

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVBH—22/5121
Lund 2022

Energi- och fuktprestanda av isolerblock

En undersökning av Gabloks element i det
svenska klimatet

Rasmus Bengtsson
Simon Castlen



LUNDS
UNIVERSITET

Energi- och fuktprestanda av isolerblock

En undersökning av Gabloks element i det svenska klimatet

Rasmus Bengtsson
Simon Castlen

Examensarbete

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

© Rasmus Bengtsson och Simon Castlen

ISRN LUTVDG/TVBH—22/5121—SE(86)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Energi- och fuktprestanda av isolerblock -
En undersökning av Gabloks element i det svenska klimatet
- Författare:** Rasmus Bengtsson & Simon Castlen
- Handledare:** Petter Wallentén, Universitetslektor vid Avdelningen för
Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola
- Examinator:** Olof Mundt-Petersen, Adjungerad Universitetslektor vid Avdelningen
för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola samt Polygon Sverige
- Bakgrund:** Byggasjälvlösningar är ett koncept som består av prefabricerade element som icke fackmannamässiga personer ska kunna uppföra. I denna rapport undersöks det belgiska företaget Gabloks produkter som bygger på byggasjälv-metoden. Undersökningen utreder hur en yttervägg bestående av Gabloks element ställer sig emot det svenska klimatet med avseende på fukt och energi. Av särskilt intresse är risken för mikrobiell påväxt (mögel). Undersökningen sker med hjälp av handberäkningar, simuleringar i WUFI och riskanalys i Folosdiagram.
- Syfte:** Rapportens syfte är att undersöka möjligheterna samt riskerna med användandet av väggkonstruktion i Sverige innehållandes Gablok-element avseende på fukt och energi.
- Metoder:** I rapporten används litteraturstudier, simuleringsprogrammet WUFI och riskanalysdiagrammet Folos. Litteratur bestående främst av rapporter, elektroniska och tryckta källor.
- Slutsatser:** Slutsatser från rapporten är att användning av Gablok-element i en yttervägg uppfyller det riktvärde avseende på värmetransmission för vägg som finns i BBR. Gällande fukt kan fukttekniska problem uppstå där valet av väggkonstruktionens utformning är av betydelse.
- Nyckelord:** Gablok, WUFI, Folosdiagram, Fukt, Mögel, Prefabricering

Abstract

Self-building is a concept that consists of prefabricated elements where non-professionals should be able to assemble these elements. This report examines the Belgian company Gablok, which is based on the self-building method. The study investigates how the solution of Gablok performs in the Swedish climate with focus on moisture and energy. The report is based on manual calculations, simulations in WUFI and a risk analysis in Folos chart. The purpose of the report is to investigate the possibilities and risks of using this wall construction containing Gablok elements in Sweden with regard to moisture and energy. The Report uses literature studies, the WUFI simulation program and the Folos chart mould risk analysis. Literature consisting of reports, company websites and printed sources. Conclusions from the report are that the use of Gablok solutions meets the guideline values regarding heat transmission for walls. Regarding moisture, moisture technical problems can arise where the choice of the wall construction is important.

Förord

Denna kandidatuppsats är skriven på Lunds Tekniska Högskola på Avdelning för Byggnadsfysik på Högskoleingenjörsprogrammet för Byggt teknik med Arkitektur. Arbetet omfattar 22,5 högskolepoäng och undersöker energiprestandan och fuktsäkerheten av ett prefabricerat element från det belgiska företaget Gablok.

Vi vill tacka vår handledare, Petter Wallentén, som under arbetets gång har varit ett viktigt stöd och till stor hjälp med sin kunskap och erfarenhet. Vi vill även rikta ett tack till vår examinator Olof Mundt-Petersen.

Lund, maj 2022

Rasmus Bengtsson

Simon Castlen

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	iii
Förord	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställning	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 Konstruktionsmetoder	3
2.1 Prefabricering	3
2.1.1 Byggasjäl	3
2.2 Nulägesbeskrivning	3
2.3 Gablok	5
2.3.2 Material	7
2.4 Tidigare studier	8
3 Teori	11
3.1 Brand	11
3.1.1 Allmänt om brandskydd	11
3.1.2 Brandskydd för studerad vägg	12
3.2 Fukt	13
3.2.1 Allmänt om fukt	13
3.2.2 WUFI	14
3.2.3 Mikroorganismer	14
3.3 Energi	16
3.3.1 Allmänt om energi	16
4 Metod	19
4.1 Beräkning av U-värde	19

4.2 Beräkning av fukt	21
4.3 Arbete i WUFI	25
4.3.1 Gabloks exempellösning	27
4.3.2 Typlösning	29
4.3.3 Basfall	29
4.3.4 Parameterstudie och extremfall	30
5 Resultat och analys	35
5.1 Gablok	36
5.2 Basfall	38
5.3 Parameterstudie	40
5.3.1 Extremfall	44
5.4 Analys av Folosdiagram	47
6 Diskussion	49
6.1 Konstruktion	49
6.2 Noggrannhet	50
7 Slutsats	53
8 Förslag på fortsatta studier	55
Källförteckning	57
Elektroniska källor	57
Tryckta källor	59
Illustrationsförteckning	60
Appendix	61

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Byggasjälvlösningar används vanligtvis olika varianter av prefabricerade element. Dessa element kännetecknas av att det inte krävs personer med fackmannamässiga kunskaper för att kunna montera dem. Detta innebär exempelvis att det krävs relativt få moment och att behovet av montage samt verktyg är reducerade. Generellt har de gemensamt att materialen är relativt lätta, vilket gör elementen mer lätthanterliga.¹

Gablok är ett företag grundat i Belgien 2019 med visionen att möjliggöra för den utan erfarenhet att uppföra stommen till ett hus. För att lösa detta har de tagit fram ett byggblock bestående av OSB-skivor (Oriented Strand Board) och EPS-cellplast (Expanded Polystyrene). Inspirationen till blocken är tagen från den metod Lego-inspirerade produkter använder för sammansättning av bitar.

I detta examensarbete kommer de prefabricerade byggblocken från Gablok huvudsakligen undersökas i simuleringsprogrammet WUFI med avseende på fukt och energi.

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med detta arbete är att undersöka om Gabloks byggblock, som bland annat finns i Belgien och Storbritannien, kan användas i Sverige med beaktande av det svenska klimatet. Frågeställningen som utreds är:

Uppfyller en yttervägg innehållande Gabloks byggblock de lägst ställda kraven för godkänt i Boverkets byggregler (BBR) med avseende på fukt och energi?

1.3 Avgränsningar

Arbete har avgränsats till enbart en teoretisk undersökning av krav i BBR avseende fukt och energi. Därmed undersöks inte möjligheten att uppnå de miljöcertifieringar som ställer högre krav på fukt och energi än BBR. För att säkerställa så väggarna uppfyller relevanta krav för brandsäkerhet och därmed undvika att studien blir irrelevant, utförs en enkel delstudie i syfte att utreda att så är fallet. Risken för fuktskador i ytterväggen bedöms vara störst på utsidan av byggblocken. Därför har simuleringar endast gjorts i

¹ Gablok: "Build your own house in Belgium".

detta skikt. Simuleringarna har begränsats till fem svenska orter som är simulerade under fyra år. Detaljer i konstruktionen såsom anslutningar mellan grund, tak, fönster och dörrar likväl som skarvar mellan blocken har inte beaktats. Endast en grundläggande utredning av brandkrav genomförs.

Hållfasthet och statiska egenskaper hos byggblocken utreds inte, vilket dock skulle kunna vara av intresse eftersom norra Sverige har en större snölast än centraleuropa. Den juridiska aspekten av att en icke fackmannamässig person uppför stommen av en byggnad beaktas inte. Ekonomiska aspekter kommer heller inte att utredas.

1.4 Metod

Litteraturstudie har genomförts gällande olika typer av volymelement, huvudsakligen Gablok men även andra liknande konstruktionslösningar. Till litteraturstudien har information hämtats från forskningsrapporter, elektroniska och tryckta källor. Litteraturstudien innehåller även manualen till simuleringsprogrammet WUFI. Kontroll av vägg sker först med handberäkning för att sedan simuleras i WUFI. För de simuleringar som har gjorts i WUFI har utdata bearbetats vidare med hjälp av Folosdiagramet² för att undersöka risken för fuktskador.

² Mundt-Petersen (2015) s. 24.

2 Konstruktionsmetoder

2.1 Prefabricering

Idag är byggprocessen alltmer industrialiserad och produktionen sker ofta på en annan plats än vart byggnaden ska stå. Prefabricering innebär att en del eller delar av en produkt är förtillverkad.³ Sverige har en stark kompetens inom byggandet med prefabricering. Byggmetoden användes redan på 50-talet då flerbostadshus uppfördes i volymelement. Fördelarna med prefabricering var att man ansåg att det var fördelaktigt för arbetsmiljön och minskade behovet av humankapital. På 80-talet var andelen av småhusen som uppfördes genom modulbyggnade 85 %.⁴

Trenden från 80-talet fortsätter än idag och alltmer volymbyggande utförs i trä. År 2004 tillsatte regeringen en utredning gällande träbyggande i syfte att undersöka strategier för att öka inslaget av trä i byggandet. Detta innebar även att man ville öka omfattningen av prefabricerade flerbostadshus i trä.⁵

2.1.1 Byggasjäl

Vid byggasjäl-lösningar används vanligtvis olika varianter av prefabricerade element. Dessa typer av element kännetecknas av att de inte kräver fackmannamässiga personer som ska kunna utföra dem. Detta innebär exempelvis att det krävs relativt få moment och att behovet av montage samt verktyg är reducerat. Generellt är materialen relativt lätta vilket gör att elementen är mindre krävande gällande lyftanordningar samt humankapital.⁶

2.2 Nulägesbeskrivning

Det finns i dagsläget en rad olika prefabricerade element som underlättar på byggarbetsplatsen. Element som ska vara både bärande och isolerande innehåller redan vid leverans någon form av isolering inkapslat i ett skal och är redo att monteras. Olika typer av element används i olika delar av världen.

I Sverige är sandwich block av lättklinker med cellplast i mitten en vanligt förekommande metod där dessa block muras med traditionellt murbruk. Blocken är bärande och ger en bättre energiprestanda än homogena lättklinkerblock. Det finns även

³ Svensk betong: "Produktionsmetoder".

⁴ Boverket: "Bostäder byggda med volymelement - En fallstudie av svenska bostadsprojekt - verklighet och vision" s. 46.

⁵ Ds N 2004:1 s. 62.

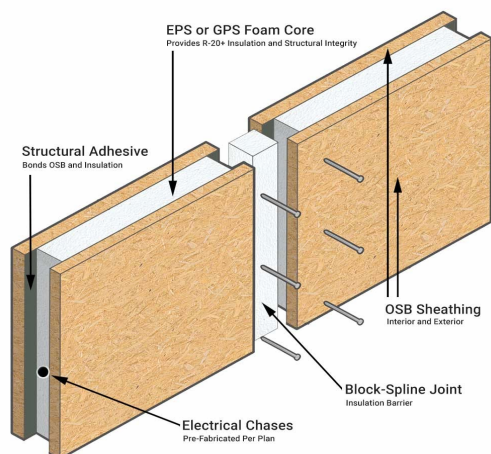
⁶ Gablok: "Build your own house in Belgium".

kompletterande lösningar med armerade lättklinkerbalkar som kan användas ovanför fönster och dörrar där även dessa balkar har en kärna av cellplast. Lättklinkerblocken kan användas både i villor och större byggnader likt skolor och kontor.⁷



Figur 1 Isolerblock av Finja

Utanför Sverige i Europa och även USA är SIP (Structural Insulated Panels) en vanlig typ av prefabricerade isolerelement. Till skillnad från lättklinkerblock är dessa element inte block utan så kallade sandwichelement bestående av cellplast inkapslat i plywood eller OSB.⁸ Sammansättning av två element finns det olika lösningar på, de kan antingen vara utformade så att de låser fast varandra eller så används en passbit mellan två element där elementen skruvas fast i passbiten. Gemensamt för båda lösningarna är att de ställs direkt på syllan.

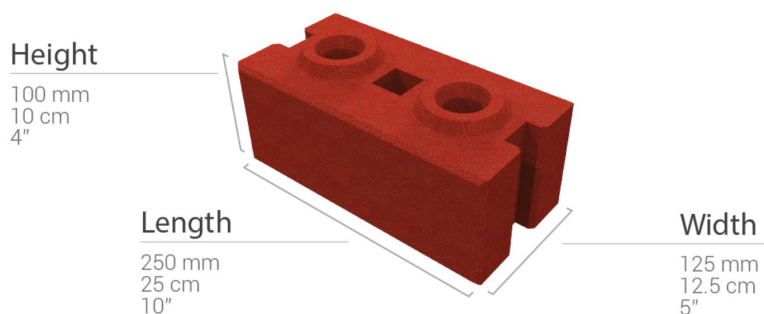


Figur 2 SIP elementskarvar

⁷ Finja: "Isolerblock och balkar".

⁸ Rise: "Guide to Structural Insulated Panels (SIPs)".

I länder med varmare klimat och där jordbävningar är vanligt förekommande används ett system av tegel som liknar legobitar. Tegelstenarna låser fast varandra med hjälp av urgröpning i botten med motsvarande förhöjning på ovansidan. Tegelstenarna har även genomgående hål som man efter montering fyller med murbruk. Det behövs inget murbruk mellan varje tegelsten vilket gör att konstruktionen klarar mer rörelse vid en eventuell jordbävning. Vid traditionell murning finns risken att murbruket spricker vid för stora rörelser och därmed riskerar huset att rasa.⁹ Metoden möjliggör även för icke fackmannamässiga personer att uppföra ett mindre hus på kort tid och till låg kostnad. Skillnaden från de två tidigare lösningar är att detta tegel inte innehåller isolering men monteringsmetoden är lik den metoden som används av Gablok.



Figur 3 Interlocking brick från Myib

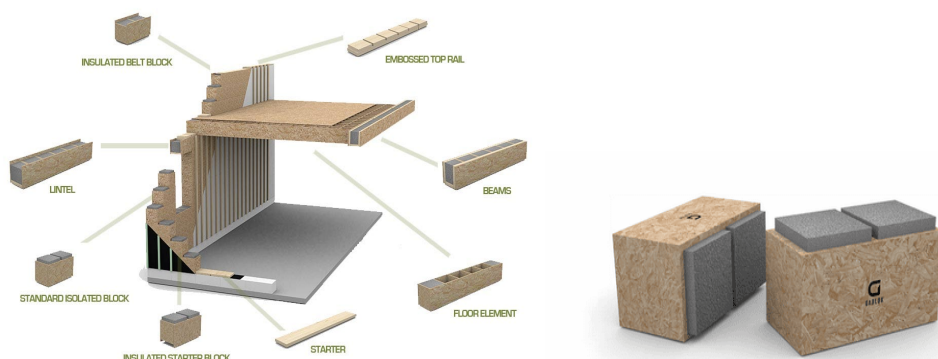
Kombinationen av lättklinkerblockens form, materialen i SIP-elementen och monteringsmetoden av teglet bildar Gabloks element vilket är den konstruktionsmetod som kommer att undersökas.

2.3 Gablok

Gablok är ett företag grundat i Belgien 2019 av Gabriel Lakatos, med en vision om att möjliggöra för den utan erfarenhet att uppföra stommen till ett hus. Lakatos tog 2018 patent på sina isolerblock. Inspirationen till blockens montering kommer från Lego-inspirerade produkter där bitar klickas i varandra.¹⁰

⁹ Civildigital: "Interlocking Bricks | Features of Interlocking Brick Masonry | Benefits | Disadvantage".

¹⁰ Gablok: "The history of Gablok".



Figur 4 Vänster bild på Gablok sektion. Till höger Gablok byggnadsblock

2.3.1 Konstruktion

Gabloks standardblock har en höjd och ett djup på 300 x 300 mm och kommer i tre olika längder: 300 mm, 600 mm och 900 mm. Enligt Gablok väger ett block som är 600 mm 7,5 kg, vilket gör dem väldigt lätthanterliga då det inte behövs kranar eller andra hjälpmedel på byggnadsplatsen. Gablok menar även att byggprocessen ska vara effektiv och att det tar mindre än en vecka för en icke kunnig att uppföra stommen till en villa. Den del av stommen som Gablok levererar är endast väggstommen. Grund och tak uppförs av separat entreprenör. Gabloks konstruktion avser att användas med platta på mark.¹¹

Gabloks produktkatalog består av åtta olika komponenter som alla bygger på legoprincipen. Förutom deras standardblock finns det längre balkar som lämpar sig till olika typer av öppningar såsom fönster- och dörröppningar. De erbjuder ett balksystem till bjälklag men även hammarband och syll.¹² Den som vill uppföra en villa med hjälp av Gablok lämnar in en arkitekthandling som de omvandlar till en ritning vilken bygger på deras åtta komponenter. Gablok erbjuder även rådgivning för montering under hela processen.¹³

Montering av dessa komponenter är enkel och bygger som tidigare nämnt på legoprincipen. Blocken läggs på varandra där de klickar i varandra och låses slutligen fast med medföljande läkt. Vid leverans medföljer även en enkel ritning som visar vilken av dessa åtta komponenter som ska vara på vilken plats. Enda verktygen som behövs är en skruvdragare, vilket inte ställer några höga krav på den som uppför stommen enligt Gablok.¹⁴

¹¹ Gablok: "Gablok UK".

¹² Gablok: "Gablok: Our insulating formwork components".

¹³ Gablok: "Does Gablok provide the process for self-builders?".

¹⁴ Gablok: "The jointing of the insulated blocks".

Blocken som levereras till ett projekt kommer packade på pallar och är anpassade efter ritning där det levereras exakt antal block som kommer att behövas för att uppföra stommen. Detta innebär att svinn på blocken inte existerar. Det enda svinn som uppkommer är pallarna och de packmaterial som använts vid leverans.¹⁵

2.3.2 Material

Standardblocken består endast av två material, OSB (oriented stranded board) och EPS (expanded polystyrene) med grafit.

OSB, även kallat OSB-skivor, består av längre träspån som sammanlimmas under högt tryck och värme. Spånen nära ytan av skivan läggs i längdriktning medan spånen i kärnan av skivan läggs vinkelrätt mot längdriktningen, vilket gör att skivans egenskaper liknar en plywoodskiva. En OSB-skiva tål inte konstant fukt eller väta, men väta under en mycket begränsad tid behöver inte nödvändigtvis utgöra ett problem.¹⁶ OSB finns i fyra kvaliteter, OSB/1 till OSB/4, där OSB/1 är till för inredning i torra lokaler och OSB/4 är den tyngsta och mest vattenbeständiga kvaliteten. Enligt Eurokod 5 är OSB/2 till OSB/4 tillåtet i bärande konstruktioner.¹⁷ I Gabloks produkter används OSB/3.

OSB-skivor är en effektiv resursanvändning av skog, då mindre träarter som är snabbväxande kan användas. Även krokiga och deformerade träd kan användas, som annars inte hade haft ett kommersiellt värde.¹⁸ Träbaserade material är förnybara och produceras genom naturlig fotosyntes. Återvinning av träskivor kan ske på olika sätt, exempelvis till energi som biobränsle samt demontering till återbruk.¹⁹

EPS är ett plastbaserat isolermaterial som i folkmun även kallas för cellplast eller frigolit. Vid värme och vattenånga kan EPS expandera till 50 gånger sin ursprungliga storlek. Råmaterialet till EPS består av små kulor av polystyren, när dessa expanderar bildas mängder av luftfickor i materialet, därav dess goda isoleringsförmåga.²⁰ Gablok använder sig av EPS med tillsats av grafit vilket ger cirka 20 % lägre värmeförluster än EPS utan grafit. Grafiten reflekterar och absorbera infraröd värmestrålning, därav lägre förluster.²¹ EPS är ett väldigt brandfarligt material då det smälter redan vid 150 °C. Den

¹⁵ Gablok: "Does Gablok provide the process for self-builder?".

¹⁶ TräGuiden: "OSB-skivor".

¹⁷ Svenskt trä "Träbaserade skivmaterial: OSB Skivor".

¹⁸ Reusewood: "About Oriented Strand Board (OSB)".

¹⁹ Svenskt Trä: "Bra att veta om träskivor".

²⁰ EPSCement: "Vad är EPS?".

