bevarandemärkta ska renoveras vid ändrad användning för att kunna uppnå energikraven 2020 samtidigt som byggnadens bevarandekrav inte skadas gjordes av Dahlberg och Lindblad (2017). Fem stationshus uppförda 1860–1900 undersöktes. Energianvändningen för ett tegelhus före renovering och efter renovering (isolering i grunden, isolering båda sidor om tegel och isolering i tak) jämfördes med energianvändningskravet för flerbostadshus. Resultatet visar att ett oisolerat tegelhus använder nästan fyra gånger mer energi än vad kravet är och att det renoverade huset använder nästan dubbelt så mycket än vad kravet är. Slutsatserna som drogs är att det är svårt att klara energikraven 2020 för gamla stationsbyggnader, eftersom de har hög värmegenomgång och kräver mer tilläggsisolering än en modernare byggnad. Det bästa sättet att isolera utan att påverka bevarandekraven är isolering av vindsbjälklaget då detta inte påverkar exteriören och det är lättast rent praktiskt.

En litteraturstudie av Lidelöw, Örn, Luciani och Rizzo (2018) om energieffektiviseringsåtgärder för historiska byggnader visade att intresset för ämnet har ökat då antalet publicerade artiklar har ökat stadigt under 2000-talet. I studien sammanställdes publicerade artiklar och författarna kom fram till att det vid övervägande av renoveringar som ska förbättra energiprestandan bör formuleras tydligare

kulturarvsvärden och dessa bör analyseras i relation till etablerade bevarandeprinciper eller metoder.

3.5 Sammanfattning tidigare forskning

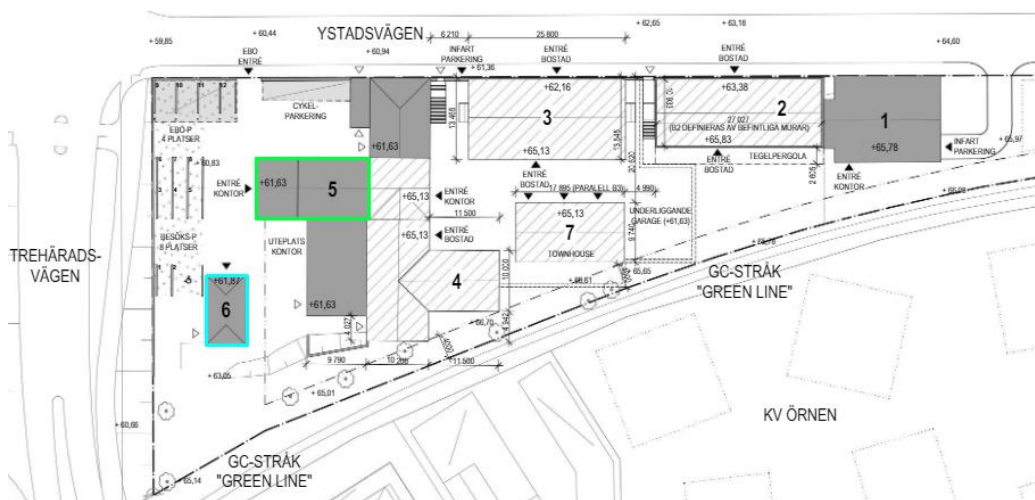
Resultatet av litteraturstudien är att det har forskats mycket på framtida potentiella användningsområden för gamla byggnader, LCA, energi, fukt och kulturbevaring av gamla kulturhistoriska byggnader. Det har dock inte identifierats någon studie som behandlar kombinationen av kraven på bevarande, energi, fukt och termiskt klimat vid omvandling från ett användningsområde till ett annat. Enskilt finns det mycket gjort, men just kombinationen är något som bör utredas närmare.

4 Metod

Ombyggnadsåtgärder för två av spritfabrikens byggnader tas fram och de modelleras i IDA ICE där energiförbrukningen och det termiska klimatet jämförs med myndigheters krav och riktlinjer. Risken för fuktskador analyseras genom modelleringar i WUFI 2D och huruvida kulturmärkningen påverkas för de olika fallen diskuteras. Slutligen jämförs de olika ombyggnadsåtgärderna med varandra och för- och nackdelar för respektive modell diskuteras.

4.1 Förutsättningar, indata och modelleringsfall

Ombyggnationen av spritfabriken kommer resultera i både gamla ombyggda och nya huskroppar. De flesta huskropparna kommer att sitta ihop men det är fördelaktigt att kunna modellera en enskild huskropp för att få entydiga resultat för varje åtgärd som går att tolka och dra slutsatser utifrån. Den enda huskroppen som är fristående är ett gammalt pumphus som ska göras om till bobutik. Återbruksgraden ska vara hög i hela projektet, men extra hög i just denna byggnadskropp där målet är att återbruka allt som är möjligt. Denna byggnad ingår också i projektets första delar vilket betyder att det redan finns färdiga bygghandlingar för den. Med tanke på detta är bobutiken en av byggnaderna som kommer studeras. Utöver denna kommer även en del av byggnaden som är benämnd ”Byggnad 5” att studeras. Den delen modelleras som en fristående byggnad, men det tas hänsyn till väggarnas anslutning till övriga byggnader i modelleringarna. I ”Byggnad 5” ska det bli både kontor och bostäder. Bobutiken är benämnd ”byggnad 6” och är markerad med turkos i situationsplanen i Figur 8. I samma figur är den del av Byggnad 5 som ska analyseras markerat i grönt.



Figur 8. Situationsplan för spritfabriken med Bobutiken och del av Byggnad 5 markerad (Ebo, 2021)

I detta examensarbete studeras totalt sju ombyggnadsfall för Bobutiken medan fyra ombyggnadsfall studeras för Byggnad 5. Respektive ombyggnadsåtgärd finns presenterad i Tabell 6 och en närmare beskrivning av modellerna är presenterade i respektive kapitel. För de sju respektive fyra ombyggnadsfallen analyseras energianvändningen på ett år, det termiska klimatet samt fukttillstånd i tre punkter i klimatskalet. Detta görs genom simuleringar i IDA Klimat och energi, förkortat IDA ICE, och i WUFI 2D. Hur kulturvärdena påverkas av de olika åtgärderna diskuteras också. Modelleringsfallen för Bobutiken benämns som A1-A7 och modellerna för Byggnad 5 som B1-B4.

Tabell 6. Modelleringsfall

Modelleringsfall	Namn	Åtgärder klimatskal	Åtgärder installationer
Bobutik (A)			
A1	Befintlig byggnad	-	Radiatorer
A2	Projekterat utfall	Isolering tak Isolering grund En extra fönsterruta innanför befintliga	Samma som A1 + FTX-system VAV-system
A3	Invändig tilläggsisolering yttervägg	Samma som A2 + Invändig tilläggsisolering på ytterväggar i väster, öster och söder	Samma som A2
A4	Komfortkyla	Samma som A3	Samma som A3 + Aktiv kyla
A5	Förbättrat klimatskal	Extra isolering tak Extra isolering grund Extra invändig tilläggsisolering på alla ytterväggar	Samma som A4
A6	Utvändig tilläggsisolering yttervägg	Samma som A2 + Utvändig tilläggsisolering på alla ytterväggar	Samma som A4
A7	Ökad personlast	Samma som A2	Samma som A2
Byggnad 5 (B)			
B1	Befintlig byggnad	-	Radiatorer
B2	Projekterat utfall	Isolering tak Isolering grund En extra fönsterruta innanför befintliga	Samma som B1 + FTX-system VAV-system Aktiv kyla kontor
B3	Invändig tilläggsisolering yttervägg	Samma som B2 + Invändig tilläggsisolering på alla ytterväggar	Samma som B2
B4	Utvändig tilläggsisolering yttervägg	Samma som B2 + Utvändig tilläggsisolering på alla ytterväggar	Samma som B2

Verksamheten i Bobutiken kommer framför allt bestå av olika former av möten mellan Ebo och deras hyresgäster i form av kontraktsskrivning, tillvalsmöten och nyckelutlämning. Bobutiken kommer på bottenvåningen bestå av ett mötesrum, toalett, förråd och ett större rum för till exempel tillvalsutställning. Det större rummet ska även inredas med en kontorsplats, men denna kommer förmodligen inte vara en arbetsplats på heltid. I det stora rummet ska det vara öppet upp till nocken, men över resterande delar byggs ett loft där byggnadens teknikrum ska finnas. Loftet nås via en återbrukad gjutjärnsspiraltrappa från den tidigare spritfabriken. Total area för Bobutiken är 79 m².

Pumphuset (framtida Bobutiken) är reglerad i detaljplanen. Byggnaden är q-märkt och får ej inredas som bostadslägenhet. Märkningen innefattar att byggnadsvolymen, murverket och det exteriöra utförandet i huvudsak ska bevaras i enlighet med 3 kap 12 § PBL. Exteriört underhåll ska ske med ursprungliga material och arbetstekniker. Dock får vid förändrad användning nödvändiga håltagningar och tillägg i fasad och tak göras på ett mycket varsamt sätt. Byggnaden får ej rivas. Dessa begränsningar har det tagits hänsyn till vid val av de olika modelleringsfallen.

Eftersom bobutiken inte kommer att vara bemannad heltid kommer det även göras modelleringar på en del av det som är benämnt som Byggnad 5, där Ebo ska ha kontor och det även finns en lägenhet i två plan ovanpå kontorsdelen. Modelleringar kommer därmed att omfatta ombyggnad av fabrikslokal till lokal, kontor och bostad. Till skillnad från Bobutiken är Byggnad 5 ingen fristående byggnad, utan den har väggar som angränsar till omgivande byggnader. Detta gör energiberäkningarna något mer komplicerade och tillför en osäkerhet.

Kontorsdelen i Byggnad 5 ska innehålla lobby, styrelserum, mötesrum och mindre kontorsrum, total area är 264 m². Kontorsdelen är uppdelad på tre våningar, som tidigare var två våningar med högre våningshöjd. Detta betyder att nya mellanbjälklag ska sättas in. Lägenheten högst upp har fyra rum och kök och är på 160 m² i etage. Tidigare var det en våning, men precis som för kontorsdelen sätts ett nytt mellanbjälklag in så att det bildas ett etage. Totalt sett blir de tidigare tre våningarna efter ombyggnationen tre våningar samt en etagevåning. De gamla fönsterna bevaras, men de kommer att hamna mellan våningar och för att undvika att alla fönster endast sitter i golv- eller taknivå kompletteras byggnaden med nya fönster mellan dessa i lämplig höjd för våningsplanen. Byggnad 5 innehar även den q-märkning som innebär att den begränsas med avseende på vilka ingrepp som kan göras, på samma sätt som Bobutiken. En skillnad är att Byggnad 5 får inredas som bostadslägenheter enligt detaljplan.

Den del av Byggnad 5 som analyseras och Bobutiken är markerat med grönt respektive turkos i Figur 9.



Figur 9. Spritfabriken med del av Byggnad 5, markerat i grönt, och Bobutiken, markerat i turkos (LINK Arkitektur)

4.2 Beräkning av energianvändning och termiskt klimat

Beräkningar av energianvändning och termisk komfort görs med hjälp av programmet IDA ICE. Det är ett simuleringsverktyg där man modellerar upp byggnaden för att beräkna den färdiga byggnadens prestanda. Modellen byggs upp med klimatskal, VVS-system samt styr- och reglersystem. Indata till modelleringarna presenteras i tabeller för respektive modell, se 4.3.1-4.4.4. I arbetet används version 4.8 av IDA ICE.

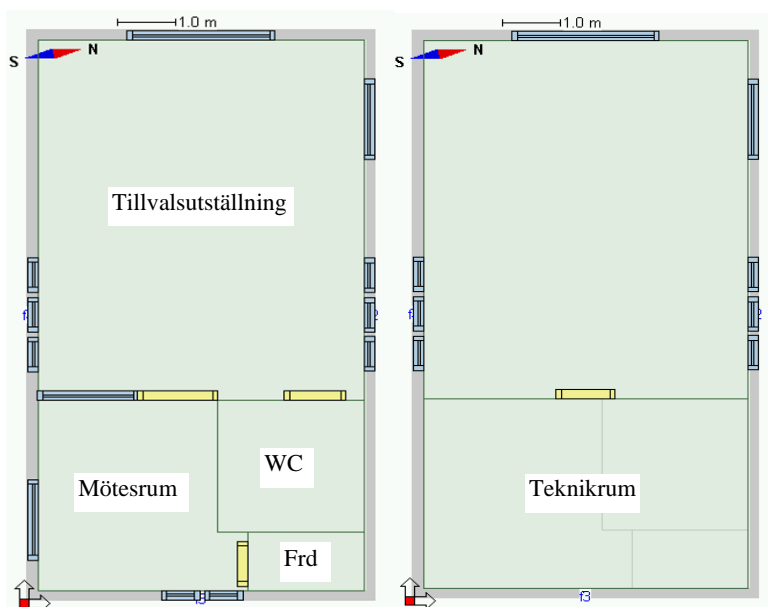
Primärenergital för alla modeller beräknas enligt ekvation 1 för att kunna jämföras med varandra samt med BBR-kraven. Indata till beräkningarna hämtas från resultaten från IDA ICE simuleringarna samt från Tabell 7.

Tabell 7. Indata beräkning av primärenergital

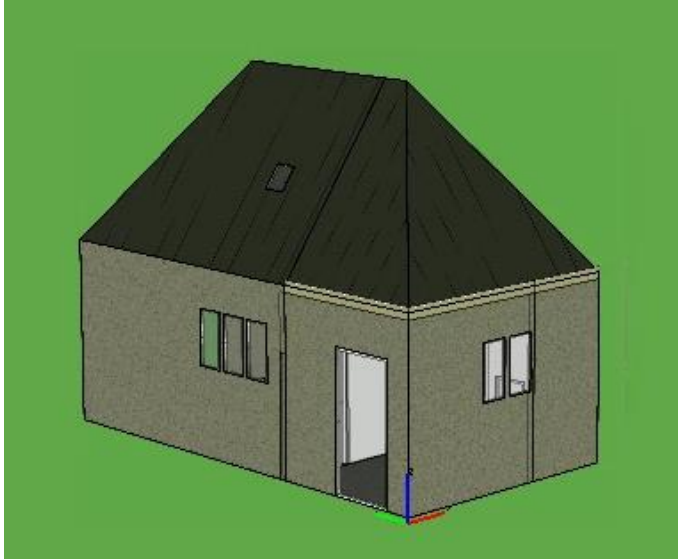
Parameter	Värde
BBR-krav på Primärenergital för lokaler	70 kWh/(m ² _{Atemp} ·år)
BBR-krav på Primärenergital för flerbostadshus	75 kWh/(m ² _{Atemp} ·år)
Uppvärmd Area Bobutik (A _{temp})	79 m ²
Uppvärmd area Byggnad 5 (A _{temp})	631 m ²
Geografisk justeringsfaktor Eslöv	0,9
Viktningfaktor fjärrvärme	0,7
Viktningfaktor fjärrkyla	0,6
Viktningfaktor EI	1,8

4.2.1 Zonindelning, byggnadsvolym och fasader

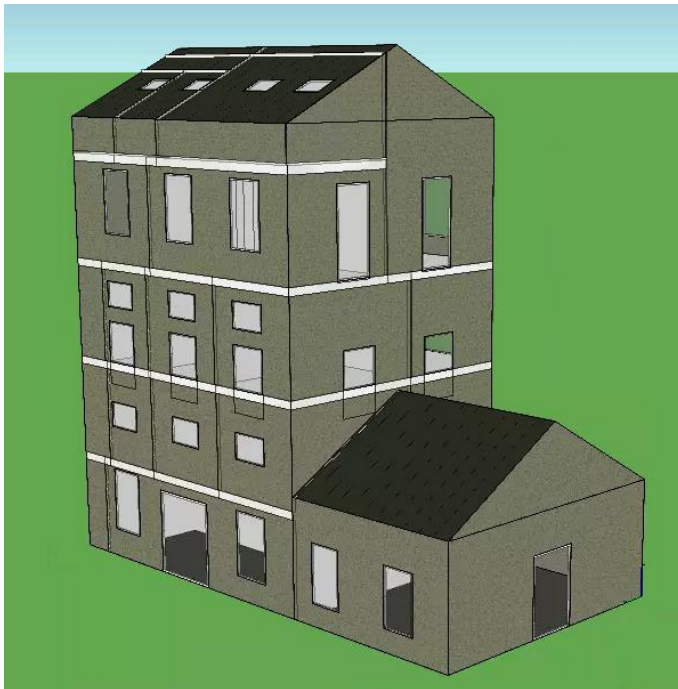
Arbetet i IDA ICE inleds genom att en modell av Bobutiken samt aktuell del av Byggnad 5 byggs upp. Planritning importerar och varje rum modelleras som en egen zon. Respektive zon tilldelas korrekt rumsvolym som hämtas från bygghandling. Ingående byggnadsdelar modelleras enligt bygghandlingar och innerväggarna förenklas i modellen till en och samma innerväggstyp då innerväggarna antas ha minimal påverkan på energianvändningen i byggnaden. Fönsterdörrar modelleras som vanliga fönster och invändig solavskärmning adderas för att minska risken för övertemperaturer under sommarmånaderna. Zonerna för Bobutiken presenteras i Figur 10 och 3D-modeller för Bobutiken respektive aktuell del av Byggnad 5 presenteras i Figur 11 och Figur 12.



Figur 10. Planlösning med zonindelning för nedre plan (t.v.) och övre plan (t.h.)



Figur 11. Modell i 3D för Bobutiken



Figur 12. Modell i 3D för aktuell del av Byggnad 5

Zonindelningen för Byggnad 5 har gjorts enligt samma metod som för Bobutiken. Varje rum delas in i en enskild zon med våningshöjd enligt bygghandling.

4.2.2 Geografisk placering och omgivning

Geografisk placering för byggnaderna, som ligger i Eslöv samt ortens klimatdata hämtas automatiskt i IDA ICE från en klimatdatafil som framtagits med hjälp av Meteonorm 8 (Meteonorm, u.å) och sedan laddats in i IDA ICE. Klimatdatafilen innehåller ett normalår för Eslöv baserat på åren 2000–2019. Orientering för byggnaderna kan ändras manuellt i programmet för att solstrålningen ska anpassas till verkligheten. Orientering för byggnaderna samt dess omgivning är oförändrad mellan de olika simuleringsfallen då dessa inte kommer förändras vid ombyggnationen. Byggnadernas relation till omgivningen läggs in i modellen för att ta hänsyn till eventuell inverkan från skuggor.

4.2.3 Internlaster

Internlaster i form av personer, belysning och utrustning läggs in i modellen och ett användarschema för dessa skapas. Även tappvarmvattenförbrukning och eftersträvad temperatur läggs in som förutsättningar för simuleringen. Ingående värden för kontor och var de är hämtade från presenteras i Tabell 8, liknande värden för bostad är presenterade i Tabell 9. Dessa värden är så standardiserade som möjligt eftersom man i dagsläget inte vet exakt hur byggnaderna kommer användas eller hur brukarbeteendet kommer bli då de är färdigställda. I framtiden är det möjligt att göra mer precisa simuleringar då man exempelvis kan lägga in mer projektspecifika närvaroscheman och andra brukarbeteenden.

Tabell 8. Internlaster och indata till IDA ICE för kontorslokaler

Parameter	Värde	Källa
Inomhustemperatur	20–24 °C (Programmet tar endast hänsyn till övre gräns då kyla är installerat)	(Arbetsmiljöverket, 2022)
Uppvärmning	Fjärrvärme	Ebo
Personvärme	20 m ² /person Beläggingsgrad 70% 8–17 vardagar 1,0 met/person (108 W och 1,8 m ² kroppsytta)	(Sveby, 2013)
Belysning	Kontorstid, 8–17: 5,3 W/m ² (70 %) Övrig tid: 1,1 W/m ² (15 %)	(Sveby, 2013)
Apparater	Kontorstid, 8–17: 6,3 W/m ² (70 %) Övrig tid: 1,2 W/m ² (15 %)	(Sveby, 2013)
Helgdagar	Kontor antas vara tomma under helger samt under svenska helgdagar som förekommer mån-fre	Standardinställningar IDA ICE

Tappvarmvatten	2 kWh/m ² A _{temp} år	(BFS 2017:6)
Förluster i distributionssystem	Tappvarmvatten: 0,5 W/m ² Uppvärmning: 4 % Kyla: 0,5 W/m ² Ventilation: 1 W/m ² 50 % av alla förluster distribueras till zonerna	Standardinställningar IDA ICE

Tabell 9. Internlaster och indata till IDA ICE för bostäder

Parameter	Värde	Källa
Inomhustemperatur	Minst 21 °C	(Sveby, 2012)
Uppvärmning	Fjärrvärme	Ebo
Personvärme	2,79 Personer (4-rums lägenhet) 14 timmar närvaro per dygn 0,8 met/person (80 W och 1,8 m ² kroppsytta)	(Sveby, 2012)
Belysning	630 kWh/år för hela lägenheten 14 timmar per dygn 160 m ² → 0,77 W/m ²	(Sveby, 2012)
Apparater	540 kWh/år för hela lägenheten 14 timmar per dygn 160 m ² → 0,66 W/m ²	(Sveby, 2012)
Tappvarmvatten	25 kWh/m ² A _{temp} år	(Sveby, 2012)
Förluster i distributionssystem	Tappvarmvatten: 0,5 W/m ² Uppvärmning: 4 % Kyla: 0,5 W/m ² Ventilation: 1 W/m ² 50 % av alla förluster distribueras till zonerna	Standardinställningar IDA ICE

4.2.4 Köldbryggor

Köldbryggor ställs in manuellt i IDA ICE. Respektive köldbrygga är inte beräknad, utan antaganden har gjorts huruvida en köldbrygga antas vara bra, normal, dålig eller väldigt dålig. Angivna värden för köldbryggor i respektive modell presenteras i bilaga 4.1. För att kontrollera att antagna köldbryggor kan anses rimliga genomfördes en känslighetsanalys, se 4.5. Detta genomfördes genom att modellera och beräkna en köldbrygga för en utvald anslutning i programmet HEAT. Detta jämfördes sedan med värdet som antagits i IDA ICE för att kontrollera att antagningar av köldbryggor varit rimliga. Se beskrivning av modellen i HEAT i 4.5. Resultaten är redovisade i 5.1.2.

4.2.5 Installationer – Uppvärmnings- och kylsystem

I modellerna förenklas uppvärmningen i samtliga rum till en allmän och obegränsad värmekälla (Ideal heater) för att skapa en rättvis jämförelse av energianvändningen mellan de olika modellerna. Ideal heater har ingen fysisk placering i rummet och ska användas när detaljerad information om uppvärmningsenheter saknas. Om det hade modellerats med radiatorer enligt bygghandlingar, hade det funnits en risk att kraven på uppvärmning och inomhustemperatur inte kunde uppfyllas för fallen med höga värmeförluster. Detta hade inte givit en korrekt bild över hur de olika åtgärderna påverkar energianvändningen då enheternas maximala effekt skulle vara det som begränsade energianvändningen. Uppvärmningen (Ideal heater) sätts därför till 10 000 W i samtliga utrymmen för att inte begränsas av enheternas maximala kapacitet. I de modeller där komfortkyla är insatt används allmän kylning (Ideal cooler) i utrymmen som ska ha komfortkyla. På samma sätt som för uppvärmningen ska inte denna begränsas till enheternas maximala kapacitet och sätts därför till 10 000 W för att undersöka hur stort det totala kylbehovet blir för respektive modell.

4.2.6 Andelen missnöjda med inomhusklimatet (PPD)

Andelen missnöjda med inomhusklimatet, PPD, simuleras i IDA ICE genom ”Heating load” respektive ”Cooling load”. Med hjälp av detta kan man studera andelen missnöjda under olika delar av året. Till exempel hur inomhusklimatet upplevs under den varmaste respektive kallaste dagen. Genom att studera andelen missnöjda för enskilda dagar i stället för över ett år kan man tydligare analysera resultatet av hur inomhusklimatet upplevs och vad som bidrar positivt respektive negativt. Om man studerar andelen missnöjda över ett helt år blir resultatet missvisande då det påverkas av beläggningsgraden för byggnaderna och dess rum. Till exempel befinner sig inga personer i kontoret utanför kontorstider. Det ger då ett PPD-index på 0 procent utanför kontorstid och det ger ett missvisande resultat för PPD över hela året.

4.3 Modellering av Bobutiken för olika ombyggnadsfall

Nedan följer beskrivningar för de sju modellerna som representerar Bobutiken. Konstruktioner med tillhörande U-värden och övriga indata till IDA ICE presenteras för respektive modell. Köldbryggorna förändras beroende på ombyggnadsåtgärd, inställningarna för köldbryggorna i för respektive modell presenteras i Bilaga 4.1.

4.3.1 A1 – Befintlig byggnad

Den första modellen som skapas av Bobutiken är en modell av den befintliga byggnaden där klimatskalet inte får några förbättringar. Modellen innehåller därmed ingen isolering i någon del av klimatskalet. Enda skillnaden mot hur byggnaden var innan ombyggnationen är att innerväggar och mellanbjälklag adderas så att rummen stämmer överens med hur byggnaden ska bli. Innerväggar och mellanbjälklag är uppbyggda enligt bygghandlingar, men eftersom dessa inte är en del av klimatskalet kommer de inte ha någon inverkan på uppvärmningen av byggnaden. Alla konstruktioner och dess U-värden är presenterade i Tabell 10. Det finns endast en sektionsritning från 1924 att utgå ifrån när det kommer till det ursprungliga pumphuset, men på denna finns inga mått utsatta eller några detaljer på de olika konstruktionsdelarna. Tillsammans med sektionsritningen, bilder och platsbesök har antaganden gjorts för grunden och takets konstruktion. Takpappen försummas för simuleringen i IDA ICE. Takstolarna är 120x120 mm och sitter med 1,2 m mellanrum, detta ger en medeltjocklek på 10 mm över hela taket. För att få rätt U_{medel} på taket modelleras därför takstolarna som en 10 mm tjock träskiva över hela taket i IDA ICE. Inget exakt U-värde för fönster finns, så i simuleringen i IDA ICE används grundvärdet för 1-glas. Fönsterkarmen är av gjutjärn, men varken dimension eller värmekonduktivitet finns för karmen. Järn leder värme mycket bra och det är svårt att behandla i IDA ICE, därför görs en förenkling att fönstren modelleras utan karm.

Tabell 10. Konstruktioner och U-värden för A1 – Befintlig byggnad

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	250 mm befintligt tegel (1 stens)	1,66
Yttertak	Takpapp 23 mm råspont 120x120 mm takstolar cc 1200 mm.	2,47
Innerväggar (Från bygghandling, påverkar ej byggnadens energianvändning)	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45mm isolering	0,32

	2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	
Mellanbjälklag (Från bygghandling, påverkar ej byggnadens energianvändning)	2x22 mm golvspånskivor 45x195 mm golvbjälkar 45 mm isover träregelskiva 3x50 paroc 25 mm gyproc akustikprofiler 2x13 mm gips	0,15
Platta mot mark	150 mm betong	3,87
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	1-glasfönster	5,80

Ingen ventilation installeras utan det är självdrag från byggnadens otätheter som förser byggnaden med frisk luft. I IDA ICE hanteras självdraget som ett konstant tilluftsflöde i en helt lufttät byggnad. Detta eftersom det är lättare att hantera ett ventilationssystem än otätheter i programmet, trots att det inte speglar verkligheten. Vid simuleringen har vald luftomsättning utgått ifrån tidigare uppmätta värden för luftomsättning i tolv kontorsbyggnader med kulturvärden. Resultatet från det forskningsprojektet visar att luftomsättning med stängd dörr är 0,90 oms/h under vintern och 0,77 oms/h under sommaren. Detta ger ett medelvärde på 0,835 oms/h (Abdul Hamid, et al., 2019). Detta värde räknas om till en luftomsättning uttryckt i l/s för respektive rum och sätts in som ett konstant tilluftsflöde i IDA ICE. Area och volym hämtas från modellen i IDA ICE. Tilluftsflödena för respektive rum är presenterade i Tabell 11.

Tabell 11. Tilluftsflöden för A1 – Befintlig byggnad

Rum	Area/ m ²	Volym/ m ³	Flöde/ (l/s)	Flöde/ (l/(s·m ²))
Tillvalsutställning	38,5	226,6	52,7	1,37
Mötesrum	11,7	46,6	10,8	0,92
WC	6,4	25,4	5,9	0,92
Förråd	2,2	8,8	2,0	0,92
Teknikrum	20,4	29,5	6,9	0,34
Hela byggnaden	79	337	78,3	0,99

Frånluftsfläktar sätts in i WC, förråd och teknikrum. Lika stora flöden antas i alla frånluftsfläktar: $\frac{78,3}{3} = 26,1$ l/s.

4.3.2 A2 – Projekterat utfall

Modell A2 är baserad på de bygghandlingar som NCC tagit fram i sin projektering tillsammans med Ebo och speglar hur byggnaden kommer att se ut när den är färdigställd. I modellen byggs konstruktionsdelar upp enligt bygghandlingar för ytterväggar, innerväggar, tak, mellanbjälklag och grund. I byggnadens klimatskal är det grunden, taket och fönster/fönsterdörrar som blir uppdaterade, ytterväggarna är fortfarande endast 1-stens tegel utan isolering och har således ett mycket högre U-värde än resterande delar. Enligt bygghandling ska U-värdet vara max 0,9 W/m²K för fönster och fönsterdörrars hela konstruktioner. För takfönstrens hela konstruktion ska U-värdet vara max 1,1 W/m²K. Med dessa krav väljs fönster i IDA ICE. Alla konstruktioner och dess U-värden redovisas i Tabell 12.

Tabell 12. Konstruktioner och U-värden för A2 – Projekterat utfall

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	250 mm befintligt tegel (1 stens)	1,66
Yttertak	Takpannor Strö- och bärläckt Takpapp 22 mm Råspont 28 mm Påsalning vid varje bef. takstol för luftning Vindduk Befintlig takstol 265 mm Isover Uni-skiva cc 1200 träreglar 0,2 mm plastfolie 28 mm glespanel/luftspalt 12,5 mm gips	0,16
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Mellanbjälklag	2x22 mm golvspånskivor 45x195 mm golvbjälkar 45 mm Isover träregelskiva	0,15

	3x50 Paroc 25 mm gyproc akustikprofiler 2x13 mm gips	
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,12
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

Enligt bygghandling för ventilation ska ett kombinerat CAV och VAV-system installeras. Tilluftsdon är enligt bygghandling placerade i mötesrummet och i tillvalsutställningen. I mötesrummet varierar tilluftsflödet från 15 till 50 l/s och styrs av koldioxidhalten. Tilluften i tillvalsutställningen är konstant 35 l/s. Frånluftsdon är enligt bygghandling placerade i WC, förråd och teknikrum. Frånluftsflödet är konstant i WC och teknikrummet, 20 respektive 25 l/s. I förrådet varierar frånluftsflödet från 5 till 40 l/s och styrs av koldioxidhalten. Eftersom koldioxidmätaren sitter i mötesrummet, modelleras frånluften i mötesrummet i stället för i förrådet. På detta sätt styrs till- och frånluften i mötesrummet och förrådet av samma koldioxidhalt. Lufttätheten antas till 1,0 oms/h efter studier av Brunsell & Fossdal som har studerat lufttätheten i ett antal äldre byggnader. De har uppmätt ett värde på 0,8 oms/h i en äldre kontorsbyggnad med tegelfasad från 1943 (Brunsell & Fossdal, u.å). Bobutiken är ett antal år äldre och efter konsultation med biträdande handledare antas lufttätheten därför till 1,0 oms/h för att vara på säkra sidan. Det ska tilläggas att forskningen på lufttäthet i äldre tegelbyggnader är minimal och en osäkerhet i antagandet av lufttätheten finns. Indata till IDA ICE är presenterade i Tabell 13.

Tabell 13. Indata till IDA-ICE för A2 – Projekterat utfall

Parameter	Värde	Källa
Ventilation	FTX (Från- och tilluftssystem med värmeväxlare)	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Förutsättningar tilluft	Antas till konstant 18°C. Tilluftsfläkten antas höja temperaturen med 1°C.	Standard indata IDA-ICE
Ventilationsdrift	VAV 7–19 vardagar 100%, övrig tid helt avstängd.	(Sveby, 2013)
Värmeväxlare	Roterande. Temperaturverkningsgrad, 85%.	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Specifik fläkteffekt (SFP)	1,5 kW/(m ³ /s)	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Högsta tillåtna koldioxidhalt	1000 ppm	(Folkhälsomyndighet en, 2023)
Lufttäthet vid 50 Pa tryckskillnad	1,0 oms/h	(Brunsell & Fossdal, u.å)

4.3.3 A3 – Invändig tilläggsisolering av ytterväggar

I modell A2 fick tak, grund och fönster nya konstruktioner med U-värden i nivå med moderna konstruktioner. Det som saknas är en modern ytterväggskonstruktion. Ytterväggarna är en stor del av den omslutande arean och för att dessa ska komma upp på samma nivå som övriga konstruktionsdelar adderas en invändig tilläggsisolering i A3. I litteraturstudien presenterades att tilläggsisolering inte rekommenderas för en 1 ½ - 2 tegelstensvägg i norr med tanke på risken fuktskador. Samma studie rekommenderar att inte mer än 40 mm invändig tilläggsisolering används. Med hänsyn till detta isoleras ytterväggarna i söder, väster och öster med 40 mm invändig tilläggsisolering medan väggen i norr lämnas utan isolering. Detta kan även anses vara fördelaktigt för beställaren som vill att det återbrukade teglet är synligt. Genom att en vägg lämnas oisolerad kommer teglet synas på en vägg i tillvalsutställningen. För att undvika risken med fuktskador hos takstolarna genom att de hamnar i för kallt klimat slutar isoleringen 200 mm nedanför ytterväggens överkant, på detta sätt skapas ett värmefflöde genom takstolens delar. Eventuell fuktproblematik har studerats i fuktsimuleringar i WUFI 2D. Eftersom väggarna är 4 m höga motsvarar 200 mm 5 procent av ytterväggens yta. I IDA ICE modelleras därför 38 mm isolering i stället för 40 mm för att få rätt medelvärde på U-värdet. Alla konstruktioner och dess U-värden är presenterade i Tabell 14.

