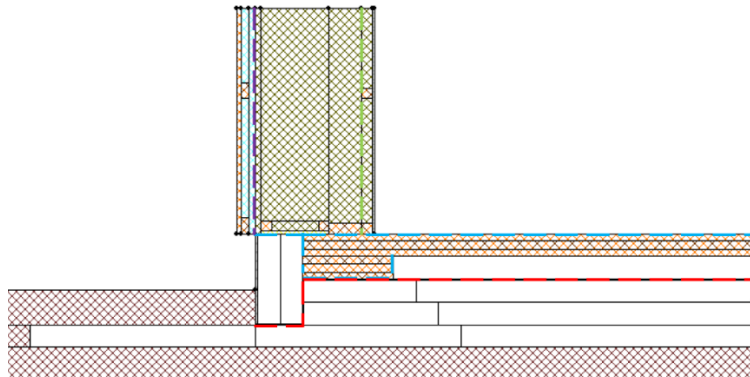


Platta på mark av KL-trä

- En studie om fuktsäkerhet och klimatpåverkan



Robert Baric
Billy Johansson



LUNDS
UNIVERSITET

Platta på mark av KL-trä

- En studie om fuktsäkerhet och klimatpåverkan

Robert Baric
Billy Johansson

Examensarbete: 30,0 högskolepoäng, Civilingenjörsutbildning i väg- och vattenbyggnad

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

© Robert Baric och Billy Johansson

ISRN: LUTVDG/TVBH-22/5125-SE(200)
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Platta på mark av KL-trä – En studie om fuktsäkerhet och klimatpåverkan
- Författare:** Robert Baric
Billy Johansson
- Handledare:** Petter Wallentén, institutionen för Bygg- och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik

Björn Grahn, WSP Byggnadsfysik
- Examinator:** S. Olof Mundt-Petersen, institutionen för Bygg- och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik samt Polygon Sverige AB

Tidigare studier har visat att konstruktionen med platta på mark av trä uppfyller förväntade tekniska och miljömässiga egenskaper som kan förväntas av en grundläggning i allmänhet och av ett mer klimatneutralt material. Konstruktionen bedöms även vara konkurrenskraftig både i tillverkning och kostnad vid jämförelse med konventionella metoder. Småhustillverkare ser generellt positivt på produkten, men är i detta skede inte beredda att starta upp en produktion vilket bland annat beror på oklarheter kring fuktsäkerhetsaspekterna. Situationen leder till denna studies frågeställning om en platta på mark av KL-trä för småhus kan anses vara en fuktsäker konstruktion och hur den bör utformas för att uppfylla det. För att säkerställa huvudsakliga motivet till användningen av en platta på mark av KL-trä ställs även frågan till vilken skillnad den har i klimatpåverkan jämfört med en platta på mark av betong.

Syftet med examensarbetet var att undersöka fuktsäkerheten i en platta på mark av KL-trä genom att utföra ett kvantitativt delmoment av en fuktsäkerhetsprojektering, alltså att med varierande förutsättningar kontrollera fuktillstånden i byggnadsdelen med beräkningar eller provningar. Ambitionen var att komma fram till var problem kan uppstå vid olika förutsättningar och hur en platta på mark av KL-trä bör konstrueras för att god fuktsäkerhet skall uppnås. Studien omfattade även en jämförelse av klimatpåverkan mellan användningen av betongplatta eller KL-träplatta i en platta på mark, detta för att ytterligare synliggöra skillnaden i klimatpåverkan beroende på materialval i en grundkonstruktion.

Först och främst utfördes litteraturstudier för att få en tydligare uppfattning kring hur en platta på mark av KL-trä kan vara uppbyggd samt hur den skiljer sig mot en mer traditionell typ. Beräkningarna utfördes på utvalda konstruktioner med hjälp av temperatur- och fuktberäkningsprogrammet WUFI 2D. Studien utfördes som en parameterstudie där olika parametrar varierades för att studera hur det påverkade konstruktionernas fuktillstånd och risk för mögelpåväxt i förhållande till respektive referensfall. Slutligen utfördes en jämförelse av klimatpåverkan i kilogram

koldioxidekvivalenter per kvadratmeter grund som förekommer under byggskedet mellan platta på mark som är gjord av KL-trä eller betong.

Resultaten visade på att en platta på mark av KL-trä för småhus kan, vid fuktbelastningar som förväntas vid normala driftfall, vara en fuktsäker konstruktion om den byggs på rätt sätt. Rekommendationer för att uppnå en fuktsäker konstruktion i en platta på mark av KL-trä är att:

- Ha tillförlitligt väderskydd under hela byggskedet så att fuktillstånd i KL-träelement som kontrolleras motsvarar högst 12 % fuktkvot och att resterande byggmaterial är torra vid inbyggnad.
- Ha tillförlitlig tjocklek av sockelisolering, minst 100 mm.
- Avståndet mellan markyta och fasad bör minst vara 250 mm.
- KL-trämateriäl bör befinna sig så högt som möjligt i grundläggningen. Om möjlighet finns ska KL-träplattan utföras utan kantbalk.
- Möjliggör att KL-träplatta och omkringliggande material tillåts torka ut i andra riktningar än bara genom KL-träplattan. Därför undanbedes användning av ångspärr speciellt bakom sockel i grundläggningen.
- Vid ny typ av konstruktionslösning eller omplacering av byggnad till ort med annat klimat bör värme- och fuktberäkningar utföras i program som WUFI 2D eller motsvarande.

Jämförelsen av klimatpåverkan i modul A1–A5 för en likartad konstruktion utformad med KL-trä gentemot betong och klimatförbättrad betong visade att en platta på mark av KL-trä har cirka 44 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av konventionell betong och cirka 36 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av klimatförbättrad betong.

Nyckelord: KL-trä, fuktsäkerhet, WUFI 2D, klimatpåverkan, betong, grundkonstruktion

Abstract

Previous studies have shown that a construction of a slab foundation of wood meets the expected technical and environmental characteristics that can be expected from a foundation in general and from a more climate-neutral material. The design is also considered to be competitive both in manufacturing and cost when compared with conventional methods. Single-family home manufacturers generally view the product positively, but at this stage are not prepared to start up production, which is due, among other things, to uncertainties regarding the moisture safety aspects. The situation leads to this study's question of whether a slab foundation of cross-laminated timber, also known as CLT, for single-family homes can be considered a moisture-proof structure and how it should be designed to be so. To ensure the main motive for the use of a slab foundation of CLT, the question is also asked to what difference it has in climate impact compared to a slab foundation made of concrete.