²¹ Svensk Byggtjänst: "Byggekatalogen: Grafit förbättrar isoleringen".

smälta massan flyter ut och kan bilda ”pölbränder”. Dessutom utvecklar EPS tre gånger mer rök än trä vilket utgör en av de större farorna vid brand.²²

En fördel med EPS är att det går att återvinna, genom att smälta ner det och sedan göra nya polystyrenkulor och ny EPS. Det går även att finfördela de kulor som EPS:en består av och sedan använda dessa till lösisolering i exempelvis en vägg.²³ Transporterna av EPS sker i icke expanderad form, polystyren, vilket minskar dess miljöpåverkan på grund av den mindre volymen.

2.4 Tidigare studier

SIP-element är väldigt likt Gabloks element i materialval. Därför är det intressant att studera forskningsläget på dessa element för att få en bättre uppfattning av vad som är fördelaktigt och vilka nackdelar det kan finnas med denna metod.

De flesta studier av SIP-element visar på att det är i skarvarna av två element de största värmeförlusterna sker i form av luftläckage, även om en SIP-stomme är upp emot 85 % mer lufttät än en traditionell stomme av lösvirke.²⁴ Luftläckage orsakar inte bara värmeförluster utan kan även orsaka fuktproblem genom att varm luft läcker ut och ger hög relativ fuktighet eller till och med kondens när den kyls ner.

Undersökning av befintliga byggnader bestående av SIP-element har gett olika resultat, där dess prestationer varierar. En 20 år gammal toppstation på Grönland uppförd med SIP-element undersöktes och visade på god prestanda trots många år i tufft klimat. Undersökning med IR-kamera visade att skarvarna orsakade de största köldbryggorna. Det gjordes även ett trycktest för att undersöka luftläckage, testet visade att skarvarna var det som var mest kritiskt i konstruktionen, även om luftläckaget var väldigt litet. Ett exempel på en SIP-konstruktion som inte presterat lika bra är ett hus från Juneau, Alaska. Redan efter sex år upptäcktes fuktproblem i skarvar i taket på grund av att varm luft inifrån hade läckt ut och kondenserat på utsidan. Detta visade på vikten av god kunskap och korrekt montering av dessa element för att de ska prestera på ett korrekt sätt.²⁵

Ett testhus av 305 millimeter tjocka SIP-element har byggts upp i ett testlabb vid Concordia University, Kanada, för att testa prestandan i kalla klimat ner till minus 30 °C. Testet visade temperaturskillnad genom skarvar på grund av luftläckage. Testet utfördes på två lika skarvar, men med olika resultat. Testet genomfördes i två omgångar,

²² Brandskyddsföreningen: “Cellplast”.

²³ IKEM: “EPS Sverige: Återvinning av EPS”.

²⁴ Panjehpour, Ali och Voo (2013) s. 5.

²⁵ Kayello m.fl. (2017) s. 346.

en med tejp över skarvarna för att motverka luftläckage och en utan tejp. Vid testet med tejp visade båda skarvarna liknande temperaturskillnad genom skarven. Vid testet utan tejp skiljde temperaturen mellan de två skarvarna med 3–4 °C. Testet visade även på temperaturskillnaden på insidan av skarvarna, vilket skiljde cirka 3 °C med och utan tejp. Luftläckage bidrog alltså med relativt stor värmeförlust. Slutsatsen av testet var att skador på elementen och dåligt monterade skarvar var den största risken för en sämre presterande byggnad av SIP-element. Detta var extra viktigt i kalla klimat där det annars lätt kan bildas kondens.²⁶

Ett annat liknande test med 300 millimeter tjocka element utfördes för att undersöka hur ett hus av SIP presterar i kanadensiskt klimat. Mer specifikt undersöktes värme- och fuktprestandan av ett SIP-element för klimatet i Nunavut, Kanada, som har ett av världens mest utmanande klimat. Byggandet med SIP-element skulle i detta område vara revolutionerande då man endast kan bygga under en kort period på året på grund av klimatet.²⁷ Simulationer i WUFI visade att fukthalten inte nådde stabilt läge på 30 år vilket tydde på att isoleringen hade väldigt låg ångpermeabilitet, vilket i detta fall bestod av EPS. Stabilt läge betyder att fukthalten varken ökar eller minskar över tid. Att EPS har låg ångpermeabilitet beror på att cellerna med luft är helt isolerade från varandra, till skillnad från XPS (Extruded Polystyrene) som har öppna celler. Ingen vidare undersökning av fukttransport gjordes utan det konstaterades endast att SIP-elementet klarade av fukt väl i även kalla klimat.²⁸ Däremot gick simuleringen av värmetransmission bättre och testet fortgick med fysiska tester av värmetransmission. Resultatet visade att SIP-elementen klarade klimatet sett till värmetransmission mycket väl. Resultatet visade att även skarvarna hade hög prestanda vad det gäller värmetransmission. Temperaturskillnaden på insidan av testhuset visade endast en grads skillnad vid skarven jämfört med mitten av ett SIP-element vid en utetemperatur på -30 och innetemperatur på 22 °C.²⁹ I-elementet i skarven orsakade endast en ökad värmeförlust på 2,6 % sett till ett helt SIP-element.³⁰ Även i detta test konstaterades att fukttransport i skarvarna var det mest kritiska för denna typ av konstruktion. Vikten av att skarvarna och I-elementen är rätt utförda poängterades också.³¹

I båda testfallen användes ett I-element i skarven mellan SIP-elementen. I-elementet är även det bestående av EPS vilket är intressant i jämförelse med hur skarvarna av Gablok ser ut. Gabloks skarvar består endast av två block som ligger intill varandra (*figur 5*),

²⁶ Kayello m.fl. (2017) s. 346.

²⁷ Wyss m.fl. (2015) s. 1.

²⁸ Ibid s. 14.

²⁹ Ibid, figur 10, s. 13.

³⁰ Wyss m.fl. (2015) s. 12.

³¹ Ibid s. 14.

alltså är det endast OSB rakt igenom skarven, vilket kommer öka värmetransmission genom skarvarna jämfört med I-elementet, *se figur 2*.



Figur 5 Skarv av Gablok

3 Teori

3.1 Brand

För att säkerställa så väggarna uppfyller relevanta krav för brandsäkerhet och därmed undvika att studien blir irrelevant, utförs en delstudie i syfte att fastställa så att inga brandtekniska krav utgör någon form av hinder enligt svenska regelverk.

3.1.1 Allmänt om brandskydd

Ytterväggen undersöks utifrån en fristående villa, därför gäller verksamhetsklass (Vk) 3A. Vk3A omfattar bostäder där personerna förväntas ha god lokalkännedom och kan ta sig ut själva. Däremot förväntas personerna inte vara vakna.³²

För Vk3A gäller att varningssystem i form av brandvarnare ska finnas för att tidigt upptäcka brand. Det finns även krav på att utrymning från en villa ska kunna ske utan hjälp av räddningspersonal.³³

För en villa gäller byggnadsklass (Br) Br2- byggnader med måttligt skyddsbehov. Byggnader med högst tre våningsplan kan utformas i lägst Br2. Även byggnader med två våningsplan och en byggnadsarea större än 200 m² som inte delas in i brandsektioner ska utformas enligt Br2.³⁴

Det finns även brandteknisk klass för material: A1, A2, B, C, D och E. Där A1 är den klassen med högst krav på brandmotstånd och E den med lägst krav. Dessa klasser kompletteras även med tilläggsklasser:

- s1- Byggnadsdel får avge mycket begränsad mängd brandgaser.
- s2- Byggnadsdel får avge begränsad mängd brandgaser.
- s3- Inget krav på begränsad produktion av brandgaser.
- d0- Brinnande droppar eller partiklar får inte avges från byggnadsdelen.
- d1- Brinnande droppar eller partiklar får avges i begränsad mängd.
- d2- Inget krav på begränsning av brinnande droppar eller partiklar.³⁵

Brandteknisk klass beskriver ett materials egenskaper vid uppkomst av brand. Det fungerar även som ett krav på hur materialen får bete sig vid brand. Brandteknisk klass

³² BBR 2011:6 s. 36.

³³ Ibid s. 60–61.

³⁴ Ibid s. 38–39.

³⁵ Ibid s. 39.

beror bland annat på vilken verksamhetsklass samt byggnadsklass som gäller. Generellt gäller att ytskikt ska vara av lägst brandteknisk klass, D-s2,d0. I Vk3A bör sådana material med lägre klass än det generella kravet skyddas av en ytbeklädnad i brandteknisk klass B-s1,d0.³⁶ Fasadbeklädnad i Br2 bör uppfylla brandteknisk klass D-s2,d2.³⁷

Hela byggnadsdelar delas även in i klasser beroende på funktion:

- R - Bärförmåga
- E - Integritet
- I - Isolering

Dessa tre klasser går att kombinera eller använda som krav enskilt.

Klasserna följs av ett tidskrav på 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 eller 360 minuter, vilket syftar till hur länge en viss klass ska kunna stå emot brand.³⁸

För en fristående villa/småhus ställs krav på bärrighet R15, dock är kravet för en byggnad i klass Br2 R30.³⁹ Fler och tuffare krav gäller för vid radhus eller lägenheter. Det ställs ytterligare ett krav på småhus som har komplementbyggnader, till exempel garage. Kravet är att de motstående väggarna mellan ett småhus och komplementbyggnaden ska vara utförda så att EI30 uppfylls.⁴⁰

Problem skulle kunna uppstå om man använder Gabloks metod vid uppförande av radhus. Då ställs betydligt högre krav än vid en fristående villa eftersom varje bostad måste vara en egen brandcell. En avskiljande vägg mellan två radhus har ett krav på REI60⁴¹, vilket skulle kunna vara svårt att uppfylla med anledning av att EPS har väldigt lågt, nästan obefintligt, brandmotstånd.

3.1.2 Brandskydd för studerad vägg

För att uppfylla R30 kommer ytterväggen att bestå av ett installationsskikt med en 13 millimeter gipsskiva som det yttersta skiktet. I och med gipsskivan kommer väggen att uppfylla EI30 vilket i sin tur gör att kravet R30 uppfylls.⁴²

³⁶ BBR 2011:6 s. 70.

³⁷ Ibid s. 79.

³⁸ Ibid s. 39.

³⁹ MSB: "Skydd mot brand - Före, under och efter räddningsinsats" (2015) s. 63.

⁴⁰ BBR 2011:6, Tabell 5:611, s. 82.

⁴¹ Bengtson m.fl. (2017) s. 169.

⁴² Norgips: "Brandskydd av bärande stålkonstruktioner".

3.2 Fukt

3.2.1 Allmänt om fukt

BBR ställer krav på kontroll av fukt med avseende på hygien och hälsa. Fukt i en byggnad fördelas olika i de ingående skikten, fördelningen av fukt beror på material och dess egenskaper. BBR använder begreppen fukttillstånd, kritiskt fukttillstånd och högsta tillåtna fukttillstånd. Fukttillståndet kan kontrolleras genom beräkning av fukthalt, fuktkvot och relativ fuktighet (RF). BBR definierar kritiskt fukttillstånd följande “Fukttillstånd vid vilket ett materials avsedda egenskaper och funktion inte uppfylls. För mikrobiell påverkan är fukttillståndet kritiskt då tillväxt sker.”⁴³

Högsta tillåtna fukttillstånd beskrivs i BBR enligt följande “Högsta tillåtna fukttillstånd är den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa.”. Om denna gräns inte är känd skall gränsen för RF sättas till 75 %.⁴⁴

RF är en kvot mellan ånghalt och mätnadsånghalt. Mätnadsånghalten är ett mått för en given temperatur där dess ånghalt har nått dess maximala innehåll. RF är temperaturberoende.⁴⁵

$$\varphi = \frac{v}{v_s}$$

φ = Relativ fuktighet [%]

v = Ånghalt [kg/m^3]

v_s = Mätnadsånghalt [kg/m^3]

Vid kontroll av fukttillståndet i skikten genomförs en glaserberäkning. Glaserberäkning beskriver det fukttillstånd som sker i de olika skikten i en konstruktion vid ett statiskt förhållande. Beräkningen görs med hjälp av handberäkningar och i simuleringsprogrammet WUFI. Fukttransporten i ett material sker i ångfas och vätskefas. Ångtransporten sker antingen via diffusion eller konvektion. Diffusion beror dels på skillnad i ånghalten men även konvektion. Beräkning av diffusion sker med hjälp av skiktens ånggenomgångsmotstånd.⁴⁶

$$v_{12} = v_i - \frac{Z(x)}{\Sigma Z} \cdot (v_i - v_u)$$

⁴³ BBR 2011:6 s. 95–96.

⁴⁴ Ibid.

⁴⁵ Sandin (2010) s. 72.

⁴⁶ Ibid s. 91–93.

$$\Delta v_{(x)} = \frac{Z_{(x)}}{\Sigma Z} \cdot (v_i - v_u)$$

Materials förmåga att hindra ångtransport skiljer sig åt och brukar mätas i ett motstånd. Detta motstånd kallas ånggenomgångsmotstånd och beskrivs nedan:

$$Z = \frac{d}{\delta}$$

Z = Ånggenomgångsmotstånd [s/m]

d = Materialets tjocklek [m]

δ = Ånggenomgångsläplighetskoefficient [m²/s]

3.2.2 WUFI

WUFI är ett beräkningsverktyg/programvara för simulering av fukt och värme. Programmet kan göra en- och tvådimensionella beräkningar av värme och fukttransport i olika byggnadsdelar. Programmet är framtaget av forskningsinstitutet Fraunhofer i Tyskland. WUFI är förkortning för Wärme und Feuchte Instationär vilket betyder ickestationär värme- och fukttransmission. Programmet använder inhämtade klimatfiler för utomhusklimat från städer runt om i världen. Klimatfilerna beaktar även faktorer som slagregn och solstrålning.⁴⁷

I detta arbete används WUFI Pro 6.5 som är den endimensionella simuleringen. Nackdelen med en endimensionell simulering är att faktorer som köldbryggor, skarvar och hörn i konstruktionen inte kan beaktas.⁴⁸

3.2.3 Mikroorganismer

I BBR kapitel 6 som berör hygien och hälsa formuleras kravet gällande fukt som, "Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa."⁴⁹

Mikroorganismer som angriper träbaserade material är i första hand olika svampar. De vanligaste förekommande grupperna av svampar är rötsvampar, blånadssvampar och mögelsvampar.

För att rötsvampar ska kunna växa krävs att fuktkvoten överstiger fibermättnad i träet, vilket innebär att det finns fritt vatten i träet. Förutom vatten krävs näring, syre och en

⁴⁷ WUFI: "Home".

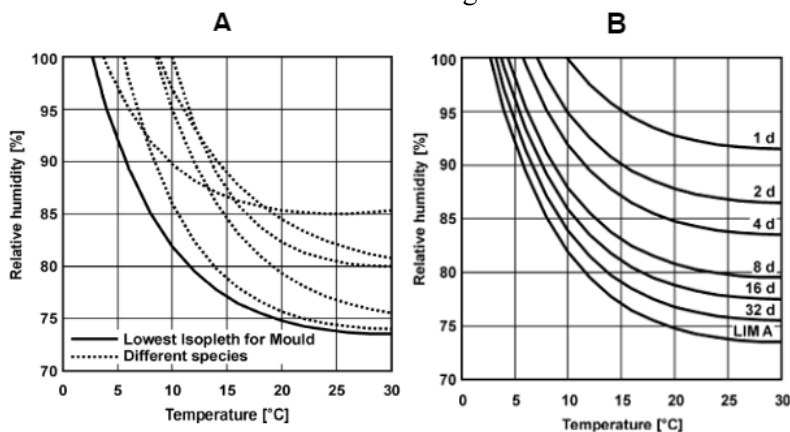
⁴⁸ Mundt-Petersen (2015) s.14.

⁴⁹ BBR 2011:6 s. 95.

temperatur mellan 0 och 40 °C. Dessa svampar växer in i träet och bryter ner dess fibrer. På så vis försämras hållfastheten. För att förhindra rötsvampar att växa kan träet ytbehandlas för att svampen inte ska kunna komma åt näringen i träet.⁵⁰

Blånadssvampar växer vid liknande förhållande som rötsvampar. Även denna grupp av svampar växer in i träet men till skillnad från rötsvampar bryter dessa svampar inte ner materialet. Däremot missfärgar blånadssvampar träet och gör att fukt lättare kan ta sig in i träet. Detta gör i sin tur att mögelsvampar har lättare att växa.⁵¹

Mögelsvampar kan vara farliga för hälsan och kan orsaka bland annat huvudvärk och andningsbesvär.⁵² Risken för angrepp av mögelsvampar beror på tre parametrar: RF, temperatur och tid. Är temperaturen låg krävs en högre RF. De mest gynnsamma förhållanden för mögelsvampar att växa är vid en RF över 75 % och en temperatur mellan 20 och 30 °C.⁵³ *Figur 6* är framtagen av Sedlbauer⁵⁴ och visar vid vilka förhållande vissa mögel kan börja växa, bilderna visar den typ av mögel som är hälsofarlig. Bild A visar kurvorna för olika typer av hälsofarligt mögel. Bild B visar kurvorna för hur många dagar det tar vid ett visst förhållande innan möglet för lägsta kurvan i bild A kan börja gro. Kurvan LIM A visar de absolut lägsta förhållanden som krävs. Under denna kurva förväntas mögel inte kunna växa.



Figur 6 Sedlbauer Mögeltillväxt

⁵⁰ Svenskt trä: "Mikroorganismer".

⁵¹ Svenskt trä: "Mikroorganismer".

⁵² Boverket: "Din hälsa kan påverkas av fukt och mögel".

⁵³ TräGuiden: "Mikroorganismer".

⁵⁴ Sedlbauer fig. 30 och 31.

3.3 Energi

3.3.1 Allmänt om energi

I BBR kapitel 9 definieras begreppet energihushållning som “Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning.”.⁵⁵ I detta arbete ligger fokus på delen låga värmeförluster, avseende en vägg bestående av Gabloks stomme. BBR ställer krav på primärenergital (EP_{pet}), vilket innefattar en rad faktorer såsom, A_{temp} (golvarean av samtliga uppvärmda utrymmen), energi till tappvarmvatten och en viktningsfaktor beroende på vilken energibärare som används. Då endast konstruktionsmetoden undersöks i denna studie blir detta krav irrelevant. I stället kommer BBR:s riktvärde för värmegenomgångskoefficient [W/m^2K] gällande vägg ($U_{vägg}$) användas som referens. Riktvärde enligt BBR för $U_{vägg}$ är $0,18 W/m^2K$.⁵⁶

För att kontrollera att detta riktvärde uppfylls görs handberäkningar. Handberäkningen består av två olika metoder som sedan tillsammans ger det mest korrekta medelvärdet. Metoderna som används är λ -värdesmetoden och U -värdesmetoden. Båda metoderna bygger på två faktorer, tjocklek (d , [m]) och värmekonduktivitet (λ , [W/mK]) av ingående material. Det som skiljer är hur värmemotståndet (R , [m^2K/W]) beräknas. I λ -värdesmetoden viktas ett nytt λ -värde för det skikt som består av mer än ett material, exempelvis regler och isolering. Med U -värdesmetoden beräknas värmemotståndet av det sammansatta skiktets material var för sig och bildar sedan ett medelvärde i form av procentandel material i det sammansatta skiktet.⁵⁷

De ekvationer som används för λ -värdesmetoden är följande:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$U_{\lambda} = \frac{1}{\sum R_{\lambda}}$$

De ekvationer som används för U -värdesmetoden är följande:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$U_I = \frac{1}{\sum R_I}$$

⁵⁵ BBR 2011:6 s. 153.

⁵⁶ Ibid, Tabell 9:92, s. 144.

⁵⁷ Sandin (2010) s. 52–54.

$$U_2 = \frac{I}{\sum R_2}$$

$$U_U = \alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2$$

Där α är andelen av material 1 i det sammansatta skiktet och β är andelen av material 2 i det sammansatta skiktet.