Tabell 14. Konstruktioner och U-värden för A3 – Invändig tilläggsisolering av ytterväggar

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	250 mm befintligt tegel (1 stens) 40 mm invändig tilläggsisolering Gäller ej vägg mot norr. Isolering slutar 200 mm under överkant av yttervägg	0,60 1,66 (Norr)
Yttertak	Takpannor Strö- och bärläckt Takpapp 22 mm Råspont 28 mm Påsälning vid varje bef. takstol för luftning Vindduk Befintlig takstol 265 mm Isover Uni-skiva cc 1200 träreglar 0,2 mm plastfolie 28 mm glespanel/luftspalt 12,5 mm gips	0,16
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Mellanbjälklag	2x22 mm golvspånskivor 45x195 mm golvbjälkar 45 mm isover träregelskiva 3x50 paroc 25 mm gyproc akustikprofiler 2x13 mm gips	0,15
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,12

Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)
----------------------------------	---	---

Ventilationssystemet och dess indata är samma som A2 enligt Tabell 13, förutom att lufttätheten antas förbättras när invändig tilläggsisolering adderas. Lufttätheten antas nu till 0,8 oms/h, en förbättring från 1,0 oms/h i A2.

4.3.4 A4 – Aktiv kyla

Modell A4 utgår från att tidigare modeller inte haft någon komfortkyla installerad och detta kan leda till temperaturer som överskrider krav och rekommendationer. Därmed adderas aktiv kyla i form av ideal coolers i modell A4. I övrigt är modellen likadan som A3. Konstruktioner och U-värden är därmed enligt Tabell 14 och installationer enligt Tabell 13 utöver den aktiva kylan.

4.3.5 A5 – Förbättrat klimatskal

Med modell A5 ska energiprestandan och det termiska klimatet optimeras. Jämfört med tidigare modeller får alla delar av klimatskalet mer isolering, den aktiva kylan behålls för att klara övertemperaturer under sommaren. Alla ytterväggar isoleras med mer än rekommenderade isolertjocklekar (100 mm) och slutar likt modell A3 200 mm nedanför överkant av yttervägg. Med denna typ av lösning finns det risk för fuktproblem men genom att släppa isoleringen 200 mm från överkant av yttervägg kommer ett värmefflöde bidra positivt till att hålla takstolen i ett varmare och torrare klimat. Isoleringstjockleken i taket ökas till 400 mm och i grunden till 500 mm. Detta är mer isolering än vad typiska tak och grundkonstruktioner har, men eftersom målet är att energianvändningen ska bli så låg som möjligt anses det vara intressanta tjocklekar att undersöka. Alla konstruktioner och dess U-värden är presenterade i Tabell 15. Med det förbättrade klimatskalet antas även lufttätheten förbättras och sätts till 0,6 oms/h. Installationerna är samma som för A4, alltså aktiv kyla och resterande installationer enligt Tabell 13.

Tabell 15. Konstruktioner och U-värden för A5 – Förbättrat klimatskal

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	250 mm befintligt tegel (1 stens) 100 mm invändig tilläggsisolering Isolering slutar 200 mm under överkant av yttervägg	0,31
Yttertak	Takpannor Strö- och bärläckt Takpapp 22 mm Råspont 28 mm Påsning vid varje bef. takstol för luftning Vindduk Befintlig takstol 400 mm Isover Uni-skiva cc 1200 träreglar 0,2 mm plastfolie 28 mm glespanel/luftspalt 12,5 mm gips	0,11
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Mellanbjälklag	2x22 mm golvspånskivor 45x195 mm golvbjälkar 45 mm Isover träregelskiva 3x50 paroc 25 mm gyproc akustikprofiler 2x13 mm gips	0,15
Platta mot mark	120 mm betong 5x100 mm cellplast	0,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

4.3.6 A6 – Utvändig tilläggsisolering av ytterväggar

För modell A6 tas ingen hänsyn till byggnadens kulturvärden eller till att byggnadens utvändiga volym inte får ändras som plankartan säger. Denna modell har samma konstruktionslösningar som modell A2 förutom att ytterväggarna tilläggsisoleras utvändigt. För att byggnadens utseende ska vara så oförändrat som möjligt adderas fasadtegel utanpå tilläggsisoleringen. Den utvändiga tilläggsisoleringen ger ett betydligt bättre U-värde för ytterväggarna. Komfortkyla adderas till modellen för att undvika risken för övertemperaturer. Alla konstruktioner och dess U-värden är presenterade i Tabell 16. Installationer utöver den aktiva kylan är samma som för A2, se Tabell 13.

Tabell 16. Konstruktioner och U-värden för A6 – Utvändig tilläggsisolering av ytterväggar

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	250 mm befintligt tegel (1 stens) 2x80 mm utvändig tilläggsisolering 30 mm luftspalt 108 mm fasadtegel	0,12
Yttertak	Takpannor Strö- och bärläckt Takpapp 22 mm Råspont 28 mm Påsalning vid varje bef. takstol för luftning Vindduk Befintlig takstol 265 mm Isover Uni-skiva cc 1200 träreglar 0,2 mm plastfolie 28 mm glespanel/luftspalt 12,5 mm gips	0,11
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32

Mellanbjälklag	2x22 mm golvspånskivor 45x195 mm golvbjälkar 45 mm isover träregelskiva 3x50 paroc 25 mm gyproc akustikprofiler 2x13 mm gips	0,15
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

4.3.7 A7 – Ökad personlast

Eftersom alla modeller har haft samma närvaroschema, nämligen 70 procent belägningsgrad kl. 8–17 vardagar med 20 m²/person (se Tabell 8), görs en känslighetsanalys på hur mycket närvaron påverkar. Då ett av rummen är ett mötesrum är det mer rimligt att det används av fler personer under kortare tid. Med föregående närvaroschema vistas endast 0,6 personer i mötesrummet då det endast är ca 12 m². Ventilationen i mötesrummet är koldioxidstyrd och kommer förmodligen gå på lägsta flöde hela tiden eftersom 0,6 personer med 70 procent närvaro gör att koldioxidhalten aldrig är särskilt hög. Då mötesrummet är dimensionerat för att ha möten med fyra personer görs ett schema där närvaron i mötesrummet ändras till helt tomt förutom vardagar kl. 9–10 och kl. 14–15 då möte med fyra personer sker. Förutom mötesschemat är modellen identisk med modell A2. Personlasten för A7 samt för resterande modeller är presenterad i Tabell 17.

Tabell 17. Personlast i mötesrum för A1-6 och A7 – Ökad personlast

Modelleringsfall	Personlast i mötesrum
A1-6	20 m ² /person Belägningsgrad 70% 8–17 vardagar
A7	4 personer kl. 9-10 och kl. 14-15 vardagar

4.4 Modellering av Byggnad 5 för olika ombyggnadsfall

Nedan följer beskrivningar för de fyra modellerna som representerar Byggnad 5. Konstruktioner med tillhörande U-värden och övriga indata till IDA ICE presenteras för respektive modell. Köldbryggorna förändras beroende på ombyggnadsåtgärd, inställningarna för köldbryggorna i för respektive modell presenteras i Bilaga 4.1

4.4.1 B1 – Befintlig byggnad

B1 är den första modellen för Byggnad 5 och den är precis som A1 en modell av befintlig byggnad där klimatskalet inte får några förbättringar. Modellen byggs upp på samma sätt som A1, se avsnitt 4.3.1. Det finns inga ritningar för konstruktionerna att utgå ifrån, i stället har takets och grundens konstruktioner antagits från foton och platsbesök. Alla konstruktioner och dess U-värden är presenterade i Tabell 18. En skillnad i samtliga modeller för Byggnad 5 är att den norra väggen egentligen är en fortsättning på byggnaden och således inte kommer vara utomhusklimat. Detta tas hänsyn till i modellerna för att efterlikna hur byggnadens transmissionsförluster kommer bli i verkligheten.

Tabell 18. Konstruktionsdelar för B1 - Befintlig byggnad

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	375 mm befintligt tegel (1 1/2 stens)	1,23
Yttertak	1,5 mm plåt 22 mm råspont 120x120 mm takstolar cc 1200 mm	2,51
Innerväggar (Från bygghandling, påverkar ej byggnadens energianvändning)	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Platta mot mark	200 mm betong	3,48
Mellanbjälklag (Från bygghandling, påverkar ej byggnadens energianvändning)	30 mm pågjutning 250 mm betong	2,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	1-glasfönster	5,80

Självdraget hanteras på samma sätt som för modell A1, se beskrivning i avsnitt 4.3.1. Tilluftsflödena för respektive rum är presenterade i Tabell 19.

Tabell 19. Tilluftsflöden B1 – Befintlig byggnad

Rum	Area/ m ²	Volym/ m ³	Flöde/ (l/s)	Flöde/ (l/(s·m ²))
Lobby plan 1	61,4	302,1	70,1	1,14
Samtliga rum plan 1, 2 och 3 (kontor)	310,2	1001,9	232,4	0,75
Kök lägenhet plan 4	28,9	97,8	22,7	0,78
Vardagsrum lägenhet plan 4 och 5	32,9	202,2	46,9	1,43
Kök lägenhet plan 4	28,9	97,8	22,7	0,78
Bad + WC lägenhet plan 4	11,6	39,3	9,1	0,79
Korridor lägenhet plan 4	6,0	20,3	4,7	0,78
Förråd lägenhet plan 4	4,6	15,5	3,6	0,78
Hall lägenhet plan 4	4,7	16,0	3,7	0,79
Sovrum 1 lägenhet plan 4	15,0	50,6	11,7	0,78
Allrum lägenhet plan 5	26,7	59,2	13,7	0,51
Hall lägenhet plan 5	5,0	15,0	3,5	0,70
Kontor lägenhet plan 5	7,3	14,2	3,3	0,45
Badrum lägenhet plan 5	7,6	14,7	3,4	0,45
Sovrum 2 lägenhet plan 5	24,0	58,7	13,6	0,57
Hela byggnaden	574,8	2005,3	465,1	11,48

Endast rum vars våningshöjd skiljer sig åt delas upp i Tabell 19. Lägenhetens våningshöjd skiljer sig mot kontorets och har snedtak på plan 5 vilket gör att samtliga rum för lägenheten behöver delas upp. Eftersom flödet beräknas i l/(s·m²) kommer alla rum med samma våningshöjd (utan snedtak) att få lika stort flöde.

Frånluftsfläktar antas sättas in i elva utrymmen enligt bygghandling för flödesschema.

Lika stora flöden antas: $\frac{465,1}{11} = 42,3$ l/s.

4.4.2 B2 – Projekterat utfall

Modell B2 byggs precis som modell A2 upp enligt bygghandlingar från NCC. Konstruktionsdelar och U-värden presenteras i Tabell 20. Lufttätheten till 1,0 oms/h likt A2, se avsnitt 4.3.2 (Brunsell & Fossdal, u.å). Till skillnad från modell A2 adderas komfortkyla till kontorets utrymmen eftersom denna byggnad ska användas mer kontinuerligt än Bobutiken. Installationernas indata presenteras i Tabell 21.

Tabell 20. Konstruktionsdelar för B2 - Projekterat utfall

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	375 mm befintligt tegel (1 1/2 stens)	1,23
Yttertak	1,5 mm plåt 22 mm råspont 28 mm luftningsläkt 45x360 mm takbjälkar av kerto s1200 3x120 mm paroc extra 0,2 mm plastfolie 28x70 mm glespanel s300 13 mm gips	0,17
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,12
Mellanbjälklag	30 mm pågjutning 250 mm betong	2,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

Tabell 21. Indata för B2 – Projekterat utfall

Parameter	Värde	Källa
Ventilation	FTX (Från- och tilluftssystem med värmeväxlare)	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Förutsättningar tilluft	Antas till konstant 18°C. Tilluftsfälkten antas höja temperaturen med 1°C.	Standard indata IDA-ICE
Ventilationsdrift kontor	VAV med temperaturstyrning 7–19 vardagar 100%, övrig tid helt avstängd.	(Assemblin, 2023) (Sveby, 2013)
Ventilationsdrift bostad	CAV 100% ventilationsdrift	(Assemblin, 2023)
Värmeväxlare	Roterande. Temperaturverkningsgrad, 85%.	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Specifik fläkteffekt (SFP)	1,5 kW/(m ³ /s)	Rambeskrivning luft (EFKAB, 2022)
Högsta tillåtna koldioxidhalt	1000 ppm	(Folkhälsomyndigheten, 2023)
Lufttäthet vid 50 Pa tryckskillnad	1,0 oms/h	(Brunsell & Fossdal, u.å)

4.4.3 B3 – Invändig tilläggsisolering av ytterväggar

Till modell B3 adderas invändig tilläggsisolering likt modell A3, se avsnitt 4.3.3. För denna modell lämnas väggarna i norr också utan tilläggsisolering. Dock angränsar väggarna i norr mot övrig del av Byggnad 5 och detta tas hänsyn till i modellen genom att väggen mot norr inte kommer påverkas av utomhusklimatet och de transmissionsförluster som då hade uppstått. Eftersom detta gäller just norrväggen, som ej är tilläggsisolerad i modell A2, kommer alla ytterväggar som angränsar mot uteklimatet vara tilläggsisolerade i detta fall. Ventilationen är oförändrad från modell B2 förutom att en förbättrad lufttäthet antas till 0,8 oms/h. Installationer är således enligt Tabell 21.

Tabell 22. Konstruktionsdelar för B3 - Invändig tilläggsisolering av yttervägg

Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	375 mm befintligt tegel (1 1/2 stens) 40 mm invändig tilläggsisolering Gäller ej vägg mot norr Isolering slutar 200 mm under överkant av yttervägg	0,52 1,23 (norr)
Yttertak	1,5 mm plåt 22 mm råspont 28 mm luftningsläkt 45x360 mm takbjälkar av kerto s1200 3x120 mm paroc extra 0,2 mm plastfolie 28x70 mm glespanel s300 13 mm gips	0,17
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,12
Mellanbjälklag	30 mm pågjutning 250 mm betong	2,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

4.4.4 B4 – Utvändigt tilläggsisolering av ytterväggar

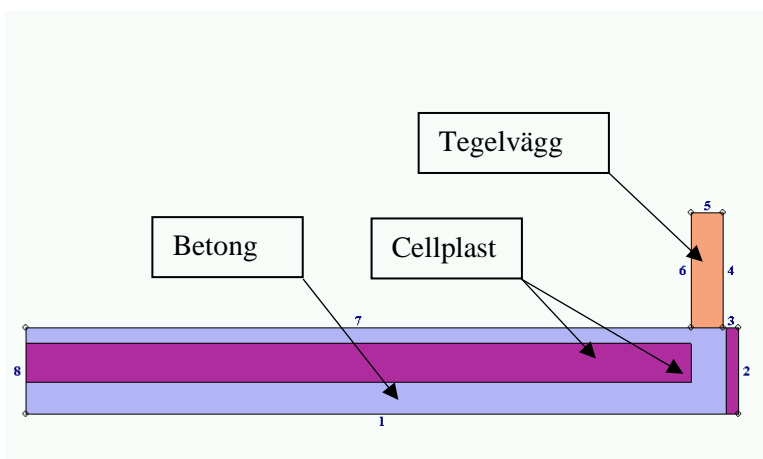
Till modell B4 adderas utvändigt tilläggsisolering likt modell A6, se avsnitt 4.3.6. Ingående konstruktionsdelar och U-värden presenteras i Tabell 23 och lufttätheten antas till 0,6 oms/h. Installationer enligt Tabell 21.

Tabell 23. Konstruktionsdelar för B4 - Utvändigt tilläggsisolering av ytterväggar

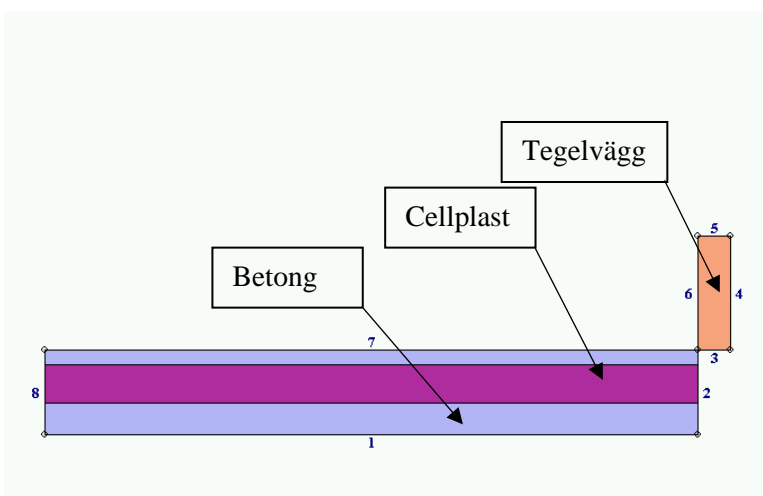
Konstruktionsdel	Uppbyggnad	U-värde/ (W/(m ² K))
Väggar över mark	375 mm befintligt tegel (1 1/2 stens) 2x80 mm utvändigt tilläggsisolering 30 mm luftspalt 108 mm tegel	0,11
Yttertak	1,5 mm plåt 22 mm råspont 28 mm luftningsläkt 45x360 mm takbjälkar av kerto s1200 3x120 mm paroc extra 0,2 mm plastfolie 28x70 mm glespanel s300 13 mm gips	0,17
Innerväggar	13 mm träpanel 2x12,5 mm gips 2x45 mm isolering 2x12,5 mm gips 13 mm träpanel	0,32
Platta mot mark	120 mm betong 3x100 mm cellplast	0,12
Mellanbjälklag	30 mm pågjutning 250 mm betong	2,07
Fönster i vägg/fönsterdörrar/tak	Saint-Gobain T4-12 m. COOL-LITE SKN 165 (Treglasfönster)	0,70 (Endast glas) 0,90 (Inkl. karm)

4.5 Känslighetsanalys köldbrygga

Som beskrivits i avsnitt 4.2.4 har värden på köldbryggor antagits för alla modeller. För att kontrollera att de antagna värdena inte är orimliga genomförs en beräkning på en köldbrygga som en känslighetsanalys. Den valda köldbryggan är anslutningen mellan yttervägg och grund för A2 och värdet i IDA ICE är satt till $0,7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Detta värde ska jämföras med det beräknade. Beräkningen görs i programmet HEAT2 där konstruktionen byggs upp enligt bygghandlingar. Två modeller skapas, en med hela konstruktionen inklusive köldbryggan, och en referensmodell med endast väggen och grunden. Modellerna presenteras i Figur 13 och Figur 14. För att få ut resultatet som värmefflöde per kelvin sätts utetemperaturen till $0 \text{ }^\circ\text{C}$ och innetemperaturen till $1 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 13. Modell för anslutning mellan grund och yttervägg inklusive köldbryggan



Figur 14. Referensmodell för anslutning mellan grund och yttervägg

Simuleringar för värmeflödet för båda modellerna görs. Köldbryggans värmeflöde beräknas genom att värmeflödet från referensmodellen subtraheras från värmeflödet från modellen med hela konstruktionen inklusive köldbryggan. Det som är kvar är då värmeflödet genom köldbryggan.

4.6 Fuktberäkningar

Fuktberäkningarna görs i programmet WUFI 2D 4.4. Programmet beräknar värme- och fukttransport samtidigt i två dimensioner. Eftersom regnintensiteten är som högst i sydväst och solinstrålningen är som lägst i norr görs simuleringar för både norr och söder.

För Bobutiken är fuktproblem mest sannolikt för takstolarna som går ut i tegelväggen för samtliga fall samt för teglet i ytterväggen för fallen med invändig tilläggsisolering. Därmed är det anslutningen mellan yttervägg, träbjälken i takstolen och yttertakets som modelleras för Bobutiken. Eftersom Byggnad 5 har liknande konstruktioner och ombyggnadsåtgärder för respektive modell som Bobutiken så antas fukttillstånden bli liknande i dessa konstruktioner och därför genomförs inga fuktsimuleringar för de modellerna.

4.6.1 Uppbyggande av modell

Först byggs anslutningens geometri upp för respektive fall och material för varje byggnadsdel väljs ur programmets inlagda databaser. Antalet celler i gitteruppbyggnaden sätts till maximalt 90 i x-led och 60 y-led, detta för att skapa en tillräckligt detaljerad modell, samtidigt som simuleringstiden inte ska bli allt för lång. Programmets standardvärden på begynnelsevillkoren temperatur, relativ fuktighet och fukthalt används, detta eftersom startvärden för fukthalt och relativ fuktighet är svårt att uppskatta. Om fel värden väljs kan det ta flera år att uppnå jämvikt. På grund av detta får man alltid säkrast resultat när man gör simuleringar över flera år, gärna minst fem år, eftersom material då kommer vara i jämvikt under de senare åren i simuleringen oavsett om begynnelsevillkoren är helt korrekta eller ej. I detta arbete lyckades dock endast simuleringarna göras på två år. Simuleringarna på fem år lyckades inte simulera klart, anledningen är inte utredd helt men kan möjligtvis bero på datorprestanda. Den kortare simuleringstiden gör att resultaten får en osäkerhet jämfört med längre simuleringar. I WUFI 2D görs simuleringen i timsteg (tidssteg på en timme) och antalet sätts därför till 17 520, vilket motsvarar två år. Starttiden sätts till 2022-01-01, vilket gör att det är 2022 och 2023 som simuleras. Programmets standardvärden för begynnelsevillkoren är temperaturen 20 °C, relativa fuktigheten 80 procent och fukthalten är materialspecifik.

Simuleringarna görs med adaptiv tidsstegskontroll, utan detta finns risk för konvergensfel i simuleringarna vilket leder till att beräkningarna kraschar.

Precis som i IDA ICE tillämpas klimatdatafil för Eslöv från Meteonorm 8, klimatdatafilen innehåller ett normalår för Eslöv baserat på åren 2000–2019. Ytorna i modellen som är mot uteklimatet blir tilldelade detta klimat med rätt orientering, vilket är 350 grader för modellerna i söder och 170 grader i norr. Ytövergångskoefficienter tilldelas enligt material. Eftersom man endast kan rita i 90 grader i WUFI2D ritas tak vertikalt och sedan väljs takvinkel 50 grader under inställningar. Ytorna som är mot inneklimatet får klimat enligt standarden EN 15026. Med denna standard ökar innetemperaturen från 20 °C under vintern till 25 °C under sommaren och den relativa fuktigheten varierar med utomhusluften. Denna standard väljs eftersom den anses vara mest realistisk i de aktuella byggnaderna. Ytorna där snitten är sätts som adiabatiska.

Källor i form av regn och ventilerade luftspalter läggs in i modellen. Generellt sett för alla modeller (utom för utvändigt tilläggsisolering) antas det att 1 procent av regnet på tegelväggen når in till mitten av tegelytterväggen. Detta anses troligt eftersom teglet är gammalt och ska återbrukas men fogas om. På taket ska allt regnvatten rinna av takpannorna, och därmed sätts inte någon regnkälla in i taket. För att kontrollera vad som händer om taket inte är helt tätt kan en regnkälla med 0,1 procent av regnvattnet läggas in bakom takpannorna. Detta var tanken från början, men samtidigt som simuleringstiden förkortades till två år i stället för fem år beslutades det även att ta bort regnkällan i taket för att förenkla modellerna. I alla modeller (utom för befintlig byggnad, A1) har taket en uteluftsventilerad luftspalt, flödet i en sådan är svårt att bedöma exakt. Efter diskussion med biträdande handledare valdes flödet till 2 oms/h. I modellerna har varje material en färg. Vilka färger som representerar vilket material framgår av Tabell 24. Alla inställningar är sammanfattade och presenterade i Tabell 25. De inställningar där programmets standardinställningar har använts är inte presenterade. Förutom färger för olika material har även ytorna olika färger. Blåa ytor är utomhusklimat, röda är inomhusklimat och gråa är adiabatiska.

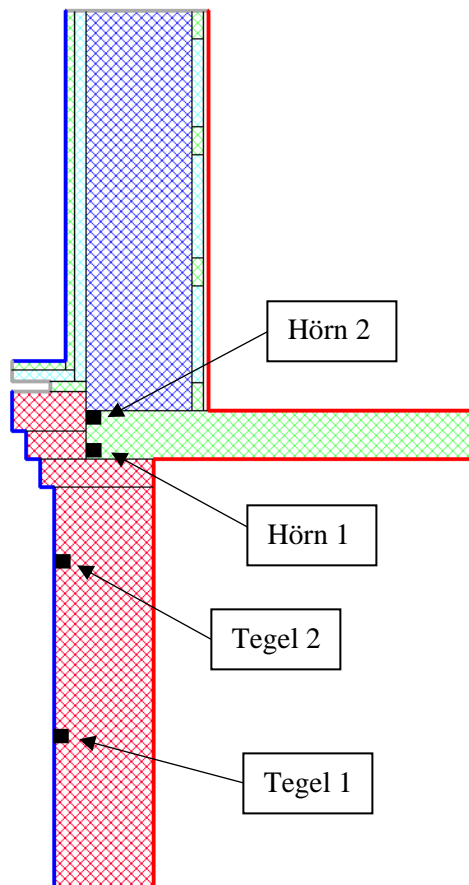
Tabell 24. Färger i WUFI2D

Material	Färg
Tegel (Brick, old)	Röd
Trä (Gran, tangentiellt)	Grön
Isolering	Mörkblå
Luftspalt	Ljusblå
Gipsskiva	Vit
Papp (asphalt impregnated paper)	Svart
Vindpapp (duk av laminert polypropylen)	Lila
Plastfolie (Air and vapor barrier)	Grå

Tabell 25. Inställningar WUFI2D

Inställning	Värde
Max element x-led	90
Max element y-led	60
Begynnevillkor Temperatur	20 °C
Begynnevillkor Relativ fuktighet	80 %
Begynnevillkor Fukthalt	Materialspecifik
Utomhusklimat	Normalår för Eslöv (2000–2019) från Meteonorm 8
Inomhusklimat	EN 15026
Orientering	350 grader söder 170 grader norr
Lutning Tak	50 grader
Värmeöverföringskoefficient Tak	19 W/(m ² K)
Värmeöverföringskoefficient Yttervägg	17 W/(m ² K)
Värmeöverföringskoefficient Inomhus	8 W/(m ² K)
Absorption kortvågig strålning Tak	0,8 (mörk)
Absorption kortvågig strålning Yttervägg	0,68 (tegel)
Sd-värde Tak	1000 m (Asfaltfilt med Alu)
Sd-värde Yttervägg	- (Ingen beläggning)
Sd-värde Innervägg Tegel	- (Ingen beläggning)
Sd-värde Innervägg Målade	0,01 (Silikatfärg)
Vidhäftande del av regn Tak	- (ingen regnvattenabsorption)
Vidhäftande del av regn Yttervägg	0,7
Regnbelastning Tegel	1 % mitt i teglets tjocklek
Luftomsättning Luftspalt	2 oms/h
Beräkningsperiod	2022-01-01 – 2023-12-31

Simuleringar för Bobutiken görs för modell A1, A2, A3, A5 och A6. Det görs ingen simulering för A4 eftersom konstruktionen för den studerade anslutningen är identisk med A3. Det enda som skiljer A3 och A4 är den aktiva kylan i A4 och den antas inte påverka fuktnivåerna. Resultaten för simuleringarna för A3 kan därmed användas till A4 också. Det görs inte heller någon simulering för A7 eftersom modellen är identisk med A2, förutom att närvaron i mötesrummet är ändrad. Närvaron antas inte heller påverka fuktnivåerna tillräckligt mycket för att den enskild modell krävs och resultaten för A2 kan användas till denna modell.



Figur 15. Placering och namn för punkterna som resultat tas fram för

Isopleter tas fram för fyra punkter i konstruktionen, två i takstolens yttersta delar och två i teglet i ytterväggen, se Figur 15. Isopleterna visar temperatur och relativ fuktighet. Eftersom WUFI2D arbetar i steg om en timme, finns det en punkt för varje timme i isopleterna. Desto mörkare punkten är, desto senare timme representerar den. Det innebär att de svarta och mörkgröna punkterna är mest intressanta. För punkterna "Hörn 1" och "Hörn 2" är konstruktionen fuktsäker om det inte finns för många punkter över

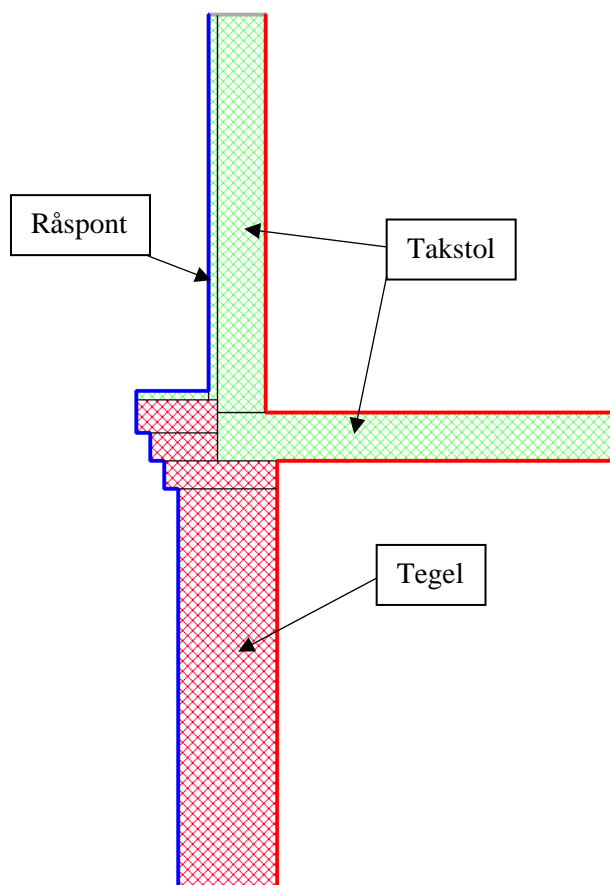
den streckade linjen i isopleten. Den streckade linjen visar gränsvärdet för mögelpåväxt på organiska material och eftersom takstolen är i trä är det den som gäller. För punkten ”Tegel 1” och ”Tegel 2” är det i stället frostsprängning som är risken. Som beskrivits i avsnitt 2.6 finns det risk för frostsador då det blir minusgrader och mer än 90 procent av porerna är vattenfyllda. Att analysera risken för frostsprängning är komplicerat, då det endast är en liten del av detta arbete görs en förenkling i den analysen. I resultaten kommer det bedömas att det finns risk för frostsprängning om det är minusgrader samtidigt som den relativa fuktigheten överskrider 90 procent. En sådan förenkling anses vara rimlig att göra då det viktigaste i detta arbete är att jämföra de olika ombyggnadsåtgärderna, inte att bestämma den exakta risken för frostsprängning för respektive modell.

Om isopleterna för ”Hörn 1” eller ”Hörn 2” har ett stort antal punkter över den streckade linjen tas ett mögelindex fram för den aktuella punkten med WUFI Mould Index VTT. Om mögelindexet överskrider 2 finns det risk för mögelpåväxt. WUFI Mould index VTT utvecklades i samarbete mellan Fraunhofer IBP och det finska forskningsinstitutet VTT. Modellen bygger på många års undersökningar på tillväxtförhållande för mögel på trä och andra byggnadsmaterial av Viitanen och Ojanen (Fraunhofer IBP, u.å.).

Total fukthalt i konstruktionen presenteras också. Det är viktigt att fukthalten inte ökar över tid eftersom det betyder att konstruktionen tar upp och bevarar vatten, vilket kan leda till fuktproblem. Så länge fukthalten minskar eller är stabilt över tid anses den inte vara några problem.

4.6.2 A1 – Befintlig byggnad

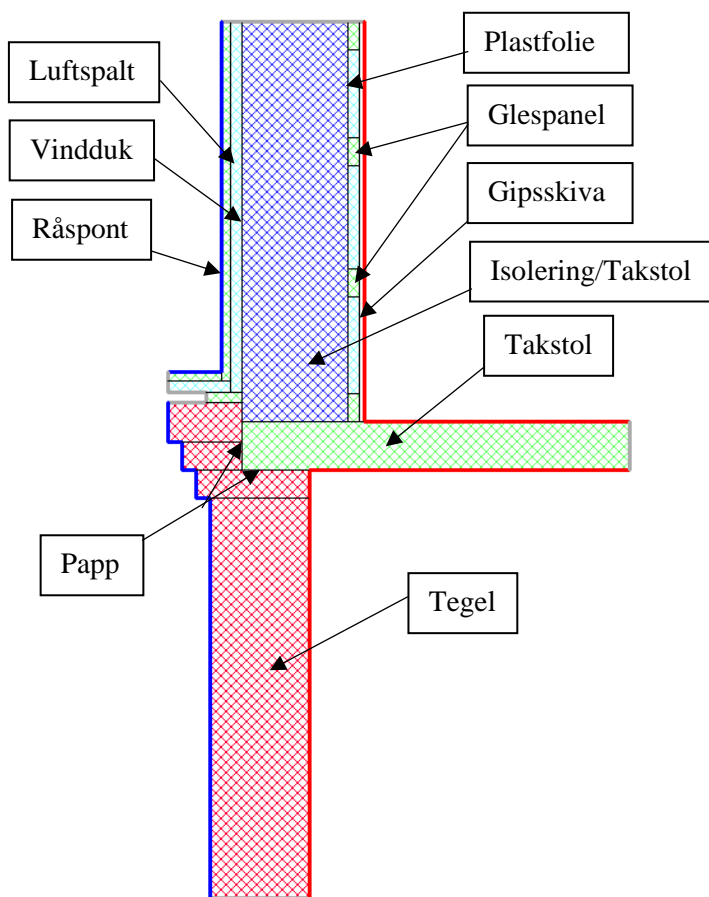
Konstruktionen för befintlig byggnad är mycket enkel. Väggarna är 1-stenstegel upp till takstolarna där väggen breddas till i 1,5-stenstegel i tre steg. Takstolarna som är 120x120 mm är inmurade i tegelväggen. Taket består av takstolarnas högben och en råspont. Modellen är presenterad i Figur 16. Modellen ser likadan ut för simuleringar i både söder och norr.