The purpose of the thesis was to investigate the moisture safety of a slab foundation of CLT by performing a quantitative part of a moisture safety planning, more exactly to check the moisture condition in the building part with varying conditions with the help of calculations or tests. The ambition was to find out where problems can arise under different conditions and how a slab foundation of CLT should be constructed to achieve good moisture safety. The study also included a comparison of the climate impact between the use of concrete or CLT in a slab foundation to further highlight the difference in climate impact depending on the choice of material in a foundation structure.

First and foremost, literature studies were carried out to get a clearer idea of how a slab foundation of CLT can be constructed and how it differs from a more traditional type. The partial moisture safety planning was carried out on selected structures using the temperature and humidity calculation program WUFI 2D. The design consisted of a parameter study where parameters were varied to study how it affected the moisture state of the structures and the risk of mold growth in relation to each reference case. Finally, a comparison was carried out of the climate impact in kilograms of carbon dioxide equivalent per square meter of foundation that occurs during the construction phase between slab foundations made of CLT or concrete.

The results showed that a slab foundation of CLT for single-family homes can, under moisture loads expected in normal operating cases, be a moisture-proof structure if built correctly. Recommendations for achieving a moisture-proof construction in a slab foundation of CLT are:

- Have reliable weather protection throughout the construction phase so that the controlled moisture condition of CLT elements corresponds to a maximum of 12% moisture content and the remaining building materials are dry when built in.
- Have reliable thickness of plinth insulation, at least 100 mm.
- The distance between the soil surface and the façade should be at least 250 mm.

- CLT materials should be as high as possible in the foundation. If possible, the CLT board should be constructed without an edge beam.
- Enable CLT board and surrounding materials to dry out in other directions than just through the CLT board. Therefore, the use of vapor barrier especially behind the plinth, in the foundation, is discouraged.
- In the case of a new type of construction solution or relocation of a building to a place with a different climate, heat and moisture calculations should be carried out in programs such as WUFI 2D or equivalent.

The comparison of the climate impact in modules A1-A5 for a similar structure designed with CLT versus concrete and climate-improved concrete showed that a slab foundation of CLT has about 44 % lower climate impact than a slab on ground of conventional concrete and about 36 % lower climate impact than a slab on land of climate-improved concrete.

Keywords: CLT, moisture safety, WUFI 2D, climate impact, concrete, ground construction

Förord

Detta examensarbete utgör den avslutande delen av *civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad* vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har utförts under våren 2022 vid avdelningen för Byggnadsfysik på LTH, i samarbete med WSP.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handlare Petter Wallentén och Björn Grahn samt vår examinator S. Olof Mundt-Petersen för deras stora stöd och engagemang som varit till stor hjälp under hela arbetet.

Ett särskilt tack till alla på WSP i Malmö för det varma och trevliga mottagandet, även till alla på WSP som svarat på frågor och uppmuntrat oss under examensarbetet. Vi vill även ge ett extra tack till WSP för att ha engagerat oss i saker som personaltillställningar, studiebesök och, inte minst, den exceptionellt goda och moralhöjande fikan på fredagseftermiddagarna.

Slutligen vill vi även rikta ett tack till Erik Goverde på Klara Byggsystem, som anordnade studiebesök vid både stomresning och tryckprovningar av deras produkter, samt till personerna involverade i projektet VillaZero och alla andra som engagerat sig, svarat på frågor och bidragit med material under detta examensarbete.

Lund, maj 2022

Robert Baric och Billy Johansson

Förkortningar

| | |
|--------------------------|--|
| KL-trä | Korslimmat trä |
| WUFI 2D | Datorprogram för att tvådimensionellt kunna utvärdera fukt- och temperaturförhållanden i konstruktioner. |
| RF | Relativ fuktighet [%] |
| RF_{krit} | Kritisk relativ fuktighet [%] |
| BBR | Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd |
| LCA | Livscykelanalys |

Definitioner

| | |
|---|--|
| Fuktsäkerhetsprojektering | Det systematiska fuktsäkerhetsarbetet vid projekteringen av en byggnad som syftar till att säkerställa att byggnaden inte får skador direkt eller indirekt orsakat av fukt. |
| Platta på mark | En vanlig typ av grundläggning som traditionellt utförs med betongkonstruktion, kompletterad med värmeisolerande samt dränerande och kapillärbrytande skikt, direkt på mark utan underliggande utrymme. |
| Beräkningsmodell | I denna studie syftar beräkningsmodell på en modell i WUFI 2D som det utförts beräkningar i. |
| Ånghalt | Storheten för massa vatten per volymenhet [kg/m^3]. |
| Mättnadsånghalt | Den maximala ånghalten en volym kan nå vid en viss temperatur [kg/m^3]. |
| Relativ fuktighet (RF) | Ett mått för ånghalten dividerat med mättnadsånghalten vid en viss temperatur. RF anges i storheten [%]. 100 % relativ fuktighet korresponderar därför till en ånghalt som är lika stor som mättnadsånghalten vid en viss temperatur. |
| Kritisk relativ fuktighet (RF_{krit}) | Det kritiska fuktillståndet är den gräns för när ett material förändras av en fuktbelastning på ett sådant sätt att materialet förlorat väsentliga egenskaper. I denna studie definieras det av då det föreligger risk för mikrobiell påväxt. Gränsvärdet för när mikrobiell påväxt kan ske är också beroende av temperatur och fuktbelastningens varaktighet. |
| Fuktkvot | Förhållandet mellan fuktinnehåll i kg och mängden torrt material i kg [%]. |
| Byggfukt | Byggfukt kallas det överskott av fukt som lagrats i byggnadsmaterial vid inbyggnad och som behöver torkas ut innan byggnadsdelarna eller byggnadsdelen är i fuktjämvikt med omgivningen. För vissa material kan det handla om stora mängder vatten som ska torka ut och därför bör uttorkningen av byggfukten säkerställas för att inte ge upphov till fuktskador. |

Klimatdeklaration

En deklARATION som innehåller redovisning av klimatpåverkan från byggskedet.