När U_λ och U_U är beräknat kan ett medelvärde av dessa beräknas genom följande ekvation:

$$U_{medel} = \frac{2 \cdot U_\lambda \cdot U_U}{U_\lambda + U_U}$$

R = Värmemotstånd [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

d = Materialets tjocklek [m]

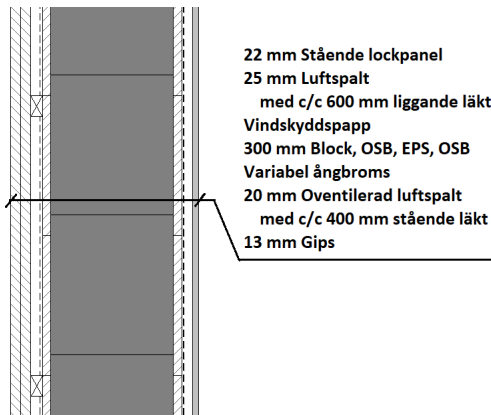
λ = Värmekonduktivitet [W/mK]

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

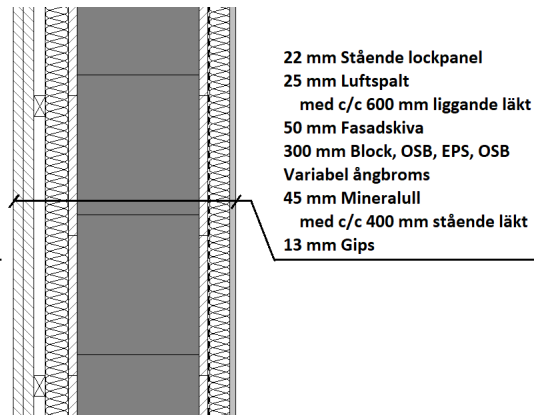
För en vägg med fler än ett sammansatt skikt, i detta fall två, används en metod likt den för endast ett sammansatt skikt. Skillnaden är beräkningen av U_U där fyra olika procentsatser används. Respektive procentsats multipliceras med respektive kombination av skikt.

4 Metod

Kontroll avseende fukt och värme görs för två olika väggar: Gabloks exempellösning och en typlösning som skulle kunna vara aktuell i Sverige. Beräkningar sker först med hjälp av handberäkning och sedan genom en beräkning i programmet WUFI. Väggen betraktas som att den befinner sig i en fristående villa, där anslutningar mellan grund och tak inte kommer att beaktas.



Figur 7 Gabloks exempellösning



Figur 8 Typlösning

4.1 Beräkning av U-värde

Först görs en kontroll av U -värdet för Gabloks exempellösning av vägg.

Tabell 1 Beräkningstabell för U -värde av Gabloks exempellösning

Skikt	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ -metod	U-metod [m ² K/W]			
				R [m ² K/W]	R-LUFT+EPS	R-LÄKT+EPS	R-LUFT+OSB	R-LÄKT+OSB
Inne			0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Gips	0,013	0,22	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
Luft	0,02	0,026	0,769		0,769		0,769	
Läkt	0,02	0,14	0,143			0,143		0,143
Luft+Läkt	0,02	0,043	0,465	0,465	-	-	-	-
ångbroms			-	-	-	-	-	-
OSB	0,018	0,13	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
OSB	0,264	0,13	1,892				1,892	1,892
EPS	0,264	0,035	7,543		7,543	7,543		
OSB + EPS	0,264	0,049	5,388	5,388	-	-	-	-
OSB	0,018	0,13	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
Papp			-	-	-	-	-	-
Luftspalt			-	-	-	-	-	-
Panel			-	-	-	-	-	-
Ute			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
			Σ	6,358	8,817	8,191	3,166	2,54

Procentsatsen som används i detta fall är 85 % EPS och 15 % OSB då ett 300 millimeter långt block består av 36 mm OSB. Den valda procentsatsen är något högre än den faktiska andelen OSB, detta för att ta hänsyn till eventuell syll, hammarband och kortling vid fönster och dörrar. Procentsatsen för installationsskikt bestående av luft och läkt är 85 % för luft och 15 % för läkt. Detta eftersom montering av läkten enligt Gablok ska vara med c/c 400 mm och med en läkt som är 45 mm bred. För att få en gemensam procentsats för båda sammansatta skikten multipliceras procentsatserna för varje enskilt skikt med varandra.

$$U_{\lambda} = \frac{1}{\sum R_{\lambda}} = 0,157$$

$$U_{LUFT+EPS} = \frac{1}{\sum R_{LUFT+EPS}} = 0,113 \quad \alpha = 0,85 \cdot 0,85 = 0,7225$$

$$U_{LÄKT+EPS} = \frac{1}{\sum R_{LÄKT+EPS}} = 0,122 \quad \beta = 0,15 \cdot 0,85 = 0,1275$$

$$U_{LUFT+OSB} = \frac{1}{\sum R_{LUFT+OSB}} = 0,316 \quad \gamma = 0,85 \cdot 0,15 = 0,1275$$

$$U_{LÄKT+OSB} = \frac{1}{\sum R_{LÄKT+OSB}} = 0,394 \quad \delta = 0,15 \cdot 0,15 = 0,0225$$

$$U_U = \alpha \cdot U_{LUFT+EPS} + \beta \cdot U_{LÄKT+EPS} + \gamma \cdot U_{LUFT+OSB} + \delta \cdot U_{LÄKT+OSB} = 0,147$$

$$U_{medel} = \frac{2 \cdot U_{\lambda} \cdot U_U}{U_{\lambda} + U_U} = \frac{2 \cdot 0,157 \cdot 0,147}{0,157 + 0,147} = 0,152$$

U -värdet för Gabloks exempellösning är 0,152 W/m²K, vilket är lägre än BBR:s riktvärde för värmegenomgångskoefficient gällande vägg.

Sedan görs en kontroll av U -värdet för den typvägg som kommer användas vidare i arbetet.

Tabell 2 Beräkningstabell för U-värde av typlösningen

Skikt	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ -metod	U-metod [m ² K/W]			
				R [m ² K/W]	R-MIN.ULL+EPS	R-REGEL+EPS	R-MIN.ULL+OSB	R-REGEL+OSB
Inne			0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Gips	0,013	0,22	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059	0,059
Mineralull	0,045	0,04	1,125		1,125		1,125	
Reglar	0,045	0,14	0,321			0,321		0,321
Mineralull+Regel	0,045	0,055	0,818	0,818	-	-	-	-
Ångbroms			-	-	-	-	-	-
OSB	0,018	0,13	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
OSB	0,264	0,13	1,892				1,892	1,892
EPS	0,264	0,035	7,543		7,543	7,543		
OSB + EPS	0,264	0,049	5,388	5,388	-	-	-	-
OSB	0,018	0,13	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
Fasadskiva	0,05	0,038	1,316	1,316	1,316	1,316	1,316	1,316
Luftspalt			-	-	-	-	-	-
Panel			-	-	-	-	-	-
Ute			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
			Σ	8,027	10,489	9,685	4,838	4,034

Procentsatserna för de sammansatta skikten är det samma som för Gabloks exempellösning.

$$U_{\lambda} = \frac{1}{\sum R_{\lambda}} = 0,125$$

$$U_{MIN.ULL+EPS} = \frac{1}{\sum R_{MIN.ULL+EPS}} = 0,095 \quad \alpha = 0,85 \cdot 0,85 = 0,7225$$

$$U_{REGEL+EPS} = \frac{1}{\sum R_{REGEL+EPS}} = 0,103 \quad \beta = 0,15 \cdot 0,85 = 0,1275$$

$$U_{MIN.ULL+OSB} = \frac{1}{\sum R_{MIN.ULL+OSB}} = 0,207 \quad \gamma = 0,85 \cdot 0,15 = 0,1275$$

$$U_{REGEL+OSB} = \frac{1}{\sum R_{REGEL+OSB}} = 0,248 \quad \delta = 0,15 \cdot 0,15 = 0,0225$$

$$U_U = \alpha \cdot U_{MIN.ULL+EPS} + \beta \cdot U_{REGEL+EPS} + \gamma \cdot U_{MIN.ULL+OSB} + \delta \cdot U_{REGEL+OSB} = 0,114$$

$$U_{medel} = \frac{2 \cdot U_{\lambda} \cdot U_U}{U_{\lambda} + U_U} = \frac{2 \cdot 0,125 \cdot 0,114}{0,125 + 0,114} = 0,119$$

U-värdet för typlösningen är 0,119 W/m²K, vilket även detta är lägre än BBR:s riktvärde för värmegenomgångskoefficient gällande vägg.

4.2 Beräkning av fukt

Fuktberäkning av Gabloks exempellösning och på typlösningen sker med hjälp av glaserberäkning. Beräkningarna sker i avseende på fem olika orter; Lund, Växjö,

Göteborg, Stockholm och Luleå. Dessa orter kräver olika typer av indata för klimat. För medeltemperatur och relativ luftfuktighet har *tabell 10–14* i appendix används. Data för RF inomhus har hämtats från WUFI. En beräkning kan exempelvis se ut på följande sätt:

Tabell 3 Beräkningstabell för fukt av Gabloks exempellösning

Skikt	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
					20	17,287				8,643	50
Inne	-	-	0,13	0,27					0		
					19,73	17,018				8,643	50,8
Gips	0,013	0,22	0,059	0,12				3000	0,00335		
					19,61	16,897				8,640	51,1
Oventilerad luftspalt	0,02	0,026	0,769	0,00			0,000025	800	0,001		
					19,61	16,897				8,639	51,1
Ångbroms	-	-	-	0,00				3000000	3,353		
					19,61	16,897				5,286	31,3
OSB	0,018	0,13	0,138	0,28				30000	0,0335		
					19,33	16,618				5,253	31,6
EPS	0,264	0,035	7,03	14,49			0,000015	17600	0,0197		
					4,83	6,848				5,233	76,4
OSB	0,018	0,13	0,138	0,28				30000	0,0335		
					4,55	6,603				5,200	78,7
Papp	-	-	-	0,00				3200	0,00358		
					4,55	6,603				5,196	78,7
Luftspalt	-	-	-	1,59					0		
					2,96	5,938				5,196	87,5
Ute	-	-	0,04	0,08					0		
					2,88	5,905				5,196	88
Σ			8,304					3084600			

Resultat från beräkningarna redovisas i *tabell 4*, där de högsta värden avseende RF redovisas utifrån ort, månad och skikt.

Tabell 4 Högsta månatliga värden för RF i respektive skikt och ort

Månad/Ort	Lund	Växjö	Göteborg	Stockholm	Luleå
Januari	78,7	78,7	69,5	74	60,9
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	OSB/EPS
Februari	78,4	74,9	67,8	68,8	63,7
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	OSB/EPS
Mars	76,3	75,3	68,7	74,8	65,9
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
April	71,3	70,7	66,6	71,3	61,5
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
Maj	68	63,6	60,4	60,5	58,4
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
Juni	73,8	72,5	70,7	68,2	65,9
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
Juli	74,2	70,9	70,2	68,1	72,9
Skikt	Ångbroms/Luftspalt	Vindpapp/OSB	Ångbroms/luftspalt	Ångbroms/luftspalt	Vindpapp/OSB
Augusti	74,7	73,1	68,7	70,8	73,6
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
September	78,2	78,2	72,3	76,1	77,1
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
Oktober	77,7	80,2	71	75,6	74,9
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
November	79,2	79,2	73,1	77,4	74,9
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB
December	77,6	77,1	70,8	75,8	63,5
Skikt	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	Vindpapp/OSB	OSB/EPS

De högsta värdena förekommer mest frekvent i skiktet mellan vindpapp och OSB på väggens kalla sida. Enligt BBR är högsta tillåtna fuktillstånd, det vill säga kritiskt fuktillstånd, för träbaserade material 75 % RF⁵⁸. I *tabell 4* ovan förekommer det flertal värden som överstiger det kritiska fuktillståndet. Detta förekommer på samtliga orter i varierande frekvens.

Därefter kontrolleras typlösningen av en vägg innehållande dessa block. Denna vägglösning skulle kunna vara intressant att undersöka ur ett svenskt perspektiv. Typlösning skiljer sig från tidigare beräknad väggkonstruktion. I stället för vindpapp finns det en 50 mm tjock fasadskiva. Skivan ger ett mer isolerande skydd då temperaturen på OSB:en blir högre, vilket ger ett lägre värde på RF. Fasadskivan motverkar även köldbryggor mellan blocken. I installationsskiktet finns ett skikt på 45 mm mineralull för att ytterligare förbättra *U*-värdet. Resultatet av handberäkning för typlösningen redovisas i *tabell 6*.

⁵⁸ BBR 2011:6 s. 96.

Tabell 5 Beräkningstabell för fukt av typlösning

Skikt	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	T [°C]	vs [g/m ³]	δ [m ² /s]	Z [s/m]	Δv [g/m ³]	v [g/m ³]	RF [%]
					20	17,287				8,643	50
Inne	-	-	0,13	0,22	19,78	17,063		0	0	8,643	50,7
Gips	0,013	0,22	0,059	0,10	19,68	16,962		3000	0,00381	8,640	50,9
Mineralull	0,045	0,04	1,125	1,93	17,75	15,136	0,00002	2250	0,00286	8,637	57,1
Ångbroms	-	-	-	0,00	17,75	15,136		3000000	3,808	4,829	31,9
OSB	0,018	0,13	0,138	0,24	17,51	14,925		30000	0,0381	4,790	32,1
EPS	0,264	0,035	7,03	12,06	5,44	7,147	0,000015	17600	0,0223	4,768	66,7
OSB	0,018	0,13	0,138	0,24	5,21	6,898		30000	0,0381	4,730	68,6
Fasadskiva	0,05	0,038	1,316	2,26	2,95	5,932	0,00001	5000	0,00635	4,724	79,6
Luftspalt	-	-	-	0,00	2,95	5,932			0	4,724	79,6
Ute	-	-	0,04	0,069	2,88	5,905			0	4,724	80
Σ			9,976					3087850			

Tabell 6 Högsta månatliga värden för RF i respektive skikt och ort

Månad/Ort	Lund	Växjö	Göteborg	Stockholm	Luleå
Januari	75,3	74,6	66,4	69,8	56,1
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	OSB/EPS
Februari	74,9	70,7	64,8	64,6	57,6
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	OSB/EPS
Mars	73,2	71,8	65,7	71,2	60,9
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
April	69,2	68,4	64,6	68,8	58,7
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
Maj	66,5	61,9	59,2	58,8	56,4
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Ångbroms/min.ull	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
Juni	73	71,6	69,8	67,5	65,1
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Ångbroms/min.ull	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
Juli	74,9	71,5	71,1	68,9	72,1
Skikt	Ångbroms/min.ull	Ångbroms/min.ull	Fasadskiva/OSB	Ångbroms/min.ull	Fasadskiva/OSB
Augusti	74,6	72,3	68,2	69,9	71,9
Skikt	Ångbroms/min.ull	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
September	77,4	77,2	71,6	75,1	75,3
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
Oktober	75,7	77,7	69,2	73,3	71,7
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
November	76,3	75,9	70,5	74,2	71,3
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB
December	74,3	73,1	67,4	71,6	56
Skikt	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB	Fasadskiva/OSB

Precis som tidigare fallet förekommer de största värdena oftast mellan fasadskiva och OSB. Värdena är något lägre än tidigare. Dock förekommer även här precis som tidigare värden över den kritiska nivån för RF. Handberäkningar ger en förenklad bild jämfört med andra kontroller. För att kunna studera detta vidare simuleras typlösningen i WUFI. I WUFI kommer OSB-skivorna på kalla sidan av väggen att undersökas eftersom handberäkningarna visat att detta är det mest kritiska skiktet. Träbaserade material är dessutom det material i konstruktionen som har lägst kritisk relativ fuktighet (RF_{krit}).

4.3 Arbete i WUFI

Kontroll av de två ytterväggarna sker i WUFI. Nedan beskrivs inställningar av olika parametrar. De inställningar som beskrivs kommer vara genomgående för samtliga fall som kommer att studeras. Se efterkommande kapitel för individuella inställningar.

De två ytterväggarna läggs in i WUFI där de ingående material väljs från de alternativ som finns tillgängligt i programmets databas. Detta görs med hänsyn till att efterlikna de

tekniska egenskaperna så mycket som möjligt. Då materialegenskaper kan skilja mellan fabrikat och land kommer dessa värden vara generella.

Luftspalter i WUFI förekommer i två olika typer, med eller utan ytterligare fuktkapacitet. Luftspalter med ytterligare fuktkapacitet kan innehålla realistiska vattenmängder, dock lämpar sig detta för numeriska beräkningar. För luftspalter utan ytterligare fuktkapacitet sätts ett konstant luftflöde. Luftspalten bakom fasadpanelen ska enligt AMA ha ett lägsta flöde på 30 oms/h⁵⁹. Detta värde kan dock skilja sig åt i praktiken beroende på vind och konstruktionslösning.

Klimatfil väljs för respektive simulerad ort. Denna fil innehåller bland annat temperatur och RF för varje timme men även regnmängd och solstrålning.

Inomhustemperaturen väljs med hjälp av ISO 13788 där temperaturen antas vara konstant 20 °C oberoende av utetemperatur. Fukttillskott inomhus kan variera mellan fuktklass 1 och 2. För att inte riskera underdimensionering väljs fuktklass 2. Fuktklass 2 innebär att fukttillskottet inomhus vid utomhustemperaturer under 0 °C är 4 g/m³ och 1 g/m³ vid temperaturer över 20 °C. Däremellan varierar fukttillskottet linjärt.

De ingående temperaturerna och RF i varje skikt antas vara 20 °C och 80 % RF, vilket är ett standardvärde givet av WUFI. Detta är givetvis ett antagande då de olika materialen kan ha olika temperatur och RF beroende på vilket klimat de har förvarats i innan montering. Detta gäller även för ingående temperatur som kan variera beroende om ett material förvarats utomhus eller inomhus innan montering.

Ytterligare indata är värmemotståndet på ut insida R_{se} och R_{si} som sätts till 0,04 m²K/W respektive 0,13 m²K/W vilket är standard för en yttervägg.

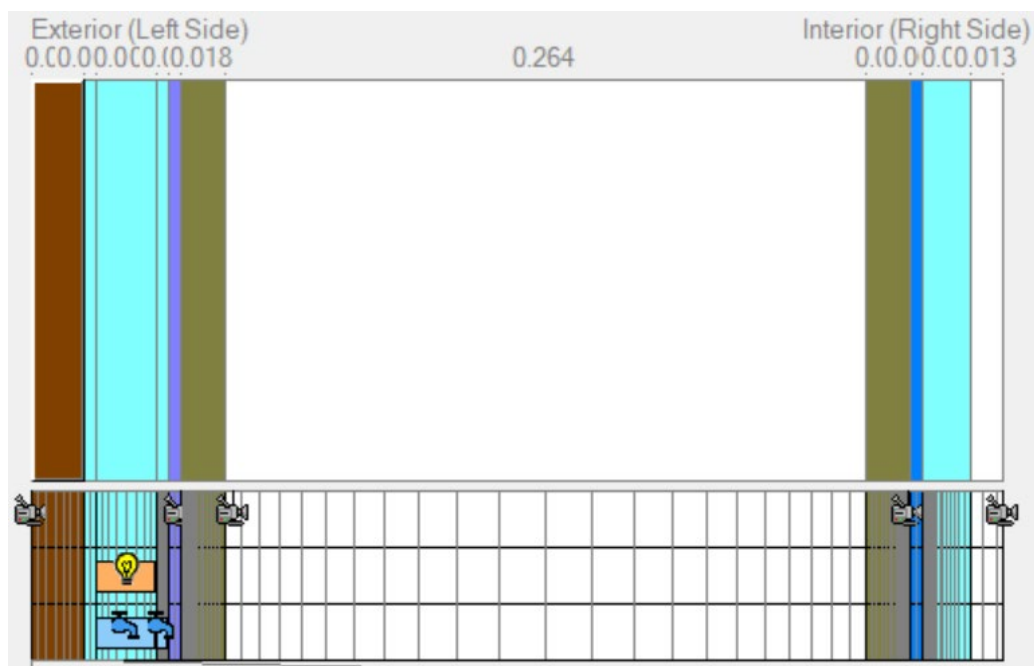
I programmet väljs vad för typ av ytskikt som används på utsidan av konstruktionen. Fasadpanelen som är vald är målad med akrylfärg vilket agerar som ett ånggenomgångsmotstånd. Denna akrylfärg ger ett S_d värde på 0,3 m vilket är ett standardvärde i WUFI. S_d är ett värde som beskriver ånggenomgångsmotståndet hos ett material motsvarande ett skikt av stillastående luft. I detta fall betyder det att det skulle krävas 0,3 m av stillastående luft för att ge samma ånggenomgångsmotstånd som denna färg.

⁵⁹ Steno (2013) s. 37.

För kortvågig reflektion från omgivningen, främst marken runtomkring, används ett standardvärde från WUFI på 0,2. En faktor för absorption av kortvågig strålning som direkt träffar fasaden anges, vilket är beroende av kulör.

Absorptionen av regnvatten på fasaden anges vilket egentligen är beroende av vilken typ av regn som sker. Vid ett kortvarigt kraftigt regn kommer det mesta rinna av fasaden, medan vid ett långvarigt mindre kraftigt regn kommer absorberas mer regnvattnet. Regnabsorption för vertikala ytor sätts till 0,7 vilket är standard enligt WUFI.