Figur 16. WUFI2D modell för A1 – Befintlig byggnad

4.6.3 A2 – Projekterat utfall

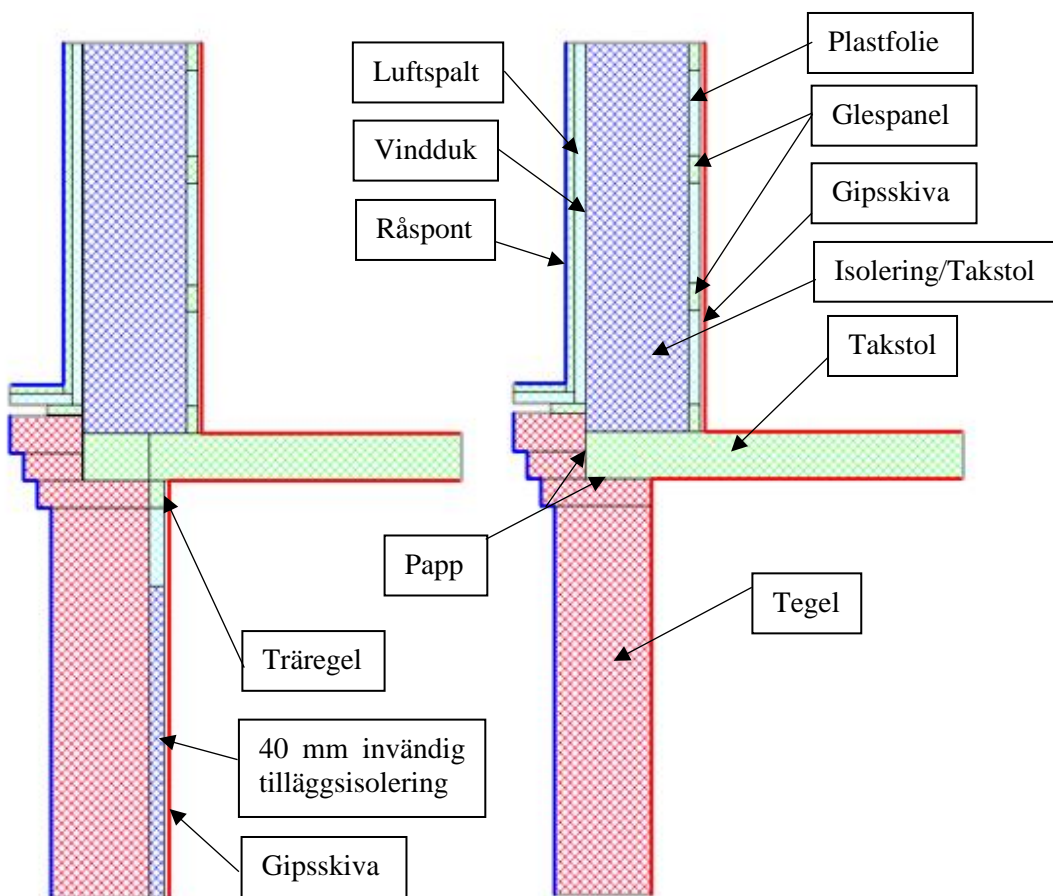
Det projekterade fallet modelleras enligt bygghandlingar och är presenterad i Figur 17. Det finns en papp mellan tegelväggen och takstolen, en vindduk mellan luftspalten och isoleringen i taket och en plastfolie på isoleringens insida i taket, dessa är så tunna att de är svåra att se i figuren. Bobutiken har som beskrivet tidigare ett litet teknikloft på ett mellanbjälklag, men den största delen av byggnaden är ett stort rum ändå upp till nocken med synliga takstolar. Det är den öppna delen som modellen representerar. Modellen ser likadan ut för simuleringar i både söder och norr även i detta fall.



Figur 17. WUFI2D modell för A2 – Projekterat utfall

4.6.4 A3 – Invändig tilläggsisolering av yttervägg

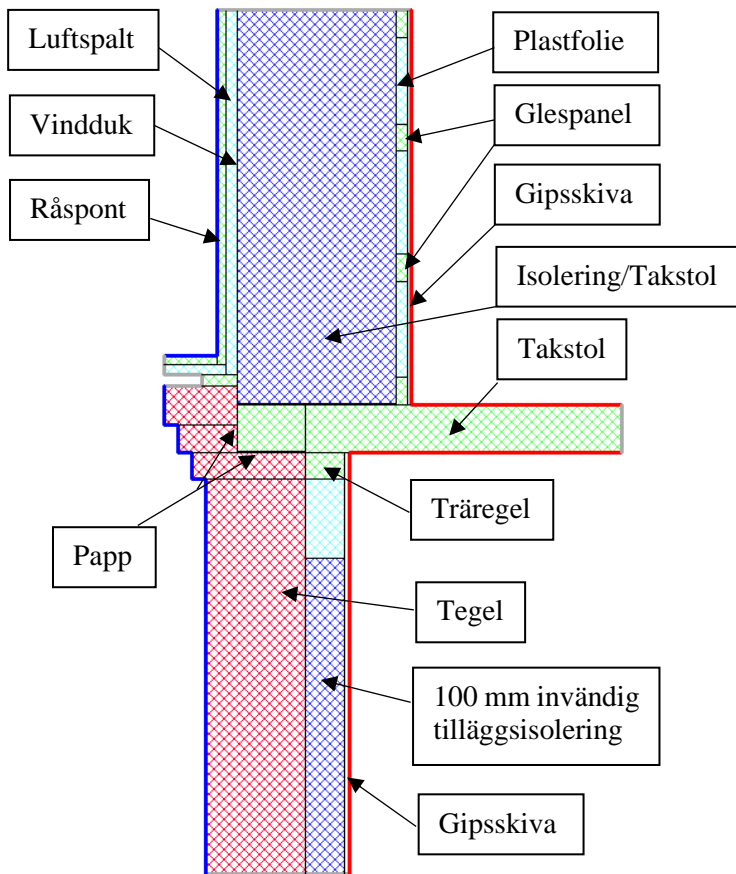
Fallet med invändig tilläggsisolering är likadant som modell A2 förutom att 40 mm invändig tilläggsisolering adderas på ytterväggen i simuleringen för söder. Tilläggsisoleringen slutar 200 mm innan väggens överkant för att skapa ett värmefflöde genom takstolens hörn. På det sättet hamnar den i varmare klimat och förhoppningsvis minskar fuktproblematiken. Simuleringen i norr använder samma modell som A2 då igen invändig tilläggsisolering adderas på denna vägg. Modellerna är presenterade i Figur 18. En gipsskiva sätts på tilläggsisoleringen och för att fästa den sätts en regel in i anslutningen mellan mellanbjälklag och väggen.



Figur 18. WUFI2D modell för A3 – Invändig tilläggsisolering av yttervägg. Söder t.v. och Norr t.h

4.6.5 A5 – Förbättrat klimatskal

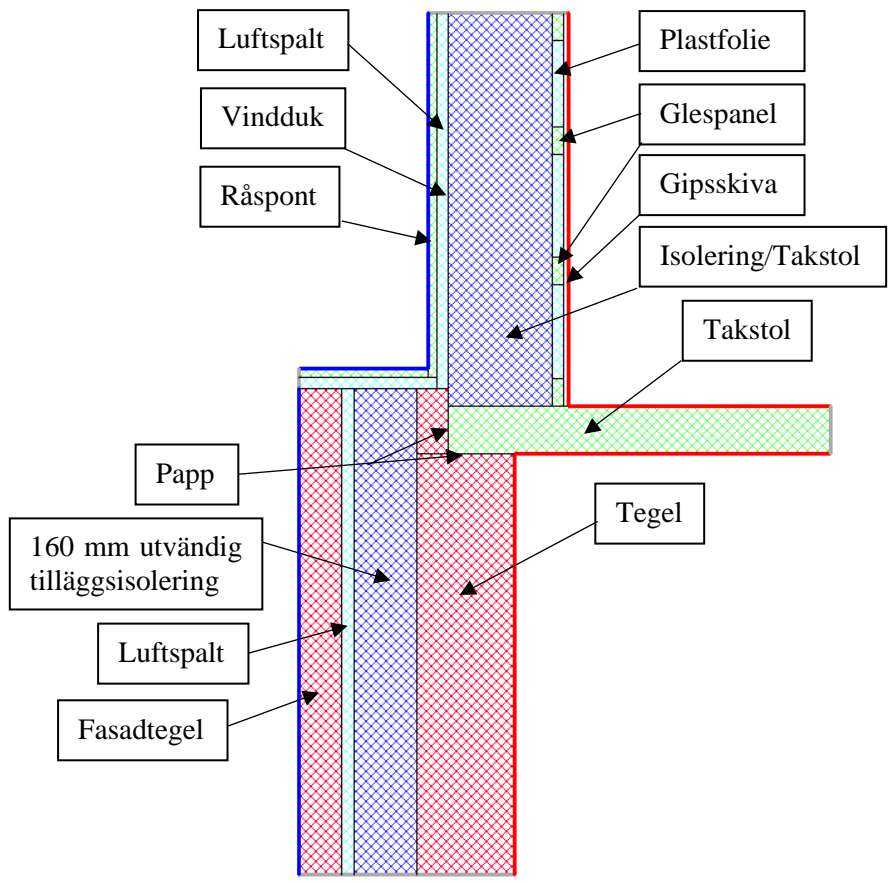
I fallet med förbättrat klimatskal ökas isoleringstjockleken i taket från 265 mm till 400 mm och den invändiga tilläggsisoleringen ökas från 40 mm till 100 mm. Det tilläggsisoleras även på väggen i norr, till skillnad från A3. Dessa åtgärder görs för att minska energianvändningen till uppvärmning av byggnaden så mycket som möjligt. Ur fuktsynpunkt kan det dock bli problematiskt då teglet hamnar i ett kallare klimat. Modellerna ser likadana ut i både söder och norr och är presenterad i Figur 19.



Figur 19. WUFI2D modell för A5 - Förbättrat klimatskal

4.6.6 A6 – Utväändig tilläggsisolering

Den sista modellen för Bobutiken som analyseras i WUFI2D har utväändig tilläggsisolering, annars är den identiskt med A2. Den utväändiga tilläggsisoleringen är 160 mm, utanför denna finns en 30 mm luftspalt och som fasadmaterial är det fasadtegel för att efterlikna byggnadens originalutseende. Modellerna ser likadana ut i både söder och norr och är presenterad i Figur 20.



Figur 20. WUFI2D modell för A6 - Utväändig tilläggsisolering

5 Resultat och analys

Resultat- och analysdelen delas upp i energianvändning, termiskt klimat, fuktsäkerhet och bevarande av kulturvärden. De olika resultaten presenteras och analyseras. Som en sammanfattande del presenteras en tabell med alla modelleringsfall och vilka av kraven för de fyra olika delarna som respektive modell uppfyller.

5.1 Energianvändning

Energianvändningen för ett normalår har simulerats med IDA ICE för de olika modellerna A1-A7 och B1-B4. Detta presenteras i Tabell 26 och Tabell 27.

Tabell 26. Sammanställning av årsenergianvändning för Bobutiken/ MWh

Källa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Belysning	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Ventilation	0 ⁷	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Fjärrkyla	0	0	0	0,5	0,7	0,7	0
Fjärrvärme	54 ⁸	21 ⁸	13 ⁸	13,0 ⁸	6,8 ⁸	5,5 ⁸	21 ⁸
Utrustning	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Totalt	56	23	15	16	9,6	8,1	23

Tabell 27. Sammanställning av årsenergianvändningen för Byggnad 5/ MWh

Källa	B1	B2	B3	B4
Belysning	3,8	3,8	3,8	3,8
Ventilation	0 ⁷	2,7	3,0	3,4
Fjärrkyla	0	2,6	2,7	2,7
Fjärrvärme	182 ⁸	67 ⁸	39 ⁸	25 ⁸
Utrustning	4,4	4,4	4,4	4,4
Totalt	191	80	52	39

⁷ Modell A1 och B1 har endast självdrag och energianvändningen för ventilation blir därmed noll då ventilationssystem saknas. Det har dock modellerats konstant tilluftsflöde i IDA ICE eftersom programmet inte kan behandla självdrag. Energianvändningen som IDA ICE hänvisar till ventilationen redovisas därför inte.

⁸ I fjärrvärmerna ingår även energin för tappvarmvattnet, denna är 505 kWh för Bobutikens modeller och 7 508 kWh i modellerna för byggnad 5. Resterande går till uppvärmning.

Om man ser till den totala fjärrvärmens samt den totala årsenergianvändningen sjunker den i takt med de olika ombyggnadsåtgärderna. Detta är logiskt med tanke på att varje ny modell innehåller en förbättrande renoveringsåtgärd av klimatskalet som sänker transmissionsförlusterna och därmed minskar den totala årsenergianvändningen. Detta gäller dock inte A7 som har samma klimatskal som A2, dessa två har därmed nästan identisk energianvändning på årsbasis. Även A3 och A4, där den enda skillnaden är den aktiva kylan i A4, har i princip identisk energianvändning till uppvärmning. Energianvändning för belysning och utrustning för respektive byggnad och dess olika modeller är konstant då användningen av byggnaderna inte förändras i och med de olika åtgärderna.

För Bobutiken stiger fjärrkylan mellan A4 och A5 för att sedan sjunka igen för modell A6. Detta förklaras sannolikt av att A4 och A5 har invändig tilläggsisolering i olika tjocklekar medan A6 har en utvändig tilläggsisolering. A5 har en tjockare invändig tilläggsisolering än A4 och kommer därför hålla kvar överskottsvärme bättre i byggnaden än A4, därmed krävs mer fjärrkyla i A5. A6 med utvändig tilläggsisolering har ett bättre klimatskal och bör därmed behålla värme bättre än A5, vilket den också gör när värmen kommer inifrån och därmed krävs det mindre uppvärmning under vinterhalvåret. Tegelväggen har dessutom en hög specifik värmekapacitet och värms inte upp lika snabbt av solen under årets varmaste dag eftersom tilläggsisoleringen är på väggens utsida i stället för insidan. Med värmetrogheten i konstruktionen ger detta också stabilare inomhustemperatur då tegelväggen inte kommer att variera lika snabbt som en lättare konstruktion av exempelvis trä hade gjort. På så sätt krävs mindre kyla i A6 jämfört med A5. Det krävs dock mer fjärrkyla än för A4. Detta beror förmodligen på att skillnaden i U-värdet mellan dessa väggar är så pass stor att A6 behåller mer värme än A4 trots att tilläggsisoleringen är på utsidan.

Ventilationen i Bobutiken styrs av koldioxidhalten i samtliga Bobutikens modeller. Eftersom närvaron är så pass låg, och därmed även koldioxidhalten, kommer flödet vara samma i alla modeller då gränsvärdet för ökat flöde ej uppnås i någon av modellerna. I Byggnad 5 är ventilationen däremot temperaturstyrd och energibehovet ökar från modell B2 till B3 och ytterligare till B4. Resonemanget för ökat kylbehov i Bobutiken gäller även för Byggnad 5, enda skillnaden är att det inte finns någon modell för Byggnad 5 som motsvarar A5. Längre perioder med övertemperaturer ökar alltså energibehovet för fjärrkylan från B2 till B3 till B4. Ökande temperaturer är även orsaken till det ökande energibehovet till ventilationen från B2 till B3 och till B4.

För att jämföra olika byggnader med varandra eller jämföra simulerade värden med energikrav är värdet på energianvändningen per kvadratmeter uppvärmd area mer intressant och dessa värden är presenteras i Tabell 28 och Tabell 29. Resultaten för årsenergianvändning per kvadratmeter följer resultaten för hela byggnaderna då och resultatet dividerats med uppvärmd area (A_{temp}).

Tabell 28. Årsenergianvändning per uppvärmd area för Bobutiken/ (kWh/m² A_{temp})

Källa	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Belysning	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
Ventilation	0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Fjärrkyla	0	0	0	6,8	9,5	8,4	0
Fjärrvärme	686	262	168	168	87	70	262
Utrustning	11	11	11	11	11	11	11
Totalt	706	286	193	199	121	103	287

Tabell 29. Årsenergianvändning per uppvärmd area för Byggnad 5/ (kWh/m² A_{temp})

Källa	B1	B2	B3	B4
Belysning	7,0	7,0	7,0	7,0
Ventilation	0	4,9	5,5	6,2
Fjärrkyla	0	4,8	5,0	5,0
Fjärrvärme	333	122	71,0	45,1
Utrustning	8,1	8,1	8,1	8,1
Totalt	348	147	96,6	71,4

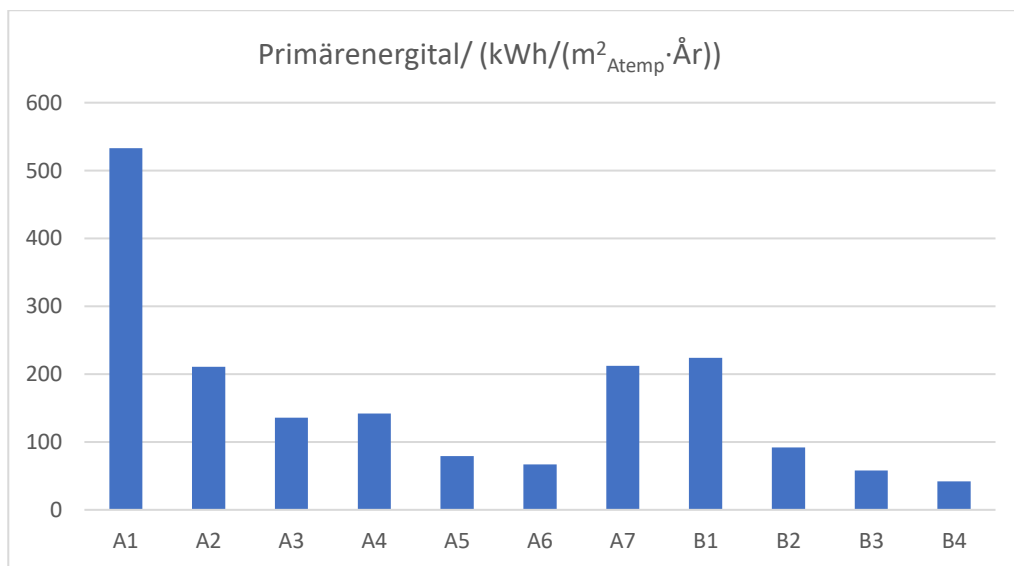
I Tabell 28 respektive Tabell 29 kan man tydligt se att årsenergianvändningen per kvadratmeter är lägre för ombyggnadsåtgärderna på Byggnad 5 än för ombyggnadsåtgärderna för Bobutiken. En avgörande faktor i detta är de olika uppvärmda areorna (A_{temp}) för respektive byggnad, eftersom Byggnad 5 har en större A_{temp} än Bobutiken kan således årsenergianvändningen per kvadratmeter bli lägre för Byggnad 5 än för Bobutiken trots att Byggnad 5 har en betydlig högre total årsenergianvändning.

5.1.1 Primärenergital

Primärenergitalet beräknas med ekvation 1 och resultatet presenteras i tabellform i Tabell 30 och i ett diagram i Figur 21 för att tydligare se hur stor skillnad de olika åtgärderna gör. I ekvation 1 finns en post för fastighetsel som är den el som används till ventilationssystemet. All belysning anses tillhöra verksamhetsel eftersom det inte finns hissar eller något annat i byggnaderna som kan kopplas till fastighetsel. För modellerna utan aktiv kyla blir den andra termen i ekvationen noll. I A1 och B1 sätts även fastighetselen till noll eftersom det inte finns något ventilationsaggregat.

Tabell 30. Primärenergital för respektive modell och jämförelse med BBR:s krav

Modell	Primärenergital/ (kWh/(m ² _{Atemp} ·År))	Uppfyller BBR:s krav på (70 kWh/(m ² _{Atemp} ·År))?
A1	533	Nej
A2	211	Nej
A3	136	Nej
A4	142	Nej
A5	81	Nej
A6	67	Ja
A7	212	Nej
B1	224	Nej
B2	92	Nej
B3	58	Ja
B4	42	Ja



Figur 21. Primärenergital för samtliga modeller

Primärenergitalet sjunker i takt med att klimatskalet förbättras vilket anses rimligt. I Tabell 30 kan man notera att för liknande ombyggnadsåtgärd är primärenergitalet i de flesta fall nästan hälften så stort, eller mer, för Byggnad 5 jämfört med för Bobutiken. Med tanke på att samtliga modeller har samma viktningsfaktorer för ekvation 1 är det till största delen energin för uppvärmning som är den posten som skiljer sig mellan Bobutiken och Byggnad 5 utöver A_{temp} . Med tanke på att årsenergianvändningen för Byggnad 5 också är betydligt större för modell B1 – B4 kan man dra slutsatsen att A_{temp} har en väldigt stor inverkan på primärenergitalet.

Primärenergitalet för modell A1 kan anses vara orimligt stort, det kan dock jämföras med en studie av Krsan slott i Kroatien där primärenergital på upp till 447,4 kWh/m²A_{temp} beräknats vilket även det är väldigt högt (Blecich, et al., 2016). Eftersom Krsan slott har liknande konstruktion som modell A1 och B1 kan storleksordningen för primärenergital jämföras med modell A1 och B1 (533 respektive 224 kWh/m²A_{temp}) och storleksordningen på resultatet kan därför ses som relativt rimliga trots att ventilationsmodelleringen förmodligen ger ett något för högt resultat.

5.1.2 Känslighetsanalys köldbrygga

Värmeflödet för modellen med hela konstruktionen inklusive köldbryggan (se Figur 13) blev:

$$L_{2D} = 3,095 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Värmeflödet för referensmodellen exklusive köldbryggan (se Figur 14) blev:

$$L_{2D,\alpha} = 2,551 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Värmeflödet genom köldbryggan kan då beräknas enligt:

$$\psi = L_{2D} - L_{2D,\alpha} = (3,095 - 2,551) = 0,544 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Detta värde ska jämföras med det valda värdet 0,7 W/(m · K) i IDA ICE. Det valda värdet är något högre, vilket tyder på att köldbryggan har valts på den säkra sidan. Skillnaden är dock så pass liten att antagandet i IDA ICE får anses rimligt. Det är dock viktigt att poängtera att beräkningar endast är gjorda på en köldbrygga i en modell och det är möjligt att valda värden på andra köldbryggor i samma modell eller i andra modeller inte stämmer lika bra överens. Resultatet från känslighetsanalysen ökar dock sannolikheten att relevanta värden har valts. Anledningen till att endast en köldbrygga beräknats är att arbetet annars hade blivit för omfattande och tagit för lång tid.

5.2 Termiskt klimat

5.2.1 Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten för varje rum har simulerats för ett normalår. För Bobutiken studeras den relativa fuktigheten i mötesrummet för att ge en generell bild av den relativa fuktigheten i hela Bobutiken. Mötesrummet kommer sannolikt innehålla fler människor på en mindre yta som påverkas av den relativa fuktigheten mer än i övriga rum i byggnaden. IDA ICE redovisar dessutom en minimal skillnad av den relativa fuktigheten mellan de olika rummen i Bobutiken. För Byggnad 5 analyseras ett rum i bostadsdelen och ett rum i kontorsdelen. I bostaden studeras vardagsrummet då flest personer antas spendera mest tid i vardagsrummet och i kontorsdelen studeras styrelserummet med samma motivering. I Tabell 31 och Tabell 32 redovisas antalet timmar som den relativa fuktigheten under- respektive överskrider rekommenderad relativ fuktighet för en god inomhusmiljö. Detta motsvarar mindre än 20 procent respektive över 70 procent.

Tabell 31. Antalet timmar med RF under 20 % respektive över 70 % för Bobutiken

RF	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
<20%	737	521	569	566	598	603	550
>70%	125	89	30	33	2	2	67
Totalt	862	610	599	599	600	605	617
Andel av året	9,8%	7,0%	6,8%	6,8%	6,8%	6,9%	7,0%

Tabell 32. Antalet timmar med RF under 20 % respektive över 70 % för Byggnad 5

RF	B1	B2	B3	B4
Vardagsrum lgh				
<20%	987	817	824	830
>70%	69	27	2	0
Totalt	1056	844	826	830
Andel av året	12,1%	9,6%	9,4%	9,5%
Styrelserum				
<20%	737	578	575	566
>70%	59	21	4	3
Totalt	796	599	579	569
Andel av året	9,1%	6,8%	6,6%	6,5%

Liknande ombyggnadsåtgärder redovisar liknande resultat i antalet timmar som den relativa fuktigheten understiger 20 procent respektive överstiger 70 procent, särskilt om man bortser från bostaden i Byggnad 5. Till exempel om man studerar det projekterade utfallet för Bobutiken och styrelserummet för Byggnad 5 är differensen endast 10 timmar.

En annan intressant skillnad är att det för alla modeller är drygt 200 fler timmar med en relativ fuktighet på mindre än 20 procent i bostaden jämfört med både Bobutiken och kontorsdelen i Byggnad 5. Detta beror förmodligen på att temperaturinställningarna skiljer sig åt, i Bobutiken och i kontorsdelen i Byggnad 5 ska det vara 20–24 °C medan det ska vara minst 21 °C i bostadsdelen. Under vintern behöver därmed uteluften som tas in i byggnaden värmas upp en grad extra i bostadsdelen, vilket leder till en lägre relativ fuktighet där. När utomhusluften har ett visst fuktinnehåll kommer alltså den relativa fuktigheten vara precis över 20 procent då den värms till 20 °C, men precis under 20 procent då den värms till 21 °C. Detta sker alltså drygt 200 timmar på ett år. I övrigt förändras den relativa fuktigheten inte särskilt mycket mellan modellerna A2 – A7 och modellerna B2 – B4.

Det som sticker ut är modell A1 respektive B1 som redovisar ungefär 200 timmar mer än övriga modeller. Förklaringen till detta bör ligga i att det har hanterats annorlunda i IDA ICE med självdrag som nämnts tidigare. Den stora luftomsättningen kombinerat med ett sämre klimatskal gör att det är betydligt mer luft som tas in i byggnaderna och värms upp. När luften värms upp minskar den relativa fuktigheten i luften och det syns i resultaten då antalet timmar under 20 procent har en större skillnad mellan till exempel A1 och A2 än skillnaden i antalet timmar för RF över 70 procent, se Tabell 31 ovan.

Även modell A5, A6, B3 och B4 sticker ut i form av att de redovisar väldigt få timmar (i vissa fall noll) över 70 procent RF. Varför de visar färre antal timmar än sina föregående modeller bör ligga i det förbättrade klimatskalet. Med tanke på det förbättrade klimatskalet kommer detta innebära lägre transmissionsförluster och ett varmare inomhusklimat. Det varmare inomhusklimatet kommer i sin tur att ge torrare luft inomhus eller med andra ord lägre RF.

5.2.2 Operativ temperatur

Den operativa temperaturen för utvalda rum i Bobutiken och Byggnad 5 analyseras för ett normalår. Majoriteten av Bobutikens modeller saknar aktiv kyla och därmed kommer risken för övertemperaturer att vara stor, även bostadsdelen i Byggnad 5 saknar aktiv kyla. IDA ICE redovisar en minimal skillnad av den operativa temperaturen mellan de olika rummen i byggnaderna vilket gör att den operativa temperaturen i dessa rum representerar hela byggnaderna. I tabeller nedan redovisas antalet timmar under ett

normalår som den operativa temperaturen överskrider 26 °C respektive 28 °C. Den operativa temperaturen tillåts överskrida 26 °C kortvarigt över hela året men under sommaren tillåts den i stället överskrida 28 °C kortvarigt.

Tabell 33. Antal timmar med en operativ temperatur över 26 °C i mötesrummet i Bobutiken

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Mötesrum	508	151	206	0	0	0	154
Andel av året	5,8 %	1,7 %	2,4 %	0 %	0 %	0 %	1,8 %

Tabell 34. Antal timmar med en operativ temperatur över 26 °C i vardags- och styrelserummet i Byggnad 5

	B1	B2	B3	B4
Vardagsrum	650	251	442	653
Andel av året	7,4 %	2,9 %	5,0 %	7,5 %
Styrelserum	177	71	12	111
Andel av året	2,0 %	0,8 %	0,1 %	1,3 %

Tabell 35. Antal timmar med en operativ temperatur över 28 °C i mötesrummet i Bobutiken

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Mötesrum	219	18	36	0	0	0	18
Andel av året	2,5 %	0,2 %	0,4 %	0 %	0 %	0 %	0,2 %

Tabell 36. Antal timmar med en operativ temperatur över 28 °C i vardags- och styrelserummet i Byggnad 5

	B1	B2	B3	B4
Vardagsrum lgh	298	29	110	109
Andel av året	3,4 %	0,3 %	1,3 %	1,2 %
Styrelserum	41	0	0	0
Andel av året	0,5 %	0 %	0 %	0 %

För Bobutikens modeller och för kontorsdelen i Byggnad 5 som har komfortkyla kan man notera väldigt få timmar över 26 °C och än mindre över 28 °C, vilket är logiskt med tanke på att komfortkylan är satt för att hålla en godkänd inomhustemperatur.

Arbetsmiljöverket tillåter att temperaturen för kontor kortvarigt uppgår till 26 °C medan Folkhälsomyndighetens rekommendationer och riktvärden tillåter att temperaturen överstiger 26 °C kortvarigt under året och 28 °C kortvarigt under sommaren vid en tillfällig värmebölja. En kortvarig värmebölja anses enligt Arbetsmiljöverket vara ungefär en vecka (Arbetsmiljöverket, 2023). Om man antar att en värmebölja på ungefär 1 vecka innebär maximalt tio timmar per dag där utomhustemperaturen leder till inomhustemperaturer över 28 °C blir det 70 timmar per år som tillåts i bostaden. Eftersom Arbetsmiljöverket har ett högsta värde på 26 °C, tillåts 70 timmar med inomhustemperaturer över 26 °C i kontorsdelen samt Bobutiken.

Ovan innebär att vardagsrummet i lägenheten för Byggnad 5 över ett normalår kommer ha temperaturer över 28 °C under en total period av året som överstiger kraven från Folkhälsomyndigheten, med undantag för modell B2 som uppfyller kraven. Anledningen bör vara att B2 inte har någon isolering i väggarna som håller kvar överskottsvärmen samtidigt som byggnaden snabbt kan kylas ned när temperaturen utomhus sjunker under sommarkvällar. Dessutom har modell B2 till skillnad mot B1 en modern takkonstruktion som kan motstå solstrålning bättre än det tunna plåttaket i modell B1 som kommer leda till snabb uppvärmning när solen ligger på under varmare dagar. På samma sätt redovisar Tabell 34 att vardagsrummet för lägenheten i Byggnad 5 kommer att uppvisa temperaturer över 26 °C som inte anses falla under kategorin kortvarigt. Även här redovisar modell B2 minst antal timmar över 26 °C, vilket också antas ha att göra med högt U-värde för väggarna medan taket kan motstå solstrålning och därmed uppvärmning väl. I modell B3 och B4 ökar förmågan att hålla kvar värmen i form av invändig respektive utvändig tilläggsisolering vilket gör det rimligt att det blir fler timmar med övertemperaturer i de modellerna eftersom det inte finns någon komfortkyla i bostaden.

Kontorsdelen i Byggnad 5, som representeras av styrelserummet, uppfyller inte kraven för B1 och B4 trots komfortkylan. B1 påverkas sannolikt av den snabba uppvärmningen i form av lågt U-värde för väggarna och rummet kan därför värmas upp mycket snabbt då det vetter mot sydväst. Komfortkylan klarar förmodligen inte av dessa snabba temperaturväxlingar. B4 med utvändig tilläggsisolering kan förmodligen hantera solinstrålning bättre men kommer också att hålla kvar värmen efter att teglet innanför isoleringen värmts upp. I B2 och B3 kommer tegelväggen att kunna absorbera värmen och hålla en del av värmen utanför isoleringen och därmed hjälpa till att hålla nere temperaturen i styrelserummet. B2 är precis på gränsen med 71 timmar över 26 °C, men det får anses vara godkänt.

Alla modeller utan aktiv kyla för Bobutiken, det vill säga A1-A3 och A7, har mer än 70 timmar över 26 °C, vilket gör att de inte uppfyller kravet. Det mest intressanta med detta är att det projekterade utfallet, alltså A2, förmodligen kommer ha problem med

inomhustemperaturen under sommaren. En kontorsbyggnad utan aktiv kyla är inte särskilt vanligt, men i detta fall beror det förmodligen på att Ebo har den stora kontorsdelen i Byggnad 5 som har aktiv kyla och att de anställda kan utnyttja dessa arbetsplatser vid behov.