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | INLEDNING | 1 |
| 1.1 | BAKGRUND | 1 |
| 1.2 | SYFTE..... | 2 |
| 1.3 | MÅLFORMULERING..... | 2 |
| 1.4 | PROBLEMFÖRMULERING | 3 |
| 1.5 | AVGRÄNSNINGAR | 3 |
| 1.6 | ÖVERGRIPANDE METOD..... | 4 |
| 2 | LITTERATURSTUDIE | 5 |
| 2.1 | TRÄETS UPPBYGGNAD | 5 |
| 2.2 | KL-TRÄ..... | 6 |
| 2.3 | GRUNDLÄGGNING | 7 |
| 2.4 | FUKTSÄKERHET | 26 |
| 2.5 | KLIMATPÅVERKAN | 38 |
| 3 | METOD..... | 43 |
| 3.1 | KVANTITATIVT DELMOMENT AV FUKTSÄKERHETPROJEKTERING..... | 43 |
| 3.2 | JÄMFÖRELSE AV KLIMATPÅVERKAN..... | 55 |
| 4 | BERÄKNINGSMODELLER..... | 57 |
| 4.1 | GEOMETRI | 57 |
| 4.2 | GITTERUPPBYGGNAD | 59 |
| 4.3 | MATERIAL..... | 59 |
| 4.4 | BEGYNNELSEVILLKOR..... | 61 |
| 4.5 | YTFÖRHÅLLANDEN | 61 |
| 4.6 | LUFTVÄXLINGS- OCH FUKTKÄLLOR..... | 65 |
| 4.7 | BERÄKNINGSPARAMETRAR | 66 |
| 4.8 | MÄTPUNKT..... | 67 |
| 4.9 | BERÄKNINGSMATRISER..... | 68 |
| 5 | RESULTAT OCH ANALYS..... | 79 |
| 5.1 | BERÄKNINGSRESULTAT | 79 |
| 5.2 | FUKTMÄTNING VID STUDIEBESÖK..... | 102 |
| 5.3 | JÄMFÖRELSE AV KLIMATPÅVERKAN..... | 103 |
| 6 | DISKUSSION OCH SLUTSATSER | 105 |
| 6.1 | DISKUSSION INOM FUKTSÄKERHETSSTUDIE | 105 |
| 6.2 | DISKUSSION INOM STUDIE AV KLIMATPÅVERKAN..... | 116 |
| 6.3 | SLUTSATSER | 117 |
| 6.4 | FÖRSLAG TILL FRAMTIDA STUDIER | 117 |
| | LITTERATURFÖRTECKNING | 119 |
| | BILAGA 1 – BERÄKNINGSMODELLER OCH FOLOS-DIAGRAM FÖR TRÄGRUND 1..... | 127 |

| | |
|--|------------|
| BILAGA 2 – BERÄKNINGSMODELLER OCH FOLOS-DIAGRAM FÖR TRÄGRUND 2..... | 151 |
| BILAGA 3 – MATERIALDATA FÖR TRÄGRUND 1.0..... | 175 |
| BILAGA 4 – MATERIALDATA FÖR TRÄGRUND 2.0..... | 176 |
| BILAGA 5 – MARKFÖRHÅLLANDEN | 177 |

1 Inledning

Det första kapitlet presenterar inledningen i denna studie. Kapitlet inkluderar bland annat bakgrunden till studien och dess syfte. Dessutom presenteras mål- och problemformulering med tillhörande avgränsningar. Kapitlet avslutas med en övergripande beskrivning av metoden i studien.

1.1 Bakgrund

Denna studie är ett resultat av de satsningar som görs runt om på jorden för att uppnå en lägre klimatpåverkan. Med dagens globala uppvärmning, klimatförändring och allt starkare klimatpolitik kan det i många ögon ses som en oundviklighet att sträva efter mer klimatsmarta och hållbara alternativ i alla delar av samhället. Bland annat har Sverige ett långsiktigt klimatomål som innebär att landet inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären år 2045, för att därefter uppnå negativa utsläpp (Naturvårdsverket, 2022). På global skala finns ambitioner vilka formulerats i Agenda 2030 och de Globala hållbarhetsmålen som tagits fram av FN:s 193 medlemsländer. Ambitionen är bland annat att hållbarhet ska uppnås genom främjande av hållbara innovationer, hållbara städer och samhällen samt hållbar produktion, vilket är ett led i att bekämpa klimatförändringar (United Nations Development Programme, 2022).

Ur ett livscykelerspektiv står svenska byggnader för en dryg femtedel av Sveriges utsläpp av växthusgaser. Dessa kommer främst från tillverkning av material och produkter samt från utsläpp relaterade till energianvändning i driftskedet. Byggbranschen har därför tagit fram en gemensam färdplan för att nå nettonollutsläpp år 2045 inom ramen för regeringsinitiativet ”Fossilfritt Sverige” (Byggföretagen, 2018). För att minska klimatpåverkan från byggnader har stort fokus legat på att göra åtgärder inom energianvändning och uppvärmning, bland annat genom renovering, minskad användning av fossila bränslen för fjärrvärmeproduktion och skärpta krav på byggnaders energianvändning. Ur ett livscykelerspektiv har det i och med framgångarna med en allt mindre klimatpåverkan i användningsskedet, resulterat i att klimatpåverkan i byggskedet fått en allt större betydelse. Valen av byggmaterial, med beaktning på hur de utvinns, tillverkas och transporteras, har således fått allt större betydelse ur ett livscykelerspektiv. Förutom att eftersträva minskad användning av material och klimatsmartare produktion av material, är en lösning att byta ut material mot mer hållbara alternativ (Naturvårdsverket, 2022). I denna studie syftar det på att undersöka om det är mer hållbart att byta ut betong mot trä.

För att uppmuntra och motivera fler att efterfråga eller beställa livscykelanalyser när en byggnad uppförs eller renoveras har Boverket, på uppdrag från regering, infört krav på redovisning av en klimatdeklaration vid uppförande av byggnader som gäller från 1 januari 2022 (Naturvårdsverket, 2022). Lagen innebär att byggherrar ska redovisa vilken påverkan en ny byggnad har på klimatet och syftet med klimatdeklarationen är att minska klimatpåverkan från byggskedet (Boverket, 2021).

På senare tid har aktörer agerat genom att bland annat byta ut betong mot trä vid byggande av stommar för flervåningshus, ofta med en stomme av KL-trä. Dock har

grundläggningar fortsatt att utföras med betong i både små och stora byggnader, ofta i form av en platta på mark. Detta har till stor del berott på betongens goda och lämpliga egenskaper i en grundläggning, samtidigt som trä i kontakt med mark generellt inte ses som en bra kombination. Med allt strängare klimatkrav och den, vid studiens genomförande, uppmärksammade potentiella svårigheten med framtida utbud av cement (Byggföretagen, 2022) (cement har som funktion att vara bindemedel i betong), kan platta på mark av trä bli ett mer och mer aktuellt alternativ.

Tidigare studier har kommit fram till att den så kallade *trägrunden* uppfyller förväntningar i både vissa tekniska och miljömässiga egenskaper som förväntas av en grundläggning i allmänhet och av ett mer klimatsmart material. Det finns bland annat beräkningar som visar på att det finns förutsättningar för att bygga mindre flervåningshus med trägrund (Andersson, 2017) (Gustafsson, 2018). Trägrundens stora termiska massa kan också bidra till stor värmetröghet i en byggnad och den ger även ett bra inneklimat (Hagentoft, 2018). Konstruktionen ger också låg energiåtgång och låg driftsekonomi, bland annat beroende på den extra uttorkning som betongstommar kräver jämfört med torr massiv trästomme (Gustafsson, 1998). Miljömässigt har trägrunden en stor fördel, förutom att den har förmåga att lagra atmosfäriskt kol kan den i vissa fall anses vara klimatneutral. Den kan även minska avfallet när en byggnads tekniska livslängd blivit förbrukad (Gustafsson & Ek, 2018).