4.3.1 Gabloks exempellösning



Figur 9 Gabloks exempellösning modellerat i WUFI

Eftersom Gablok endast levererar stommen lämnas det utrymme för kunden att välja fasad och resterande skikt. I detta arbete studeras ett ytterväggs-exempel som enligt Gablok är en möjlig lösning av fasad och resterande skikt.

Ingående skikt, utifrån och in:

- 22 mm Träpanel, målad med grå akrylfärg
- 25 mm Luftspalt, 30 oms/h
- Vindskyddspapp
- 300 mm Block, 18mm OSB, 264mm EPS, 18mm OSB

- Variabel ångbroms, Isover Vario Xtra
- 20 mm Oventilerad luftspalt med regel (installations-skikt)
- 13 mm Gips

Simulering av denna lösning görs med följande inställningar:

Beräkning av regn sker enligt standardinställningen i WUFI på vertikal vägg avseende regn. Vid regn förekommer slagregn på konstruktionen. Det mesta av detta sker direkt på fasadpanelen. I WUFI sätts att 1 % av slagregnet tränger igenom fasad och når pappen. Detta sker enligt DIN 4108-3 standard som WUFI använder. Det finns dock studier som visar att regninträngning skulle kunna ske djupare in i konstruktionen än vad som beaktats i beräkningsmodellen för denna lösning.⁶⁰

Konstruktionen simuleras i två olika orter, Lund och Luleå.

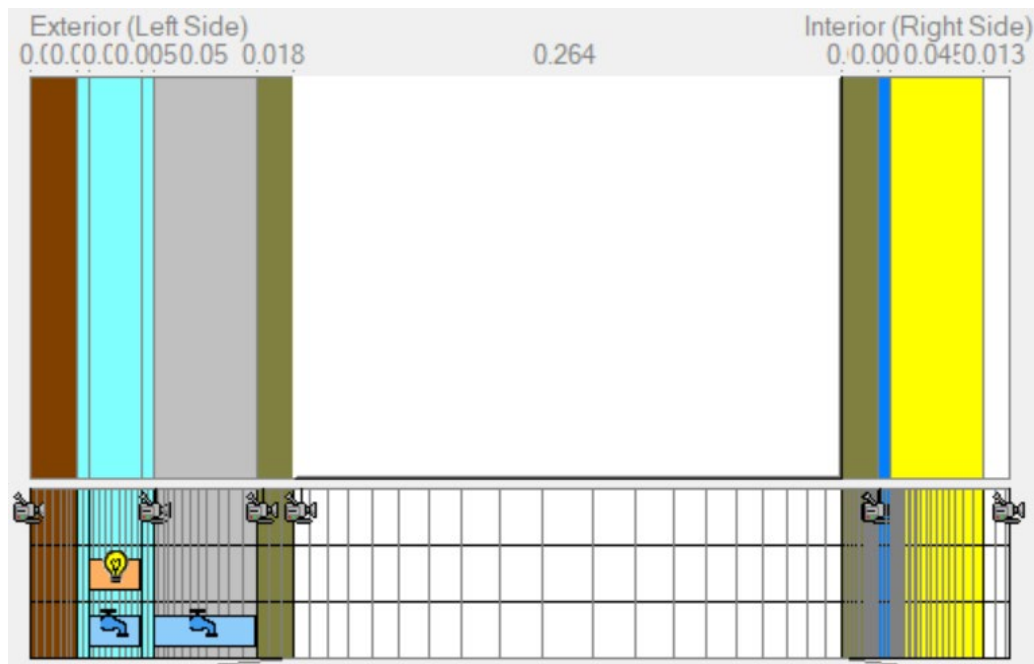
Där orienteringen för störst andel slagregn används. För Lund är detta i sydvästlig riktning och i Luleå är det östlig riktning.

Kortvågig strålningsabsorption sätts till 0,6 vilket är ett standardvärde enligt DIN 4108-3 för grå kulör.

Resterande parametrar är enligt angivet i 4.3.

⁶⁰ Mundt-Petersen (2015) s. 34.

4.3.2 Typlösning



Figur 10 Typlösning modellerat i WUFI

Ingående skikt, utifrån och in:

- 22 mm Träpanel
- 25 mm Luftspalt
- 50 mm Fasadskiva rockwool
- 300 mm Block, 18 mm OSB, 264 mm EPS, 18 mm OSB
- Variabel ångbroms, Isover Vario Xtra
- 45 mm Mineralull med regel (installationsskikt)
- 13 mm Gips

4.3.3 Basfall

Med denna konstruktion kommer två basfall att simuleras på fem olika orter. Den orten med sämst prestation kommer sedan att undersökas noggrannare med fler och mer utmanande simuleringar. Det görs för att se vilka parametrar som kommer vara betydande för denna konstruktion. Varje ort simuleras i två riktningar där ena riktning är den mest slagregnsutsatta och den andra riktning är där solstrålningen är som svagast, vilket är norr för samtliga orter. De orter som simuleras är följande:

- Lund - Sydväst, Norr
- Växjö - Söder, Norr
- Oslo - Söder, Norr
- Stockholm - Sydöst, Norr
- Luleå - Öster, Norr

Oslo ska motsvara klimatet i Göteborg. Anledningen till att Oslo simuleras i stället för Göteborg är för att Göteborgs klimatfil i WUFI är något missvisande. Klimatfilen för Göteborg har ett mer fördelaktigt klimat än vad som är lämpligt för en dimensionerande beräkning.

Simuleringarna görs med följande inställningar:

- Regninträngning i fasadskivan, 1 % enligt DIN 4108-3.
- Omsättning i luftspalt, 30 oms/h.
- Kortvågig strålningsabsorption, 0,6 enligt DIN 4108-3 för grå kulör.

Resterande inställningar är enligt 4.3.

4.3.4 Parameterstudie och extremfall

För den orten med sämst prestation testas en rad olika variationer av inparametrar. De parametrar som är angivna i 4.3 kommer däremot gälla genomgående för alla simuleringar. För att kontrollera hur typlösningen påverkas av de olika parametrarna genomförs simuleringar med olika varierande värden på utvalda inställningar. Dessa varierande parametrar testas enskilda, men även i kombination med andra parametrar.

Eftersom materialtekniska egenskaper kan variera beroende på bland annat produktionsland, testas även en annan OSB och en annan EPS för att säkerställa denna faktor. Simuleringen görs med inställningarna för ett basfall i den orten med sämst prestanda.

Nordriktningen kommer endast testas med vit kulör eftersom solstrålningen är låg i norr och därav antas inte ha någon större påverkan.

En simulering kommer även att göras med ett annat startdatum. I detta fall kommer ingående temperatur i materialen sättas till 10 °C och RF till 80 %.

Tabell 7 visar samtliga parametrar som valts att undersöka vid parameterstudie. *Tabell 8* visar de simuleringar som har gjorts i WUFI.

Tabell 7 Simulerade variationer i WUFI

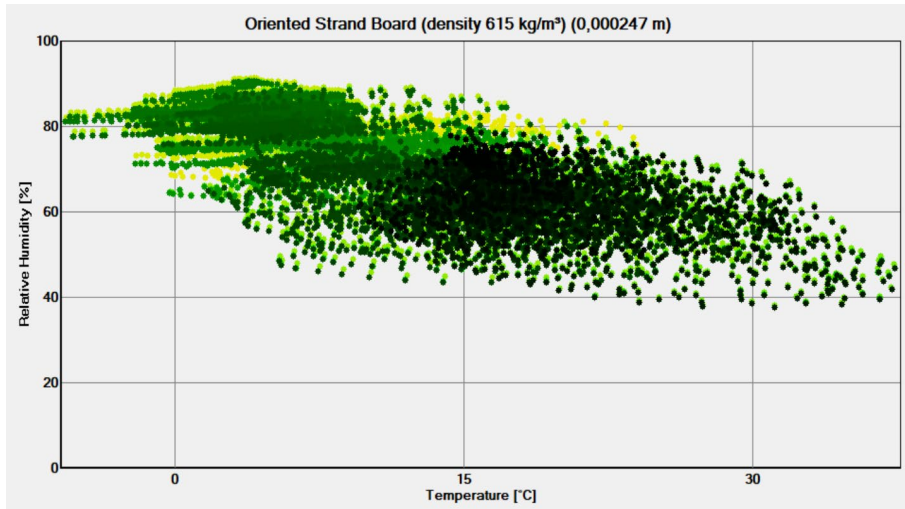
Riktning	Norr	Slagregnsutsatt	
Omsättning	5 oms/h	20 oms/h	30 oms/h
Kulör panel	Vit	Grå	Svart
Fasadskiva	50 mm	100 mm	
Regninträngning	1%	2%	
Insida ångskikt	Variabel	Ingen	
Material	Varierad OSB	Varierad EPS	
Startdatum	2022-01-01		

Tabell 8 Simulerade fall i WUFI

	Omsättning	Kulör panel	Regninträngning
Gablok			
Lund, SV	30 oms/h	Grå	1%
Luleå, Ö	30 oms/h	Grå	1%
Basfall			
Lund, N	30 oms/h	Grå	1%
Lund, SV	30 oms/h	Grå	1%
Växjö, N	30 oms/h	Grå	1%
Växjö, S	30 oms/h	Grå	1%
Stockholm, N	30 oms/h	Grå	1%
Stockholm, SÖ	30 oms/h	Grå	1%
Oslo, N	30 oms/h	Grå	1%
Oslo, S	30 oms/h	Grå	1%
Luleå, N	30 oms/h	Grå	1%
Luleå, Ö	30 oms/h	Grå	1%
Parameterfall			
Lund, N, Utan ångbroms	30 oms/h	Grå	1%
Lund, N, Med ångbroms	30 oms/h	Grå	1%
Lund, SV, Utan ångbroms	30 oms/h	Grå	1%
Lund, SV, Med ångbroms	30 oms/h	Grå	1%
Lund, N	5 oms/h	Vit	1%
Lund, N	20 oms/h	Vit	1%
Lund, SV	5 oms/h	Vit	1%
Lund, SV	5 oms/h	Svart	1%
Lund, SV	20 oms/h	Vit	1%
Lund, SV	20 oms/h	Svart	1%
Exremfall			
Lund, SV, 50mm fasadskiva	5 oms/h	Vit	2%
Lund, SV, 100mm fasadskiva	5 oms/h	Vit	2%
Lund, SV, 100mm fasadskiva	5 oms/h	Svart	2%
Lund, SV, 100mm fasadskiva	30 oms/h	Vit	2%
Övrigafall			
Lund, SV, Materialbyte EPS, OBS	30 oms/h	Grå	1%
Lund, SV, Startdatum 01/01-22	30 oms/h	Grå	1%

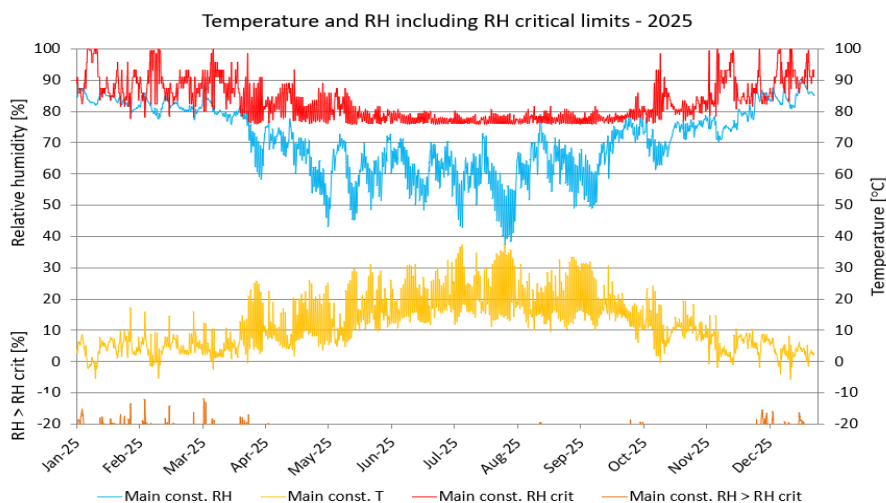
4.3.5 Riskanalys

Vid simulering i programmet WUFI kan resultatet redovisas på olika sätt, bland annat i isopleter. En isoplet är en punkt som innehåller data om tid, temperatur och RF. Isopleter redovisas i olika färger från gul till svart, där ljusa punkter gäller tidiga värden och mörkare punkter visar punkter som uppkommer senare i simuleringen. Totala tiden som WUFI simulerar är över fyra år och simuleringen genererar en punkt för varje timme. Detta innebär att det totalt blir ca 37 000 punkter per simulerat fall. *Figur 11* visar ett exempel på hur ett isopletdiagram kan se ut.



Figur 11 Exempel på Isopletdiagram

Isopletdiagrammen från WUFI har begränsad användning vid mögelriskanalyser, eftersom WUFI inte redovisar värden eller någon bedömning på de riskvärden ovan RF_{krit} . För att underlätta detta används Folosdiagram som ett komplement. Utdata från WUFI:s Isopletvärden sätts in i Folosdiagrammet.



Figur 12 Exempel på Folosdiagram, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF>RF_{krit}

I figur 12 representeras temperatur (gul) på den högra y-axeln, RF (blå) på den vänstra y-axeln, RF_{krit} (röd) på vänstra y-axeln. De värden där RF är högre än RF_{krit} redovisas längst ned på y-axeln (orange). Vid dessa punkter kan mögeltillväxt förekomma. Folosdiagrammet använder kurvan för 32 dagar från figur 6 bild B som RF_{krit}. Folosdiagrammet visar endast de tidsperioder där teoretisk mögeltillväxt kan förekomma, men ger inga riskvärden.

För att kunna tolka utdata från Folosdiagrammen vidare sammanställs resultaten i en graderingstabell där varje simulering ges en färg beroende på hur stor risken för mögeltillväxt uppskattas vara. Färgskalan som har valts att användas är grön, gul, orange och röd där färgernas definition är följande:

- Grön - Ingen risk för mögelpåväxt
- Gul - Liten risk för mögelpåväxt
- Orange - Måttlig risk för mögelpåväxt
- Röd - Stor risk för mögelpåväxt

5 Resultat och analys

Byggfukt ingår i samtliga beräkningsfall. Dock kommer byggfukt att analyseras endast i de fall där det potentiellt kan uppstå problem till följd av utebliven uttorkning.

Figur 15, 16 och 24–31 visar resultaten för simulering av samtliga basfall, där det framkommer att de simulerade fallen i Lund presterar sämre än de fallen på övriga orter. Detta innebär att Lund framöver kommer vara den dimensionerande orten för de varierande simuleringsfallen.

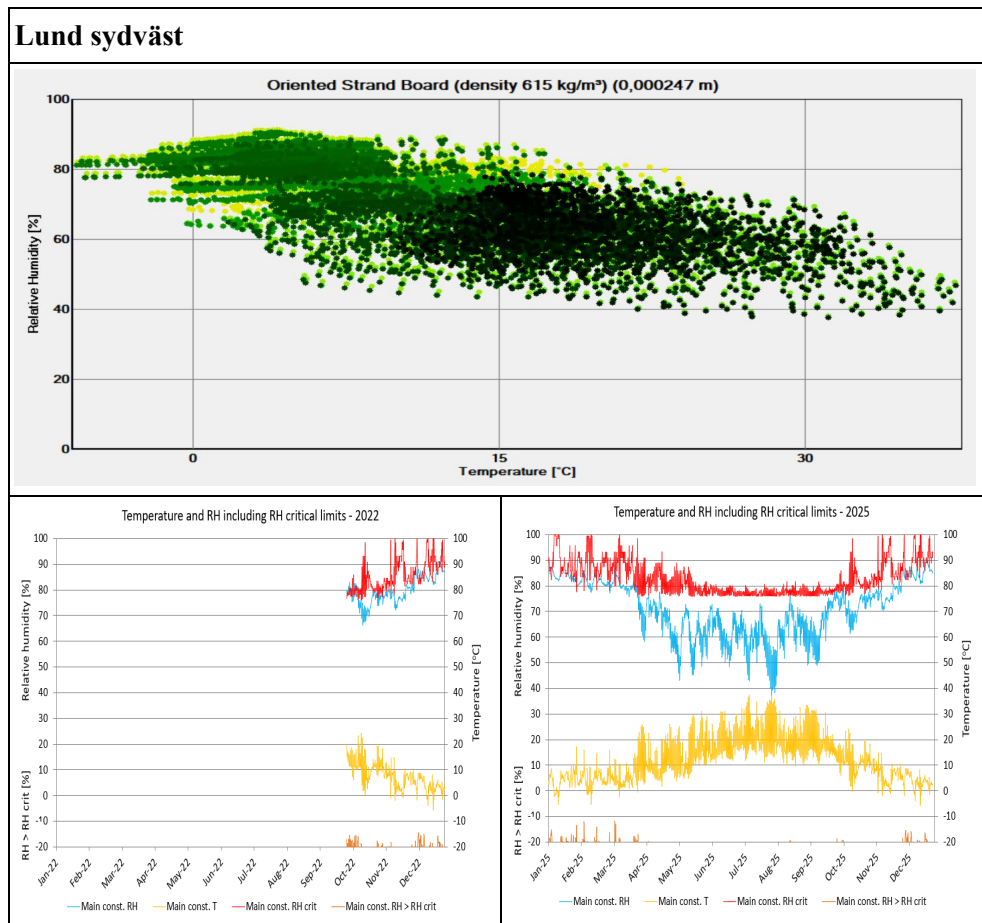
För att säkerställa noggrannheten i simuleringarna testades att sänka tidssteget i den numeriska beräkningen från 1 timme till en halvtimme. Även antalet celler fördubblades vilket gör att simuleringen sker på dubbelt så många ställen genom konstruktionen. Med dessa två ändrade parametrar i ett basfall var skillnaden på resultatet minimal. I och med detta valdes simuleringarna att göras med ursprungsinställning (tidsteg 1 timme och antalet celler) för att minska simuleringstiden.

En simulering har gjorts där materialegenskaperna på OSB och EPS har varierats. Urvalet sker med samma materialtyp, men med andra egenskaper. Materialet har valts med avseende på skillnad i ånggenomsläpplighet för att provocera fram eventuella förändringar. Resultatet visar minimala skillnader trots urvalet. Därför antas att val av andra materialegenskaper inte kommer vara påverkande för undersökningen.

Simuleringar genomfördes av ångbromsens påverkan på väggen, väggen simuleras med och utan ångbroms. Ångbromsens inverkan undersöktes i både nordlig och sydvästlig riktning. Resultat visar ingen betydande skillnad. Därför kommer variation avseende med eller utan ångbroms inte undersökas vidare.

Påverkan av annat startdatum, 2022-01-01, simulerades. Resultat visar att variation av startdatum under undersökning inte har någon större påverkan. Därför kommer vidare undersökning av olika startdatum inte att behandlas vidare.

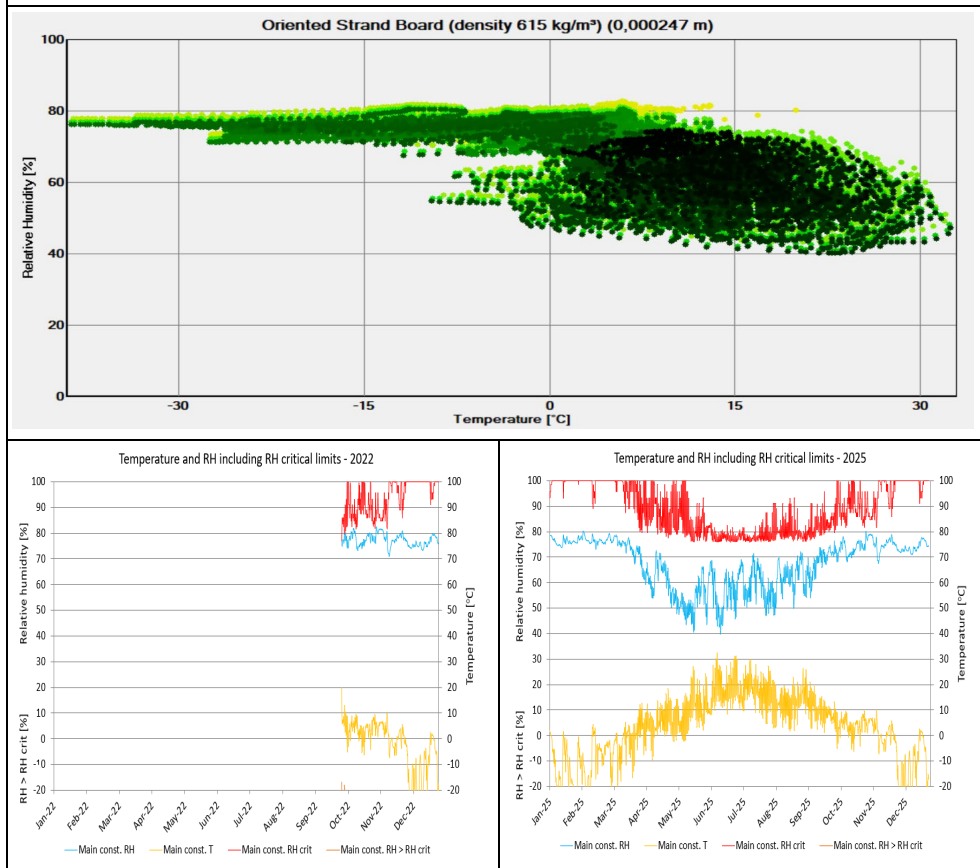
5.1 Gablok



Figur 13 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simuleringen av Gablok i Lund, sydväst, visar på långa perioder där RF i väggen är högre än RF_{krit} vilket gör att denna konstruktion riskerar angrepp av mögel. Dessa värden har inte sjunkit och visar ingen tendens på att sjunka under RF_{krit} på de fyra simulerade åren. Detta tyder på att byggfukten inte är den bidragande orsaken till de höga RF nivåerna. Värsta perioden är under vintern, eftersom solen inte värmer fasaden och väggen. Detta leder i sin tur till att regninträngningen inte kan torka ut, vilket också är anledning till väggen riskerar att angripas av mögel.