En intressant iakttagelse är ökningen av antalet timmar som den operativa temperaturen överstiger 26 °C mellan modell B3 och B4 i Tabell 34. Ökningen antas motiveras med att köldbryggorna har förbättrats mellan modell B3 och B4 vilket innebär en minskad effektförlust i modell B4 jämfört med modell B3. Värmen antas även hållas kvar bättre i byggnaden i form av den utvändiga tilläggsisoleringen som bidrar till att de värmetröga tegelväggarna hamnar i ett varmare klimat.

Sammanfattningsvis är det modellerna A4, A5 och A6 i Bobutiken som uppfyller kravet på operativ temperatur. I kontorsdelen i Byggnad 5 uppfyller modellerna B2 och B3 kraven och i bostadsdelen uppfyller endast B2 kraven.

5.2.3 Andel missnöjda med inomhusklimatet

De datum som studeras i IDA ICE är den 14 juli respektive den 16 januari, vilket är den varmaste respektive den kallaste dagen under året. PPD över dygnet studeras för dessa två datum för utvalda rum i respektive modell och presenteras i Tabell 37 och Tabell 38 nedan.

Tabell 37. Andelen missnöjda med inomhusklimatet för Bobutikens modeller

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Mötesrum							
16:e januari kl. 16.00	33,5 %	26,3 %	21,3 %	21,6 %	19,3 %	18,0 %	25,0 %
14:e juli kl. 16.00	90,3 %	23,8 %	44,5 %	7,3 %	7,1 %	7,1 %	28,0 %

Tabell 38. Andelen missnöjda med inomhusklimatet för Byggnad 5:s modeller

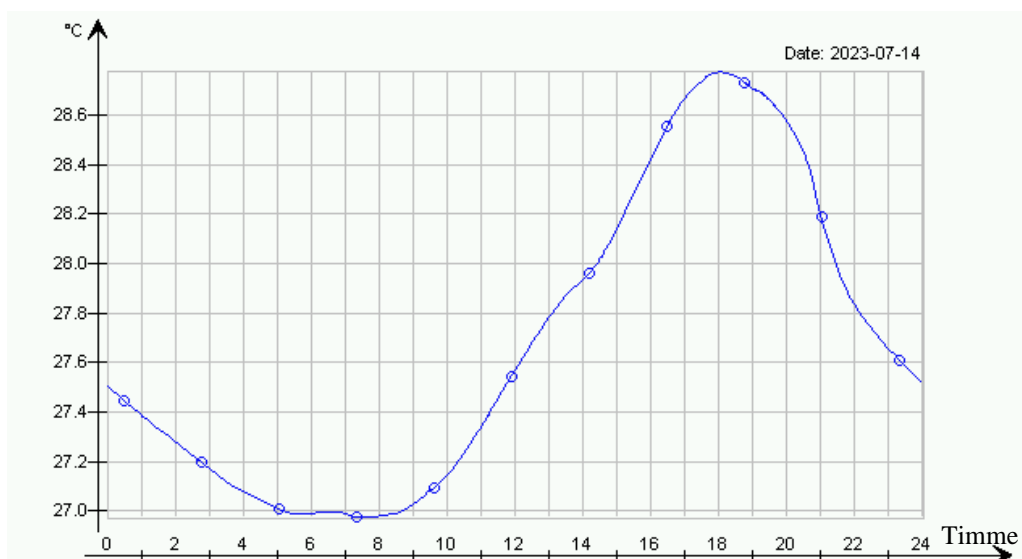
Tid	B1	B2	B3	B4
Vardagsrum				
16:e januari kl. 6.00	81,0 %	78,8 %	71,3 %	64,3 %
16:e januari kl. 18.00	81,0 %	78,6 %	70,9 %	64,1 %
14:e juli kl. 6.00	5,6 %	5,5 %	6,9 %	9,9 %
14:e juli kl. 18.00	64,9 %	12,3 %	31,4 %	33,2 %
Styrelserum				
16:e januari kl. 16.00	25,8 %	20,3 %	19,3 %	18,2 %
14:e juli kl. 16.00	43,3 %	11,8 %	12,1 %	12,3 %

PPD för styrelserummet i Byggnad 5 har en ytterst liten variation över kontorstiden, med stor sannolikhet på grund av komfortkyllan, och därför redovisas endast PPD för kl. 16.00 då värdet är som högst. För vardagsrummet redovisas PPD för morgon (kl. 06.00) respektive kväll (kl. 18.00) då PPD uppvisade en stor variation från att man lämnat bostaden tills att man kommit tillbaka.

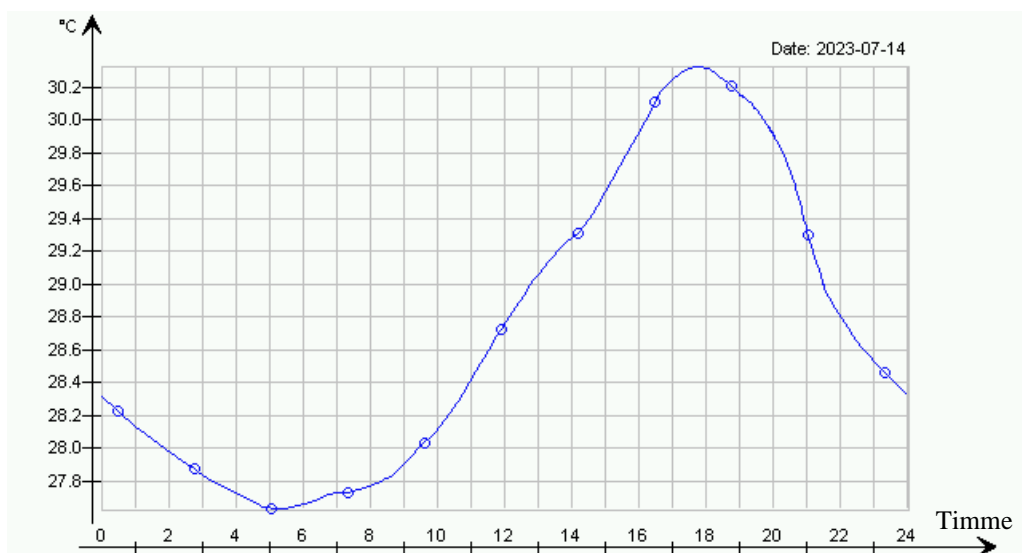
Generellt minskar andelen missnöjda med inomhusklimatet i linje med de förbättrande ombyggnadsåtgärderna. Det som sticker ut och bryter mönstret är åtgärderna efter modell B2, alltså modell B3 och B4, mer specifikt för lägenheten under den varmare tiden som inträffar den 14 juli. Detta framgår tydligt i

Tabell 38 och andelen missnöjda med inomhusklimatet stiger i stället för att fortsätta minska. Detta beror med stor sannolikhet på att ombyggnadsåtgärderna i B3 respektive B4 har en bättre förmåga att hålla kvar värmen i byggnaden än modell B2. Det är även intressant att andelen missnöjda med inomhusklimatet mellan modell B3 och B4 (även modell A5 och A6) går åt olika håll för vinter- respektive sommarfallet. Detta har sannolikt att göra med det förbättrade klimatskalet och därmed minskade köldbryggor vilket resulterar i minskad effektförlust. Den minskade effektförlusten gör det besvärligare på sommaren men bättre på vintern.

Ett förbättrat klimatskal i kombination med att det inte finns någon komfortkylla i bostaden skapar ett varmare klimat i lägenheten och det framgår tydligt att bostaden inte hinner sänka sin operativa temperatur på natten likt B1 och B2. På samma sätt upplevs bostaden varmare då den operativa temperaturen för B3 och B4 även kommer att vara högre vid kl. 18.00. Genom att studera diagram för den operativa temperaturen under dygnet den 14 juli för modell B2 och B3 kan man jämföra och se hur det förbättrade klimatskalet skapar ett varmare inomhusklimat. Den operativa temperaturen för vardagsrummet den 14 juli presenteras för modell B2 och B3 i Figur 22 respektive Figur 23 nedan. I B2 varierar temperaturerna från 27 °C till knappt 29 °C, medan den varierar från 27,5 °C till 30,5 °C i B3.

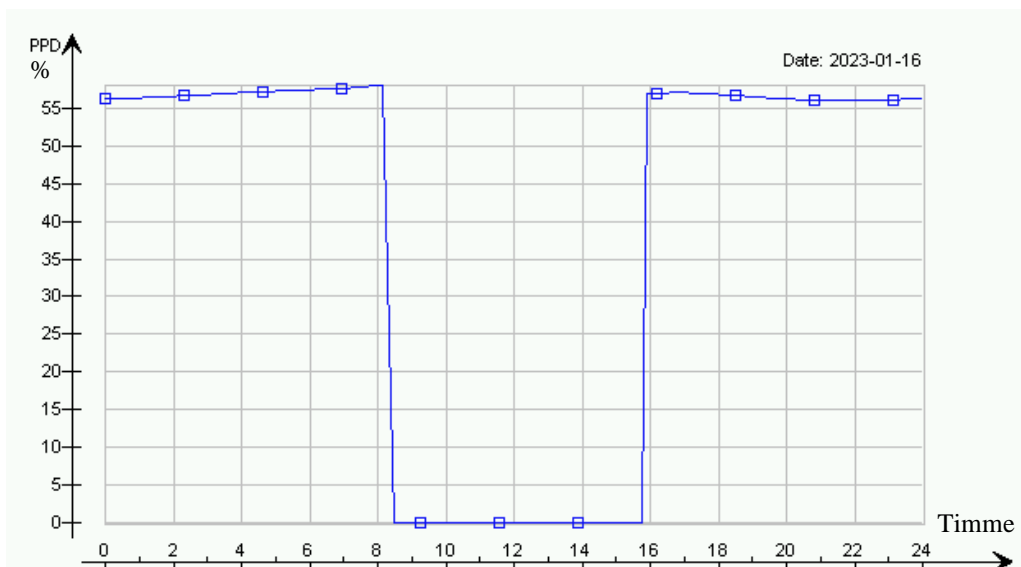


Figur 22. Den operativa temperaturen för vardagsrum i lägenhet den 14:e juli, Modell B2

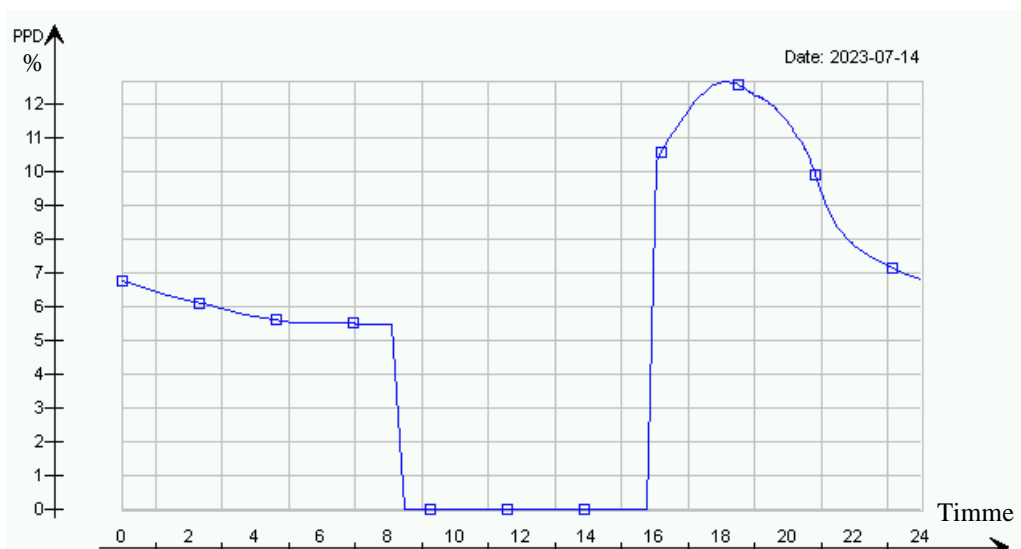


Figur 23. Den operativa temperaturen för vardagsrum i lägenhet den 14:e juli, Modell B3

Genom att studera vardagsrummet i modell B2 och jämföra sommar- och vinterfallet kan man tydligt se hur ytemperaturerna och lufttemperaturen påverkar den operativa temperaturen och andelen missnöjda. I Figur 24 respektive Figur 25 redovisas andelen missnöjda vid de respektive årstiderna. Under vintern är andelen missnöjda på en jämn nivå över dygnet (när brukare finns i bostaden) medan sommarfallet redovisar en lägre andel missnöjda under förmiddagen för att på eftermiddagen visa en större andel missnöjda.

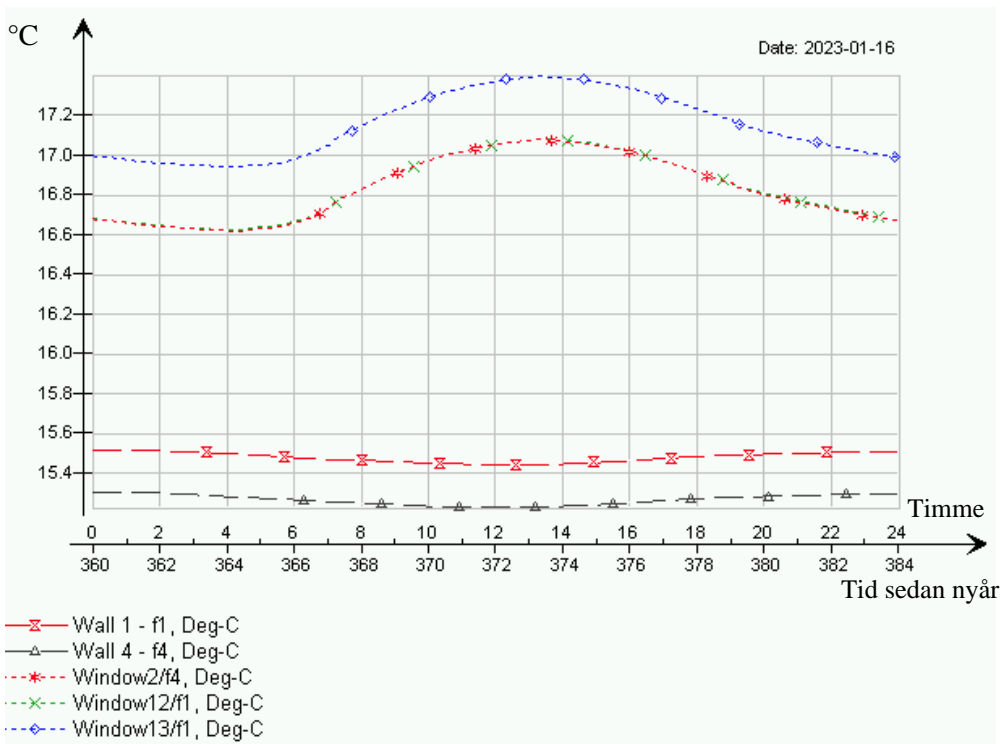


Figur 24. Andelen missnöjda i vardagsrummet under vinterfallet för modell B2

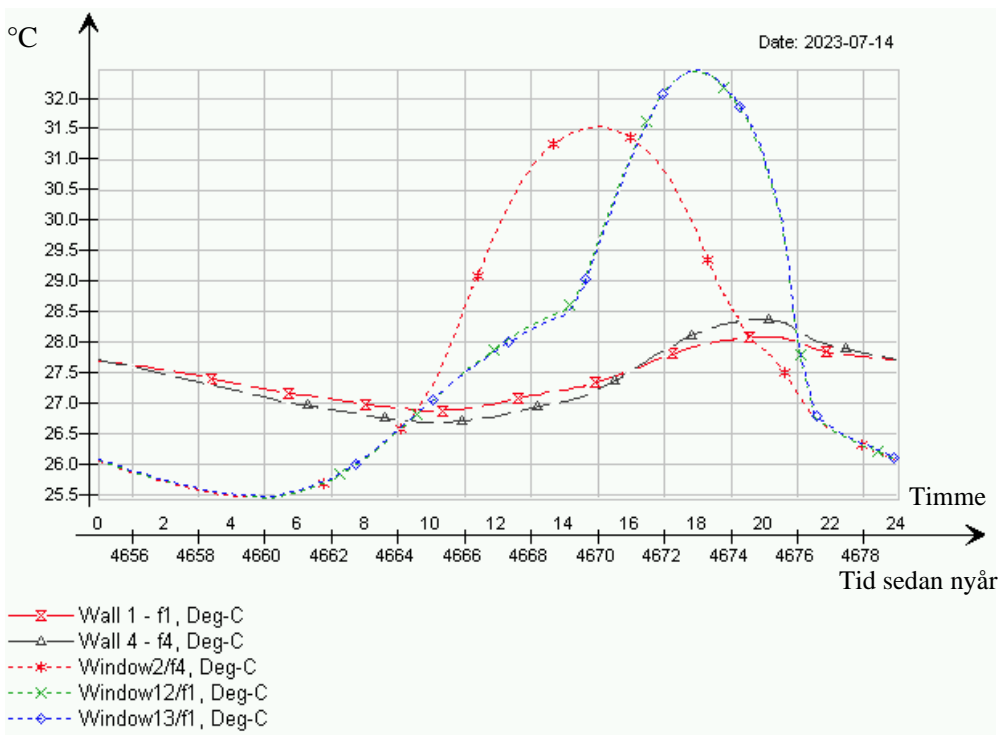


Figur 25. Andelen missnöjda i vardagsrummet under sommarfallet för modell B2

I Figur 26 och Figur 27 presenteras ytemperaturer för klimatskalet som för vardagsrummet består av yttervägg och fönster. För vinterfallet i Figur 26 kan man notera att ytemperaturerna håller en jämn men låg nivå, vilket med stor sannolikhet kommer att resultera i att brukare upplever obehag av kall strålning från yttervägg och fönster. I sommarfallet som presenteras i Figur 27 uppvisas en stor variation bland ytemperaturerna och anledningen till detta bör vara solstrålningen som till exempel snabbt värmer upp fönstren till höga temperaturer.



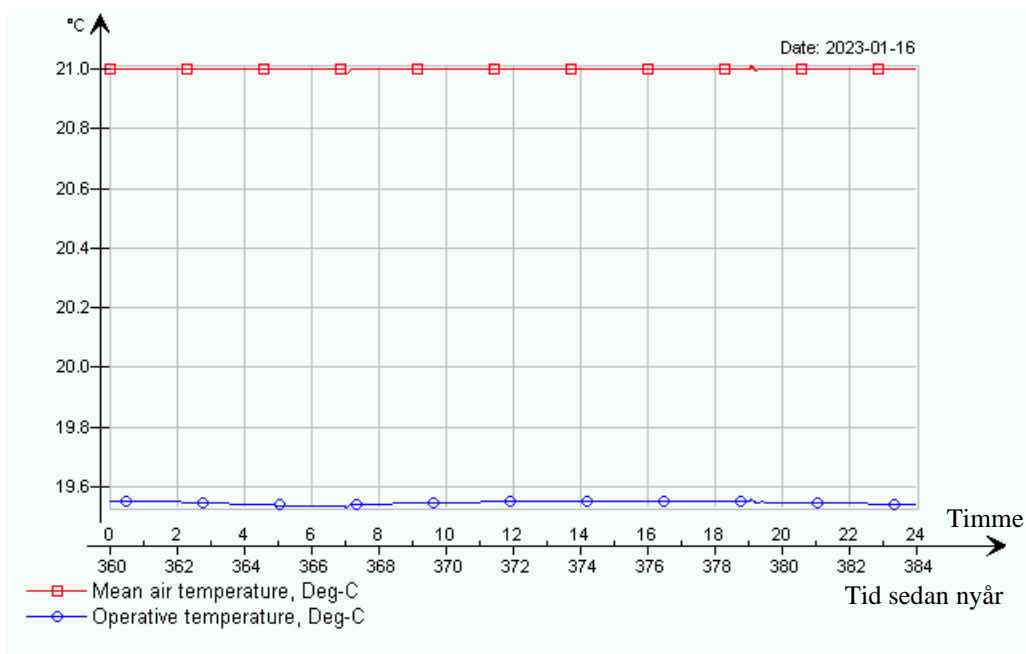
Figur 26. Yttertemperaturer för klimatskalet i vardagsrummet under vinterfallet för modell B2



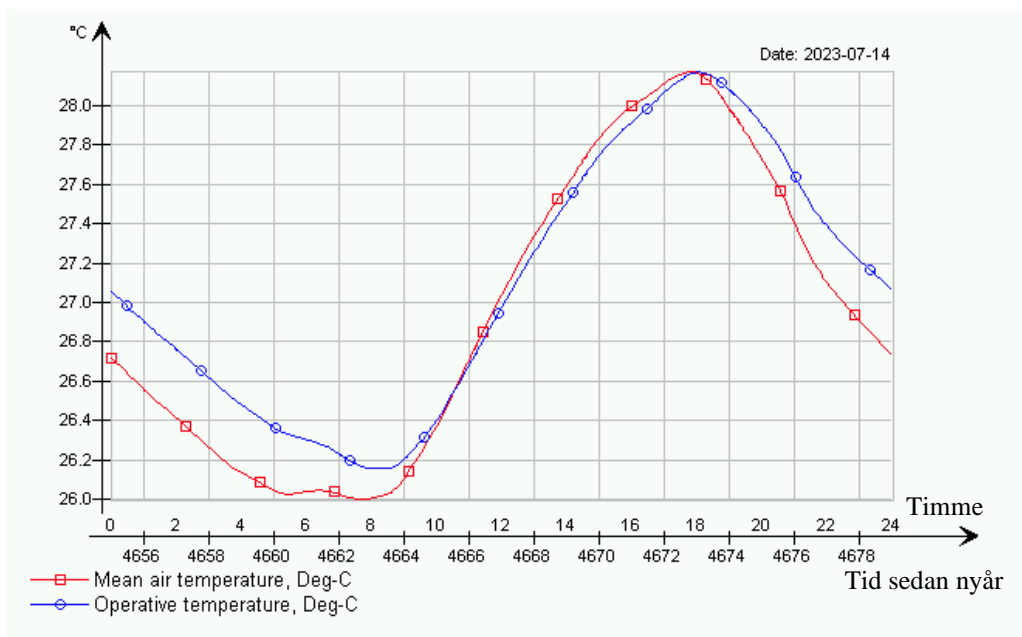
Figur 27. Yttertemperaturer för klimatskalet i vardagsrummet under sommarfallet för modell B2

Genom att studera lufttemperaturen och den operativa temperaturen kan man se hur yttemperaturerna påverkar den upplevda temperaturen (operativa temperaturen). I Figur 28 nedan för vinterfallet kan man se att lufttemperaturen håller sig konstant på 21 °C vilket är den lägsta inställda temperaturen medan den operativa temperaturen ligger konstant strax under 19,6 °C. Detta beror på att yttemperaturerna under vintern sänker den operativa temperaturen i rummet, vilket gör att upplevelsen i vistelsezonen känns kall och således ger det höga PPD-indexet som redovisats i Figur 24.

I Figur 29 kan man notera att operativa temperaturen och medellufttemperaturen följer varandra under sommarfallet och detta beror på att omgivande ytor i stället värmer upp luften för att kyla den som under vinterfallet. Dock blir den operativa temperaturen väldigt hög och drar därför upp PPD-indexet, särskilt tydligt under eftermiddagen när solen värmt upp bostaden och brukarschemat startar igen.

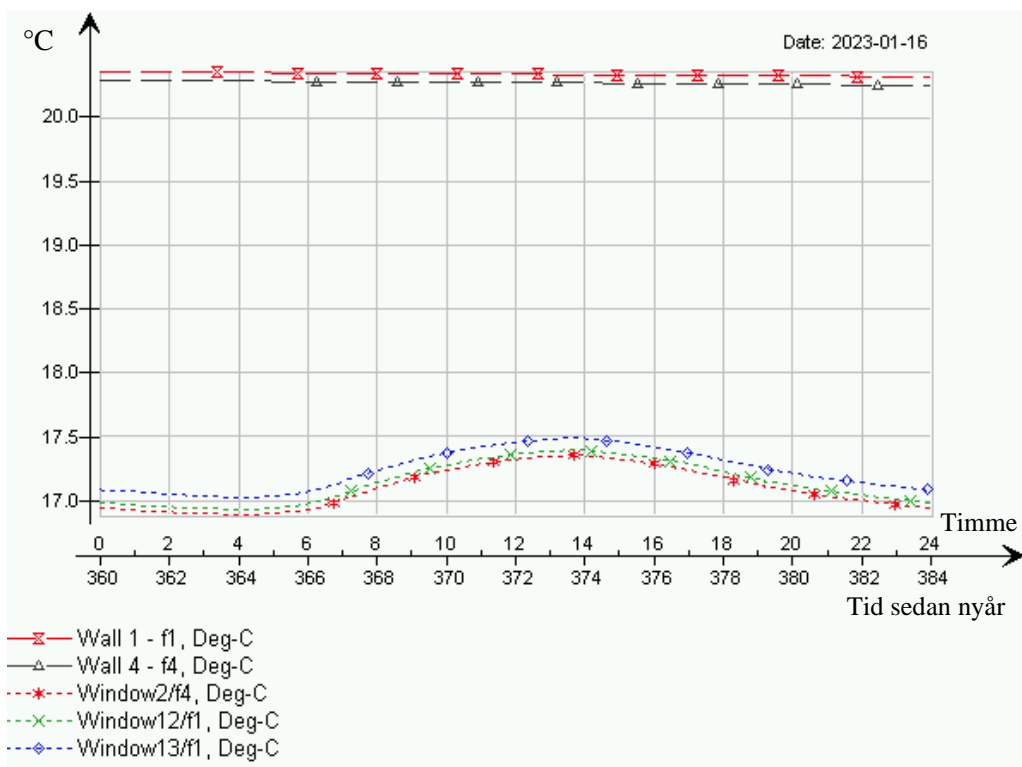


Figur 28. Medellufttemperaturen och den operativa temperaturen i vardagsrummet under vinterfallet för modell B2

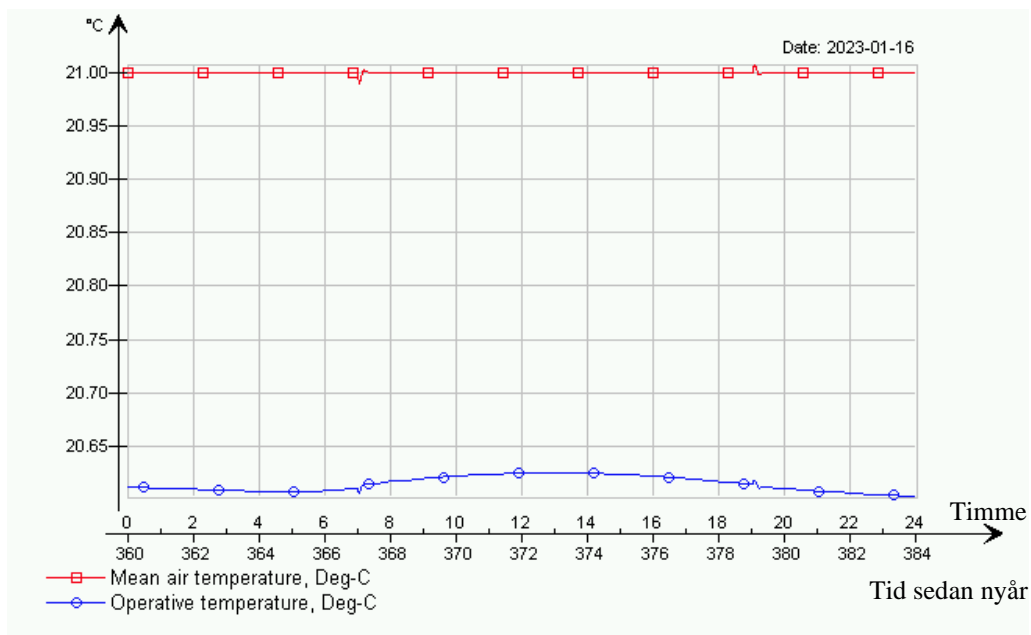


Figur 29. Medellufttemperaturen och den operativa temperaturen i vardagsrummet under sommarfallet för modell B2

Generellt sett är anledningen till att PPD-index sjunker i takt med ombyggnadsåtgärderna att under vinterfallet kommer yttemperaturerna att bli högre då klimatskalet förbättras. Detta kommer leda till en högre operativ temperatur och skillnaden mellan lufttemperaturen och den operativa temperaturen kommer att bli mindre. Det som sticker ut under vinterfallet är vardagsrummet för respektive modell (B1–B4) som trots utvändig tilläggsisolering uppvisar högt PPD-index över dygnet. Studerar man yttemperaturerna i vardagsrummet för modell B4, Figur 30, kan man notera att fönstren är det som uppvisar en låg yttemperatur. Studerar man även lufttemperaturen och den operativa temperaturen i vardagsrummet för modell B4, Figur 31, kan man notera att den operativa temperaturen inte riktigt når upp till 21 °C men inte långt ifrån (20,6 °C) och det är förmodligen anledningen till det höga PPD-indexet under vintern. Eftersom kravet är satt till 21 °C kommer PPD-indexet att redovisas som högt men i verkligheten kommer antagligen inte inomhusklimatet uppfattas på det sättet med tanke på att den operativa temperaturen ändå är så pass nära kravet.



Figur 30. Yttertemperaturer för klimatskal i vardagsrummet modell B4



Figur 31. Medellufttemperatur och operativ temperatur för vardagsrummet modell B4

I övrigt antas PPD-index för mötesrummet under vinterfallet för modell A1–A7 bero på låga yttemperaturer. Detsamma gäller för styrelserummet i modell B1–B4. Slutligen kan det höga PPD-indexet för vardagsrummet i modell B1–B4 under eftermiddagen på sommaren antas bero på att det saknas kyla och att bostaden har värmts upp under dagen.

5.2.4 Sammanfattning termiskt klimat

För att i slutet av resultatdelen kunna presentera vilka av modellerna som uppfyller kraven och rekommendationerna på energianvändning, termiskt klimat, fuktsäkerhet och kulturbevarande måste alla resultat som behandlar termiskt klimat sammanfattas.

När det kommer till exempelvis energianvändning är det mycket tydligt om modellerna klarar kraven på primärenergital eller inte. Det är inte lika tydligt när det handlar om det termiska klimatet eftersom det innehåller många faktorer. Därför kommer de olika modellerna för Bobutiken respektive Byggnad 5 rangordnas inbördes efter hur bra det termiska klimatet förväntas bli i stället för att de delas upp i vilka som klarar respektive inte klarar kraven och rekommendationerna.

Faktorerna relativ fuktighet (Antal timmar mindre än 20 procent respektive över 70 procent), Operativ temperatur (Antal timmar övertemperatur) och PPD (%) rangordnas först enskilt från 1–7 för Bobutiken och 1–4 för Byggnad 5, där 1 är bäst. Sedan adderas siffrorna från de tre faktorerna och den som får lägst totalsumma får 1 i sammanvägningen och så vidare. Rangordningen för Bobutiken presenteras i Tabell 39 och för Byggnad 5 i Tabell 40.

Tabell 39. Rangordning av Bobutikens modeller med avseende termiskt klimat

Bobutik	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Relativ fuktighet	7	5	1 ⁹	1 ⁹	3	4	6
Operativ temperatur	7	4	6	1 ⁹	1 ⁹	1 ⁹	5
PPD	7	4	6	3	2	1	5
Totalt	7	4¹⁰	5¹⁰	1	2	3	6

⁹ Delad 1:a på grund av samma resultat.

¹⁰ Samma totalsumma, men operativ temperatur och PPD anses vara viktigare än den relativa fuktigheten. Därav rankas A2 bättre än A3.

Tabell 40. Rangordning av Byggnad 5:s modeller med avseende termiskt klimat.

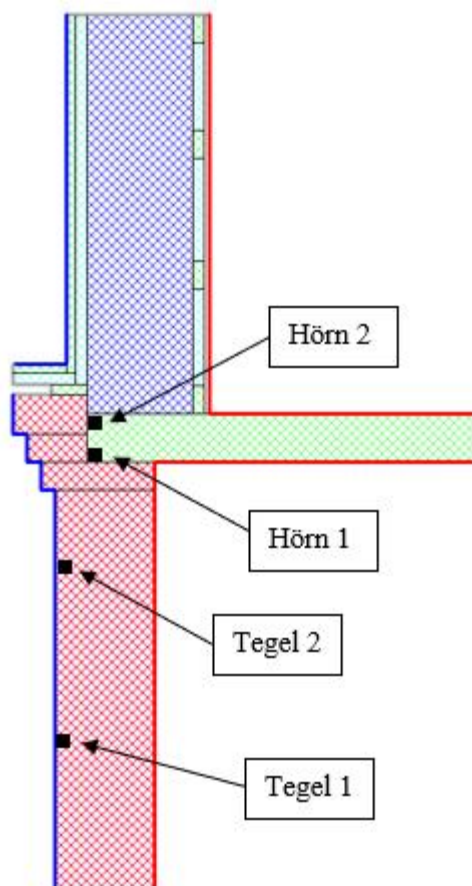
Byggnad 5	B1	B2	B3	B4
Vardagsrum lgh				
Relativ fuktighet	4	3	1	2
Operativ temperatur	4	1	2	3
PPD	4	2	3	1
Styrelserum				
Relativ fuktighet	4	3	2	1
Operativ Temperatur	4	2	1	3
PPD	4	3	2	1
Totalt	4	3	2	1

Det allra tydligaste resultatet är både A1 och B1 presterar sämst. Eftersom de modellerna inte fått några förbättringar i klimatskalet är det rimligt. Dessutom påverkar förmodligen hur självdraget modellerats som nämnts tidigare. Övriga modeller uppvisar relativt liknande resultat. För Bobutiken är det tydligt att modellerna med aktiv kyla presterar bäst. Om man bortser från modellerna med aktiv kyla är det A2, det verkliga utfallet, som ger bäst resultat. För Byggnad 5, där det endast är klimatskalet som ändras mellan modell B2-B4, förbättras resultaten när klimatskalet förbättras.