Konstruktionen bedöms vara en konkurrenskraftig produkt på marknaden i både tillverkning och kostnad vid jämförelse med konkurrerande metoder (Gustafsson, 2019). Småhustillverkare ser generellt positivt på produkten, dock är de flesta småhustillverkare, i detta skede, inte villiga att bygga med en grundkonstruktion av trä. Det uttrycks att det är fuktsäkerhetsaspekterna som de oroar sig för när det kommer till en så pass ny och relativt obeprövad konstruktion (Rosenkilde, 2022), som inte minst involverar trä.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbete var att undersöka fuktsäkerheten i en platta på mark av KL-trä genom att utföra ett kvantitativt delmoment av en fuktsäkerhetsprojektering, vilket i detta fall innebar att med varierande förutsättningar kontrollera fukttillstånden i byggnadsdelen med beräkningar eller provningar. Ambitionen var att komma fram till vart problem kan uppstå vid olika förutsättningar och hur en platta på mark av KL-trä bör konstrueras för att god fuktsäkerhet ska uppnås. Studien omfattade även en jämförelse av klimatpåverkan mellan användningen av betongplatta eller KL-träplatta i en platta på mark. Detta för att ytterligare synliggöra skillnaden i klimatpåverkan beroende på materialval i en grundkonstruktion.

1.3 Målformulering

Målet med examensarbetet var att utreda om befintliga lösningar av platta på mark av KL-trä är fuktsäkra och om inte, undersöka och föreslå förbättringsåtgärder för att de ska kunna bli det. Målet var även till viss del att identifiera vilka komponenter och detaljer i en platta på mark av KL-trä som är kritiska för att uppnå en god fuktsäkerhet. Ett

ytterligare mål var att fastställa skillnaden i klimatpåverkan mellan en platta på mark av KL-trä respektive betong för att undersöka KL-träplattans påstådda lägre klimatpåverkan.

1.4 Problemformulering

För att nå målen har denna studie baserats på två frågeställningar:

- Är en platta på mark av KL-trä för småhus en fuktsäker konstruktion och hur bör en sådan utformas?
- Vilken skillnad är det i klimatpåverkan under byggskedet mellan en platta på mark av KL-trä respektive betong?

1.5 Avgränsningar

Studien avgränsades till att undersöka fuktsäkerheten av en platta på mark av KL-trä och dess klimatpåverkan i jämförelse med klimatpåverkan av en platta på mark av betong. Avgränsningarna som gjorts i studien presenteras mer detaljerat enligt följande:

- Studien omfattar byggnader i form av småhus med träregelstomme eller KL-trästomme på ett till två plan.
- Byggnaderna uppförs i svenskt klimat.
- I de delmoment av en fuktsäkerhetsprojekteringen som utförts har det avgränsats till att:
 - Undersöka fuktsäkerheten i grundläggningen inom området där grundläggning ansluter mot yttervägg (detta område har antagits vara dimensionerande).
 - Utgå från befintliga konstruktioner av platta på mark av trä och därefter justera olika parametrar.
 - Framför allt undersöka konstruktionerna vid fuktbelastning som förväntas vid normalt driftfall, alltså utan eventuella inläckage från installationer och dylikt. Vid vissa fall simulerades det dock med en extra fuktbelastning som kan motsvara ett inläckage som skett under byggskedet, alltså ett läckage som uppstått innan självaste beräkningsperioden.
 - Undersöka konstruktionerna i fyra olika orter.
- Fuktsäkerhetsprojekteringen av grundläggningen innefattar inte markavvattning och dränerande egenskaper samt övrig hantering av fritt vatten.
- De delmoment som utförts av en fuktsäkerhetsprojekteringen omfattar endast hur konstruktionerna bör utformas och till viss del, skyddas under uppbyggnaden. Studien omfattar inte montageanvisningar, dokumentering eller dylikt.
- Endast beräkningsprogrammet WUFI 2D användes för fuktberäkningar.
- Vid jämförelse i klimatpåverkan mellan en platta på mark av betong respektive trä har det avgränsats till att:

- Jämföra, med handberäkningar, motsvarande del av en platta på mark av KL-trä respektive betong som inte innehåller kantförstyvning eller dylikt.
- Jämförelsen beaktar byggskedet, modul A1-A5, i en byggnads livscykel.
- Klimatdeklarationen baserats på data från Boverkets klimatdatabas.
- Klimatpåverkan mätts i enheten kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter grund.
- Grundkonstruktioner av betong respektive KL-trä som jämförts har förutsatts vara likvärdiga i konstruktivt avseende.

1.6 Övergripande metod

Den övergripande metoden under studien har varit enligt följande:

- Litteraturstudie
- Fuktsäkerhetsprojektering
- Jämförelse av klimatpåverkan

Under studiens gång har författarna haft daglig kontakt. I regel har författarna tre gånger i veckan befunnit sig på industrihandledares kontor, där författarna även fått ta del av avsedda platser och viss utrustning. Resterande arbetsdagar har arbete utförts hemma eller i universitetets lokaler. Kommunikation med handledare från universitetet har oftast bestått av veckovisa avstämningsmöten på distans. Kommunikation med industrihandledare har, förutom vid direkt kontakt på kontoret, varit på distans. Med industrihandledare hölls det även avstämningsmöten månadsvis på kontoret. Viss konsultation från examinator förekom under studien.

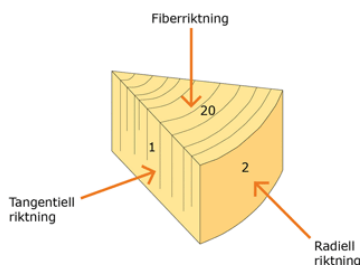
2 Litteraturstudie

I inledande delen av studien har en litteraturstudie genomförts. Denna omfattar information från böcker, vetenskapliga publikationer, byggregler och leverantörers hemsidor. Framför allt utgick litteraturstudien ifrån att identifiera förekommande typer av platta på mark av trä och hur de skiljer sig mot en traditionell grundkonstruktion. Litteraturstudien innefattade även träets uppbyggnad, traditionella grundläggningsprinciper, en grundläggnings funktionskrav och några av dess anslutningar och installationer, samt fuktsäkerhet i allmänhet och vid byggande med massivträ. Slutligen utfördes en litteraturstudie inom hållbarhet och klimatpåverkan. I studien förekom även personlig kommunikation med sakkunniga inom området vilka bidragit med värdefulla synpunkter genom studien.