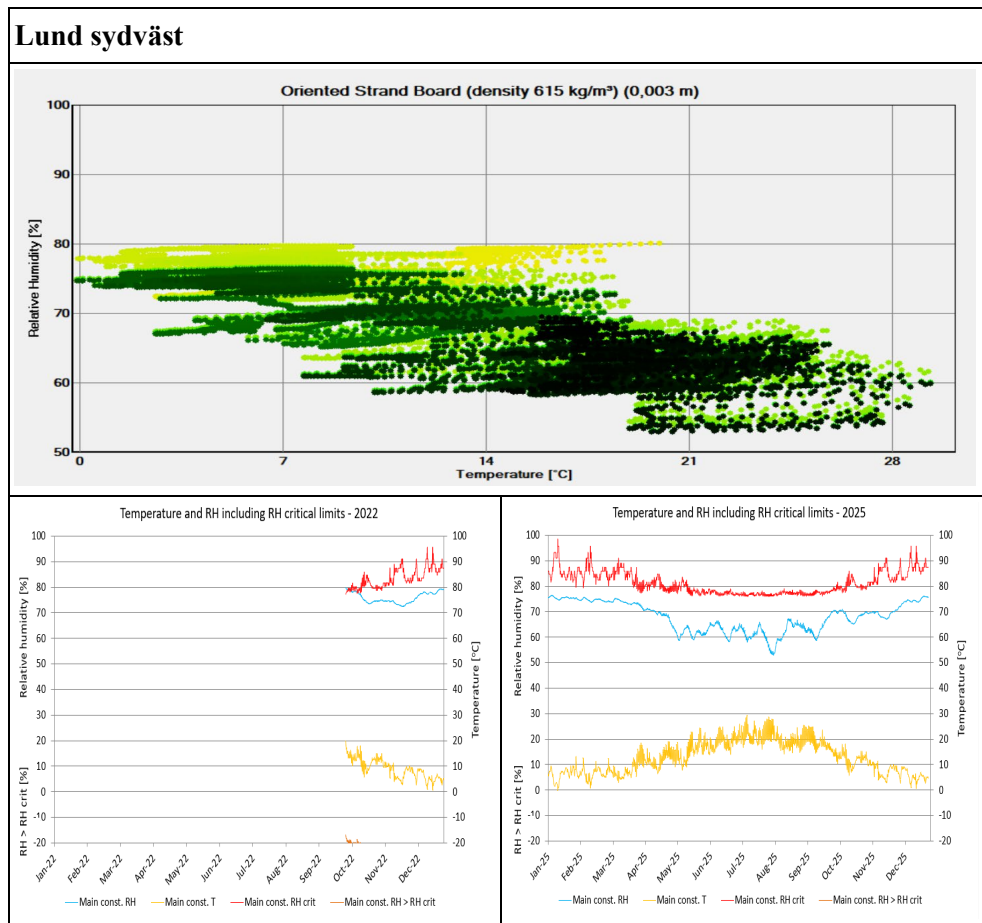
Luleå öst



Figur 14 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simulering av Gablok i Luleå, öst, visar inga tecken på att RF i konstruktionen skulle vara högre än RF_{krit} mer än en kort period i början av simuleringen. Detta beror på byggfukt som sedan torkas ut. Att denna konstruktion fungerar bättre än i Lund beror på att temperaturen i Luleå är så pass mycket lägre att RF_{krit} uppnår 100 % och att mögel inte kan växa vid så pass låga temperaturer. RF_{krit} uppnår 100 % just under den period konstruktionen var problematisk i Lund. Gabloks lösning lämpar sig alltså bättre i Luleå än i Lund.

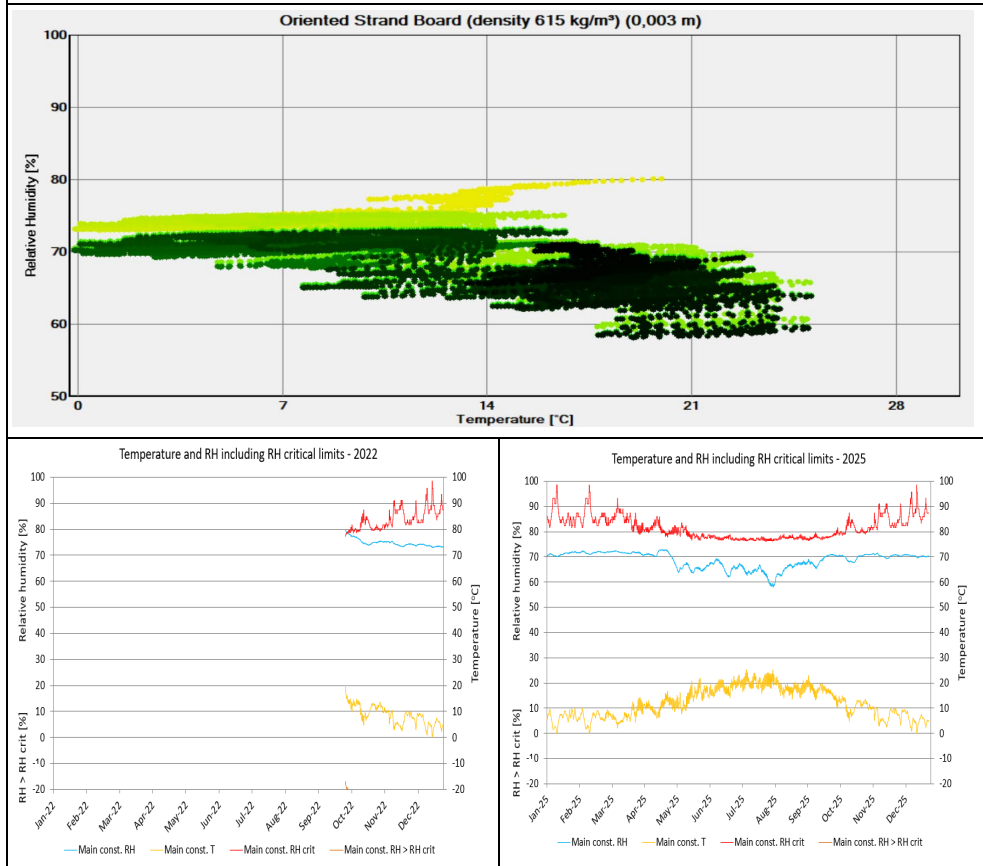
5.2 Basfall



Figur 15 Isoletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simuleringen av basfallet i Lund, sydväst, visar på goda marginaler och har ingen punkt där RF är större än RF_{krit} .

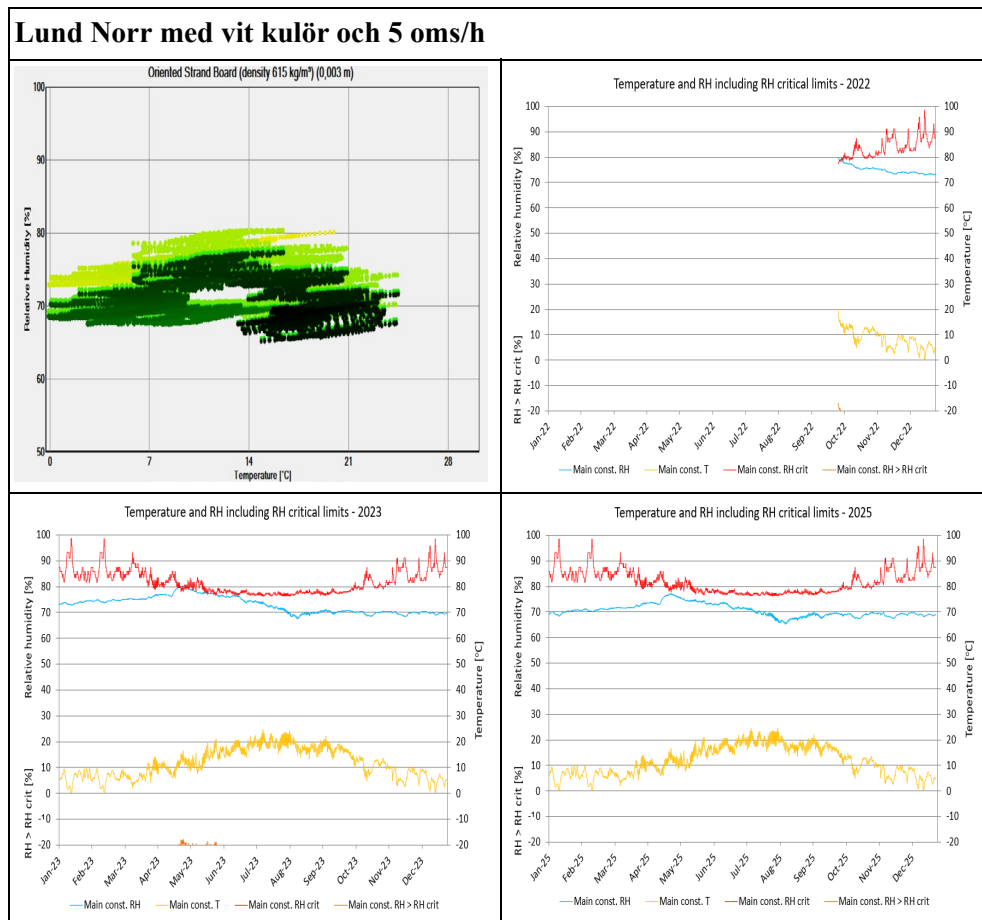
Lund norr



Figur 16 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Basfallet för Lund, norr, visar även denna på goda marginaler och ingen risk för mögelangrepp. Skillnaden från Lund sydväst är att temperaturen och RF i konstruktionen är jämnare. Detta beror på att det solstrålningen är lägre i norr samt att mängden slagregn är betydligt lägre i denna riktning.

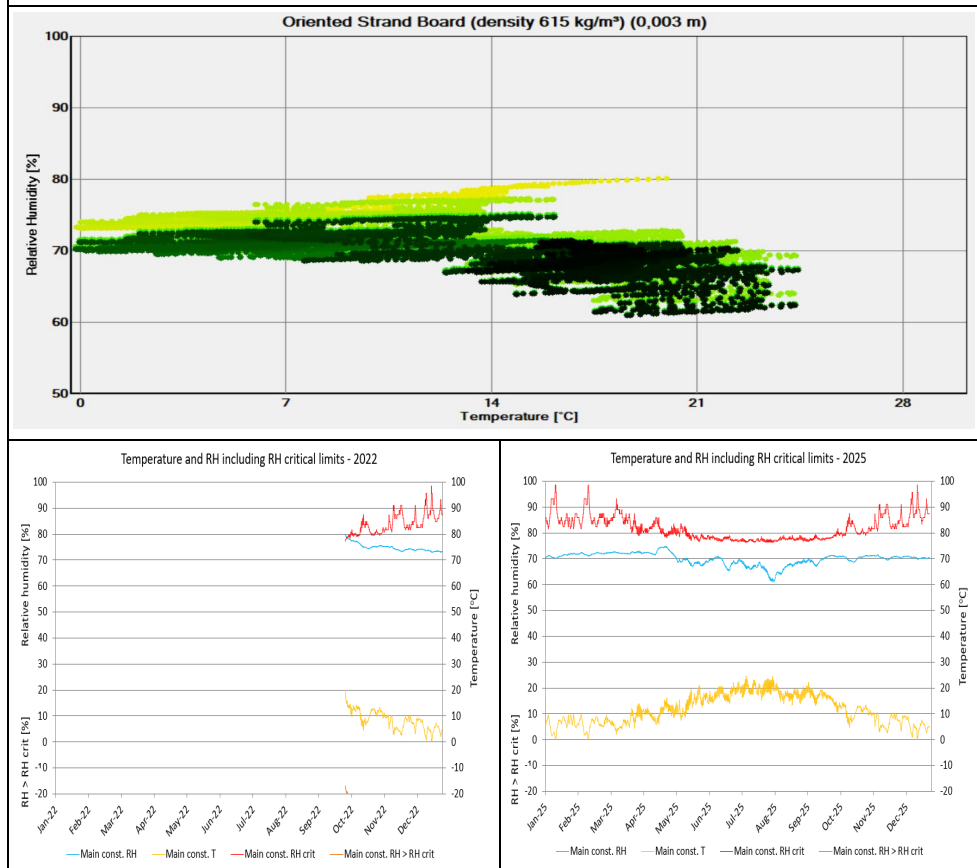
5.3 Parameterstudie



Figur 17 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simulering i Lund, norr, med vit kulör och 5 oms/h i luftspalten har en period runt maj år två där RF är över RF_{krit} . Detta beror på att byggfukten inte helt har torkat ut på grund av den låga omsättningen i luftspalten. Då detta är under en så pass kort period är risken för mögel i princip är obefintlig. Vid år fyra har byggfukten helt torkat ut och väggen har ingen punkt över RF_{krit} . Bortsett från maj har konstruktionen goda marginaler.

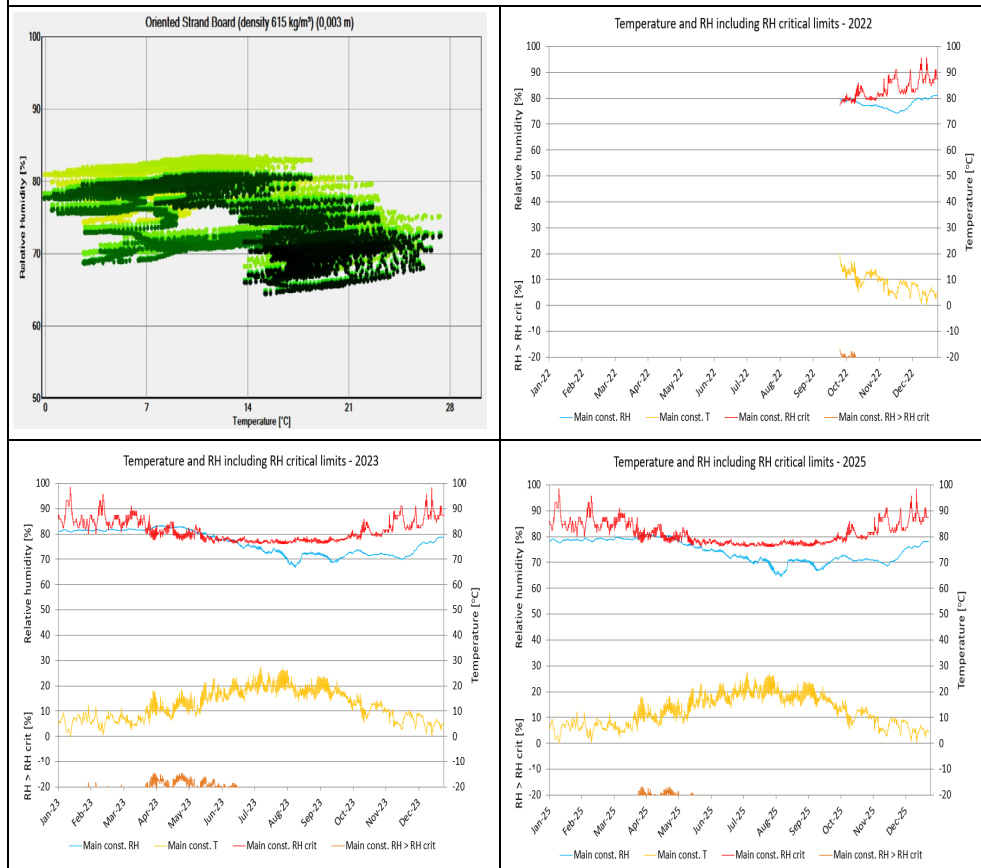
Lund norr med vit kulör och 20 oms/h



Figur 18 Isoletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå- RF , Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Till skillnad från simuleringen, figur 17, med 5 oms/h i luftspalten har denna simulering inget värde över RF_{krit} . Detta visar på betydelsen av tillräcklig omsättning i luftspalten. Omsättningen i luftspalten är det enda som skiljer dessa två simuleringar åt. Även om toppvärdet runt maj finns kvar är RF -kurvan något förskjutet nedåt, vilket gör att denna konstruktion klarar sig med god marginal.

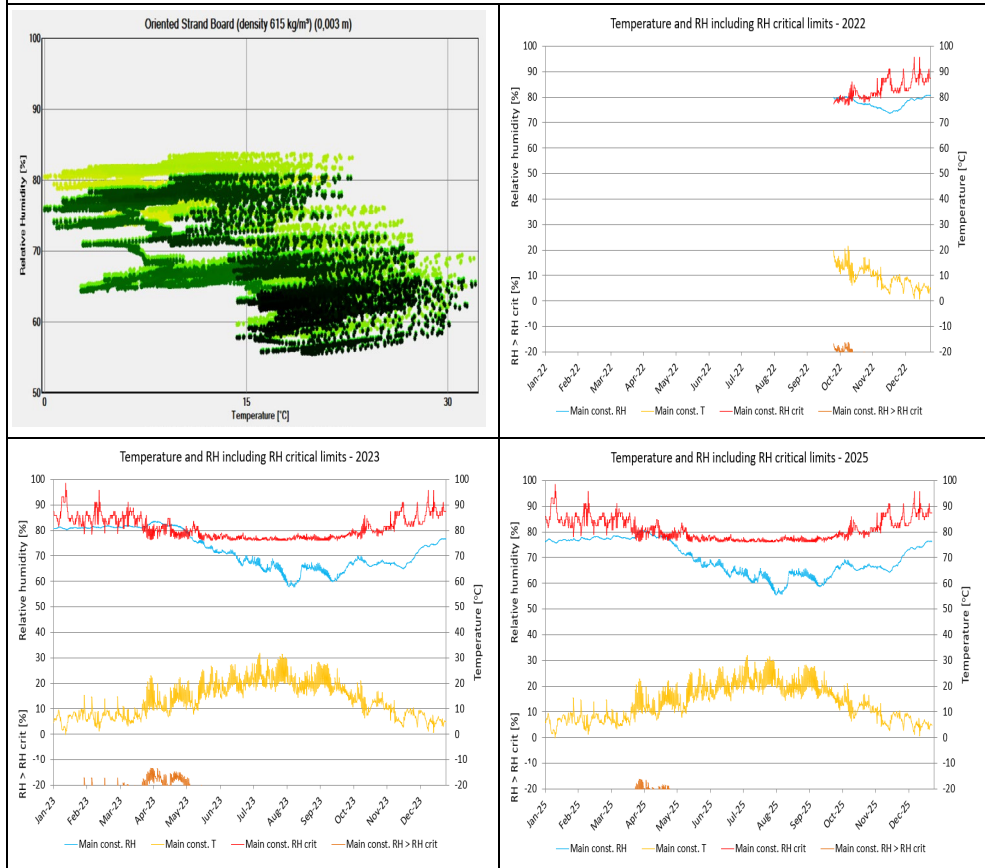
Lund sydväst med vit kulör och 5 oms/h



Figur 19 Isopletdiagram samt Folos för 2D för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simulering i Lund, sydväst, med vit kulör och 5 oms/h i luftspalten visar på en period från slutet av mars till mitten av juni år två där RF är högre än RF_{krit} . På grund av den perioden finns det måttlig risk för mögel på denna konstruktion. Även år fyra finns en period då RF är högre än RF_{krit} , dock betydligt kortare än år två, vilket visar på byggfuktens uttorkande. I jämförelse med simulering med 20 oms/h, figur 32 i appendix, ger detta ingen punkt över RF_{krit} . Detta visar även här på vikten av tillräcklig omsättning i luftspalten.