Det är även tydligt att det som påverkar det termiska klimatet mest i form av operativ temperatur kombinerat med andelen missnöjda (PPD) är problemet med kalla ytor för de olika ombyggnadsåtgärderna. Som nämnt i avsnitt 5.2.3 finns det ett tydligt samband mellan medellufttemperaturen, yttemperaturerna och den operativa temperaturen, även om medellufttemperaturen håller ställda krav så påverkas den operativa temperaturen negativt av de kalla ytorna och den operativa temperaturen framstår som låg. Särskilt tydligt presenteras detta i Figur 26 där yttemperaturerna i modell B2 under vintern är väldigt låga och tydligt påverkar den operativa temperaturen i Figur 28 trots att medellufttemperaturen hålls konstant på rätt nivå.

5.3 Fuktsäkerhet

Resultaten för fyra punkter i konstruktionen analyseras, två i takstolen och två i tegelväggens fasad. Punkternas placering och namn visas i Figur 32. Figuren visar modell A2, men punkterna gäller för samtliga modeller och är placerade på samma ställe. Isopleter med relativ fuktighet och temperatur tas fram för punkterna.



Figur 32. Placering och namn för punkterna som resultat tas fram för

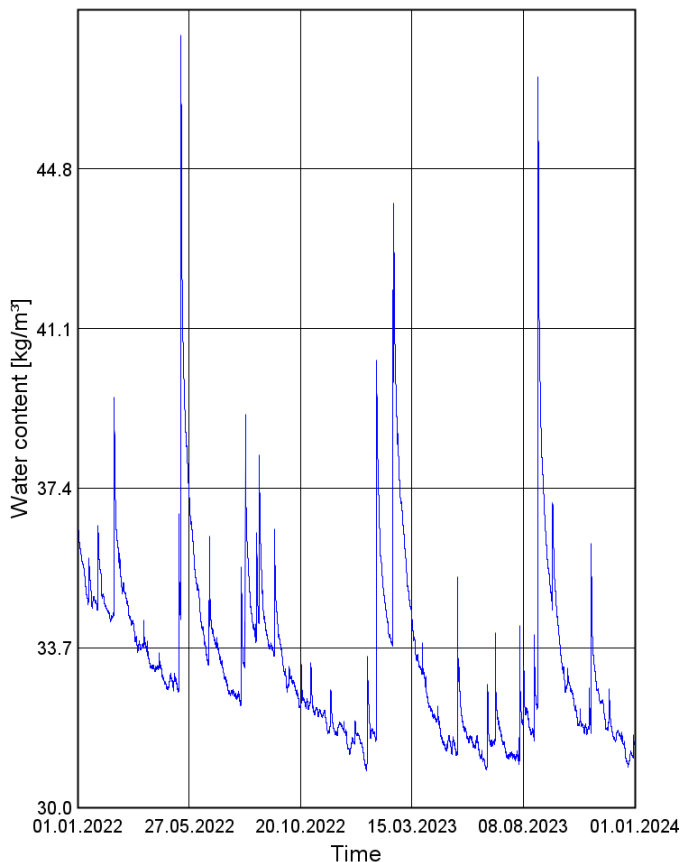
Resultaten för de fyra punkterna presenteras i efterföljande kapitel för respektive modell.

5.3.1 A1 – Befintlig byggnad

5.3.1.1 Norr

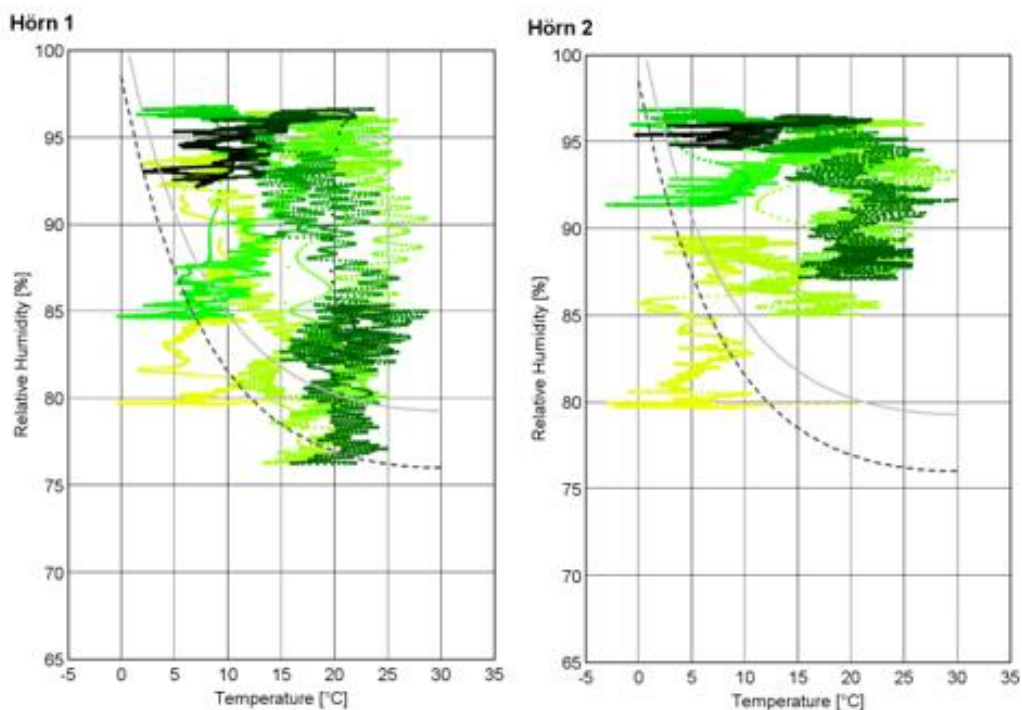
Den totala fukthalten för A1 norr presenteras i Figur 33. Fukthalten ökar inte kontinuerligt, vilket är bra eftersom vatten inte binds i konstruktionen. De tre topparna beror förmodligen på stora regnmängder under kort tid. Eftersom topparna är kortvariga verkar konstruktionen kunna torka ut bra.

Total Water Content



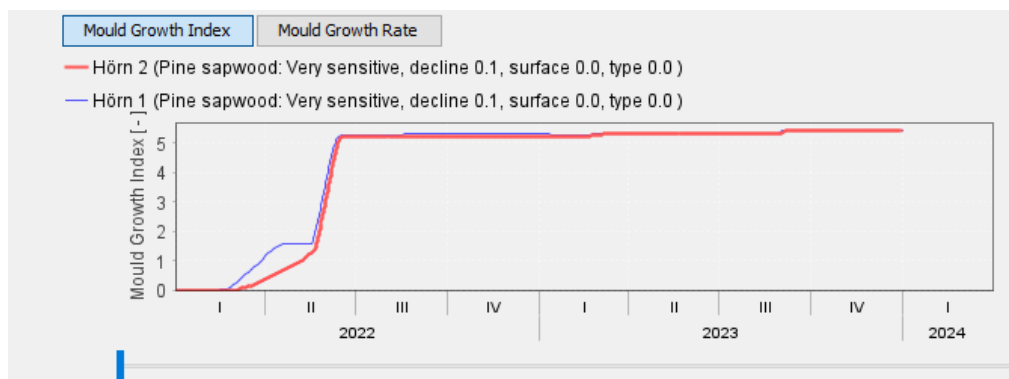
Figur 33. Total fukthalt för A1 Norr

Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" presenteras i Figur 34. Båda dessa har många punkter över den streckade linjen. Detta kan förklaras med att det inte finns någon isolering i konstruktionen och därmed hamnar takstolens yttersta del i princip i samma klimat som det är utomhus.



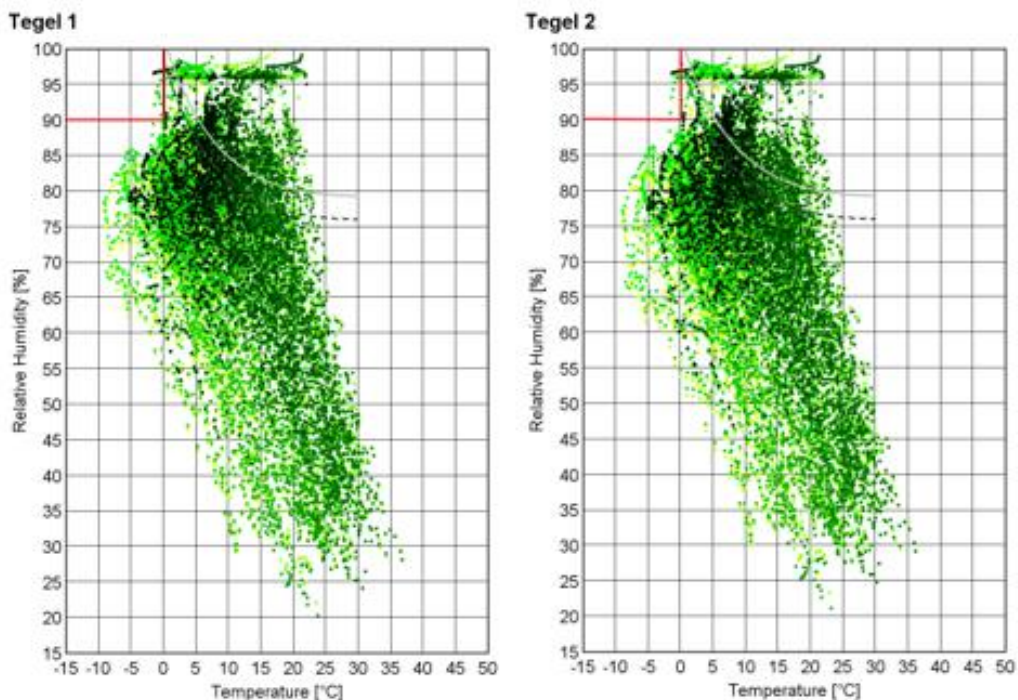
Figur 34. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A1 Norr

Eftersom punkter ligger över gränsen tas mögelindex fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2", de presenteras i Figur 35. Figuren visar att indexet är högt över 2 för båda hörnen redan under första året. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker.



Figur 35. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A1 Norr

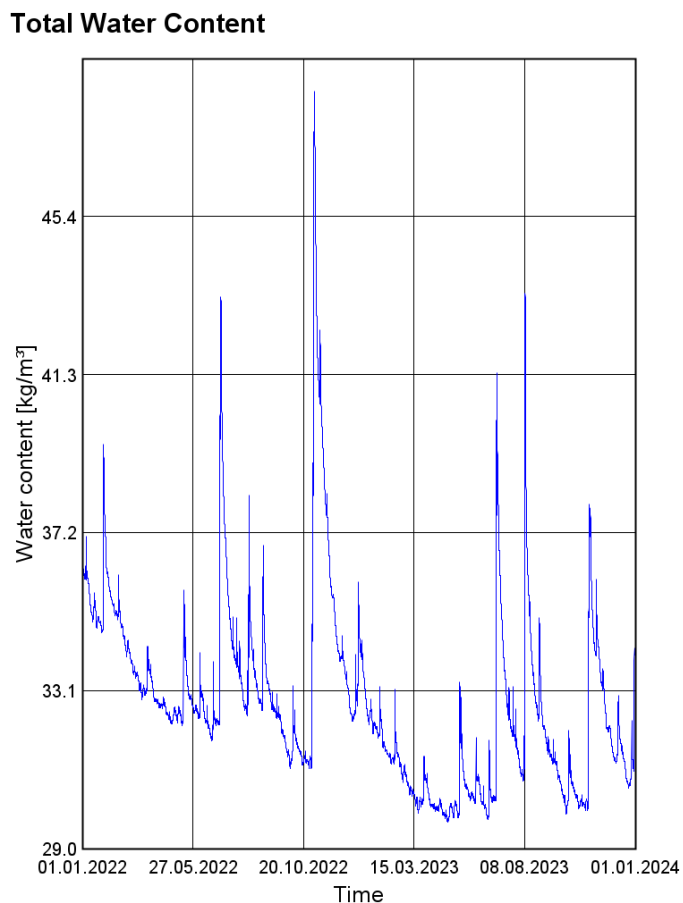
Isopleten för "Tegel 1" och "Tegel 2" är presenterad i Figur 36. Det finns ett par punkter med minusgrader och över 90 procent relativ fuktighet vilket gör att det finns en liten risk för frostsprängning. Eftersom det bara krävs en frysning för att teglet ska gå sönder kan inte frostsprängning uteslutas. De två analyserade punkterna har mycket lika isopleter, det är rimligt eftersom ingen del av väggen är tilläggsisolerad. Detta ger ett jämnt fördelat värmefflöde över hela väggen och därmed bör det vara liknande temperatur och relativ fuktighet i båda punkterna vid samma tidpunkt



Figur 36. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för Al Norr

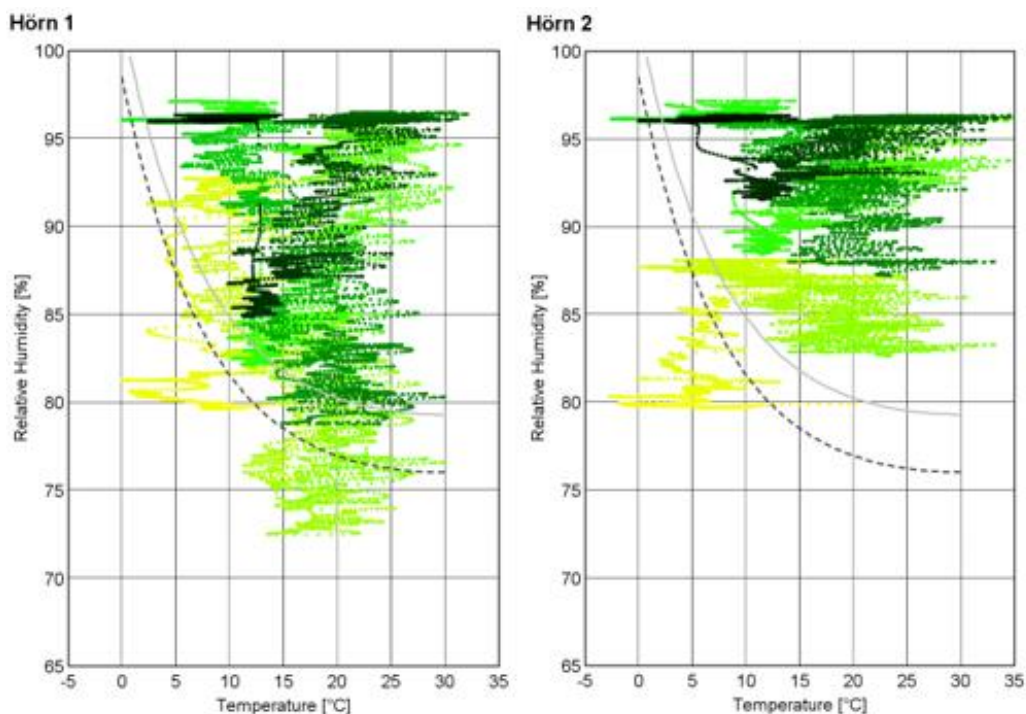
5.3.1.2 Söder

Den totala fukthalten för A1 söder presenteras i Figur 37. Fukthalten är relativt stabil förutom ett par toppar likt modellen i norr, samma resonemang gäller därmed även i söder som för norr.



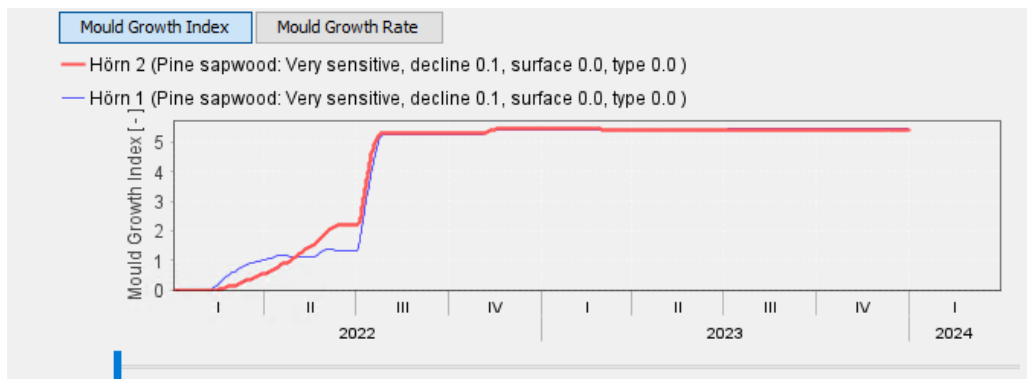
Figur 37. Total fukthalt för A1 Söder

Isopleter för ”Hörn 1” och ”Hörn 2” presenteras i Figur 38. Precis som för modellen i norr ligger många punkter över den streckade linjen och mögelindex tas därför fram.



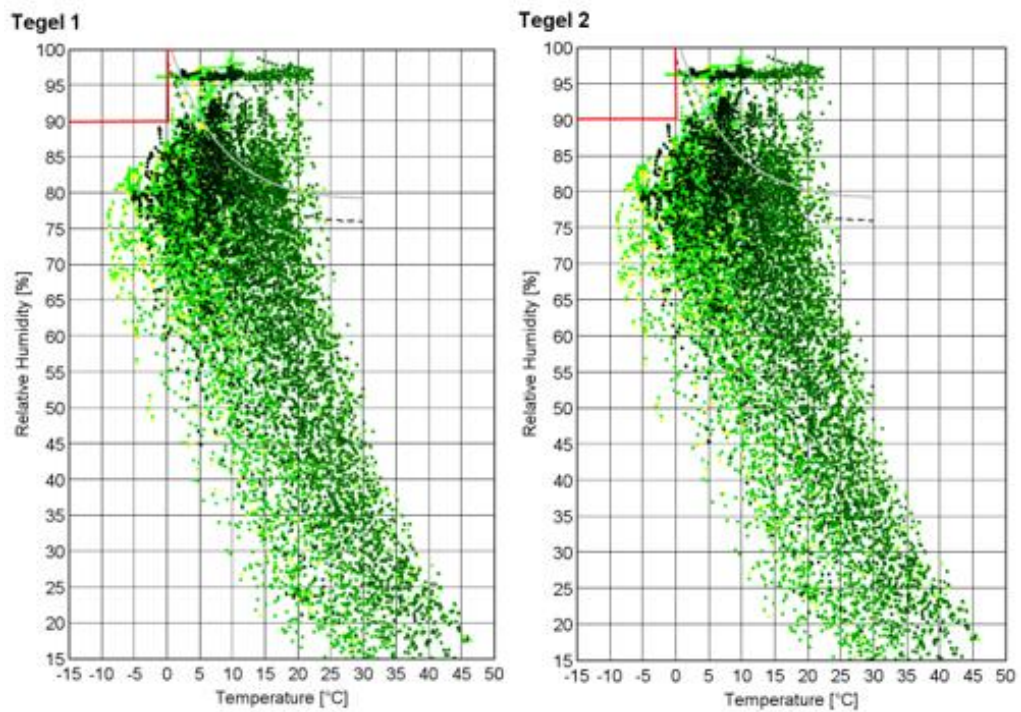
Figur 38. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A1 Söder

Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" tas fram och presenteras i Figur 39, båda är högt över 2 redan efter ett år. Jämfört med norr så stiger indexet över 2 ett par månader senare för denna modell. Det är dock stor risk för mögel även i söder och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker.



Figur 39. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A1 Söder

Isopleterna för "Tegel 1" och "Tegel 2" är presenterade i Figur 40. Det finns endast någon punkt med minusgrader och över 90 procent relativ fuktighet vilket gör att risken för frostsprängning är liten, men kan inte uteslutas helt.



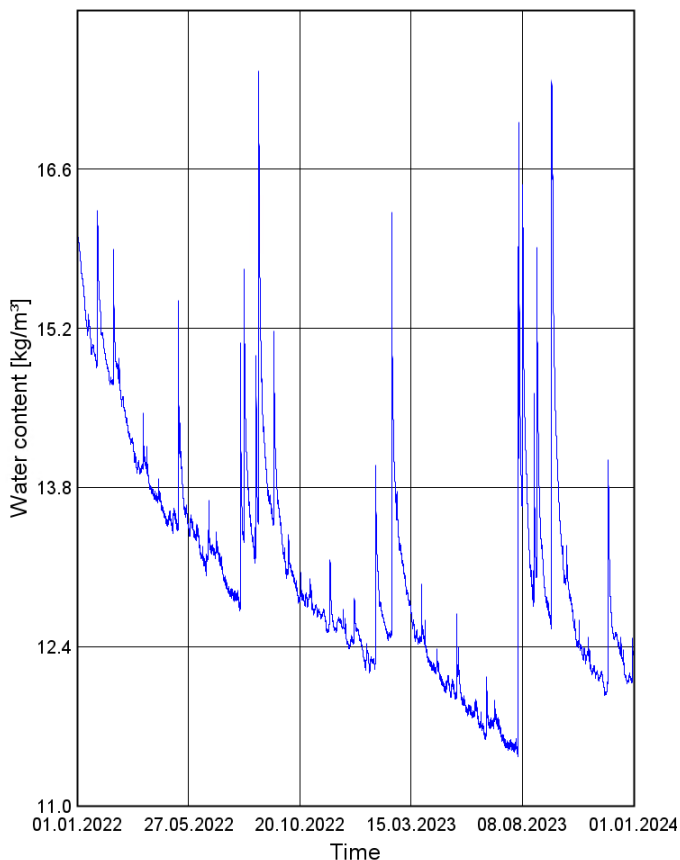
Figur 40. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A1 Söder

5.3.2 A2 – Projekterat utfall

5.3.2.1 Norr

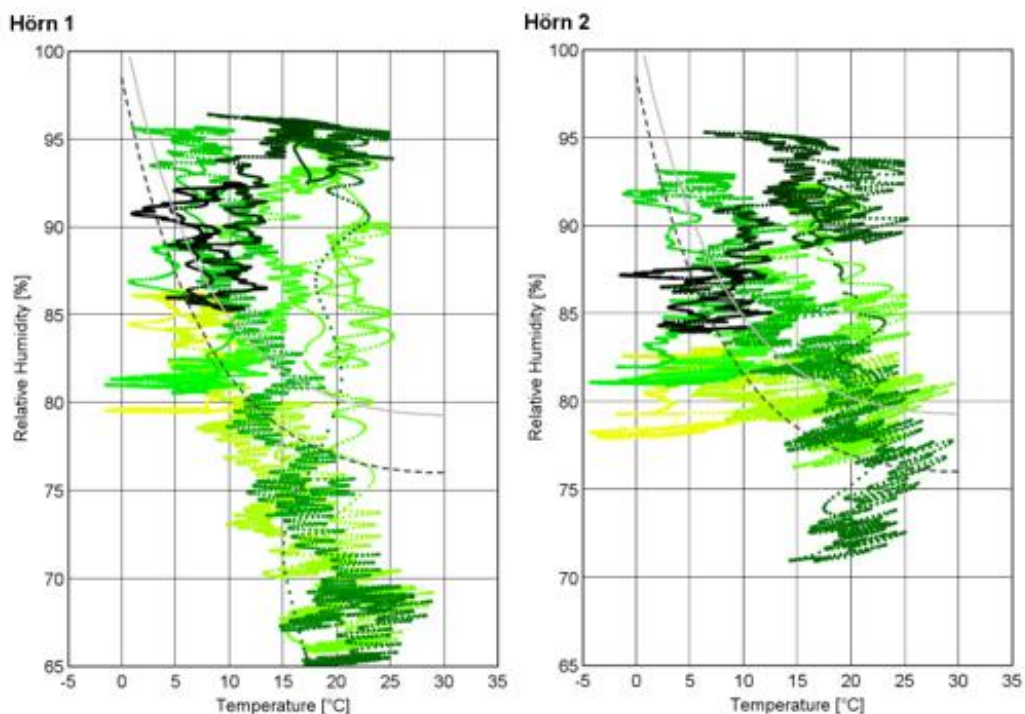
Den totala fukthalten för A2 norr presenteras i Figur 41. Kurvan är relativt lik den för motsvarande för modell A1, men med en lägre fukthalt. Toppar finns även för denna modell, de beror förmodligen på stora regnmängder under kort tid och sedan sker en snabb uttorkning. Över tid ser fukthalten ut att minska, vilket är ett bra tecken.

Total Water Content



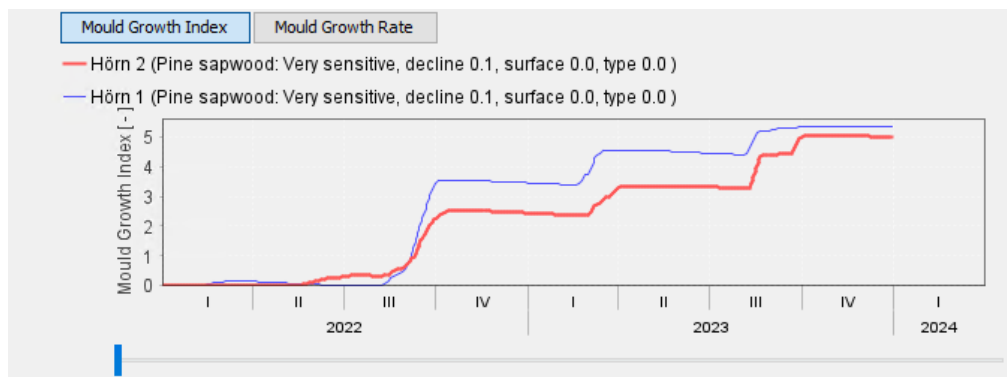
Figur 41. Total fukthalt för A2 Norr

Isopleter för ”Hörn 1” och ”Hörn 2” presenteras i Figur 42. Precis som för A1 Norr finns det många värden över den streckade linjen för båda de analyserade punkterna. I detta fall finns det dock lite fler punkter under strecket. Det beror förmodligen på att det i detta fall finns isolering i taket som därmed får ett bättre U-värde, vilket i sin tur leder till att värmetransporten i högre grad sker genom väggen. Därmed hamnar väggen i ett varmare klimat.



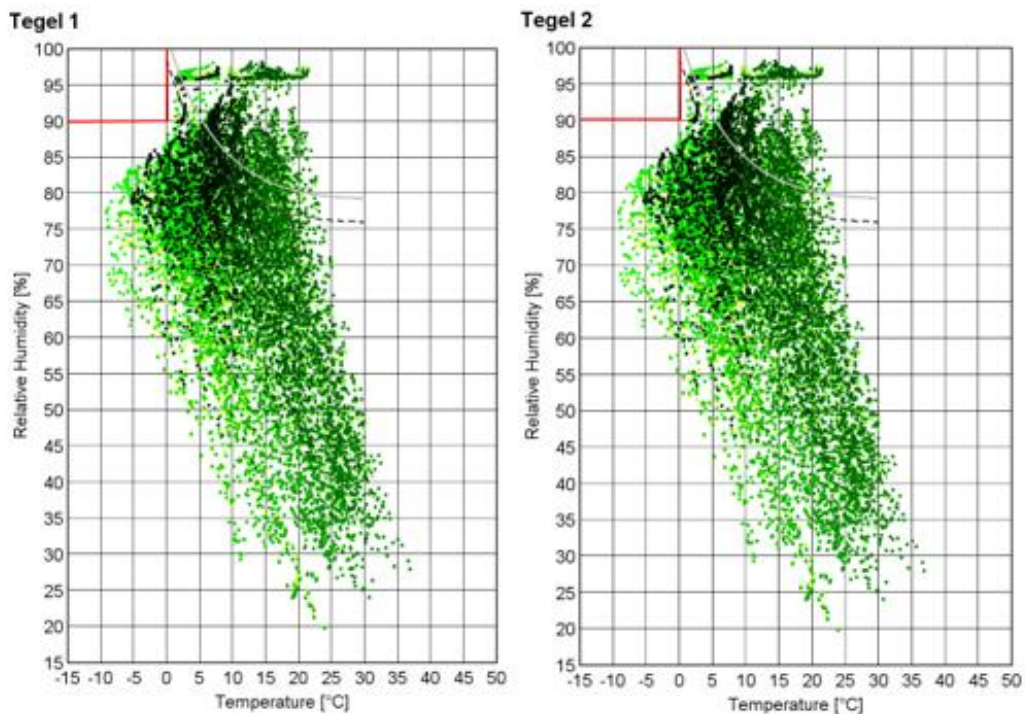
Figur 42. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A2 Norr

Eftersom punkter ligger över gränsen tas mögelindex fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2", de presenteras i Figur 43. Figuren visar att indexet är över 2 för "Hörn 1" redan under första året. "Hörn 2" ligger på gränsen/strax över 2 under första hösten. Under andra året går indexet dock högt över 2. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker. Figuren visar dock att isoleringen i taket bidrar till något bättre resultat jämfört med A1.



Figur 43. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A2 Norr

Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" är presenterade i Figur 44. Det finns inga punkter med minusgrader och över 90 procent relativ fuktighet för någon av punkterna vilket gör att frostsprängning inte bör vara en risk. Som beskrivet tidigare sker mer värmeförluster genom tegelväggen jämfört med modell A1. Ytterväggen hamnar i ett varmare klimat när större del av värmen från byggnaden försvinner genom den i stället för genom taket, vilket gör att risken för frostsprängning minskat.

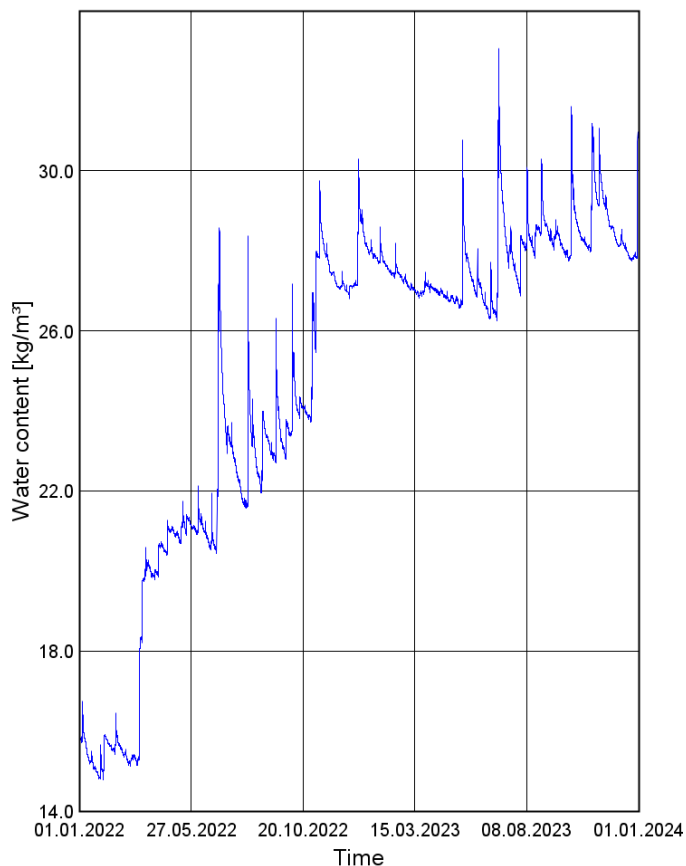


Figur 44. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A2 Norr

5.3.2.2 Söder

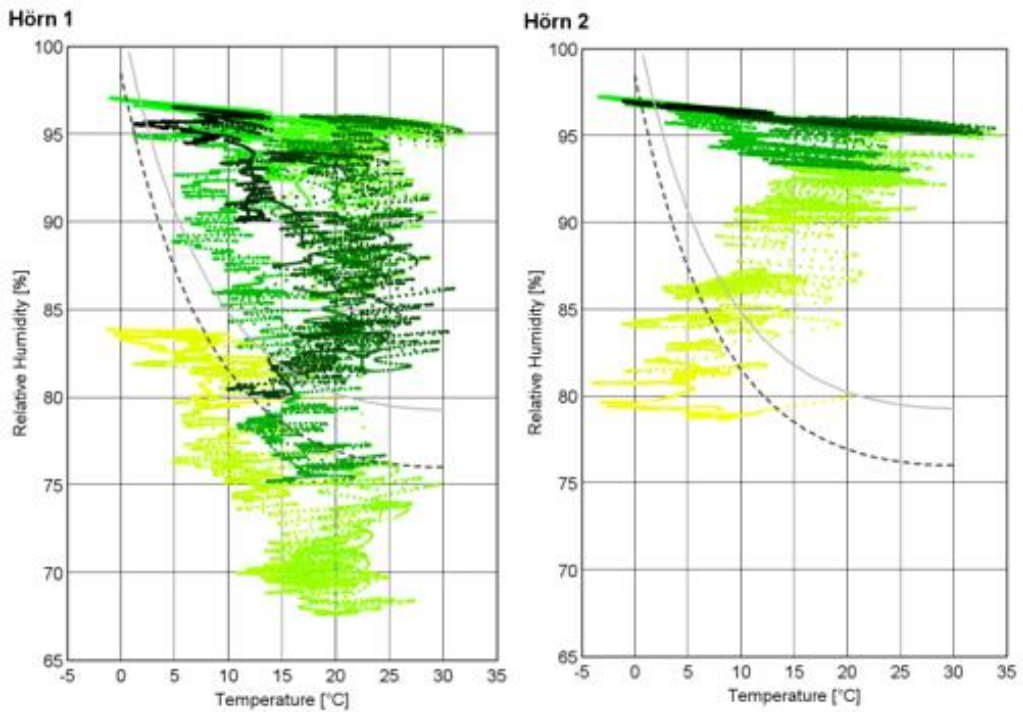
Den totala fukthalten för A2 söder presenteras i Figur 45. Den ser ut att stiga vilket inte är ett bra tecken eftersom det kan innebära att konstruktionen tar upp fukt efter regn som inte torkar ut. Eftersom simuleringstiden endast är två år är det svårt att dra för stora slutsatser av resultatet. Anledningen att fukthalten i modellen ökar är förmodligen för att regnintensiteten är större i söder än i norr.