2.1 Träets uppbyggnad

Trä som byggnadsmaterial har historiskt sett, på grund av dess tillgång och enkelhet att bearbetas, varit ett av de viktigaste byggnadsmaterialen och fortsätter att vara ett aktuellt materialval, inte minst med aspekt på rådande klimatförändringar och krav på att uppnå ett mer hållbart byggande (Shmulsky & Jones, 2019).

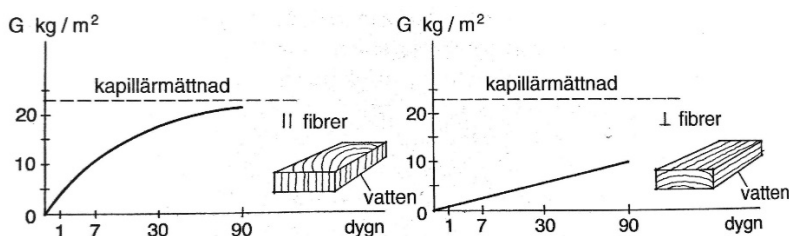
Trä är ett ortotrop material, vilket innebär att materialets mekaniska och fysikaliska egenskaper varierar i materialets olika riktningar. Dessa riktningar kan delas upp i tre huvuddelar; fiberriktning, radiell riktning och tangentiell riktning, där träets svällning och fuktupptag samt last- och dragkapacitet varierar (Shmulsky & Jones, 2019). Figur 1 redovisar träets olika riktningar och hur vattenupptagning varierar i riktningarna.



Figur 1 - Träets olika riktningar och dess proportioner mellan vattenupptagning (Svenskt Trä, 2017).

Hur träets kapillära uppsugningsförmåga varierar beroende på riktning kan även ses i Figur 2. Det vänstra diagrammet visar kapillärsugning parallellt med fibrerna och det högra visar kapillärsugning vinkelrätt. Vid kapillärsugning parallellt fylls de större porerna snabbt, därefter fortsätter uppsugningen, men allt finare porer deltar, vilket visar sig som en utplaning av kurvan. Vid kapillärsugning vinkelrätt är det redan från början de fina porerna eller strukturen som deltar och inom det tidsintervall som visas i figuren är sambandet rätlinjigt. I slutändan kan det även observeras att kapillära flödet parallellt med fibrerna är flera gånger större än vinkelrätt fibrerna (Arfvidsson, et al., 2017). På samma sätt kan det även förklaras varför trä i tangentiell riktning har ett flera gånger större ånggenomgångsmotstånd jämfört med i fiberriktning och tangentiell riktning.

Oundvikliga defekter och imperfektioner, exempelvis kvistar och fiberstörningar som uppstår i trä eftersom det är ett naturligt material, kommer också påverka materialets hållfasthet och naturliga rörelser vid fuktbelastningar (Shmulsky & Jones, 2019).



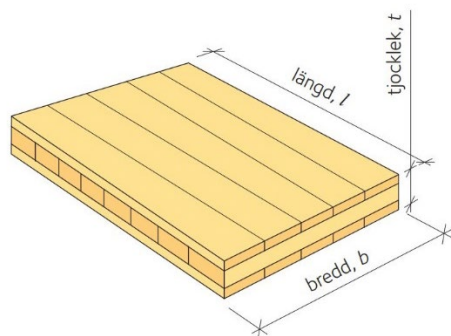
Figur 2 - Kapillärsugning för trä (Arfvidsson, et al., 2017).

Träets dimensioner påverkas i hög grad av omgivningens fukthalt. När fukthalten i omgivningen ökar eftersträvar träet ett jämviktsläge och absorberar fukt. Detta leder till att dess fuktkvot ökar. En ökad fuktkvot ger upphov till att materialet sväller tills fibermåtnadspunkten uppnås (Shmulsky & Jones, 2019). Svällningen varierar i de olika riktningarna och beroende på träslag. Störst svällningen sker i den radiell och tangentiell riktning. Träet kan svälla mellan 4,1–10,9 % av dess längd i den radiella riktningen och 2,4–7,3 % i den tangentiella riktningen. I fiberriktningen är svällningen oftast försumbar då den endast varierar mellan 0,1–0,2 % av längden. Svällningen i den radiella och tangentiella riktningen kommer således att påverka konstruktionen i den grad att detta måste tas i beaktning vid utformning och beräkning av träkonstruktioner (Shmulsky & Jones, 2019).

2.2 KL-trä

Korslimmat trä, ofta benämnt KL-trä, är ett tämligen nytt material som har sitt ursprung i Österrike då forskare började fundera på hur de kunde utveckla ett klimatsmart och ekologiskt byggmaterial som alternativ till de dominerande materialen betong, tegel och stål, med liknande statiska egenskaper och ett brett användningsområde. Resultatet blev KL-träskivor som började produceras under slutet av 1990-talet och som introducerades på den svenska marknaden ett par år senare (Svenskt Trä, 2017).

KL-trä är en sammansatt träskiva som tillverkas genom att hyvlat virke, vanligtvis av gran eller furu, limmas ihop till ett sammansatt skikt. Ett udda antal skikt som består av minst 3 skikt och oftast maximalt 9 skikt limmas ihop ovan på varandra till en sammansatt träskiva där var skikt roterats 90 grader relativt intilliggande skikt, se Figur 3. Genom att skikten roteras 90 grader hamnar träets tangentiella riktning åt samma håll som de övre och undre skiktens fiberriktning. Detta innebär att träets ortotropa egenskaper utjämnas eftersom fiberriktningen i de övre och undre skikten förhindrar mellanskiktet att svälla främst i tangentiell riktning. Även dimensionella förändringar vid ökad eller minskad fuktkvot blir försumbara. Denna uppbyggnad ger även materialet en högre styvhet och hållfasthet, eftersom imperfektioner som kvistar och andra fiberstörningar, vilket gör konstruktionen svagare, fördelas slumpmässigt på grund av roteringen ut över konstruktionen (Svenskt Trä, 2017).



Figur 3 - Illustration av en KL-träskiva (Svenskt Trä, 2017).