Lund sydväst med svart kulör 5 oms/h

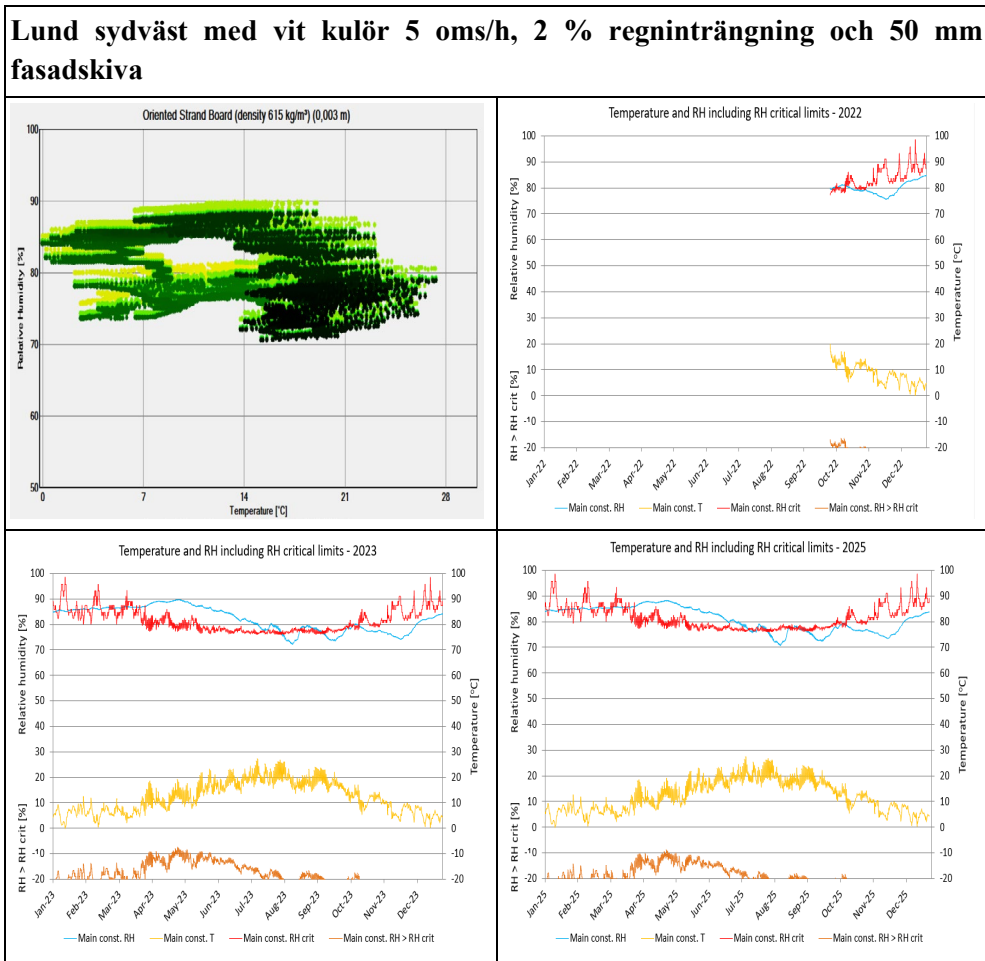


Figur 20 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Även denna simulering går att jämföra med figur 33 i appendix med 20 oms/h där den med högre omsättning inte ger några punkter över RF_{krit}. Jämför man denna simulering med den föregående med vit kulör, figur 18, kan man se att temperaturen är jämnare för simuleringen med vit fasad. Detta beror på att svart kulör har högre absorptionstal för kortvågig solstrålning vilket ger en varmare vägg. Detta gör även att RF blir betydligt lägre under sommaren än för den vita kulören. På grund av detta blir perioden där RF är högre än RF_{krit} kortare för svart fasad än för vit fasad.

Vid en jämförelse av isopletdiagrammen för figur 18 och 19 visas att för svart kulör har de senare punkterna betydligt lägre RF än för samma punkter med vit kulör. För vit kulör är punkterna även mer samlade än för den svarta kulören, detta beror på som tidigare nämnt att fasaden med svart kulör varierar mer i temperatur.

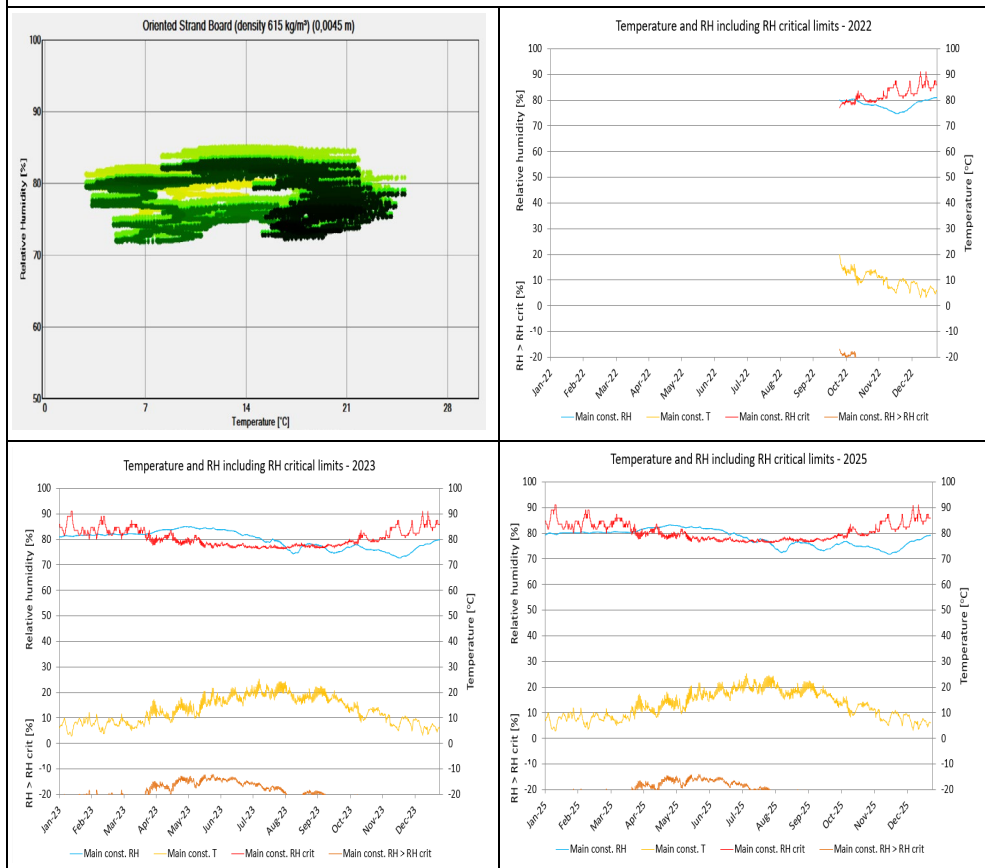
5.3.1 Extremfall



Figur 21 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

Simulering av detta extremfall med 2 % regninträngning visar stor skillnad mot simulering med 1 % regninträngning, figur 19. RF är högre än RF_{krit} stora delar av året, vilket medför stor risk för mögel. Detta visar på vikten av ett funktionellt regnskydd i form av fasad.

Lund sydväst med vit kulör, 5 oms/h, 2 % regninträngning och 100 mm fasadskiva

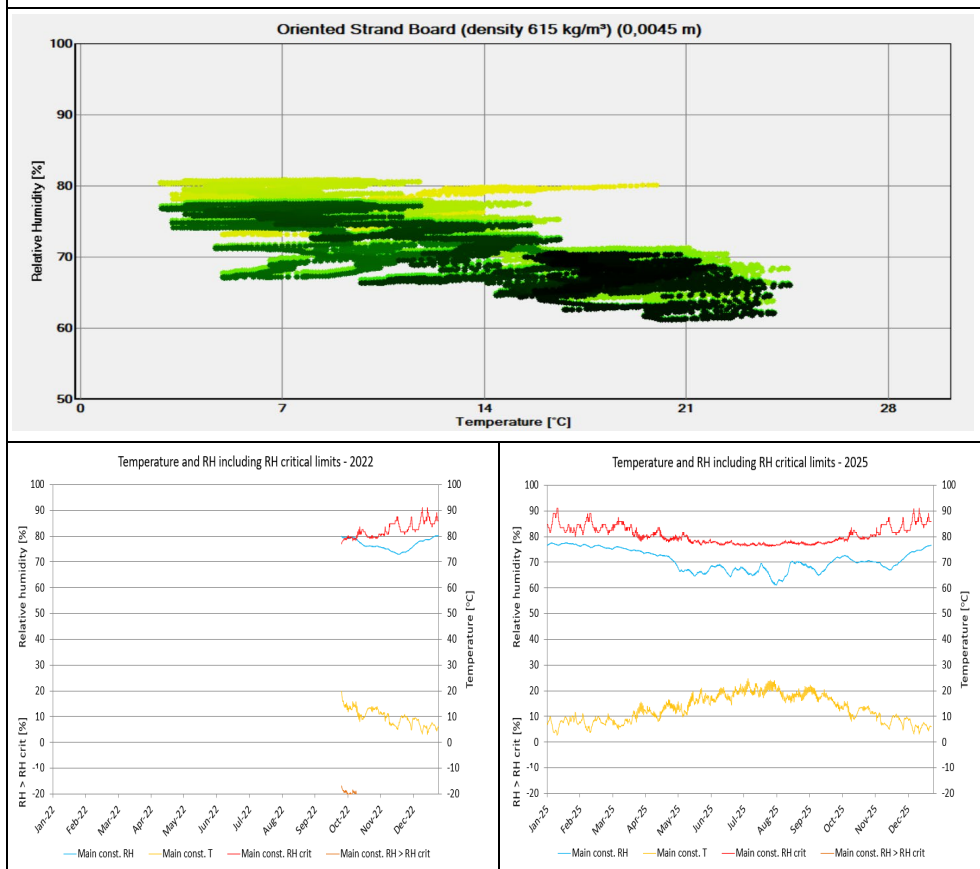


Figur 22 Isoleptdiagram samt Folosdiagram för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd- RF_{krit} , Orange- $RF > RF_{krit}$

I denna simulering har en 100 mm tjock fasadskiva använts i stället för 50 mm. Detta gav en betydligt kortare period där RF är högre än RF_{krit} , dock finns det även här stor risk för mögel. Temperaturen blir jämnare i konstruktionen med en tjockare fasadskiva, vilket gör att RF sänks generellt i konstruktionen.

Jämfört med svart kulör, *figur 32*, minskar även detta längden av perioden då RF är över RF_{krit} .

Lund sydväst med vit kulör, 30 oms/h, 2 % regninträngning och 100 mm fasadskiva



Figur 23 Isoleptdiagram samt Foliosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

En sista simulering med 30 i oms/h visar på betydelsen av en tillräcklig omsättning. Denna konstruktion har inga punkter över RF_{krit} trots sin höga regninträngning.

Vid lägre regninträngning skulle svart kulör kunna minska perioden då RF är över RF_{krit} tillräckligt mycket för att undvika risken av mögel. När regninträngningen ökar påverkar inte kulören så pass mycket att det blir riskfritt, jämför med figur 32. Vid hög regninträngning krävs alltså en högre luftomsättning för att undvika risken för mögel.

5.4 Analys av Folosdiagram

Graderingstabellen redovisar samtliga fall som har undersökts. Fallen graderas utifrån färgerna grön till röd, där grön innebär en mindre risk för mikrobiell påväxt i form av mögel och röd avser en högre risk för mikrobiell påväxt. De fallen med röd gradering har samtliga gemensamt att de har en låg omsättning i luftspalten. Det förekommer ett samband där en lägre omsättning i luftspalten ger ökad risk för mikrobiell påväxt. Graderingstabellen visar även samband mellan kulör och fuktproblem. De parameterfall där kulör varierats mellan vit och svart visar att en ljus kulör ökar risken för fuktproblem, medan en svart kulör ger bättre värden. Detta beror på att en svart kulör har en högre absorptionsförmåga vilket höjer temperaturen och ökar mätnadsånghalten vilket ger lägre RF. Val av riktning visar sig vara riskfaktorer där fallen Lund norr med vit kulör och Lund sydväst med vit kulör visar skillnader. Nordlig orientering ger bättre värden än sydvästlig för Lund. Förklaringen till detta är att Lund har större andel slagregn i sydväst än norr. Samtliga fall gällande regninträngning på 2 % och omsättning på 5 oms/h utsätts för stora fukttekniska problem. Dessa risker försvinner vid omsättning på 30 oms/h. Väsentligt påverkande faktor som framkommer i graderingstabellen är omsättning, fasadkulör och riktning (slagregn).

Tabell 9 Graderingstabell

	5 oms/h	20 oms/h	30 oms/h
Gablok			
Lund SV			
Luleå Ö			
Basfall			
Lund N			
Lund SV			
Växjö N			
Växjö S			
Stockholm N			
Stockholm SÖ			
Oslo N			
Oslo S			
Luleå N			
Luleå Ö			
Parameterfall (Lund)			
N, Grå, utan ångbroms			
N, Grå, med ångbroms			
SV, Grå, utan ångbroms			
SV, Grå, med ångbroms			
N, Vit			
N, Vit			
SV, Vit			
SV, Svart			
SV, Vit			
SV, Svart			
Extremfall (Lund)			
SV, Vit, Regn 2%			
SV, Vit, Regn 2%, 100mm fasadskiva			
SV, Svart, Regn 2%, 100mm fasadskiva			
SV, Vit, Regn 2%, 100mm fasadskiva			
Övrigfall			
Material byte av EPS och OSB			
Startdatum 01/01-22			

6 Diskussion

6.1 Konstruktion

Resultat från simulering av Gabloks exempellösning visar sig vara problematiskt avseende fukt då OSB-skivan på den kalla sidan har hög RF under längre perioder. Sett till värmetransmission har denna lösning ett U-värde på $0,152 \text{ W/m}^2\text{K}$, vilket är under BBR:s riktvärde på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det går dock inte att dra för stora slutsatser då man måste se till hur hela byggnaden samspelar.

För att sänka RF i konstruktionen byttes vindpappen från Gabloks lösning ut mot en fasadskiva. Fasadskivans främsta uppgift är att höja temperaturen i skikten innanför och på så sätt blir RF lägre. Fasadskivan bryter även köldbryggor vilket hade varit ett stort problem med Gabloks lösning då den inte heller innehåller någon isolering i installationsskiktet. Det är ytterligare en förändring vi har gjort för typlösningen som vidare simulerats. Isoleringen i installationsskikt har ingen betydande funktion mer än att den sänker värmetransmissionen ytterligare och ger ett bättre U-värde. U-värdet för denna lösning är $0,119 \text{ W/m}^2\text{K}$ vilket är en markant skillnad från Gabloks lösning.

Med dessa förändringar klarar sig samtliga basfall för de fem olika orterna. För att avgöra vilken ort som presterar sämst valdes den ort med minst marginal mellan RF och RFkrit. Denna ort var Lund och sämst var riktningen sydväst vilket beror på den stora mängd slagregn som förekommer i Lund.

För de simuleringar som har gjorts observerades att omsättning och regninträngning är starkt påverkande parametrar för RF i konstruktionen. Vid lägre regninträngning och omsättning visade sig även kulör ha stor påverkan. Vid simulering har dessa tre parametrar kombinerats och varierats för att se vikten av parametern, men även för att se vid vilka förhållande en viss parameter tappar betydelse. Exempelvis visar simuleringar att val av kulör tappar betydelse vid högre omsättning. Detta beror på att den temperaturhöjning som en svart kulör bidrar med ventileras ut vid högre omsättning. Vid lägre omsättning tillåts kulören att bidra till en temperaturhöjning genom hela konstruktionen.

Omsättningens påverkan visar sig vara av stor betydelse. Konstruktionens utformning av luftspalten blir därför intressant. Konstruktioner där cirkulationen blir hämmad, till exempel vid en murad fasad, kan vara problematiskt. För att säkerställa god cirkulation är det av vikt att luftspalten är tillräckligt bred och ger möjlighet till luft att komma in bakom fasaden på flertalet ställen. Exempelvis är korsande regler en lösning som säkerställer detta.

Undersökningen med och utan ångbroms visade ingen märkbar skillnad i resultatet. Eventuella problem skulle kunna uppstå gällande instängd byggfukt i OSB, där en ångbroms alternativt ångspärr skulle kunna försvåra uttorkning från skiktet mot den varma sidan. Då EPS och OSB är relativt täta material skulle det dessutom kunna skapa problem med uttorkning mot kalla sidan. På så vis skulle byggfukten kunna bli instängd. Eftersom ångbromsen inte verkar ha någon större betydelse då EPS och OSB är så pass täta, skulle det vara möjligt att inte använda sig av en ångbroms på insidan. Ångbromsen fungerar även som en spärr mot luftläckage. Detta är däremot något som måste motverkas om man inte använder en ångbroms. En lösning skulle kunna vara att fästa en tätningstejp över skarvar på OSB-skivorna mot installationsskiktet. Denna eventuella lösning har inte varit möjligt att simulera i WUFI.

Ett annat problem som kan uppstå i skarvarna mellan blocken är att vatten kan tränga sig in, vilket utgör ett problem eftersom OSB-skivorna är känsliga för fritt vatten.

6.2 Noggrannhet

Kulörens påverkan på RF visar sig vara att med en svart kulör blir perioden då RF är över RF_{krit} kortare än med en vit kulör. Däremot blir extremvärdena större med en svart kulör. Viktigt att poängtera är att vid simulering behåller färgen sitt absorptionstal konstant genom hela simulering. Detta är inte riktigt realistiskt eftersom en vit kulör blir mörkare med tiden och får ett högre absorptionstal på grund av smuts som fastnar på fasaden. Det samma gäller en svart kulör, den blir ljusare med tiden och får ett lägre absorptionstal på grund av smuts och solblekning.

I simuleringen har ett antagande gjorts där ingående fukt och temperatur i materialen är satta till 80 % respektive 20 °C. Här blir det svårt att representera det faktiska värdet då det skiljer sig från fall till fall. Påverkande faktorer är dels hur materialet har förvarats innan leverans, dels hur det förvaras efter leverans. Val av väderskydd samt startdatum är påverkande faktorer för både ingående temperatur och fukttinnehållet.

De fall där det förekommer en relativt låg marginal är det viktigt att komma ihåg att de antaganden som har gjorts har varit på den säkra sidan, det vill säga ett mer utmanande värde har använts än vad som normalt förekommer. Simuleringarna bygger på konstanta värden som i verkligheten är varierande. I WUFI betraktas konstruktionen som en perfekt utförd konstruktion utan felaktigheter, vilket inte representerar verkligheten. I försök att korrigera detta har valda parametrar varierats, vilket i sig även bygger på förenklingar samt antaganden. I praktiken varierar och samverkar fler parametrar samtidigt än vad som är möjligt att simulera.

Andra påverkande faktorer är att simuleringen använder sig av medelvärden till exempel gällande klimat. Simuleringen begränsas att kunna kontrollera data under de extremvärden som ingår i medelvärdet, vilket sker i praktiken. Gällande den tidsperioden på fyra år som har stimulerats har fallen visat sig nå ett konstant slutvärde. Även om detta värde är uppnått och sannolikt inte kommer förändras så är fyra år väldigt kort tid i relation till livslängden. Under denna period går det heller inte att utesluta eventuella yttre förändringar. Detta hade till exempel kunnat vara förändringar i det befintliga bostadsområde som gör att delar av fasaden skuggas eller att slagregnet minskar till följd av nybyggnationer.

7 Slutsats

Handberäkningarna visar att både Gabloks exempellösning och typlösningen uppfyller BBR:s riktvärde gällande värmetransmission för vägg med god marginal. Däremot visar simuleringarna med WUFI att Gabloks exempellösning kan få fukttekniska problem. Vidare simuleringar visar att ersätta vindpappen med en fasadskiva är ett effektivt sätt att undvika fukttekniska problem. De simuleringarna med 5 oms/h i luftomsättning visar sig löpa stor risk för mögelangrepp. Valet av kulör samt regninträngning genom fasadpanel är av mindre betydelse vid god luftomsättning. Därför är det av stor vikt att luftspalten är utformad på ett sätt som ger goda förutsättningar till erforderlig luftomsättning. Utförda simuleringar visar att med rätt förutsättningar finns goda möjligheter för användning av Gablok i ytterväggskonstruktioner i Sverige.