Total Water Content



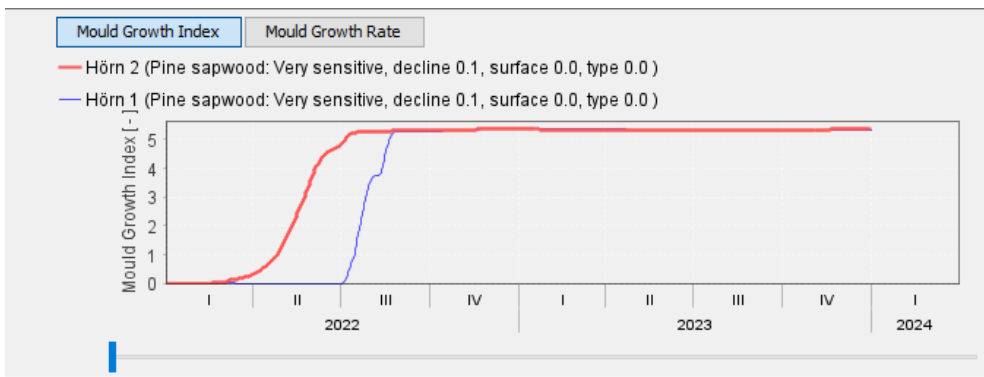
Figur 45. Total fukthalt för A2 Söder

Isopleter för ”Hörn 1” och ”Hörn 2” presenteras i Figur 46. Även i denna modell finns det många punkter över den streckade linjen. Ett intressant resultat är att den relativa fuktigheten snabbt kommer upp i 95 procent i ”Hörn 2” och ser ut att stanna omkring där, det tyder på att det inte torkar ut ordentligt i denna punkt efter ett till exempel ett regn.



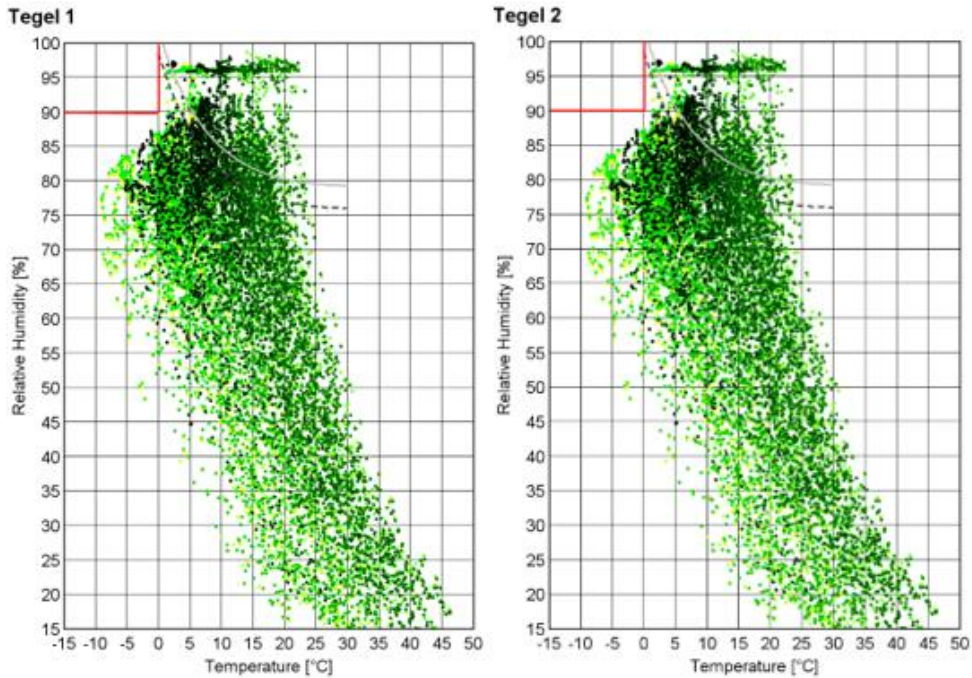
Figur 46. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A2 Söder

Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" tas fram och presenteras i Figur 47, båda är högt över 2 redan efter ett år. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker. Figuren visar indexet stiger snabbare i söder jämfört med norr, det betyder att det förmodligen kommer bli fuktproblem i takstolarnas södra ändar före det sker i de norra ändarna.



Figur 47. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A2 Söder

Isopleter för ”Tegel 1” och ”Tegel 2” är presenterade i Figur 48. Det finns inga punkter med minusgrader och över 90 procent relativ fuktighet för någon av punkterna vilket gör att frostsprängning inte bör vara en risk. Resultatet är liknade som för i norr.



Figur 48. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A2 Söder

5.3.3 A3 – Invändig tilläggsisolering av yttervägg

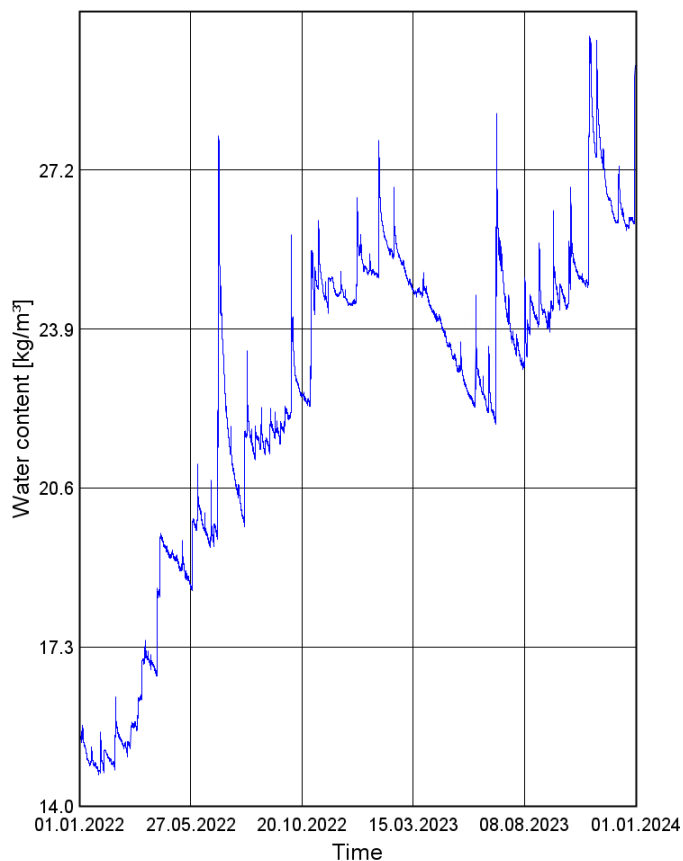
5.3.3.1 Norr

Eftersom norrväggen inte har någon tilläggsisolering ser A3 Norr likadan ut som A2 Norr och har därmed även samma resultat, se 5.3.2.1.

5.3.3.2 Söder

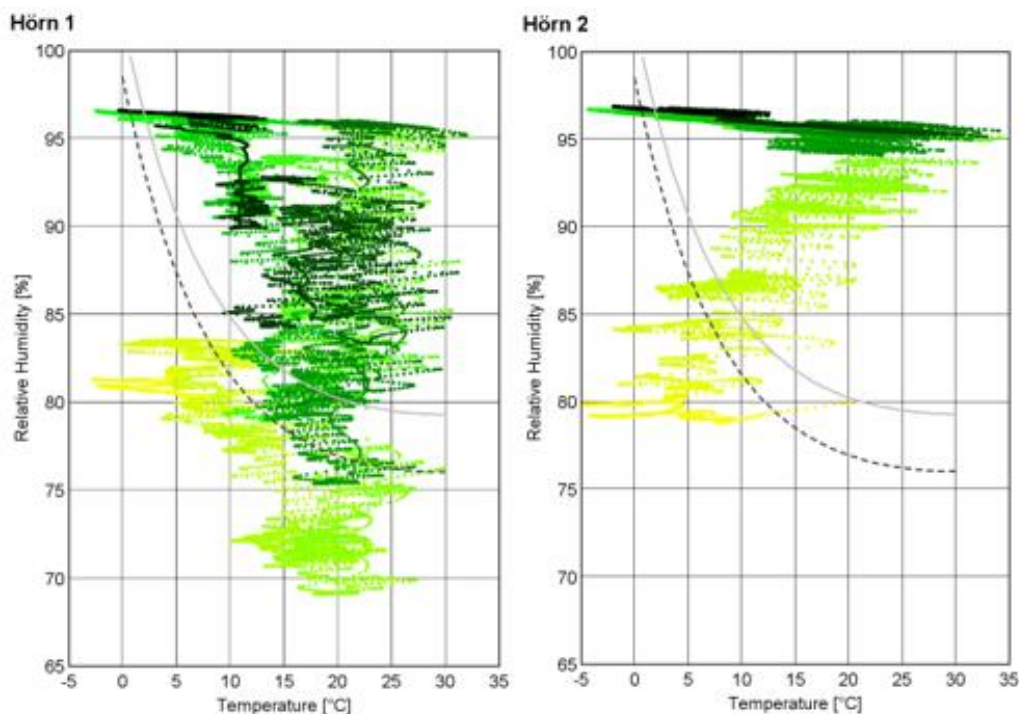
Den totala fukthalten för A3 söder presenteras i Figur 49. Den ser ut att stiga vilket inte är ett bra tecken eftersom det kan innebära att konstruktionen tar upp fukt efter regn som inte torkar ut. Precis som för A2 söder så borde den ökade fukthalten bero på att regnintensiteten är mer intensiv i söder jämfört med i norr.

Total Water Content



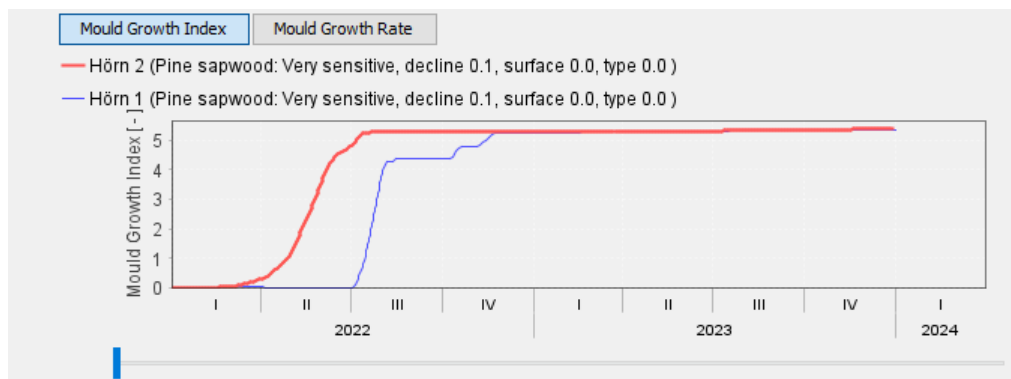
Figur 49. Totalt fukthalt för A3 Söder

Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" presenteras i Figur 50. Även i denna modell finns det många punkter över den streckade linjen. Den relativa fuktigheten stiger snabbt till 95 % i "Hörn 2" och ser ut att stanna omkring där, det tyder på att det inte torkar ut. Liknade resultat som A2 söder alltså. Att den invändiga tilläggsisoleringen slutar 200 mm innan väggens överkant gör att det blir ett naturligt värme flöde genom takstolens ände. Vissa datapunkter har en temperatur på över 30 °C, men ändå är den relativa fuktigheten över 95 %. Detta innebär att konstruktionen innehåller väldigt mycket fukt.



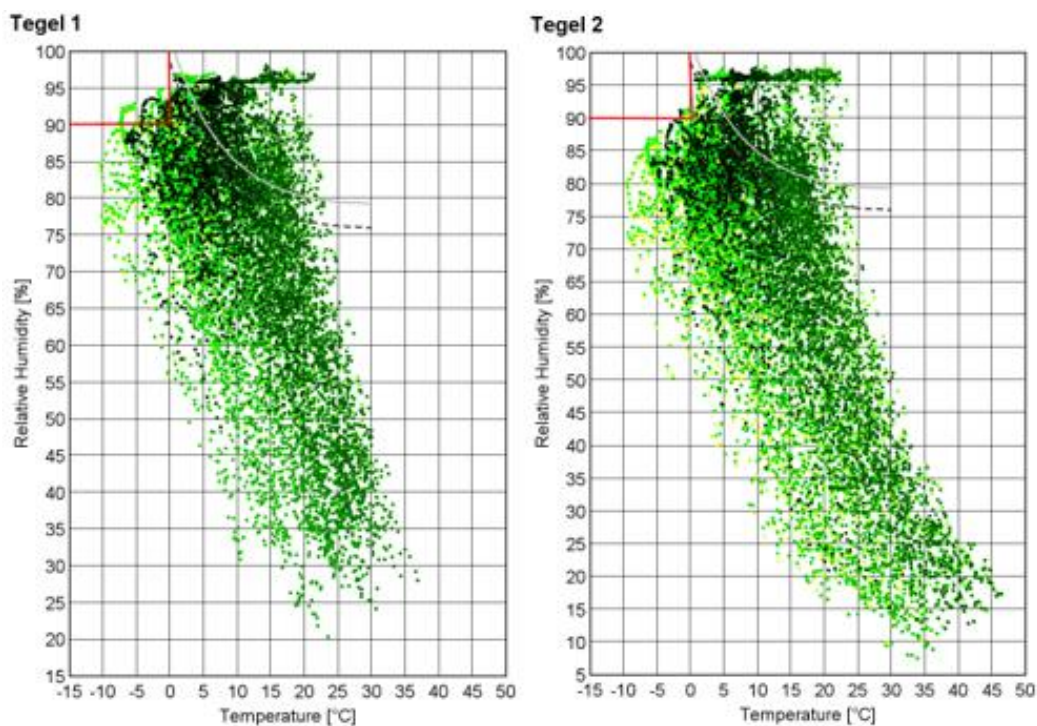
Figur 50. Isoleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" A3 Söder

Eftersom punkter ligger över gränsen tas mögelindex fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2", de presenteras i Figur 51. Figuren visar att indexet är högt över 2 för båda hörnen redan under första året. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker. Resultaten är nästan identiskt med de för A2 söder. Det visar att intentionen med det naturliga värmeflödet genom takstolens ände inte gör den nytta som tänkt.



Figur 51. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A3 Söder

Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" är presenterade i Figur 52. Man ser tydligt att det är fler punkter i riskzonen för "Tegel 1" jämfört med "Tegel 2". Detta beror på att "Tegel 2" ligger där tilläggsisoleringen är släppt 200 mm från väggens ovkant, alltså sker ett högre värmefflöde genom väggen vid denna och därmed minskar risken för frostsprängning desto högre upp man kommer. Men eftersom det finns relativt många punkter i riskzonen för "Tegel 1" anses frostsprängning vara en risk, och det är störst risk att det sker på väggens nedre delar. I stället för att skydda takstolens ände mot fuktproblem verkar det som att släppa isoleringen 200 mm från väggens ovkant skyddar teglet högst upp från eventuell frostsprängning.

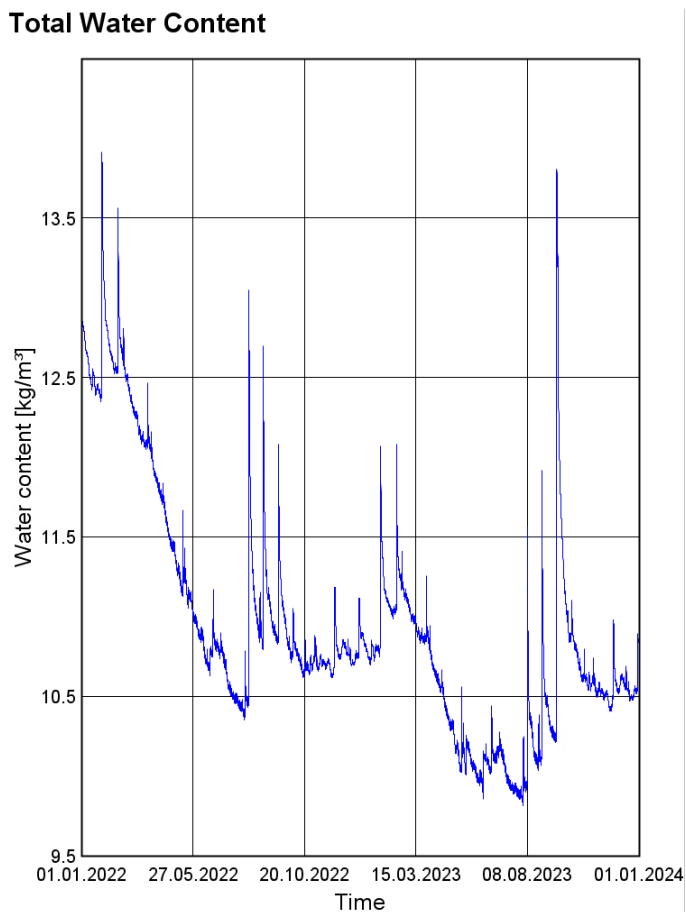


Figur 52. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A3 Söder

5.3.4 A5 – Förbättrat klimatskal

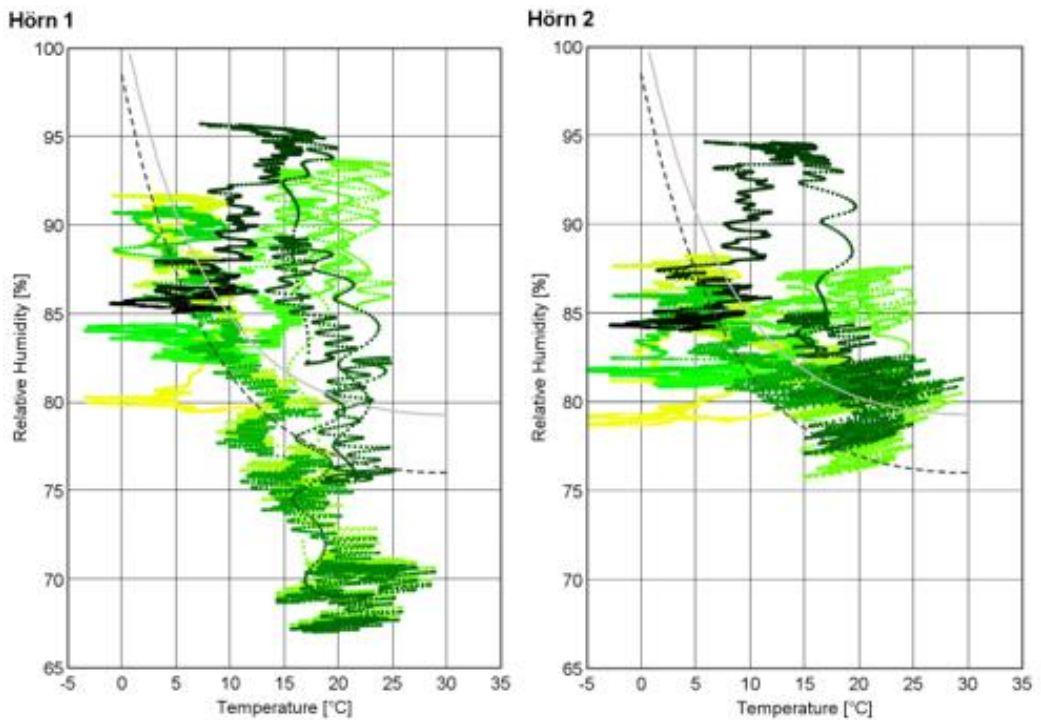
5.3.4.1 Norr

Den totala fukthalten för A5 norr presenteras i Figur 53. Fukthalten ser ut att sjunka med tiden, vilket är ett bra tecken på att konstruktionen inte samlar vatten.



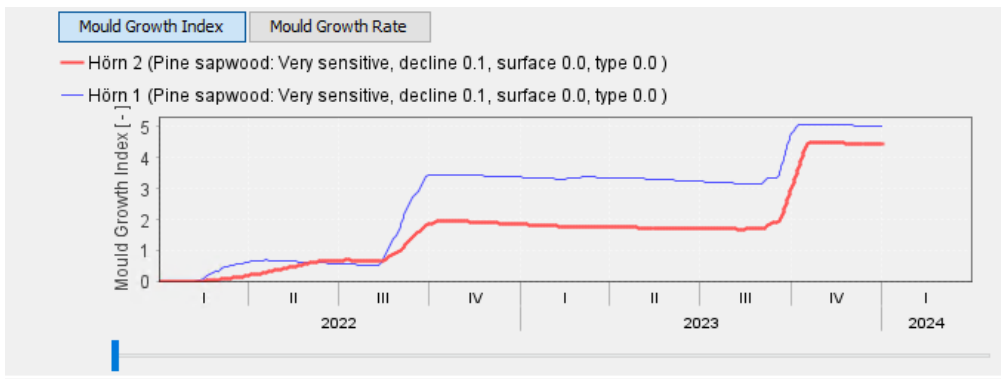
Figur 53. Total fukthalt för A5 Norr

Isopleter för ”Hörn 1” och ”Hörn 2” presenteras i Figur 54. Även denna modell har många punkter över den streckade linjen. Men det ser något bättre ut jämfört med A2 och A3.



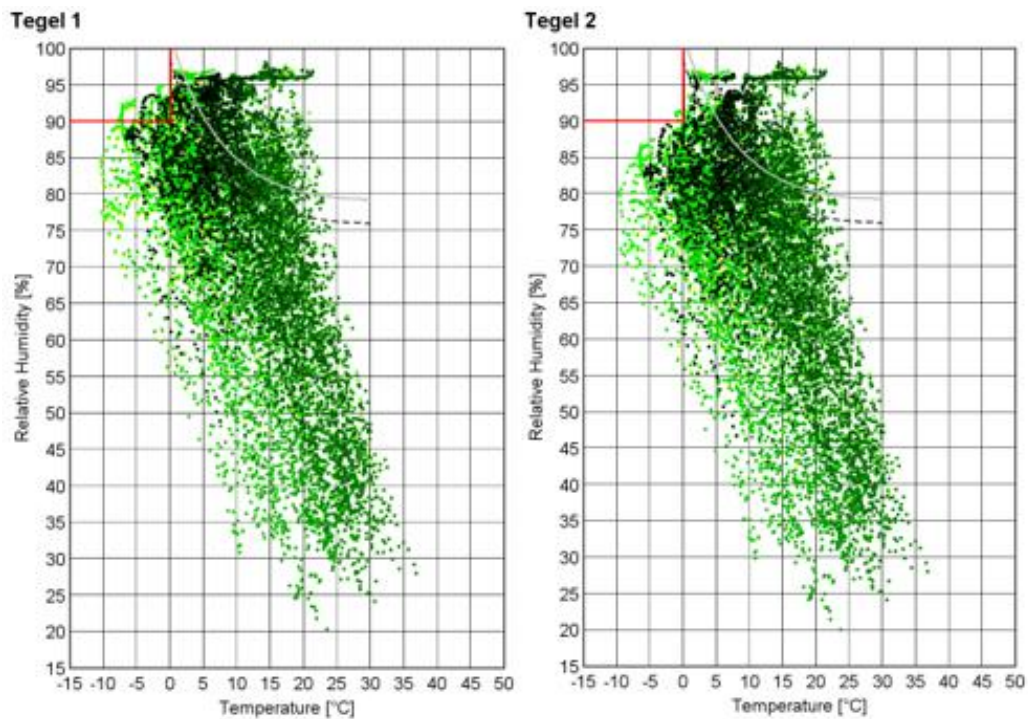
Figur 54. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A5 Norr

Eftersom punkter ligger över gränsen även för denna modell tas mögelindex fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2", de presenteras i Figur 55. Figuren visar att indexet är högt över 2 för "Hörn 1" redan under första året. "Hörn 2" ligger strax under 2 fram till hösten andra året då även den går över 2. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker, trots att det inte ser lika illa ut som för A2 och A3 norr.



Figur 55. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A5 Norr

Isopleter för ”Tegel 1” och ”Tegel 2” är presenterade i Figur 56. Resultaten liknar de för A3 Söder (som också har invändig tilläggsisolering). Risken för frostsprängning är större för den undersökta punkten som ligger längre ner på väggen eftersom det är ett större värmefflöde genom punkten högre upp.

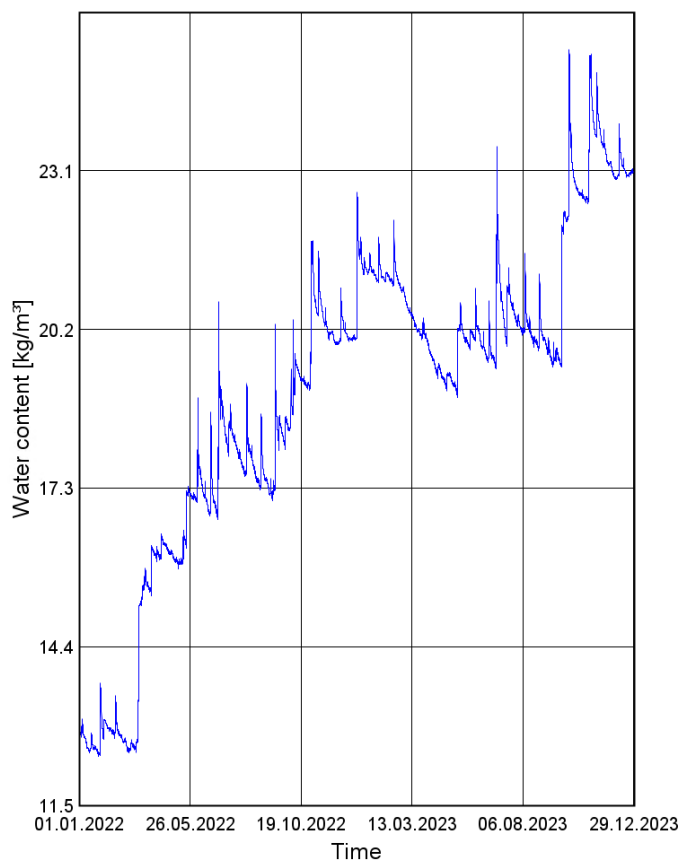


Figur 56. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A5 Norr

5.3.4.2 Söder

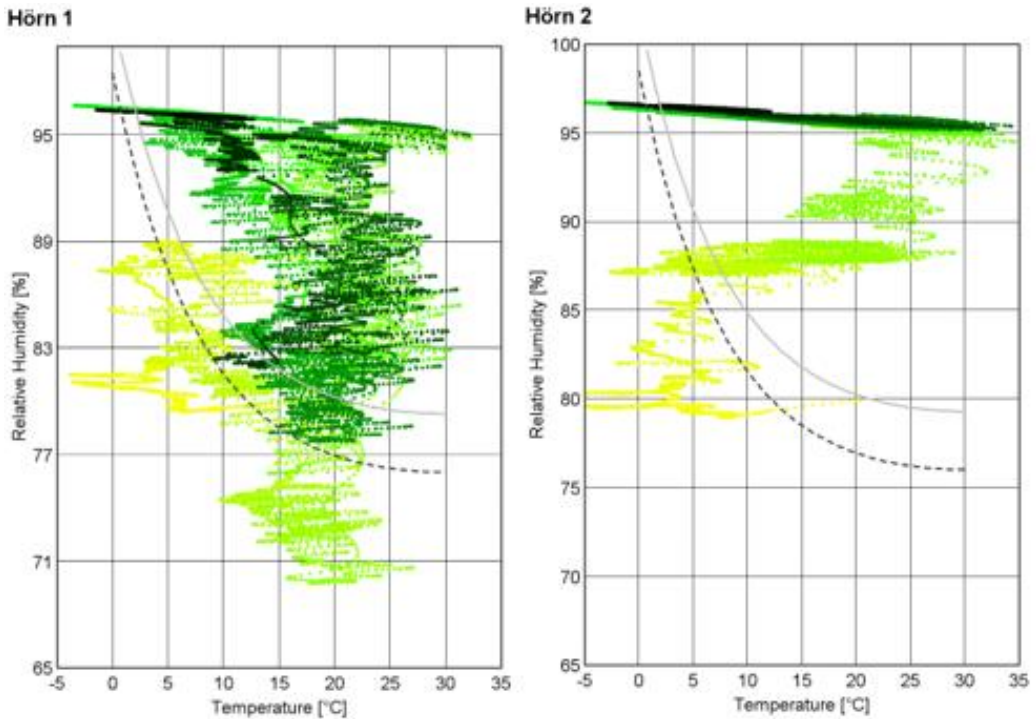
Den totala fukthalten för A5 söder presenteras i Figur 57. Precis som för A3 söder ökar fukthalten över tid, förmodligen på grund av att regnintensiteten är hög i söder.

Total Water Content



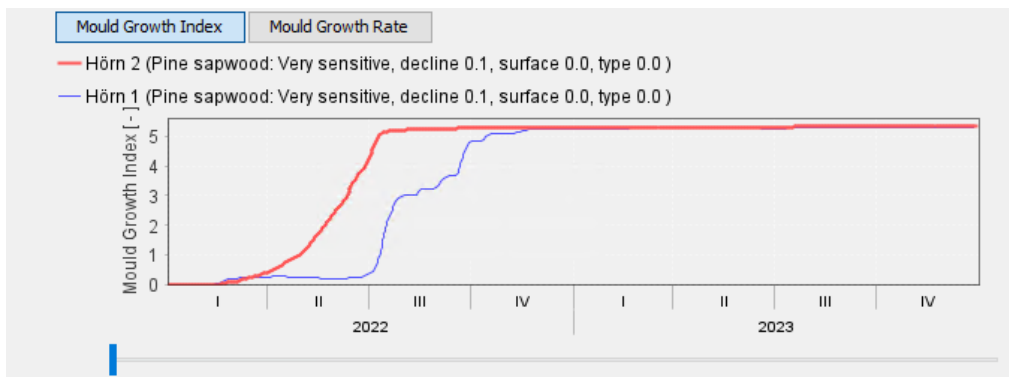
Figur 57. Total fukthalt för A5 Söder

Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" presenteras i Figur 58. Resultaten är liknande som för A3 söder och samma resonemang gäller därmed även för denna modell.



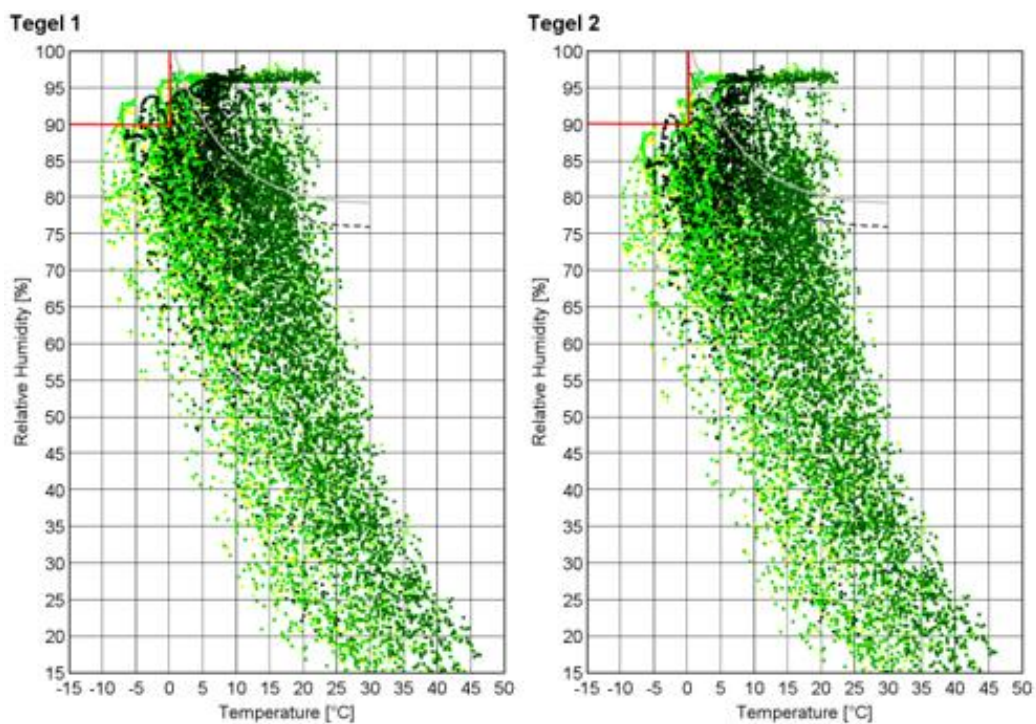
Figur 58. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" A5 Söder

Eftersom punkter ligger över gränsen tas mögelindex fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2", de presenteras i Figur 59. Figuren visar att indexet är högt över 2 för båda hörnen redan under första året. Detta innebär att det är stor risk för mögel och konstruktionen kan inte bedömas vara fuktsäker.



Figur 59. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A5 Söder

Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" är presenterade i Figur 60. Även dessa resultat liknar de för A3 söder och samma resonemang gäller därmed.