Vid tillverkning av KL-träprodukter är vanligtvis målfuktkvoten för färdig produkt i fabrik 12 % och vid leverans av färdig produkt får fuktkvoten normalt vara högst 16 % (Svenskt Trä, 2017). Vissa leverantörer av KL-trä har dock målet att ha en leveransfuktkvot på 12 % (Martinsons, 2022). Vid tillverkning bör fuktkvoten ligga nära den färdiga konstruktionens jämnviktsvärde för att limfogens hållfasthet ska bli så bra som möjligt och därmed minimera sprickbildning i träet. Sprickbildning kan aldrig helt undvikas, dock har en viss sprickbildning oftast ingen skadlig inverkan på konstruktionens funktion. Efter färdigställande av konstruktionen kommer fuktkvoten i KL-träet i efterhand att anpassa sig efter den omgivande luftens relativa fuktighet tills jämvikt och sluttillstånd uppstår. När jämvikt har uppstått kommer KL-träets fuktkvot att följa variationen av den omgivande luftens relativa fuktighet över året (Svenskt Trä, 2017).

KL-trä används främst som stomelement och stomkompletteringar i allt från småhus till större flervåningshus, varav de vanligaste användningsområdena är stomkonstruktioner som bärande väggar och bjälklag. KL-trä kan även användas för större konstruktioner som hallbyggen och broar. Element av KL-trä har en hög prefabriceringsgrad vilket innebär att en tidseffektivisering kan ske i produktionen, då håltagning för bland annat installationer, fönster och dörrar kan utföras med hög precisionsgrad i tillverkningen (Svenskt Trä, 2017).

2.3 Grundläggning

En grundläggning kan utföras på olika vis och med olika material. Denna del av litteraturstudien behandlar de olika funktioner som krävs av en grundläggning, hur äldre grundkonstruktioner sett ut och fungerat och hur en platta på mark i allmänhet är utformad och fungerar. Delen innehåller även olika typer och studier på platta på mark av trä samt hur anslutningar och installationer i en platta på mark kan påverka fuktsäkerheten.

2.3.1 Funktionskrav

Oavsett vilken typ av grundläggningen som används vid uppförandet av en byggnad finns det ett antal gemensamma funktionskrav som en grundläggning behöver uppfylla. Bland annat är det egenskaper gällande bärrighet, lastspridning i mark och sättningar.

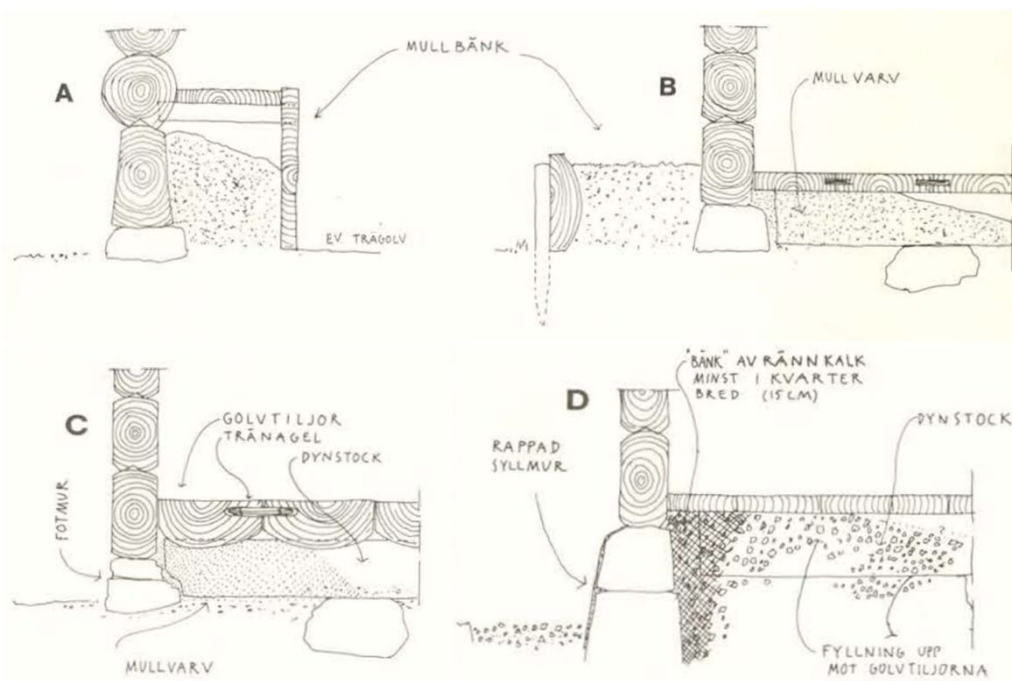
Med fokus på fukt är det följande funktioner, med förslag på utförandekrav, som det ställs krav på (Arfvidsson, et al., 2017):

- Bidra till att uppfylla samhällets krav på god termisk komfort, hushållning med resurser och till att ha minimal energiförbrukning. Därför ofta nödvändigt med värmeisolering i grunden till byggnader som ska värmas eller kylas.
- Bidra till en hälsosam innemiljö genom att ha en god lufttäthet, speciellt i områden med markradon. Där grunden ansluter till andra byggnadsdelar är det också viktigt med god täthet, exempelvis anslutning mot yttervägg där både täthet mot luft och vatten är viktig för att upprätthålla ett bra inomhusklimat.
- Grundläggningen bör konstrueras så att den uppnår god livslängd och hållbarhet. Ur fuktsynpunkt uppnås detta bland annat med hjälp av:
 - God avledning av både yt- och markvatten från byggnaden för att undvika onödigt vattenbelastning mot framför allt grund och nedre delar av ytterväggen. Detta uppnås med hjälp av fungerande dräneringssystem och tillräcklig marklutning.
 - Kapillärbrytande skikt mellan jorden och fukt känsliga delar av grunden.
 - Kombinera material som fungerar tillsammans, alternativt att hålla material åtskilda, exempelvis genom att placera ett vattentätt material mellan betong och träsyll.
 - Dimensionera grunden för att även klara byggfukt i början av byggnadens livscykel. För att reduceras torkningsbehovet kan exempelvis byggmaterialet skyddas mot nederbörd under byggnadstiden.
- Undvika problem med tjällyftning. Ofta genom att byggnaden grundläggs på ett betryggande djup eller att konstruktionen kompletteras med tjälisolering.
- För att bibehålla livslängd och minska underhåll samt risken för skador genom fritt vatten bör grunden bland annat utformas med så få ingjutna tappvattenledningar som möjligt. Detta för att minimera vattenläckage från ledningar som ibland kan vara svåra att upptäcka och därmed påverka grundkonstruktionen. För att begränsa omfattningen och problem vid eventuella vattenläckage så ska vattenrör placeras i konstruktionen på så vis så skadan snabbt upptäcks (skvallerfunktion) eller orsakar så liten åverkan som möjligt.