8 Förslag på fortsatta studier

Arbetet har fokuserat på teoretiska kontroller. För att ytterligare studera detta vidare hade praktiska undersökningar varit relevanta. Vid en praktisk undersökning hade en hel konstruktion kunnat studeras men även prestandan av blocken vid ett dåligt uppförande. Vid undersökning av en hel konstruktion kan anslutningar mellan grund, tak och installationer men även de anslutningarna mellan de olika blocken beaktas. En annan intressant aspekt är produktionskostnaden, då idén med byggasjälv-konceptet är att det ska vara kostnadsminimerande.

Källförteckning

Elektroniska källor

Boverket: “Din hälsa kan påverkas av fukt och mögel”, uppdaterad 2021, tillgänglig på <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhallat/konsekvenser-halsan/Halsa-fukt-mogel> (hämtad: 2022-05-12).

Brandskyddsföreningen: “Cellplast” tillgänglig på <https://www.brandskyddsforeningen.se/brandsakerhet/byggsektorn/cellplast> (hämtad: 2022-04-06).

Civildigital: “Interlocking Bricks | Features of Interlocking Brick Masonry | Benefits | Disadvantage”, publicerad 2019, tillgänglig på <https://civildigital.com/interlocking-bricks-features-of-interlocked-brick-masonry-benefits-disadvantages> (hämtad: 2022-04-07).

EPSCement: “Vad är EPS?”, tillgänglig på <https://www.epscement.com/produkter> (hämtad: 2022-04-06).

Finja: “Isolerblock och balkar”, tillgänglig på <https://www.finja.se/sortiment/block-grunder/isolerblock> (hämtad: 2022-04-04).

Gablok: “Build your own house in Belgium”, tillgänglig på <https://gablok.be/en/> (hämtad: 2022-04-07).

Gablok: “Does Gablok provide the process for self-builder?”, tillgänglig på <https://gablok.be/en/faq/does-gablok-provide-the-procedure-for-self-builders> (hämtad: 2022-04-07).

Gablok: “Gablok: Our insulating formwork components”, tillgänglig på <https://gablok.be/en/elements> (hämtad: 2022-04-07).

Gablok: “Gablok UK”, tillgänglig på <https://www.gablokuk.co.uk> (hämtad: 2022-04-07).

Gablok: “The history of Gablok”, tillgänglig på <https://gablok.be/en/about> (hämtad: 2022-04-06).

Gablok: “The jointing of the insulated blocks”, tillgänglig på <https://www.gablokuk.co.uk/faq> (hämtad: 2022-04-07).

IKEM: “EPS Sverige: Återvinning av EPS” tillgänglig på <<https://www.ikem.se/eps-sverige/miljon-och-eps/atervinning-av-eps>> (hämtad: 2022-04-07).

Norgips: “Brandskydd av bärande stålkonstruktion”, publicerade 2012, tillgänglig på <<https://www.norgips.se/wp-content/uploads/2018/03/Brandskydd-av-b%C3%A4rande-st%C3%A5lkonstruktioner.pdf>> (hämtad: 2022-04-26).

Reusewood: “About Oriented Strand Board (OSB)”, uppdaterad 2020, tillgänglig på <<https://reusewood.org/guide/oriented-strand-board>> (hämtad: 2022-04-07).

Rise: “Guide to Structural Insulated Panels (SIPs)”, publicerad 2011, tillgänglig på <<https://www.buildwithrise.com/stories/building-with-structural-insulated-panels>> (hämtad: 2022-04-04).

Svensk Betong: “Produktionsmetoder”, tillgänglig på <<https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/allmant-om-betong/produktionsmetod>> (hämtad: 2022-04-04).

Svensk byggtjänst: “Byggkatalogen: Grafit förbättrar isoleringen”, publicerad 2010, tillgänglig på <<https://byggkatalogen.byggtjanst.se/nyheter/grafit-forbattrar-isoleringen/860>> (hämtad: 2022-04-06).

Svenskt trä: “Bra att veta om träskivor” tillgänglig på <<https://shop.svenskttra.se/media/1221/bra-att-veta-om-tra-%C3%AAskivor.pdf>> (hämtad: 2022-04-07).

Svenskt trä: “Mikroorganismer” tillgänglig på <<https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-fukt/mikroorganismer>> (hämtad: 2022-05-12).

Svenskt trä: “Träbaserade skivmaterial: OSB Skivor”, tillgänglig på <<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/tra-och-trabaserade-produkter/trabaserade-skivmaterial>> (hämtad: 2022-04-06).

TräGuiden: “Mikroorganismer”, publicerad 2003, uppdaterad 2021, tillgänglig på <<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/bestandighet1/mikroorganismer1>> (hämtad: 2022-05-12).

TräGuiden: "OSB-skivor", publicerad 2003, uppdaterad 2017, tillgänglig på <<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/skivmaterial/osb-skivor>> (hämtad: 2022-04-06).

WUFI: "Home", uppdaterad 2018, tillgänglig på <<https://WUFI.de/en>> (hämtad: 2022-04-29).

Tryckta källor

Arfvidsson, Jesper, Harderup, Lars-Erik, Samuelson, Ingemar, *Fukthandbok*, 4 uppl. AB Svensk Byggtjänst, Halmstad 2017.

Bengtson, Staffan, Frantzich, Håkan, de Korostenski, Thomas & Marberg, Per-anders (red.), *Brandskyddshandboken: en handbok för projektering av brandskydd i byggnader #6*, 6 uppl. Lunds tekniska högskola, Lund, 2017.

Boverket *Bostäder byggda med volymelement - En fallstudie av svenska bostadsprojekt - verklighet och vision* dnr. 504-709/2004, publicerad 2006.

Boverkets byggregler *föreskrifter och allmänna råd* BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4.

Departementsserien Näringsdepartementet (Ds N) 2004:1 *Mer trä i byggandet - Underlag för en nationell strategi att främja användning av trä i byggandet*.

Kayello, Ahmad; Ge, Hua; Athienitis, Andreas; Rao, Jiwu *Experimental study of thermal and airtightness performance of structural insulated panel joints in cold climates i: Building and Environment*, 2017 vol. 115 s. 345-357.

Mundt-Petersen, Olof *Moisture Safety in Wood Frame Buildings - Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety* 2015 Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap *Skydd mot brand- Före, under och efter räddningsinsats* publ.nr. MSB813, publicerad 2015.

Panjehpour, Mohammad; Ali Abang Abdullah Abang; Voo Yen Lei *Structural Insulated Panels: Past, Present, and Future i: Journal of Engineering, Project and Production Management*, 2013 vol. 3 no. 1 s. 2-8.

Sandin, Kenneth *Praktisk Byggnadsfysik*. 1 uppl. Studentlitteratur, Lund 2010.

Sedlbauer, Klaus *Prediction of mould fungus formation of the surface of and inside building components* figur 30 och 31, Fraunhofer Institute for Building Physics.

Steno, Martin: *Fuktsäkra ytterväggar* i: AMA-nytt - Hus 2/2013.

Wyss, Sara; Fazio, Paul; Rao, Jiwu; Kayello, Ahmad *Investigation of Thermal Performance of Structural Insulated Panels for Northern Canada* i: Journal of Architectural Engineering, 2015 vol. 21 no. 4.

Illustrationsförteckning

Figur 1, Finja, tillgänglig på <<https://www.finja.se/produkter/block/isolerblock-bas?id=1325>> hämtad: 2022-05-08.

Figur 2, SIP element skarvar, tillgänglig på <<https://www.integritytimberframe.com/timber-frame-home-kits>> hämtad: 2022-05-08.

Figur 3, Interlocking brick, tillgänglig på <<http://www.myib.com.my/brick1.html>> hämtad: 2022-05-08.

Figur 4, Gablok, tillgänglig på <<https://carib-blok.com>> hämtad: 2022-05-08.

Figur 5, Skarv av Gablok, tillgänglig på <<https://gablok.be/en/projets/garage-workshop-made-of-wooden-blocks>> hämtad: 2022-05-08.

Figur 6, Sedlbauer, Klaus *Prediction of mould fungus formation of the surface of and inside building components* figur 30 och 31, Fraunhofer Institute for Building Physics.

Appendix

Tabell 10 Medeltemperatur och relativ fuktighet för Lund, från Fukthandbok (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

	T (°C)	RF (%)
Januari	2,8	88
Februari	2,2	88
Mars	3,3	85
April	7,7	77
Maj	10,6	72
Juni	15,1	76
Juli	18,3	72
Augusti	17,1	76
September	16,0	80
Oktober	9,3	83
November	5,2	87
December	2,5	87

Tabell 11 Medeltemperatur och relativ fuktighet för Växjö, från Fukthandbok (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

	T (°C)	RF (%)
Januari	-0,8	91
Februari	-2,3	89
Mars	1,5	85
April	6,4	77
Maj	9,1	68

Juni	14,3	75
Juli	17,3	72
Augusti	15,5	75
September	14,1	81
Oktober	7,0	87
November	3,6	88
December	-0,7	89

Tabell 12 Medeltemperatur och relativ fuktighet för Göteborg, från Fukthandbok (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

	T (°C)	RF (%)
Januari	2,3	78
Februari	2,4	76
Mars	2,4	77
April	7,6	72
Maj	10,4	64
Juni	14,5	73
Juli	17,9	68
Augusti	16,8	70
September	16	74
Oktober	9	76
November	5,7	80
December	1,3	80

Tabell 13 Medeltemperatur och relativ fuktighet för Stockholm, från Fukthandbok (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

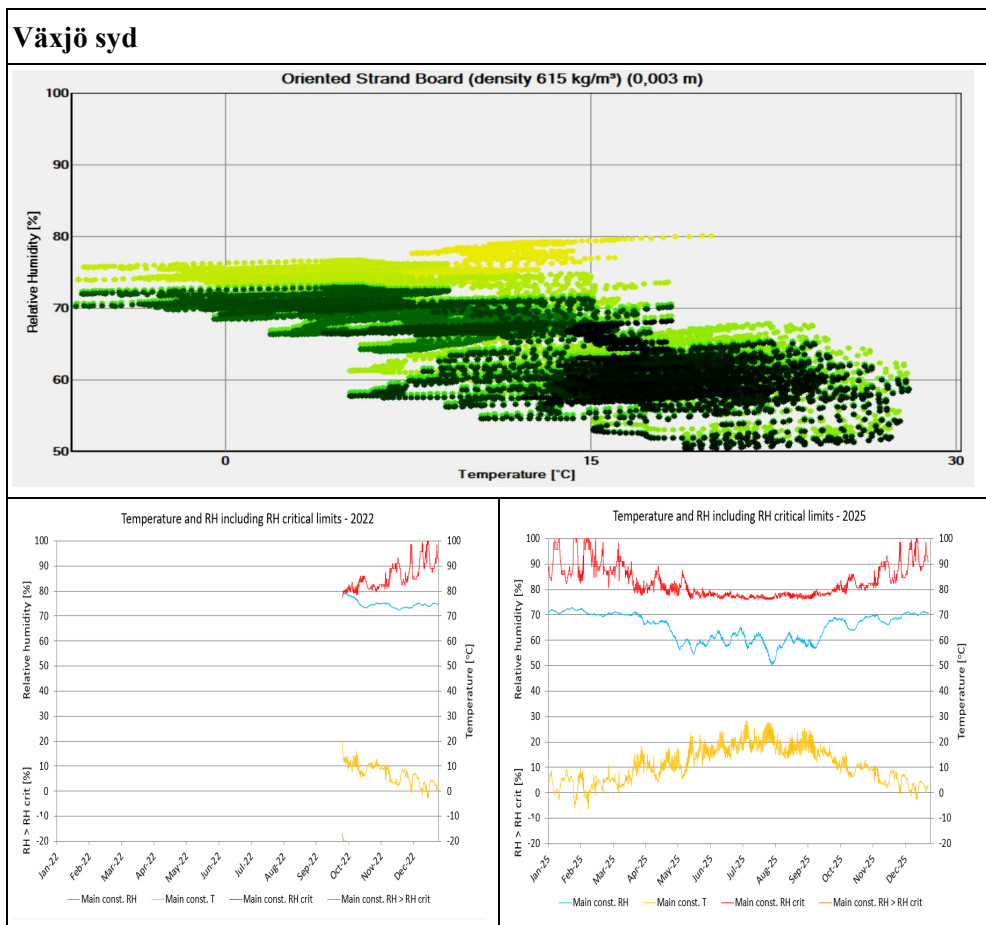
	T (°C)	RF (%)
Januari	-2,4	88
Februari	-2,7	82
Mars	0,7	85
April	5,8	78
Maj	8,4	65
Juni	15,5	70
Juli	18,3	66
Augusti	14,8	73
September	13,8	79
Oktober	7,1	82
November	3,6	86
December	-1,7	89

Tabell 14 Medeltemperatur och relativ fuktighet för Luleå, från Fukthandbok (Arfvidsson, Harderup & Samuelsson 2017)

	T (°C)	RF (%)
Januari	-15,3	82
Februari	-12,3	82
Mars	-6,0	81
April	2,2	69
Maj	5,6	64
Juni	14,6	68
Juli	15,1	75

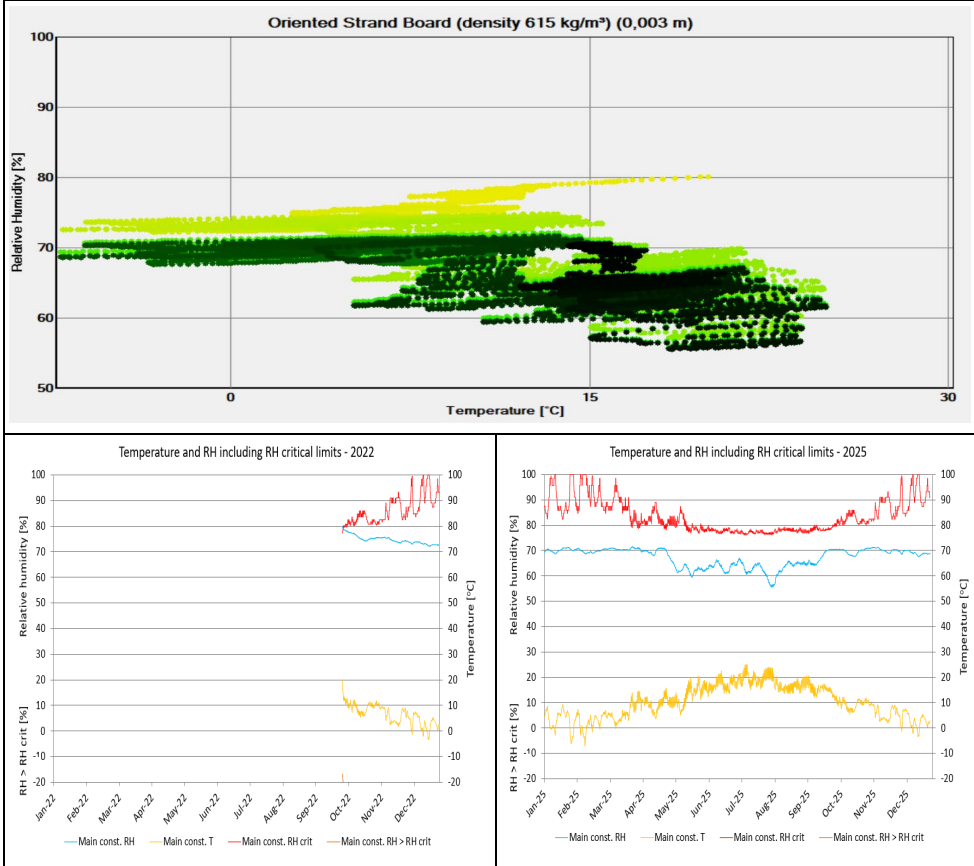
Augusti	10,4	78
September	10,0	82
Oktober	2,5	84
November	0,9	85
December	-13,2	82

Basfall



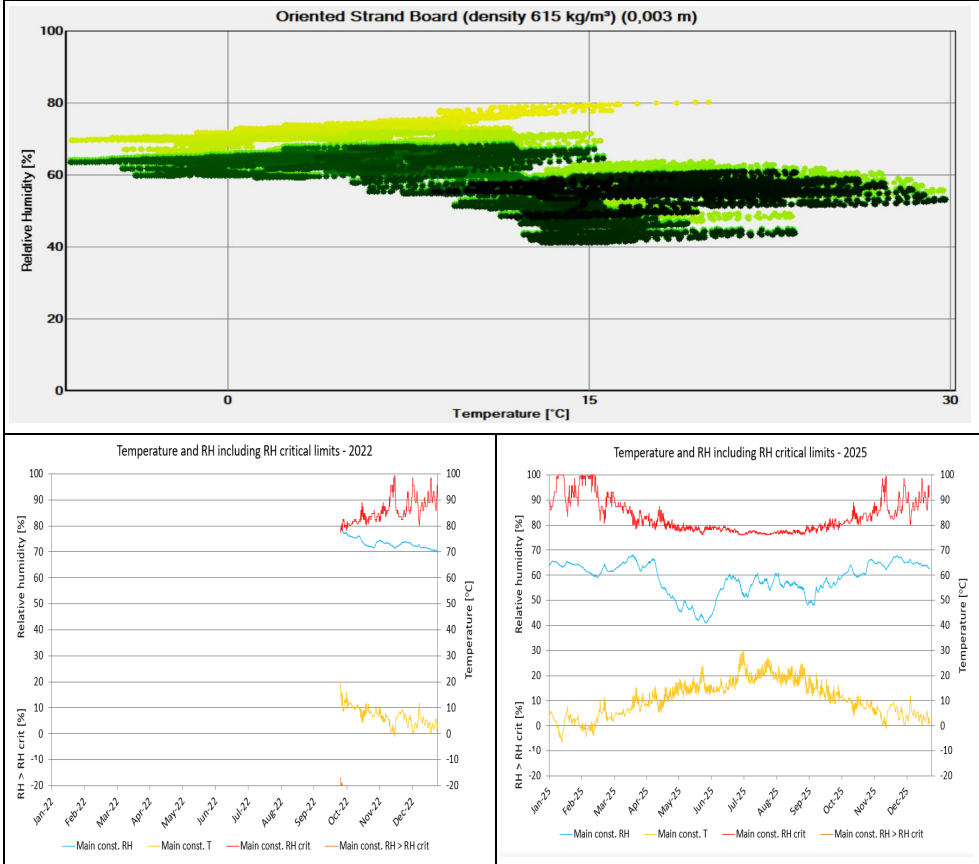
Figur 24 Isoletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Växjö norr



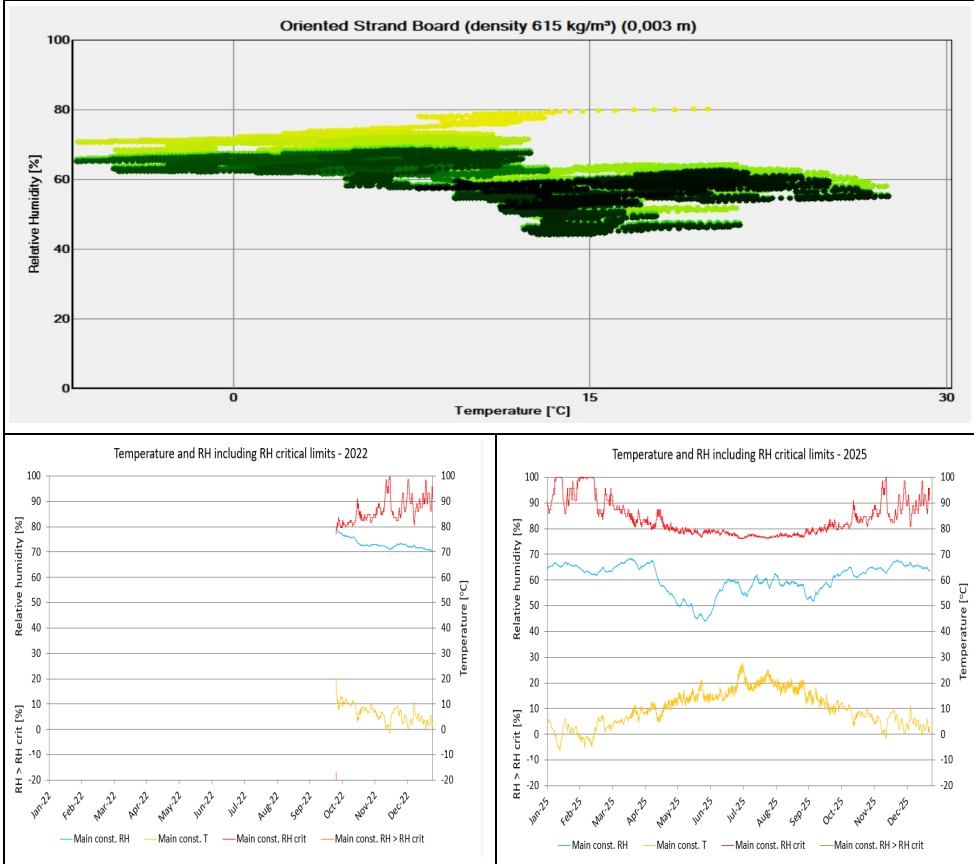
Figur 25 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Oslo syd