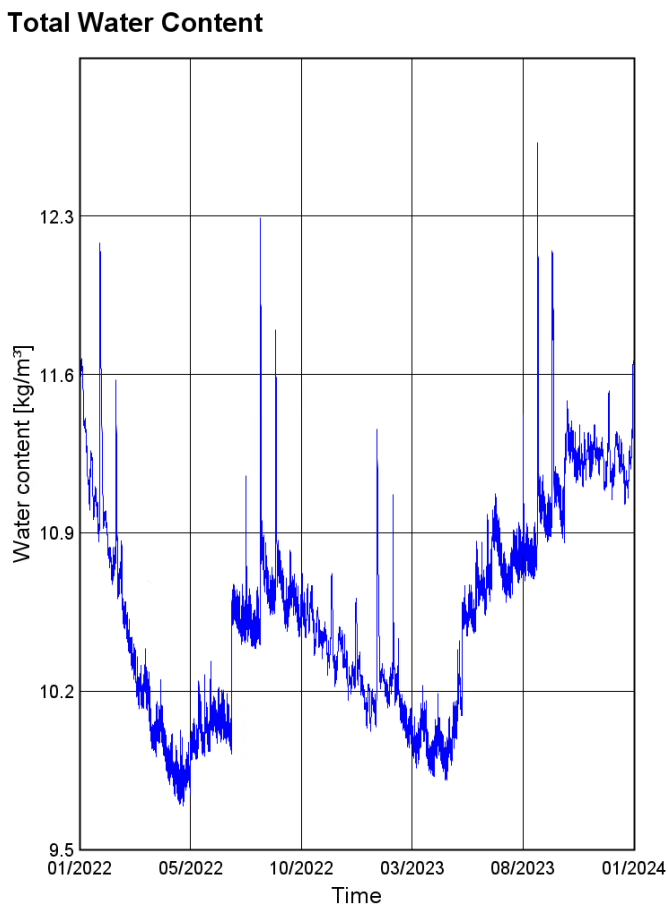


Figur 60. Isopleter för "Tegel 1" och "Tegel 2" för A5 Söder

5.3.5 A6 – Utväändig tilläggsisolering av yttervägg

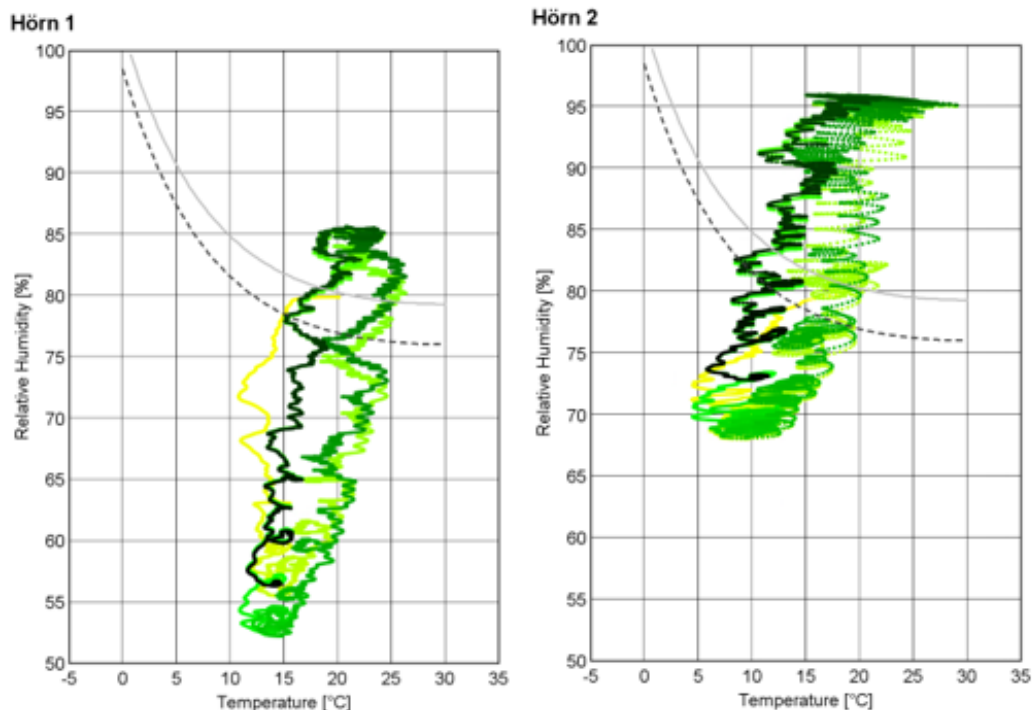
5.3.5.1 Norr

Den totala fukthalten för A6 norr presenteras i Figur 61. Den är relativt stabil, vilket tyder på att konstruktionen inte binder vatten.



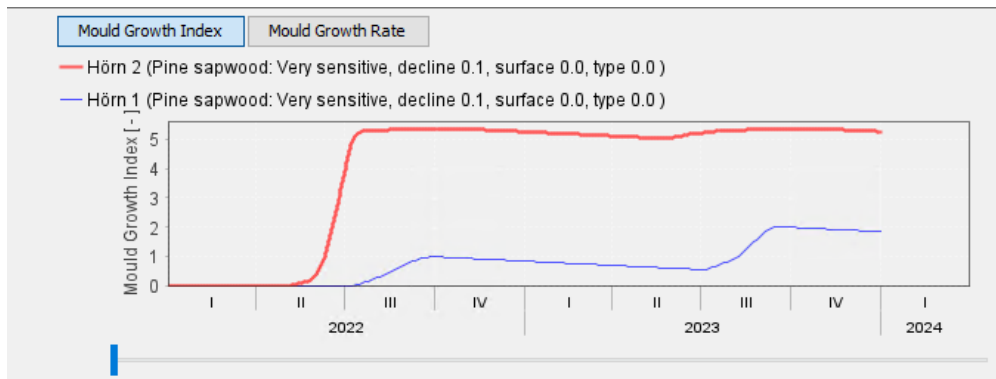
Figur 61. Total fukthalt för A6 Norr

Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" presenteras i Figur 62. Även denna modell har många punkter över den streckade linjen, framför allt "Hörn 2".



Figur 62. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A6 Norr

Det är fortfarande punkter över den streckade linjen så mögelindex behöver tas fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2". De presenteras i Figur 63. Indexet är högt över 2 redan under första året för "Hörn 2" och risken för mögel i denna punkt är därmed stor. "Hörn 1" går däremot inte över 2 under de simulerade åren. Den ökar dock från första året till andra året, det är alltså en möjlighet att indexet skulle gå över 2 även för denna punkt om simuleringstiden var längre.



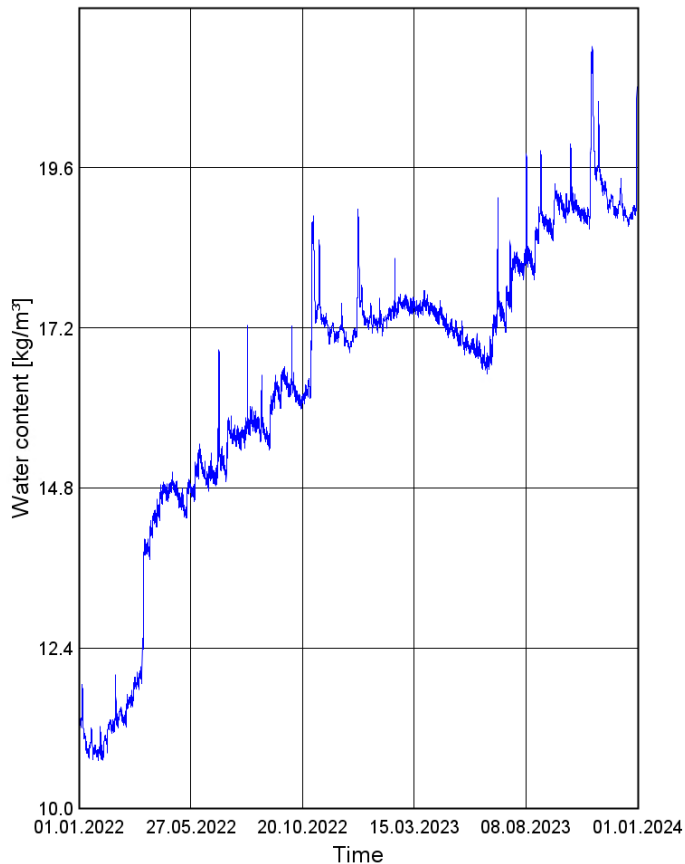
Figur 63. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A6 Norr

Eftersom tilläggsisoleringen placeras utvändigt kommer tegelväggen hamna i ett varmt klimat och därmed finns ingen risk för frostsprängning. Isopleter för analyserade punkter i tegelyttern väggen presenteras därmed inte.

5.3.5.2 Söder

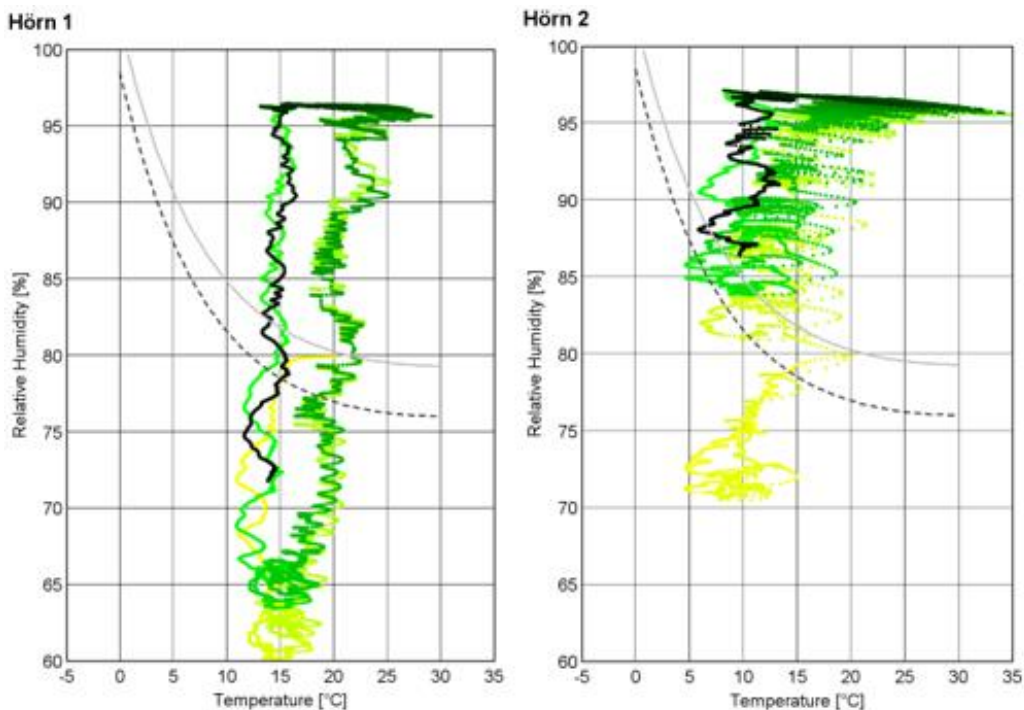
Den totala fukthalten för A6 söder presenteras i Figur 64. Den ökar, vilket inte är önskvärt då det innebär att konstruktionen binder fukt.

Total Water Content



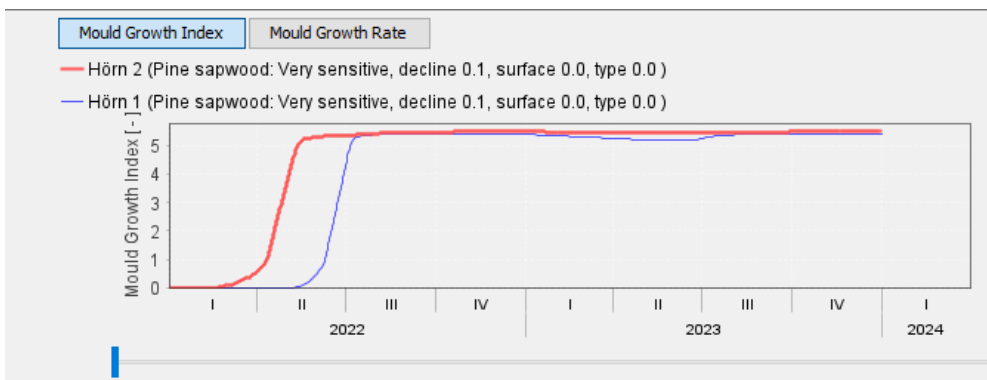
Figur 64. Totalt fukthalt A6 Söder

Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" presenteras i Figur 65. Även denna modell har många punkter över den streckade linjen, framför allt "Hörn 2".



Figur 65. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A6 Söder

Det är fortfarande punkter över den streckade linjen så mögelindex behöver tas fram för både "Hörn 1" och "Hörn 2". De presenteras i Figur 66. Indexet är högt över 2 redan under första året och risken för mögel är därmed stor.



Figur 66. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för A6 Söder

Eftersom tilläggsisoleringen placeras utvändigt kommer tegelväggen hamna i ett varmt klimat och därmed finns ingen risk för frostsprängning. Isopleter för analyserade punkter i tegelytterväggen presenteras därmed inte, precis som för fallet i norr.

5.3.6 Sammanställning fuktsäkerhet

Resultaten från fuktberäkningarna för respektive modell presenteras i Tabell 41.

Tabell 41. Sammanställning av resultaten av fuktsäkerheten för respektive modell

Modell	Risk för mögelpåväxt på takstol?	Risk för frostsprängning i yttervägg?
A1 Norr	Ja	Ytterst liten, men kan ej uteslutas
A1 Söder	Ja	Ytterst liten, men kan ej uteslutas
A2 Norr	Ja	Nej
A2 Söder	Ja	Nej
A3 Norr	Ja	Nej
A3 Söder	Ja	Ja, framför allt längre ner på väggen
A5 Norr	Ja	Ja, framför allt längre ner på väggen
A5 Söder	Ja	Ja, framför allt längre ner på väggen
A6 Norr	Ja	Nej
A6 Söder	Ja	Nej

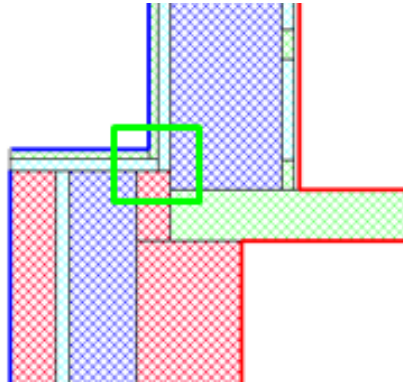
Som beskrivet tidigare gäller resultaten från modell A2 för modell A7 och resultaten för modell A3 gäller för modell A4.

Generellt för alla modeller är att de har ett mögelindex för de analyserade punkterna i takstolen som överskrider två, vilket innebär stor risk för mögelpåväxt på samtliga modeller. Det tar lite olika lång tid för punkterna i de olika modellerna att överskrida två, men efter drygt ett år har alla gjort det. När det gäller risk för frostsprängning varierar den mellan modellerna. Det är framför allt modellerna med invändig tilläggsisolering som uppvisar risk för frostsprängning, vilket var väntat eftersom ytterväggen i dessa fall hamnar i kallare klimat. För dessa modeller visade sig risken vara störst i den analyserade punkten som är belägen längst ner på väggen, vilket betyder att värmeflödet genom väggens översta delar skyddar denna del av väggen mot frostsprängning då den hamnar i ett varmare klimat.

5.3.7 Fortsatta studier på fuktsäkerhet

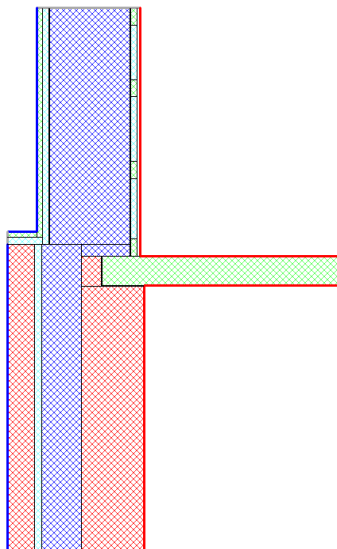
Eftersom resultaten visar att det finns risk för mögelpåväxt i takstolen för samtliga modeller gjordes ett försök att hitta en ombyggnadsåtgärd som inte uppvisar dessa problem. Det beslutades att utvändigt tilläggsisolering ger den bästa förutsättningen för att skapa en fuktsäker miljö för takstolen. Vid uppbyggnad av modell A6 i WUFI 2D användes modell A2 och den utvändiga tilläggsisoleringen placerades utanpå ytterväggen. Genom att göra på detta vis överlappar inte isoleringen på ytterväggen och

isoleringen i taket, se Figur 67. Det blir alltså en köldbrygga mellan isoleringarna som gör att takstolen hamnar i ett kallare klimat.



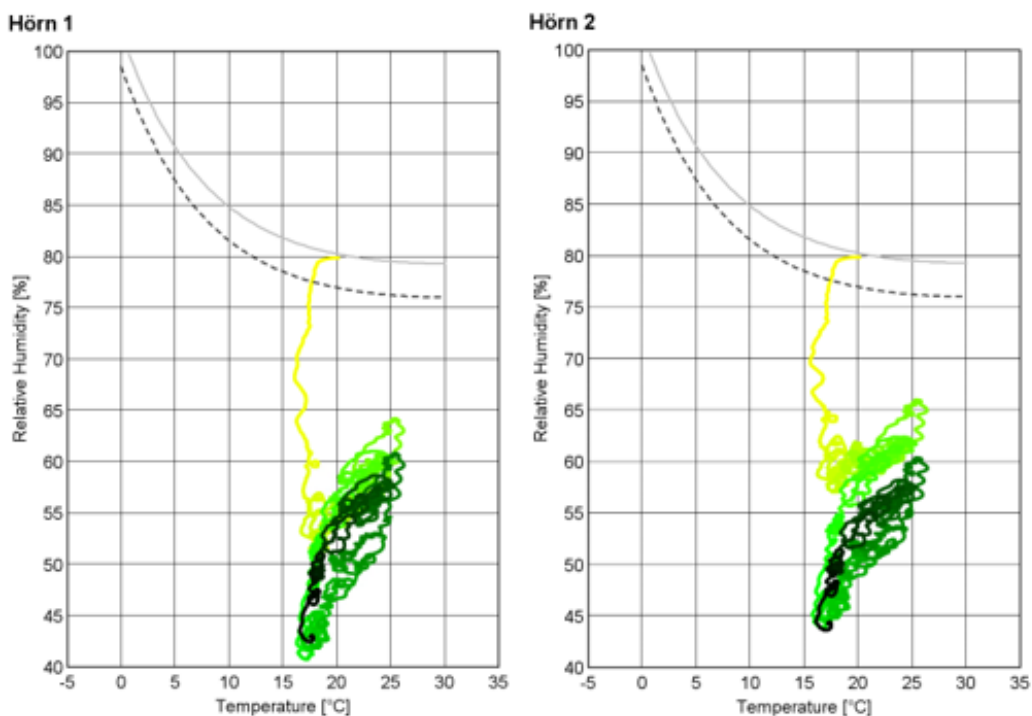
Figur 67. Isolering överlappar ej i modell A6

Det anses inte vara helt rimligt att isoleringen inte överlappar, men å andra sidan är det svårt att göra en modell som speglar verkligheten då WUFI 2D bara beräknar i två dimensioner och det går inte att rita taket i vinkel. Men det gjordes ändå ett försök att flytta ut taket så att isoleringen i ytterväggen och taket överlappar. Ett par olika modeller gjordes och resultaten visar att det både krävs att taket flyttas ut samt att isoleringstjockleken i taket ökas för att takstolen ska få ett klimat som är fuktsäkert. Den slutgiltiga modellen, som ger ett tillräckligt bra klimat för takstolen, presenteras i Figur 68. I denna modell har isoleringen i taket ökats till 335 mm och taket har flyttats så att takstolen i yttertaket är placerad till ytterst i isoleringen, i stället för innerst.



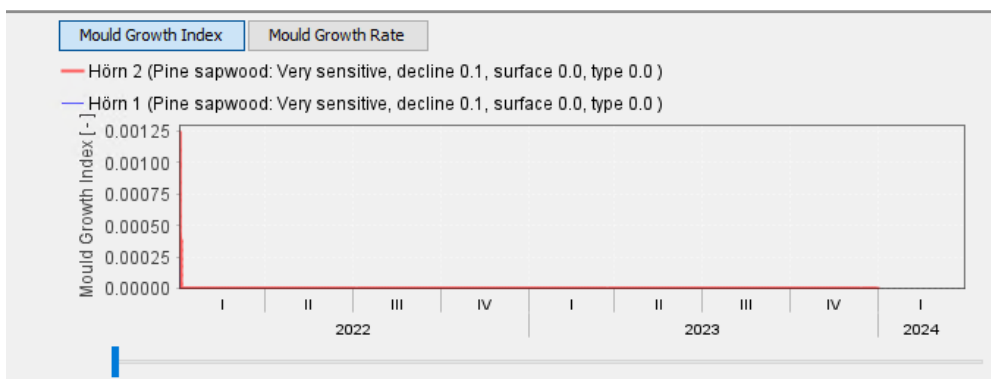
Figur 68. A6, men med flyttat tak och mer isolering i taket

Isopleterna för ”Hörn 1” och ”Hörn 2” blir då enligt Figur 69.



Figur 69. Isopleter för "Hörn 1" och "Hörn 2" för den slutgiltiga modellen, riktning söder

Även fast inga punkter (förutom de allra första) är över den streckade linjen i isopleterna tas mögelindex, se Figur 70. Indexet är 0 hela tiden för båda de analyserade punkterna och därmed är mögelpåväxt på takstolen ingen risk för denna modell. Resulteten redovisas endast för simuleringen i söder då det var värsta fallet för modell A6. Eftersom simuleringen i söder ser bra ut, hade även simuleringen i norr gjort det.



Figur 70. Mögelindex för "Hörn 1" och "Hörn 2" för den slutgiltiga modellen

5.4 Bevarande av kulturvärdena

Som presenterat i avsnitt 4.1 har både Bobutiken och Byggnad 5 en q-märkning som innebär att byggnadsvolymen, murverket och det exteriöra utförandet i huvudsak ska bevaras. Exteriört underhåll ska ske med ursprungliga material och arbetstekniker, dock får vid förändrad användning nödvändiga håltagningar och tillägg i fasad och tak göras på ett mycket varsamt sätt. Byggnaderna får heller inte rivas. Bobutiken har även ett skydd som innebär att den inte får inredas som bostad.

I alla modeller sker håltagning för nya fönster och dörrar, men eftersom användningen förändras antas det vara tillåtet. För alla modeller utan utvändig tilläggsisolering (A6 och B4) görs inga andra åtgärder utanför klimatskalet. Byggnadsvolymen, murverket och det exteriöra utförandet bevaras således. För både A5 och B4 påverkas dock alla dessa tre faktorer med tanke på den utvändiga tilläggsisoleringen, vilket betyder att q-märkningen inte uppfylls. Bobutiken inreds inte som bostad så det kravet uppfylls.

Slutsatsen är att A1, A2, A3, A4, A5, A7, B1, B2 och B3 uppfyller kravet på q-märkningen medan A6 och B4 inte uppfyller kravet på q-märkning.

5.5 Sammanställning resultat

Resultaten som presenterats i avsnitten ovan är uppdelade i energianvändning, termiskt klimat, fuktsäkerhet och kulturmärkning. En sammanställning av vilka modeller som uppfyller de olika kraven, eller som för termiskt klimat har rangordnats inbördes mellan respektive modell i hur väl de uppfyller krav och rekommendationer presenteras i Tabell 42 respektive Tabell 43. Det anges Ja eller Nej för respektive modell med undantag för termiskt klimat där den inbördes jämförelsen hämtas från Tabell 39 och Tabell 40 i avsnitt 5.2.4. Då inga fuktsimuleringar gjorts för Byggnad 5 har inte fuktsäkerheten för denna kunnat bedömas.

Tabell 42. Sammanfattning över vilka krav som uppfylls samt rangordning av det termiska klimatet för respektive modell för Bobutiken

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Energianvändning	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej
Fuktsäkerhet	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Bevarande av kulturvärdena	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja
Termiskt klimat	7	4	5	1	2	3	6

Tabell 43. Sammanfattning över vilka krav som uppfylls samt rangordning av det termiska klimatet för respektive modell för Byggnad 5

	B1	B2	B3	B4
Energianvändning	Nej	Nej	Ja	Ja
Fuktsäkerhet	-	-	-	-
Bevarande av kulturvärdena	Ja	Ja	Ja	Nej
Termiskt klimat	4	3	2	1

Enligt framtagna resultat ovan finns det ingen ombyggnadsåtgärd som uppfyller samtliga krav. Från en modell till en annan ändras vad som uppfylls och genom att uppfylla exempelvis energianvändning så uppfyller man inte kraven som ställs på bevarande av kulturvärden. Modell B3 är dock ett undantag och uppfyller både kraven på energianvändning och kulturmärkning samtidigt som den uppvisar näst bäst termiskt klimat av de olika ombyggnadsåtgärderna för Byggnad 5. Fuktsäkerheten visade sig bli ett problem i samtliga simulerade fall. Även fast fuktsimuleringar inte gjorts för Byggnad 5 hade resultaten förmodligen blivit liknande då konstruktionerna är uppbyggda på ungefär samma sätt. Eftersom A3, som har samma väggkonstruktion i söder som B3, uppvisar risk för frostsprängning är det stor sannolikhet att även B3 hade visat samma risk.

6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten från alla delar i kapitel 5 och hur de påverkar varandra. Dessutom diskuteras felkällor och osäkerheter i ett avsnitt.

6.1 Energianvändning

Som anförts tidigare påverkas primärenergitalet av klimatskalet och dess U-värde kombinerat med förhållandet mellan klimatskalets omslutande area och den uppvärmda arean (A_{temp}). Dessutom spelar typ av energibärare och dess viktningfaktor en stor roll, se ekvation 1. Det som sticker ut är primärenergitalet för modell A1 respektive B1 som är betydligt högre än för övriga modeller för samma byggnad. Modell A1 och B1 är ett grundfall där befintlig byggnad används som endast har ventilation via självdrag. För att simulera självdrag hanteras detta som ett högt luftflöde via ventilation i IDA ICE. Tilluften i A1 följer utomhusluftens temperatur vilket gör att det över hela året läcker in utomhusluft som behöver värmas upp för att möta de högt ställda kraven på inomhustemperatur. I verkligheten hade troligtvis luftomsättningen minskat under de kallare månaderna då man förmodligen hade stängt eller täppt till ventiler och andra otätheter under dessa månader. Uppvärmningsbehovet hade då sannolikt minskat för A1 och B1 i verkligheten och de hade således haft ett något lägre primärenergital.

Om man jämför Bobutiken och Byggnad 5 noterar man att primärenergitalet för Byggnad 5 är betydligt lägre än för Bobutiken med samma ombyggnadsåtgärd. Detta beror på att Byggnad 5 har en mycket mer fördelaktig utformning, då den omslutande arean är mycket mindre i förhållande till A_{temp} . Eftersom Byggnad 5 har fler våningar är det inomhusklimat på båda sidor om mellanbjälklagen och därmed förloras ingen värme mellan våningarna. Den delen av byggnaden som analyseras har även en vägg (norr) som har inomhusklimat på andra sidan, eftersom den angränsar till en annan byggnad och därmed sker inga värmeförluster genom denna heller. Bobutiken har å andra sidan endast en våning med ett litet entresolplan för teknikrum, således har den väldigt mycket omslutande area per uppvärmd golvyta (A_{temp}). Resultaten av detta blir tydligast för fallet med 40 mm invändig tilläggsisolering (A4 och B3). A4 uppfyller inte kravet på primärenergital medan B3 uppfyller kravet.

Om man ser till Eslövs spritfabrik i stort är Bobutiken och Byggnad 5 förmodligen de två byggnaderna som kommer att få högst primärenergital av alla när projektet är färdigt. Detta eftersom ingen av dessa byggnader får någon åtgärd på ytterväggarna. En del andra byggnader i projektet kommer tilläggsisoleras och vissa blir till och med helt nybyggda. Dessa byggnader kommer alltså få bättre primärenergital, vilket kommer göra att det sammanvägda primärenergitalet för hela projektet kommer vara lägre än både det för A2

och B2. Det sammanvägda primärenergitalet är dock inget som beräknats eller analyserats närmare i detta arbete.

6.2 Termiskt klimat

6.2.1 Relativ fuktighet

I avsnitt 5.2.1 om relativ fuktighet kunde man konstatera att de största problemen skulle vara för torr inomhusluft. Detta beror med största sannolikhet på det höga effektbehovet genom uppvärmning från ideal heaters för att hålla en godkänd inomhustemperatur. Ideal heaters har närmare beskrivits i avsnitt 4.2.5. För att uppfylla angivna inomhustemperaturer enligt krav och rekommendationer behöver inomhusluften under stora delar av året att värmas upp, när denna värms upp sjunker den relativa fuktigheten i luften och det kommer således bli en lägre relativ fuktighet inomhus än utomhus. Den relativa fuktigheten varierar även över året och är som lägst under vinterhalvåret, vilket är den tid som utomhusluften också har lägst temperatur och måste värmas mest. Detta innebär att utomhusluften som redan har en låg relativ fuktighet jämfört med under sommarhalvåret får ytterligare sänkt relativ fuktighet när utomhusluften sedan värms till angiven inomhustemperatur. Om brukare upplever besvär med låg relativ fuktighet och torr inomhusluft kan detta motverkas genom att till exempel använda sig av en luftfuktare, växter eller att man sänker temperaturen.

Eftersom den totala energianvändningen som krävs för att uppfylla ställda krav på inomhustemperaturen undersökts i detta arbete har därför ideal heaters varit obegränsade. Detta innebär att den relativa fuktigheten inte har undersökts vidare utan fokus har legat på att uppfylla korrekt inomhustemperatur för respektive ombyggnadsåtgärd. I ett alternativt arbete hade man kunnat studera hur den relativa fuktigheten påverkas i byggnaderna om man till exempel ändrade inställningarna för vilka inomhustemperaturer som skulle uppfyllas. Eftersom temperaturinställningarna i detta arbete har följt krav och rekommendationer har det inte undersökts vad som händer om man ändrar dessa. Då det inte finns några direkta krav på relativ fuktighet kopplat till inomhusmiljön det inte gjort några försök att åtgärda eventuella problemen kopplade till för låg relativ fuktighet.

6.2.2 Operativ temperatur och andelen missnöjda med inomhusklimatet (PPD)

På samma sätt som för relativ fuktighet så undersöks inte olika temperaturinställningar och hur dessa påverkar den operativa temperaturen. Med anledning av att ideal heaters är obegränsat kan således effektbehovet som finns över året tillgodoses för respektive ombyggnadsåtgärd. Detta innebär att kraven på den lägsta inomhustemperaturen alltid kommer att kunna uppfyllas tack vare att ideal heaters effekt just är obegränsade. Detta används just för att kunna jämföra hur energianvändningen och primärenergitalet påverkas av de olika ombyggnadsåtgärderna. Dessutom är det en metod som används när installationsritningar inte är givna för att kunna undersöka hur stort effektbehov som krävs för att uppfylla kraven på inomhustemperaturer. Med anledning av detta studeras inte hur många timmar över året som inomhustemperaturen underskider krav och rekommendationer då effektbehovet som sagt kan täckas av den obegränsade värmekällan i form av ideal heaters.

I stället undersöktes hur stor andel av året som respektive byggnad och modell har för hög operativ temperatur. Modellerna visar tydligt att ombyggnadsåtgärder som ger ett bättre primärenergital och håller kvar värmen bättre även kan motstå värmen bättre vilket motverkar en snabb uppvärmning. Särskilt tydligt är detta mellan modell A1/B1 och modell A2/B2. De olika ombyggnadsåtgärderna har fokuserat på klimatskalet och att minska energianvändningen och övertemperaturer har studerats som ett resultat av detta. Ett alternativ till simuleringarna hade varit att för varje modell ha flera modeller där man testar olika åtgärder för att undvika övertemperaturer. Detta hade till exempel kunnat vara passiva solskydd, flera olika fönstertyper med solfilm eller plantering av växtlighet som skapar skuggbildning och minskar solinstrålningen.

I avsnitt 5.2.3 framgår det att andelen missnöjda med inomhusklimatet (PPD) tydligt påverkas av hur yttemperaturerna påverkar den operativa temperaturen. Andelen missnöjda för samtliga modeller är generellt sett väldigt högt, men det ska poängteras att det som studerats är varmaste respektive kallaste dagarna på året. Det som påverkar det upplevda inomhusklimatet är den operativa temperaturen och denna beror i sin tur på lufttemperatur och omgivande ytors temperatur. Genomgående är andelen missnöjda med inomhusklimatet under vintern högre än under sommaren för de datum som studerats. De enda undantagen är för modellerna A1 och B1, men detta antas bero på att det inte är någon kyla insatt vilket leder till större problem med övertemperaturer under sommaren än påverkan av kalla yttemperaturer under vintern. Detta i kombination med att brukarscheman för kontor respektive bostad också spelar in stor roll. I resultatet analyseras bara den varmaste respektive kallaste dagen och i en utförligare analys hade man kunnat studera ytterligare hur PPD ser ut över året under dagar där det är mer normala utomhustemperaturer. Till en början studerades hur många timmar över året

som andelen missnöjda överskred ett visst värde, men med tanke på att brukarscheman påverkade detta så blev detta resultat missvisande. Till exempel befann det sig inga personer i bostaden under dagtid och inte heller i kontorsdelarna utöver kontorstid. Detta påverkade andelen missnöjda genom att PPD-index under dessa timmar blev 0 % vilket gav ett missvisande resultat om att brukarna var tillfreds med inomhusklimatet fast det i själva verket berodde på att det inte var några brukare på plats.