2.3.2 Grundkonstruktion i äldre timmerhus

Före användningen av en platta på mark och mer moderna kryppgrunder har en uppsjö av olika grundkonstruktioner använts i äldre timmerhus. Generellt i norra Sverige har grundläggningen gällande timmerhus haft rätt enkla utföranden. Den vanligaste varianten är en grund av stenar som var lätt nedgrävda i marken där det översta och mest tjälfarliga jordlagret grävdes bort innan de understa och största stenarna placerades ut. Utanför Sverige finns det även lösningar där hela grunden är gjord av timmer. I Ryssland ligger de understa stockarna lätt nedgrävda i marken utan stenar som grund och bottenbjälklaget är placerat högre upp i timmestommen jämfört med svenska timmerhus (Andersson, et al., 2008).

Huvudsakliga tanken är dock återigen att det inte använts betong och starkt klimatpåverkande byggmaterial vid dessa typer av grundläggningar, som även till viss del kan påminna om en traditionell platta på mark. Exempel på detta kan hittas ifrån bevarade medeltida hus och arkeologiska fynd i Norge. Dessa påvisar på att man isolerade timmerväggarnas nedre del med mullbänkar (jord- eller sandvallar), även att det fanns eldskyddade konstruktioner som består av ”flytade” golv som vilar på jordfyllning. Det är också känt att det i Norge fanns timrade stadshus med trägolv på 1100-talet (Sjömar, 1988). Exempel på dessa grunder och hur paralleller kan dras till dagens typ av platta på mark kan avgöras genom att observera olika lösningar i Figur 4. Alla de redovisade grunderna har gemensamt i att trägolvet aldrig riktigt har en luftspalt eller ett fullständigt kryprum nedanför. Invändiga mullbänkar, även kallat mullvarv, under golvtiljor används i samtliga lösningar.



Figur 4 - Grundkonstruktion i stugor. A) Invändig mullbänk (medeltid), B) Utvändig mullbänk och invändig mullvarv (1800-tal), C) Golv i stuga från 1600-talet, D) Sluten grund och golv från 1700-tal (Sjömar, 1988).

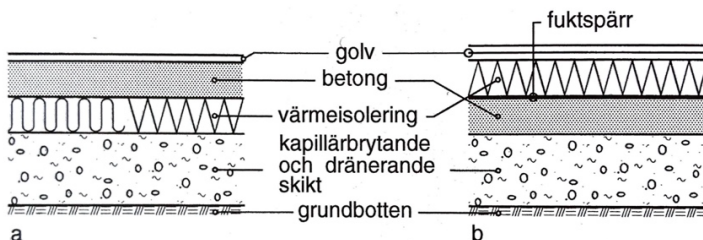
Golven kunde, för den tidens krav, bli goda och tjänliga genom att bland annat läggas i en oventilerad grund som noga tätades. Jordmaterialet under stenfoten grävdes bort då den kunde innehålla mylla, torv, spån och annat material som kunde orsaka rötsvamp. Denna urgrävning fylldes sedan i stället med torrt material som slagg, kalkgrus, sand, lera, tegelkross, tång etc. som stampades hårt. Golvbjälkarna kunde sedan också grävas ner i fyllningen, vilket bidrog med isolering och tätning av golvet. För att ytterligare täta och hindra vatten ifrån att rinna ner rekommenderades det att bre ut kalk över fyllningen. Tätning mot fotmuren kunde förslagsvis vara en bänk av rännkalk, som kan observeras i D) i Figur 4. Oavsett lösning var det alltid viktigt att syllarna fodrades med varp eller

mullbänk, där varp är bestående av slagg och stenrester från malmbrytning (Sjömar, 1988).

Den här slutna typen av grund där golvet ligger direkt på fyllningen har använts ända in på 1900-talet och kan med sina liknande principer ses som dåtidens ”golv på mark”-konstruktion. Trots att konstruktionen kan verka vara enkel och primitiv samt förknippas med kalla och dragiga golv, kan det vara en bra lösning om huset ligger torrt och hålls kontinuerligt uppvärmt. Genom uppvärmning kunde värmeläckaget genom golvet hjälpte till att hålla tjäle och fuktproblem borta. För att hålla huset torrt valdes i regel också en byggplats där marken var torr och bärig så den skulle passa grundläggningsmetoden. Om marken var känslig för tjäle och fattades bärighet kunde huset bli skevt och resultera i att syllan kom i kontakt med marken. Detta resulterade i att den eventuellt blöta marken gav sura, illaluktande och ohälsosamma byggnader med svamp längs väggarna. För att åtgärda detta var taktiken bland annat att använda överdimensionerade syllar och tröskelstockar för att ge utsatta byggnadsdelar en längre livslängd (Sjömar, 1988). Ibland fanns en ”extra” stock under syllarna som inte hade någon konstruktiv betydelse utan agerade som ”utfyllnads- och offerstock”. Denna stock kallas för rötstock, vilket innebär att den lätt kan bytas ut om den helt enkelt drabbats av röta (Andersson, et al., 2008).

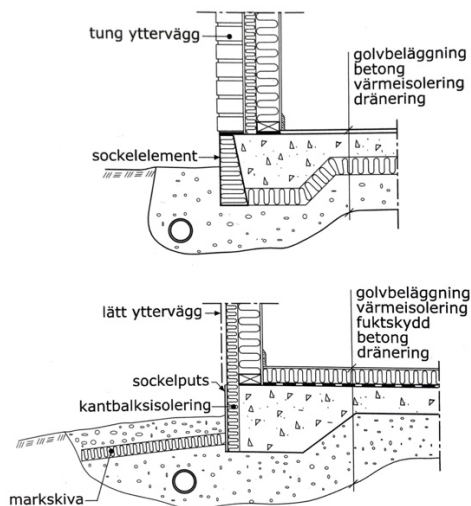
2.3.3 Golv på mark

Golv på mark, ofta benämnt som *platta på mark*, infördes i Sverige på 1950-talet och är idag en mycket vanlig grundkonstruktion. Konstruktionen innebär normalt att ett betonggolv gjuts på marken och att värmeisolering placeras antingen över eller under denna platta (Sandin, 2007), se principlösningar i Figur 5. Ett tredje alternativ är att placera huvuddelen av värmeisoleringen under plattan och komplettera med en tunn komfortisolering ovanpå betongen.



Figur 5 - Principlösningar med platta på mark. a) Underliggande värmeisolering och b) Överliggande värmeisolering (Arfvidsson, et al., 2017).

Vid kanterna av konstruktionen kan utförandet variera, en vanlig variant är att använda färdiga grund- eller sockelement, se Figur 6. Dessa kanter innehåller oftast så kallad kantisolering, dvs. värmeisolering i eller på kanten av plattan. Syftet med denna isolering är framför allt att minimera köldbryggan vid plattans kant (Sandin, 2010).



Figur 6 - Alternativa utföranden vid kanterna av en "platta på mark"-konstruktion (Sandin, 2007).