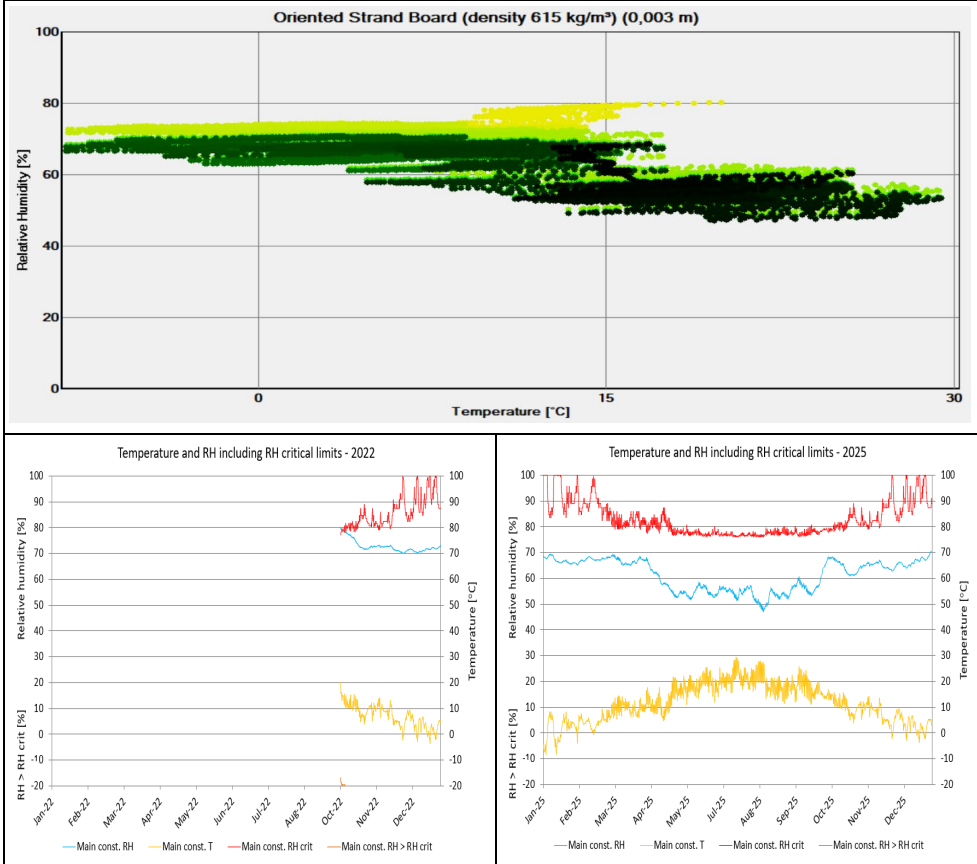
Figur 26 Isoplethdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Oslo norr



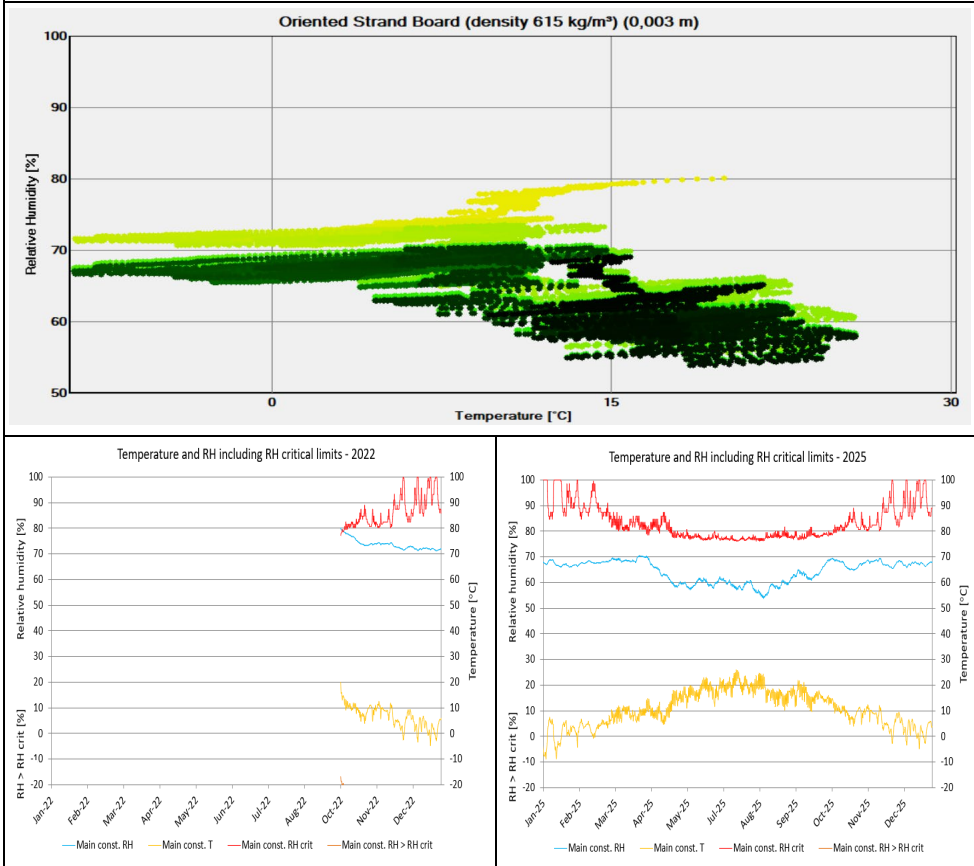
Figur 27 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Stockholm sydöst



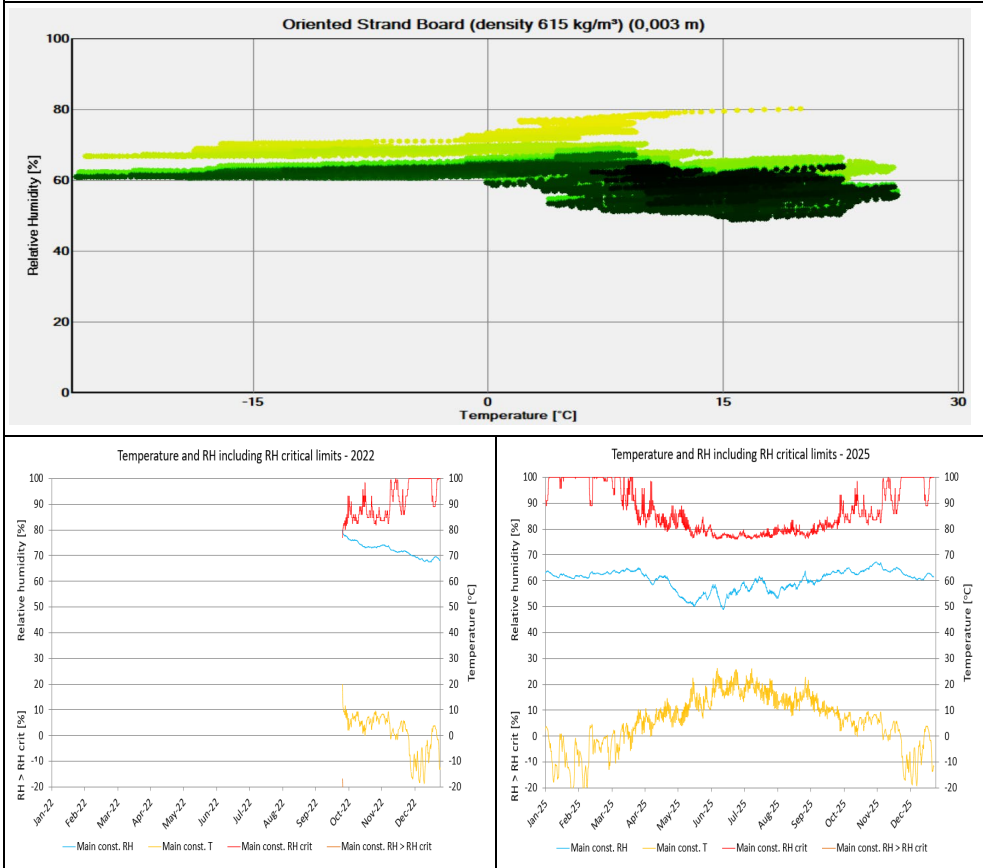
Figur 28 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Stockholm norr



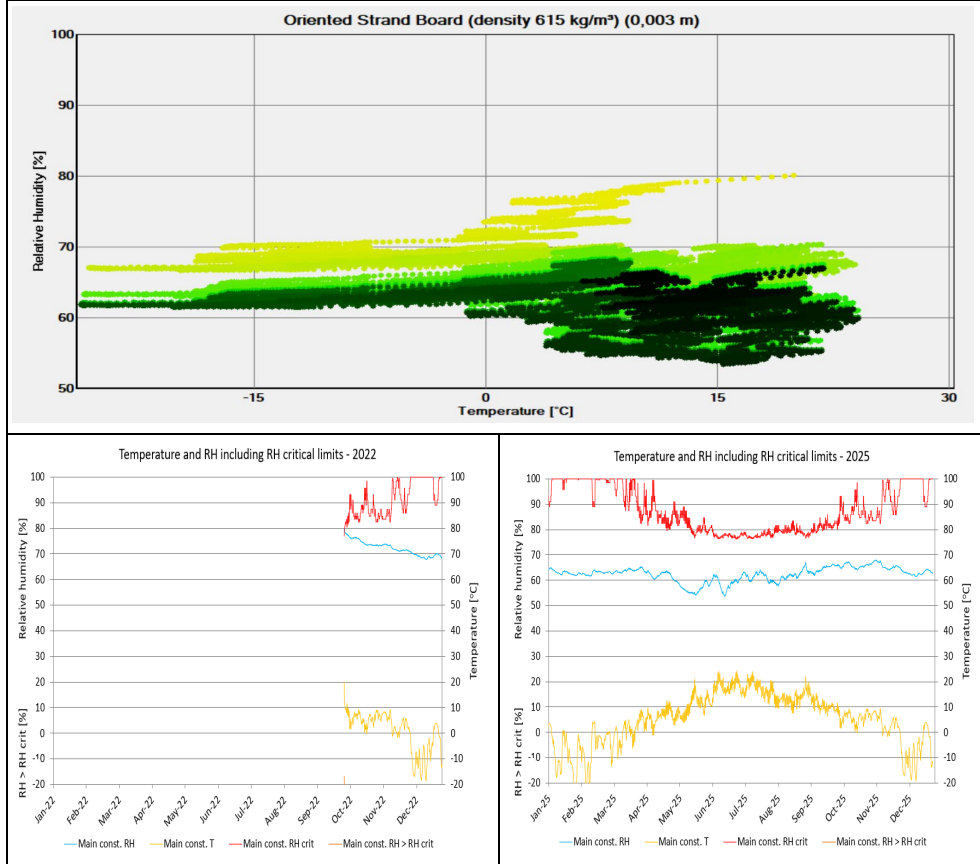
Figur 29 isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Luleå öst



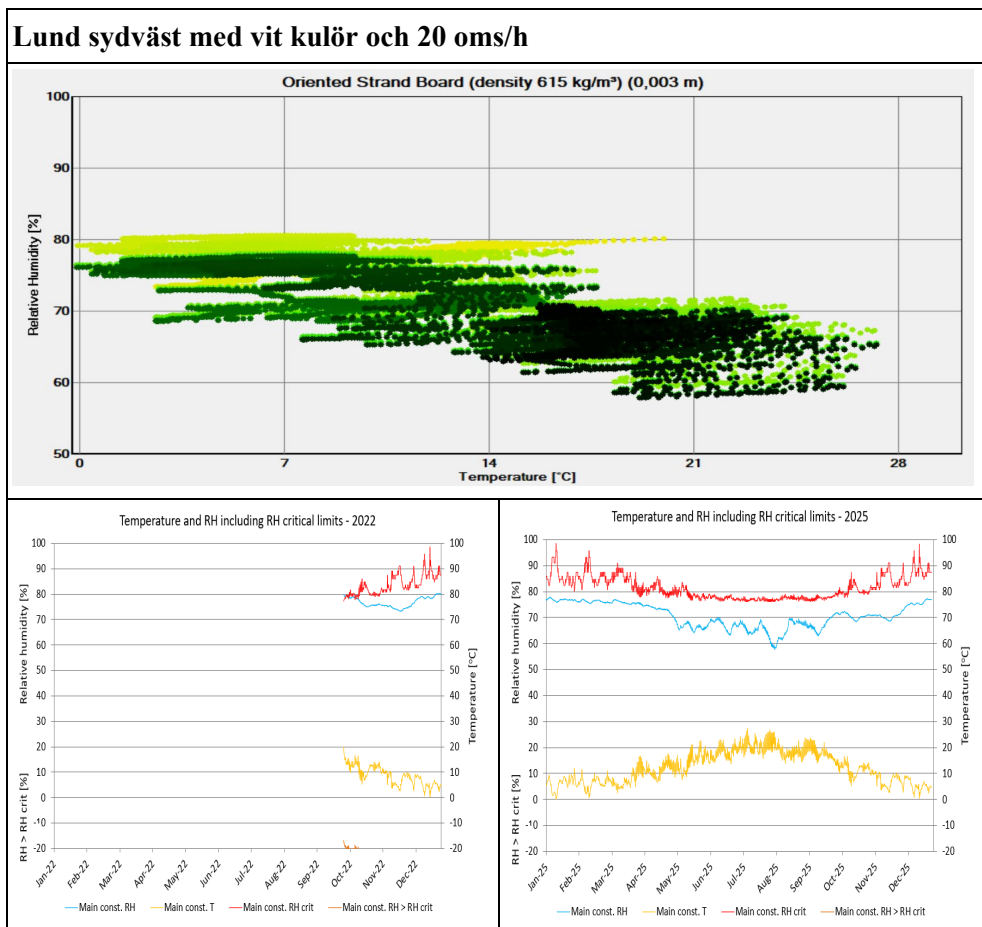
Figur 30 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Luleå³ norr



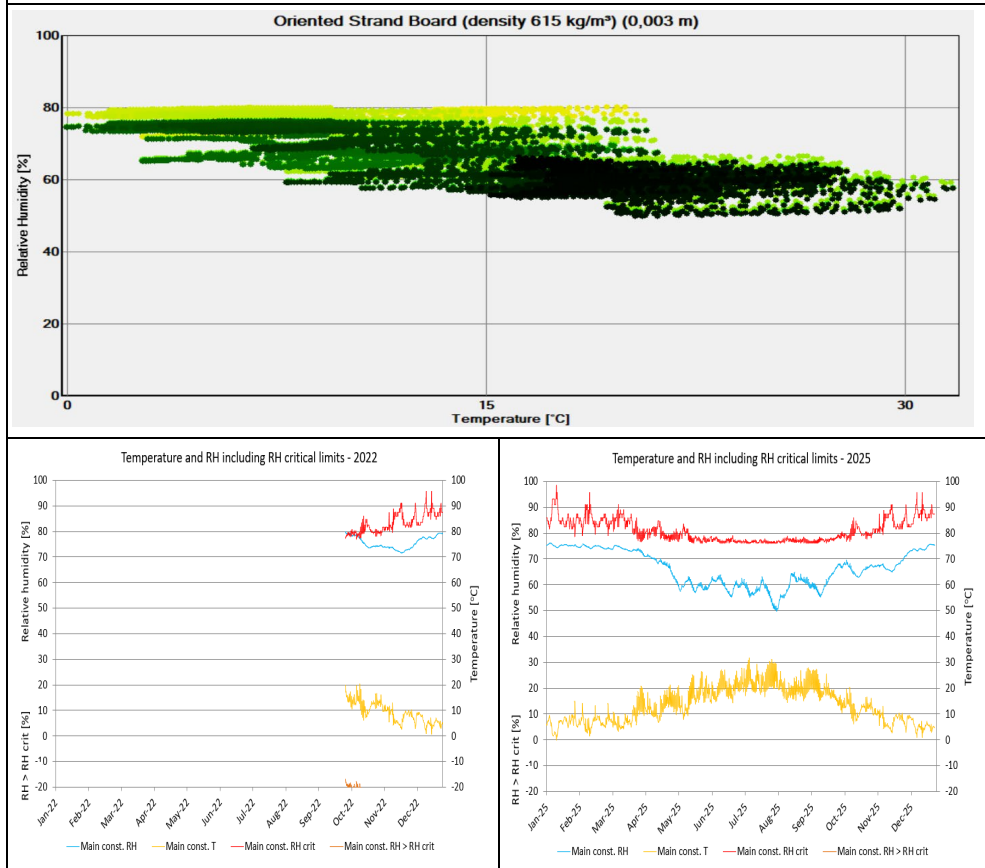
Figur 31 isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Parameterfall



Figur 32 Isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

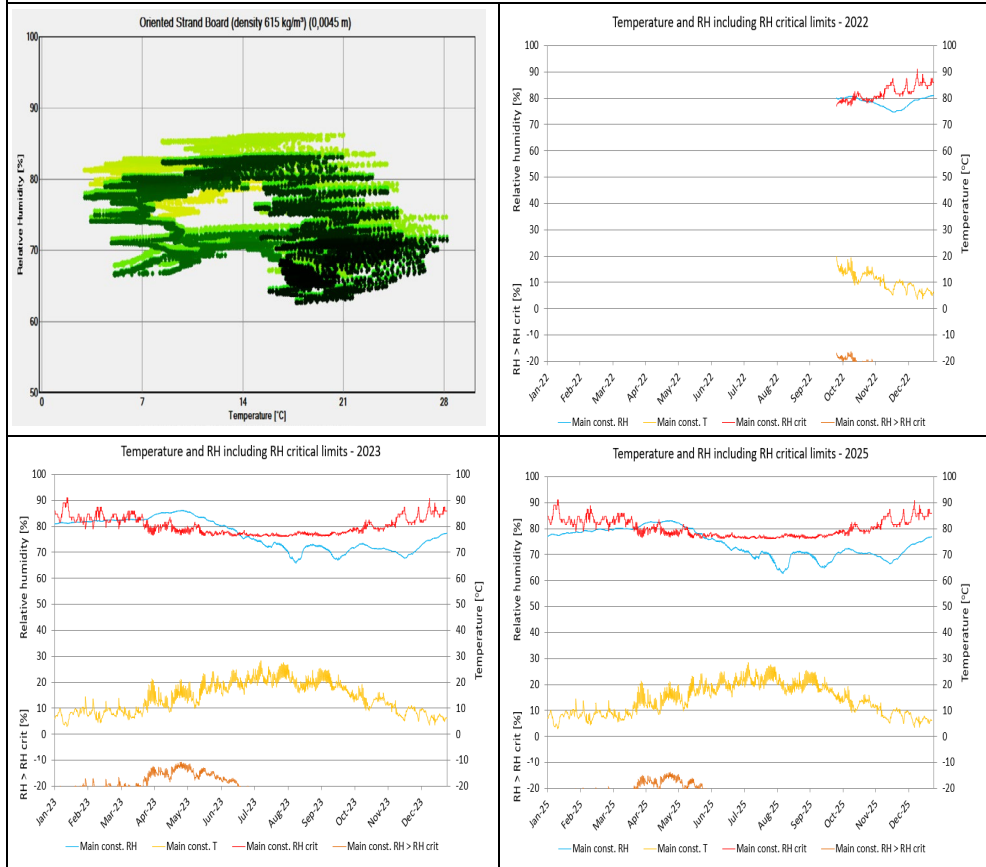
Lund sydväst med svart kulör och 20 oms/h



Figur 33 isopletdiagram samt Folosdiagram för år 1 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}

Extremfall

Lund sydväst med svart kulör, 5 oms/h, 2 % regninträngning och 100 mm fasadskiva



Figur 34 Isopletdiagram samt Følösdiagram för år 1, 2 och 4, Gul-temp., Blå-RF, Röd-RF_{krit}, Orange-RF > RF_{krit}