Även vid studerande av PPD kunde utförligare undersökningar ha genomförts där man till exempel ändrar ombyggnadsåtgärderna med fokus på att förbättra andelen missnöjda med inomhusklimatet men i detta arbete undersöktes andelen missnöjda som resultat av de ombyggnadsåtgärder som valts med fokus på energianvändning, fuktsäkerhet och kulturbevarande.

6.3 Fuktsäkerhet

I Tabell 41 redovisas att det finns en stor risk för mögelpåväxt på takstolens yttre delar för alla modeller. Det gäller för både ”Hörn 1” och ”Hörn 2” för alla modeller utom A6 norr där ”Hörn 1” har ett mögelindex som ligger under två efter de två simulerade åren. Den ser dock ut att stiga, vilket betyder att det finns en möjlighet att indexet hade överstigit två vid en längre simulering. Generellt stiger mögelindexet snabbare för ”Hörn 2” än för ”Hörn 1”, vilket kan förklaras med att ”Hörn 2” ligger närmast utomhusklimatet och därmed blir utsatt för högre fuktillstånd, speciellt vid stora regnmängder.

Efter att litteraturstudien genomförts, fattades beslutet att modellerna med invändig tilläggsisolering skulle ha 200 mm längst upp på väggen utan isolering för att skapa ett naturligt värmefflöde genom takstolen, baserat på resultaten i Harrestrup och Svendsens (2016) arbete. Detta gör att hela takstolen hamnar i ett varmare klimat, vilket är bättre ur fuktsynpunkt. Resultaten visade dock att detta inte hjälpte. En anledning till att risken för mögelpåväxt är så pass stor trots denna åtgärd är att takstolen går så pass långt ut i konstruktionen att det är därmed svårt att göra den fuktsäker. En takstol som är placerad så långt ut i konstruktionen blir utsatt för regn oavsett hur man försöker lösa problemet.

Förutom problemen med att takstolen blir utsatt för regn är att den hamnar i ett kallt klimat när den ligger så långt ut, trots att ett naturligt värmefflöde skapas. I kallt klimat med diffusionsöppna ytor invändigt sker en så pass stor fukttransport att riskerna för fuktskador ökar. En skillnad från den modellerade konstruktionen och Harrestrup & Svendsens (2016) konstruktion är att de analyserade yttervägg-mellanbjälklag-yttervägg i stället för yttervägg-mellanbjälklag-tak. I deras modell som blev fuktsäker släppte de isoleringen 200 mm över golvet på ovanvåningen och 200 mm under taket på nedervåningen. De kunde därmed skapa ett större värmefflöde än vad som kunde göras i

detta arbete. Det är således möjligt att våra resultat hade blivit annorlunda om en del isolering togs bort från den nedersta delen av taket för att efterlikna deras modell ännu mer.

Samma studie rekommenderade även att man inte skulle tilläggsisolera invändning åt norr då detta väderstreck har mindre soltimmar vilket gör att uttorkningen efter regn blir sämre och med anledningen av detta isolerades inte väggen i norr för modell A3. Resultat från samtliga simulerade modeller visar dock att mögelindexet stiger snabbare för konstruktionen i söder än i norr. För den aktuella byggnaden på den aktuella platsen verkar det således som att den högre regnintensiteten i söder är ett större fuktproblem än den sämre uttorkningen i norr. Det ska dock poängteras att Harrestrup & Svendsen (2016) simulerade i väst och norr, i stället för i söder och norr.

När det kommer till risken för frostsprängning varierar den mellan modellerna. Det är framför allt modellerna med invändig tilläggsisolering som uppvisar risk för frostsprängning, vilket var väntat. Eftersom det togs beslut att inte tilläggsisolera norrväggen i A3, var förväntningarna att det skulle finnas risk för frostsprängning i söder men inte i norr, vilket även resultaten visar. I A5 isolerades alla väggar, främst för att modellen skulle ha så låg energiförbrukning som möjligt, men även för att se skillnaden i fuktproblematik mellan söder och norr. Vid en jämförelse av A5 Söder och A5 Norr ser isopleterna för de analyserade punkterna i ytterväggen mycket lika ut. Det finns faktiskt eventuellt några fler punkter som ligger i riskzonen, vid minusgrader och över 90 procent relativ fuktighet, i söder. Det visar på att det även när det kommer till frostsprängning så är det mer intensiva slagregnet i söder förmodligen är ett större problem än brist på uttorkning av väggen i norr för den aktuella byggnaden på den aktuella platsen.

En jämförelse mellan punkterna "Tegel 1" och "Tegel 2" visar att risken för frostsprängning är betydligt större för "Tegel 1" för modellerna med tilläggsisolering. Detta visar att det naturliga värmeflödet som egentligen skapats för att skydda takstolen i stället skyddar den övre delen av ytterväggen från frostsprängning. Den översta delen av ytterväggen hamnar alltså i ett varmare klimat än delarna längre ner, därav resultaten.

Som en avslutande del i fuktsimuleringarna togs en modell fram som hade ett mögelindex på under två. Det som krävdes var att den utvändiga tilläggsisoleringen och isoleringen i taket överlappade varandra, samtidigt som isoleringstjockleken i taket ökade. Det visar att takstolen behöver hamna i ett varmare klimat för att inte riskera att bli utsatt för mögelpåväxt. Det är dock viktigt att tydliggöra att det är svårt att spegla verkligheten till fullo i WUFI 2D och resultaten bör därmed bedömas med försiktighet.

6.4 Ombyggnadsåtgärder

Resultaten i avsnitt 5.5 visar att ingen ombyggnadsåtgärd uppfyller samtliga ställda krav. Som nämnt i avsnitt 5.5 måste man ge avkall på ett eller flera krav för att uppfylla ett annat. Det framgår tydligt när man jämför modell A5 med modell A6 där modell A5 inte uppfyller kraven på energianvändning men uppfyller kraven på kulturmärkning medan modell A6 uppfyller kraven på energianvändning men inte uppfyller kraven på kulturmärkning. Som nämnt ovan finns det ett undantag för Byggnad 5 där modell B2 och B3 båda uppfyller kraven på kulturmärkning och B3 även uppfyller kraven på energianvändning. Motsvarande modell för Bobutiken, modell A3, uppfyller inte kraven. Detta beror på att den omslutande arean är mycket mindre i förhållande till uppvärmd area (A_{temp}) för Byggnad 5 jämfört med Bobutiken. Det är även viktigt att poängtera att i arbetet har kravet på energianvändning varit nybyggnadskravet på primärenergital, men som beskrivet i 2.2 får man göra avsteg från nybyggnadskravet vid ändring av byggnad om man till exempel inte lyckas uppfylla kulturmärkningen för att klara energikravet. I spritfabrikens fall finns det därmed egentligen inget krav på primärenergital, eftersom man inte får ändra fasaden. Med dagens elpriser och fokus på energieffektivisering kan man fråga sig hur rimligt det är att en kulturmärkning ska stå så starkt i jämförelse med energikraven.

Det har inte gjorts någon livscykelanalys i detta arbete, men eftersom energianvändningen kommer vara högre för de analyserade byggnaderna jämfört med vad en nybyggd byggnad får ha, finns det en risk att den energin och de CO₂e man sparar genom att behålla stommen på lång sikt förloras. Sparad energianvändning under produktion och begränsningarna på grund av kulturvärden ger i detta fall ökad energianvändning i driftskedet för de analyserade byggnaderna. Men eftersom det inte gjorts några beräkningar är det svårt att avgöra om detta kommer ske och i så fall efter hur lång tid.

Med tanke på att antalet ombyggnadsåtgärder i arbetet har begränsats till sju för Bobutiken (A1 – A7) respektive fyra för Byggnad 5 (B1 – B4) går det inte att utesluta att det finns andra ombyggnadsåtgärder som är mer lämpliga för det aktuella projektet och som uppfyller fler krav än vad de analyserade modellerna gör.

6.5 Arbetets resultat i förhållande till tidigare forskning

För att öka energiprestandan hos historiska byggnader kom Aleva, et al. (2014) fram till att gamla byggnaders klimatskal måste förbättras, vilket tydligt bekräftas av resultaten som tagits fram i detta arbete. Utöver ett förbättrat klimatskal kom även Aleva, et al. (2014) fram till att val av energikällor och installationer har en stor påverkan på energiprestandan. Vi har dock inte studerat olika installationer eller olika val av energikällor utan de har varit oförändrade mellan respektive modell för att kunna jämföra ombyggnadsåtgärderna med varandra. Bortsett från detta så bekräftar våra resultat den tidigare forskningen att energiprestandan förbättras i takt med att klimatskalet förbättras.

Dahlberg och Lindblad (2017) undersökte hur äldre stationsbyggnader med bevarandekrav ska renoveras vid ändrad användning för att uppnå energikraven. Resultatet visar att ett oisolerat tegelhus använder nästan fyra gånger mer energi än vad kravet är och att det renoverade huset använder nästan dubbelt så mycket än vad kravet är. Renoveringen innebar att grund, väggar och tak isolerades vilket kan jämföras med modell A3 respektive B3. Våra resultat visar att A1 (533 kWh/m^2) har cirka sju gånger så högt primärenergital än kravet på 75 kWh/m^2 och A3 (136 kWh/m^2) har nästan dubbelt så högt som kravet är. Modell B1 (224 kWh/m^2) hade däremot tre gånger så högt primärenergital än kravet och modell B3 (58 kWh/m^2) klarar kravet. En av byggnaderna använder mer energi än vad Dahlberg och Lindblads (2017) resultat visar och en använder mindre. Skillnaden mellan resultaten visar att den uppvärmda arean i förhållande till den omslutande arean spelar mycket stor roll.

Modellerna med invändig tilläggsisolering har som tidigare beskrivits utgått från resultaten från Harrestrup och Svendsens (2016) arbete. Våra resultat skiljer sig dock åt när det kommer till vilket väderstreck som ger mest fuktproblematik. Deras resultat indikerade att norr var värst eftersom uttorkningen är dålig i detta väderstreck. Våra resultat visade däremot att den högre regnintensiteten i söder ger större fuktproblematik än den begränsade uttorkningen i norr. Detta gäller både problemen med mögelpåväxt på takstolen och risken för frostsprängning i tegelväggen. Med våra resultat kan man konstatera att det inte var till någon nytta när det kommer till fuktsäkerhet att inte isolera norrväggen i modell A3. Eftersom Harrestrup och Svendsens (2016) simuleringar gjordes i väst och norr, medan vi gjorde simuleringar i söder och norr, är det möjligt att de hade fått samma resultat som vi om de även simulerade i söder. Både regnintensitet och uttorkning kan skilja sig mellan olika geografiska platser och det kan därmed bli olika resultat beroende på var byggnaden ligger.

6.6 Felkällor och osäkerheter

Som i alla arbeten finns det en rad felkällor och osäkerheter. Nedan diskuteras en rad sådana och hur de kan påverka de slutgiltiga resultaten.

Arbetet har skett parallellt med både projektering och produktion av projektet, vilket har resulterat i en rad antaganden av indata som kan komma att ändras under projektets gång. Det kan till exempel handla om hur vissa byggnader eller rum kommer att användas, hur ofta det vistas personer där etc. Dock var Bobutiken och Byggnad 5 de byggnader som kommit längst i sin projektering och därför riskerade minst ändringar. Till resultaten tillkommer därmed alltid en viss osäkerhet då det är många ingående faktorer som påverkar resultatet. Detta innebär att resultatet för energianvändningen under avsnitt 5.1 endast gäller för Bobutiken och Byggnad 5 med de givna förutsättningarna och indata som redovisats. NCC:s avdelning för teknik och hållbarhet har tidigt i projektet genomfört energiberäkningar för Bobutiken och för hela Byggnad 5. Till en början skapades därför modell A2 som speglar den modellen som NCC har gjort energiberäkning på och som är det verkliga utfallet hur Bobutiken ska byggas. Med hjälp av detta kunde resultaten verifieras mot den energiberäkning som NCC gjort. Differensen var liten vilket stärkte tesen om att de antaganden och indata som har använts för våra modeller i IDA ICE kan anses rimliga.

Där projektspecifika indata inte funnits har en del indata till IDA ICE hämtats från Sveby. Indatan från Sveby kan dock ifrågasättas med tanke på att de är framtagna 2013 och 2012 för kontor respektive bostäder. Sedan dessa arbetades fram av Sveby har det varit en omfattande pandemi som har haft en stor påverkan på framför allt kontorsarbete och öppnat upp för att i större utsträckning arbeta på distans. Vid distansarbete är det många som arbetar hemifrån, vilket gör att det ändrade brukarbeteendet för kontor även kommer att påverka brukarbeteendet för bostäder och därmed hade det inte skadat med uppdaterade indata från Sveby om hur brukarbeteendet för kontor och bostäder ser ut tio år senare och efter en pandemi.

Det finns även osäkerheter i resultaten från WUFI2D. Programmet är tvådimensionellt och för att spegla verkligheten behöver man egentligen analysera i tre dimensioner. Till exempel tas ingen hänsyn till värmeflöde genom eventuella köldbryggor när programmet simulerar i två dimensioner. En annan osäkerhet när det kommer till fuktsimuleringarna är att många olika typer av modeller har testats och många har kraschat eller gett missvisande resultat, vilket gjorde att modellerna fick förenklas. Bland annat fick simuleringstiden minskas från fem till två år och tidiga försök med en extra fuktkälla i taket för att kontrollera vad som händer om taket inte är helt tätt fick tas bort. En mer detaljerad modell med längre simuleringstid hade gett mer tillförlitliga resultat. Dessa

problem och ändringar av modellerna gör att modellerna inte ser exakt ut som önskat och det är efter många kraschade simuleringar svårt att lita helt på resultaten eftersom programmet inte har fungerat konsekvent och orsaken till problemen har inte utretts närmare. Resultaten som är presenterade är dock alla från simuleringar som kört klart. Vissa av modellerna har dock krävt flera simuleringar då de första försöken har kraschat.

Frostsprängning är ett komplicerat fenomen och eftersom risken för att detta endast var en liten del i arbetet gjordes bedömningen på ett mycket förenklat sett. Det betyder att det inte kan uteslutas att det inte finns risk för frostsprängning, även för de modeller som inte uppvisar risk för det i våra resultat.

För alla resultat gäller att de är baserade på simulering och det faktum att inte finns några mätningar för det aktuella projektet att jämföra dem med, så det går inte att validera resultaten mot uppmätta värden på energianvändning, operativa temperaturer, relativ fuktighet och så vidare. Däremot kommer det gå att följa upp resultaten för modell A2 och B2 när ombyggnationen är färdigställd.

7 Slutsats

Arbetets syfte var att med Eslövs spritfabrik som fallstudie jämföra och analysera olika ombyggnadsåtgärder och dess effekter på energianvändning, fuktsäkerhet och termiskt klimat samtidigt som hänsyn tas till kulturbevarande vid ändring från lokal till bostad eller kontor. Dessa jämförelser och analyser har gjorts med hjälp av simuleringsprogrammen IDA ICE och WUFI 2D. Resultaten visar att för de aktuella byggnaderna på den aktuella platsen är det svårt uppfylla kraven på kulturbevarande och samtidigt uppfylla nybyggnadskrav på primärenergital, få ett behagligt termiskt klimat samt garantera en fuktsäker konstruktion.

Den mest lämpliga ombyggnadsåtgärden för att uppnå ställda krav på primärenergital enligt de kraven som ställs från Boverket för nybyggnad innebär att en utvändig tilläggsisolering appliceras som ombyggnadsåtgärd, modell A6 respektive B4. För Byggnad 5 uppfyller även fallet med en invändig tilläggsisolering, modell B3 kraven på primärenergital.

Fuktsimuleringar som genomförts på modellerna redovisar att samtliga studerade modeller uppvisar risk för mögelpåväxt på takstolarna och modellerna med invändig tilläggsisolering har en förhöjd risk för frostsprängning. Av resultaten att tyda är det svårt att dra någon slutsats om vilken modell som kan anses som mest lämplig att utföra ur fuktsynpunkt då samtliga studerade ombyggnadsåtgärder redovisar att det finns en föreliggande risk för problem.

För att uppnå det bästa termiska klimatet redovisades att olika ombyggnadsåtgärder för Bobutiken respektive Byggnad 5 var mest lämpligt. Bobutiken fick det bästa termiska klimatet genom invändig tilläggsisolering i kombination med komfortkyla (modell A4) medan Byggnad 5 redovisade att utvändig tilläggsisolering (modell B4) sammanlagt gav det bästa termiska klimatet sett till de studerade ombyggnadsåtgärder.

Resultatet visade att samtliga modeller som inte innebar utvändig tilläggsisolering uppfyllde kraven på kulturbevarande. Med tanke på att det inte får göras några avkall på kravet för kulturbevarande vid ombyggnad kan således modellerna med utvändig tilläggsisolering inte appliceras som ombyggnadsåtgärd, även om de för Byggnad 5 tydligt redovisar sig vara mest lämplig som ombyggnadsåtgärd när det kommer både till primärenergital och termiskt klimat.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det är svårt att hitta en ombyggnadsåtgärd som ger det bästa totala resultatet. Det man kan utesluta direkt är utvändigt tilläggsisolering eftersom man med denna typ av åtgärd gör avkall på q-märkningen i detaljplanen. Då återstår det att antingen tilläggsisolera invändigt eller låta ytterväggarna vara orörda i homogent tegel. Fördelarna med invändig tilläggsisolering är att uppvärmningsbehovet minskar och det termiska klimatet förbättras, men nackdelarna är att risken för frostsprängning ökar. Eftersom man får göra avsteg från nybyggnadskravet på primärenergital för det aktuella projektet är det därmed rimligt att man valt att bygga som modell A2 och B2. En mer detaljerad analys på frostsprängning rekommenderas för att ta reda på hur mycket invändig tilläggsisolering som väggarna klarar utan att risken för frostsprängning blir för stor. Resultatet skulle kunna ge en fingervisning om hur mycket det skulle vara lämpligt att tilläggsisolera invändigt och på så sätt få lägre energibehov för uppvärmning och bättre termiskt klimat samtidigt som väggarna klarar sig från frostsprängning. Då alla modeller uppvisade risk för mögelpåväxt på takstolarna rekommenderas det även att undersöka detta närmare.

8 Fortsatt forskning

Nedan presenteras ett antal ämnen som hade kunnat forskas vidare på. Dessa ämnen och frågeställningar har kommit upp under arbetets gång, men är inget som vi har kunnat analysera i detta examensarbete. En del forskning kan bygga vidare på våra resultat, en del är saker som vi upptäckt behöver utredas närmare under arbetes gång.

8.1 Primärenergital vid kulturbevarande

Idag tillåts man göra avsteg från kraven på energianvändning med hänsyn till ändringens omfattning, byggnadens förutsättningar, varsamhetskravet och förvanskingsförbudet. En kulturhistorisk byggnad som byggs om till bostäder eller liknande har därmed inte något krav på primärenergital eftersom avsteg av dessa anledningar får göras. I takt med att fler och fler gamla byggnader byggs om till bostäder och kontor hade man kunnat utreda om finns behov att ta fram krav på primärenergital även för byggnader som inte kan klara kraven för nybyggnad. Dessa krav hade rimligtvis varit något lägre än vad nybyggnadskraven är eftersom man måste anpassa sig till de gamla byggnadernas förutsättningar. Men med sådana krav finns det en möjlighet att man i stället för att bara hänvisa till avsteg från kraven faktiskt gör en så energieffektiv byggnad som möjligt. Exempel på detta är att man då tvingas ta reda på hur mycket invändig tilläggsisolering som byggnaden klarar av i stället för att inte isolera alls.

8.2 Frostsprängning

Risken för frostsprängning i detta arbete bedömdes på ett mycket förenklat sett. Fortsatt forskning hade kunnat göras på detta. Genom att använda specifika data för teglet i det aktuella projektet hade man kunnat bedöma risken på ett mycket bättre vis. Men som beskrivet tidigare är frostsprängning komplicerat och det hade behövts ett separat arbete för det. Ett sådant arbete hade även kunnat ta fram hur mycket invändig tilläggsisolering de olika väggarna klarar av och på så sätt få en så energieffektiv byggnad som möjligt.

8.3 Mögelpåväxt takstol

Eftersom samtliga modeller i arbetet uppvisar risk för mögelpåväxt på takstolarna bör en närmare analys på denna konstruktion göras. Först och främst kontrollera om konstruktionen verkligen är så dålig ur fuktsynpunkt som våra resultat visar. Om den visar sig vara så dålig bör det analyseras hur man kan åtgärda problemet på ett så bra sett som möjligt.

8.4 Lufttätthet i äldre byggnader

Vid beräkningar i IDA ICE används ett värde på lufttätthet för att ta hänsyn till läckage som påverkar uppvärmningsbehovet och därmed energianvändningen. Normalt sett finns krav på vad en byggnad ska uppfylla för värde på lufttätthet från Boverket och efter nybyggnad eller ändring av en byggnad kan man mäta lufttättheten för att kontrollera att detta uppfylls. Däremot finns det begränsat med forskning om lufttätthet vid ombyggnation av äldre byggnader som exempelvis kulturhistoriska byggnader i tegel. Detta påverkar energiberäkningar som genomförs med en större osäkerhet på det faktiskt uppvärmningsbehovet. För kulturmärkta byggnader finns det möjligheter att göra undantag för att energiförbrukningen enligt Boverket inte uppfylls. Vid ombyggnation av ej skyddade byggnader kan dock osäkerheten som bland annat lufttätthet medför innebära att beräknad energianvändning överskrider Boverkets krav och att byggnaden därmed inte blir godkänd. Med detta sagt lämnar det utrymme för framtida forskning i äldre byggnader, främst tegelbyggnader, att mäta lufttättheten för att således minska osäkerheten kring lufttätthet och energianvändning.

8.5 Ändrat brukarbeteende för kontor och bostäder efter pandemin

Indata för brukarbeteende hos kontor och bostäder arbetades fram av Sveby 2013 respektive 2012. Under 2020 drabbades världen av en pandemi vilket gjorde att det arbete som var möjligt skulle ske på distans. Detta medförde att majoriteten av allt kontorsarbete förpassades till hemmet. Efter pandemins slut har kontorsarbete på distans varit fortsatt populärt och många företag har infört olika policys med möjligheten att arbeta mer eller mindre tid på distans. Detta påverkar brukarbeteendet på kontor i form av ett minskat behov av belysning, vattenanvändning, kyla med mera som därmed minskar när färre personer arbetar på kontor samtidigt som behovet kommer att öka för bostäder när kontorsarbetet förpassas till hemmet. Det innebär att indata som används från Sveby i energiberäkningar efter pandemin baseras på ett brukarbeteende som fanns innan pandemin. Detta lämnar utrymme för att studera hur schablonvärden och indata för brukarbeteende hos kontor och bostäder har kommit att ändras efter pandemin och därmed uppdatera Sveby:s indata för kontor och bostäder.

Referenser

- Abdul Hamid, A., Johansson, D., Bagge, H. & Kristoffersson, J., 2019. *Rätt luftomsättning i självdrags- och hybridsystem i kulturhistoriskt intressanta byggnader*, Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Abel, E. & Elmrot, A., 2006. *Byggnaden som system*. Forskningsrådet Formas.
- Alba-Rodríguez, M. D., 2021. Holistic model for the assessment of restoration projects of heritage housing. Case studies in Lisbon. *Sustainable Cities and Society*, Volym 67.
- Aleva, Ü., Eskola L., Arumägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., Broström, T. Kalamees, T., 2014. Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region. *Energy and Buildings*, Volym 77, pp. 58-66.
- Arbetsmiljöverket, 2022. *Inomhusmiljö*. <https://www.av.se/inomhusmiljo/> [14 02 2023]
- Arbetsmiljöverket, 2023. *Temperatur och klimat*. <https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/> [01 03 2023]
- Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok*. 4 red. Lund: Svensk byggtjänst.
- Aspfors, J. & Mathiesen, T., 2022. *Om riksintressen för kulturmiljövården*. <https://www.raa.se/samhallsutveckling/riksintresse-for-kulturmiljovarden/om-riksintresse-for-kulturmiljovarden/> [18 01 2023]
- Assemblin, 2023. *Luftbehandling Kv. Örnen 4, Spritfabriken*
- Atmaca, N., Atmaca, A. & Özçetom Ihsan, A., 2021. The impacts of restoration and reconstruction of a heritage building on life cycle energy consumption and related carbon dioxide emissions. *Energy and Buildings*, 283(253).
- Blakstad, S. H., 2001. *A Strategic Approach to Adaptability in Office Buildings*, Norwegian University of Science and Technology.
- Blecich, P., Frankovic, M. & Kristl, Z., 2016. *Energy retrofit of the Krsan Castle: From sustainable to responsible - A case study*, Rijeka: Energy and Buildings.
- Bokalders, V. & Block, M., 2014. *Byggeologi - Kunskaper för ett hållbart byggande*. i: Göteborg: Svensk byggtjänst, p. 112.

Boverket, 2018. *Boverkets byggregler och klimatanpassning*, Stockholm: Boverket.

Boverket, 2020. *Ändring av byggnader*.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/andring-av-byggnader/> [23 02 2023]

Boverket, 2021. *Kulturvärden*.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/kulturvarden/> [24 03 2023]

Boverket, u.å. *Byggande*. <https://www.boverket.se/sv/byggande> [10 01 2023]

Brunsell, J. T. & Fossdal, S., u.å. *Infiltration in Norwegian buildings*.

Bullen, P. A. & Love, P. E., 2011. *Adaptive reuse of heritage building*, Perth: Department of Construction Management, School of the Built Environment, Curtin University.

Byggvärlden, 2020. *Tomma lokaler blir bostäder*. <https://www.byggvarlden.se/tomma-lokaler-blir-bostader/> [02 02 2023].

Cellucci, C., 2021. Circular economy strategies for adaptive reuse of residential building. *VITRUVIO - International Journal of Architectural* , 6(1), pp. 110-121.

Dahlberg, I. & Lindbland, J., 2017. *Analys av stationshus uppförda 1860–1900 med bevarande- och energikrav i klimatskalet*, Jönköping: Jönköpings tekniska högskola.

EFKAB, 2022. *Rambeskrivning Luftbehandling*.

EQUA, u.å. *IDA Indoor Climate and Energy*. <https://www.equa.se/se/ida-ice> [02 05 2023]

Eslövs Bostad AB, u.å.b. *Nu väcks tegelstället till liv*. <https://spritfabriken.ebo.se/> [10 01 2023]

Eslövs Bostads AB, u.å.a. *Pressrelease*.

<https://www.ebo.se/CM/Templates/Article/general.aspx?cmguid=c6874afa-650e-4299-94a3-c96cfd6b448> [13 01 2023]

Eslövs kommun, 2022. *Byggstart för spritfabriken klubbad*.

<https://eslov.se/nyheter/byggstart-for-spritfabriken-klubbad/> [10 01 2023]

Eslövs Kommun, u.å. *Spritfabriken*.

<https://historia.eslov.se/startside/i-eslov/byggnader/spritfabriken> [10 01 2023]

FoHMFS 2014:17, 2014. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*, Stockholm: Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten, 2023. *Vägledning om ventilation*.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/ventilation> [14 02 2023]

Foster, G., Kreinin, H. & Stagl, S., 2020. The future of circular environmental impact indicators for cultural heritage buildings in Europe. *Environmental Sciences Europe*, 32(141).

Fraunhofer IBP, 2023. *WUFI 2D*. <https://wufi.de/en/software/wufi-2d/> [02 05 2023]

Fraunhofer IBP, u.å. *WUFI Mould Index VTT*.

<https://wufi.de/en/2017/03/31/wufi-mould-index-vtt/> [02 05 2023]

Fuktcentrum, 2013. *Branschstandard ByggaF - metod för fuktsäker byggprocess*, Lund: Fuktcentrum.

Harrestrup, M. & Svendsen, H. S., 2015. Full-scale test of an old heritage multi-storey building undergoing energy retrofitting with focus on internal insulation and moisture. *Building and Environment*, Volym 85, pp. 123-133.

Harrestrup, M. & Svendsen, H. S., 2016. Internal insulation applied in heritage multi-storey buildings with wooden beams embedded in solid masonry brick façades. *Building and Environment*, Volym 99, pp. 59-72.

Håkansson, S., 2007. *Eslöv får ännu ett höghus*.

<https://www.sydsvenskan.se/2007-08-27/eslov-far-annu-ett-hoghus> [10 01 2023]

Häggman, C., 2022. *Adaptiv återanvändning av det byggda kulturarvet*, Göteborg: Göteborgs Universitet.

Höjer, M. & Mjörnell, K., 2018. *Measures and Steps for More Efficient Use, Sustainability*.

Johansson, L., 2021. *Det här är Sveriges övergivna platser*.
<https://www.svt.se/nyheter/inrikes/det-har-ar-sveriges-overgivna-platser>
[02 05 2023]

Johansson, P. o.a., 2014. Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations. *Building and Environment*, Volym 79, pp. 31-45.

Kyaw, S. S. K., 2020. *Investigate the environmental impacts of adaptive reuse industrial heritage building and compare with other scenarios: Demolition and New construction*, Oslo: Oslo Metropolitan University.

Lidelöv, S., Örn, T., Luciani, A. & Rizzo, A., 2019. Sustainable Cities and Society. *Dahlberg och Lindblad (2017)*, Volym 45, pp. 231-242.
Länsstyrelsen, u.å. *Byggnadsminnen*.
<https://www.lansstyrelsen.se/stockholm/samhalle/kulturmiljo/byggnadsminnen.html>
[02 02 2023].

Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J. & Erlandsson, M., 2021. *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader*, Stockholm: KTH.

Martínez-Molina, A., Tort-Ausina, I., Cho, S. & Vivancos, J.-L., 2016. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175(61), pp. 70-85.

Meteonorm, u.å. *Meteonorm Version 8 - Updated historic, current and future data*.
<https://meteonorm.com/en/meteonorm-version-8> [02 05 2023]

Mjörnell, K., 2022. *Återanvänd byggnader till ny användning och nya förutsättningar*.
<https://www.ri.se/sv/nyheter/blogg/ateranvand-byggnader-till-ny-anvandning-och-nya-forutsattningar> [02 02 2023]

Naturvårdsverket, u.å. *Klimatomställning*.
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/>
[12 01 2023]

NCC, 2022. *Smygstart för NCC och Ebo:s ombyggnad av spritfabriken i Eslöv*.
<https://www.ncc.se/media/nyheter/smygstart-for-ncc-och-ebos-ombyggnad-av-spritfabriken-i-eslov/> [11 01 2023]

Petković-Grozdanovića, N., Stoiljković, B., Keković, A. & Murgull, V., 2016. The Possibilities for Conversion and Adaptive Reuse of Industrial Facilities into Residential Dwellings. *Procedia Engineering*, 213(165), pp. 1836-1844.

Puttoo Ittoop, S., 2014. *Evaluation of Critical Factors from Residential Adaptive Reuse Projects*, Toronto: Toronto Metropolitan University.

Regeringen, 2022. *Utgiftsområde 20 - Allmän miljö- och naturvård*, Stockholm: Regeringen.

Remøy, H. & van der Voordt, T., 2014. Adaptive reuse of office buildings into housing: opportunities and risks. *Adaptive reuse of office buildings into housing: opportunities and risks*, 51(42), pp. 381-390.

Riksantikvarieämbetet, 2021. *Lagar och ansvar för kulturhistorisk bebyggelse*. <https://www.raa.se/hitta-information/bebyggelseregistret-bebr/stoddokument-bebr/lagar-och-ansvar/> [03 02 2023]

Sesana, E., Bertolin, C., Gagnon, S, A. & Hughes, J, J., 2019. Mitigating Climate Change in the Cultural Built Heritage Sector. *Climate*, 7(7).

Socialstyrelsen, 2005. *Temperatur inomhus*, Stockholm: Socialstyrelsen.

Statistikmyndigheten, 2022. *Utsläpp av växthusgaser*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/utslapp-av-vaxthusgaser/> [13 01 2023]

Sveby, 2012. *Brukarindata bostäder*, Stockholm: Sveby.

Sveby, 2013. *Brukarindata kontor*, Stockholm: Sveby.

Trafikverket, 2021. *Fyrstegsprincipen*. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/fyrstegsprincipen/> [13 01 2023]

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. Projektering av VVS-installationer. i: 1 red. Lund: Studentlitteratur, p. 1:21.

Bilaga 4.1

Tabell 44. Angivna påslag för köldbryggor i anslutning mellan byggnadsdelar för Bobutiken (W/K m)

Köldbrygga	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Yttervägg Mellanbjälklag	0,2	0,2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2
Yttervägg Innervägg	0	0	0	0	0	0	0
Yttervägg Innervägg	0	0	0	0	0	0	0
Fönster Yttervägg	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ytterdörr Yttervägg	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tak Yttervägg	0,4	0,4	0,2	0,18	0,18	0,18	0,4
Yttervägg Grund	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7

Tabell 45. Angivna påslag för köldbryggor i anslutning mellan byggnadsdelar för Byggnad 5 (W/K m)

Köldbrygga	B1	B2	B3	B4
Yttervägg Mellanbjälklag	0,2	0,2	0,07	0,07
Yttervägg Innervägg	0	0	0	0
Yttervägg Innervägg	0	0	0	0
Fönster Yttervägg	0,1	0,1	0,1	0,1
Ytterdörr Yttervägg	0,1	0,1	0,1	0,1
Tak Yttervägg	0,4	0,4	0,18	0,18
Yttervägg Grund	0,7	0,7	0,5	0,5