Byggnader som är uppförda under slutet av 1960-talet och hela 1970-talet har ofta drabbats av rätt omfattande fuktskador, bland annat av att golveläggningar har lossnat och att inbyggt trä har fått angrepp av mögel och röta. Mögelangreppen har varit så pass allvarliga att de lett till besvär med lukt och allergier. Det har framför allt drabbat betongplattor med överliggande värmeisolering och uppreplat trägolv samt betongplattor med underliggande värmeisolering av lättklinker, som inte är kapillärbrytande. (Sandin, 2007). Huvudsakliga anledningen till detta var att markfukt i både ångfas och vätskefas lyckats leta sig upp i konstruktionen, speciellt i kombination med täta golveläggningar som inte tillåter tillskjutande markfukt i ångfas att diffundera. I och med att dessa skador ofta är kostsamma att åtgärda bör säkrast möjliga lösningar väljas vid projektering och regelbundet kontrollera både material och arbetsutförande under byggprocessen (Arfvidsson, et al., 2017).

Ur värmeteknisk synpunkt är det i princip ingen skillnad mellan en underliggande och överliggande värmeisolering, utan skillnaden uppstår främst i de fuktmekaniska förhållandena (Sandin, 2010). Dock är en platta på mark med överliggande isolering ur fuktsynpunkt en riskkonstruktion som bör undvikas. Detta beror mycket på att det inte finns någon värmeisolering under plattan som resulterar i att den blir kallare och fuktillståndet i betongplattan högt. I kontrast till detta möjliggör i stället en underliggande isolering att betongplattan håller sig varmare genom att det uppstår en temperaturgradient över isoleringen. Detta resulterar därmed i en lägre relativ fuktighet i betongplattan vilket minskar risken för mikrobiell påväxt (Arfvidsson, et al., 2017). Ofta kan även den underliggande värmeisolering fungera som ett kompletterande kapillärbrytande skikt i kombination med dräneringsskiktet. Plattan ges även en möjlighet att få torka ut nedåt. Med dessa egenskaper anses konstruktionen med underliggande värmeisolering, om den utförs på rätt sätt, vara ur fuktsynpunkt en helt säker grundläggningsmetod. Detta resulterar i att det främst används golv på mark med underliggande kapillärbrytande isolering vid nybyggnad (Arfvidsson, et al., 2017). Dock är nackdelen med underliggande isolering att väsentlig uttorkning av betongen, som

krävs för att konstruktionen ska bli skadefri, vid byggtiden tar lång tid och förlänger produktionskedet.

2.3.4 Platta på mark av trä

Utöver en mer traditionell variant av platta på mark finns det alternativ där betongplattan ersätts av trä. Den huvudsakliga tanken med en *trägrund* är att minska den klimatpåverkan som en grundläggning normaltvis orsakar, mer specifikt genom att byta ut betongen och armeringen i konstruktionen mot trä. Sedan kan denna typ av konstruktion också föra med sig andra fördelar och nackdelar jämfört med en mer traditionell platta på mark. Enligt Gustafsson (2019) kan det ur fuktsynpunkt låta som en dålig idé att ha trä i en grundläggning, då trä i nära kontakt med mark ofta visar sig vara en dålig kombination. Men genom att utforma grunden på ett vis som ”avskärmar” träplattan från fukten kan det åstadkommas goda möjligheter för konstruktionen att få lång livslängd (Gustafsson, 2019)

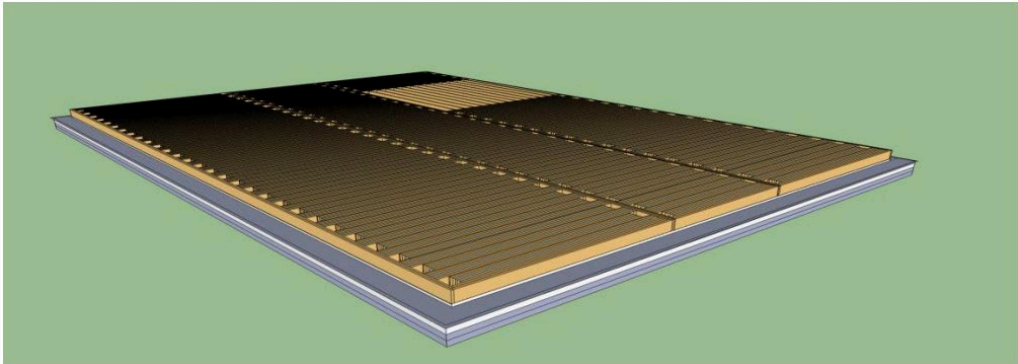
I en tidigare studie gjord av Gustafsson och Ek (2018) framförs det att trägrunden bidrar till minskad miljöpåverkan, i optimala fall kan den anses som klimatneutral. Även att avfallet minskas då byggnadens tekniska livslängd är förbrukad. Andra studier har kommit fram till att produktens tekniska och miljömässiga egenskaper uppfyller förväntningarna baserat på värmekonduktivitet, värmekapacitet, förmåga att lagra atmosfäriskt kol och att ha bra fuktegenskaper. Konstruktionen ger även ett bra inneklimat, låg energiåtgång och låg driftsekonomi (Gustafsson, 2019).

Ett projekt som ytterligare undersökt principen med en trägrund har utförts inom det strategiska innovationsprogrammet BioInnovation, en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten (Bioinnovation, 2019). Projektet hade i avsikt att undersöka om hela grundläggningen av trä kan utföras med prefabricerade element. Ambitionen och målet var även att utifrån tidigare genomförda tekniska utvärderingar utvärdera om trägrunden som produkt kan vara konkurrenskraftig på marknaden rent kostnadsmissigt. Dock var övergripande syftet med projektet att minska miljöpåverkan vid grundläggning samt vid återvinning av byggmaterial. De delar av projektet som denna studie fokuserade på var den fuktstudie som utförts och den typlösning av trägrund som den utförts på samt trägrundens miljöpåverkan. Detta projekt har sammanställts i en RISE-rapport författad av Anders Gustafsson (2019). I rapporten kom författaren blandat annat fram till att:

- Trägrunden bidrar till minskad miljöpåverkan, i optimala fall klimatneutral.
- Spikade och korslimmade träplattor anses vara de metoder som i det skedet var flexiblast och därmed bäst passande.
- Fuktmätningar visade att det inte föreligger några risker för fuktskador om grunden utförs på rätt sätt (det kan dock poängteras att mätningarna bara pågått under 6 månader och att dessa fuktmätningar även var utförda på trägrund av spikade element till skillnad mot KL-trä som undersöks i denna studie).
- Småhustillverkare har generell positiv syn på produkten men är inte villiga att vara först med att starta upp en produktion. Det måste byggas demoobjekt för att testa produktion.

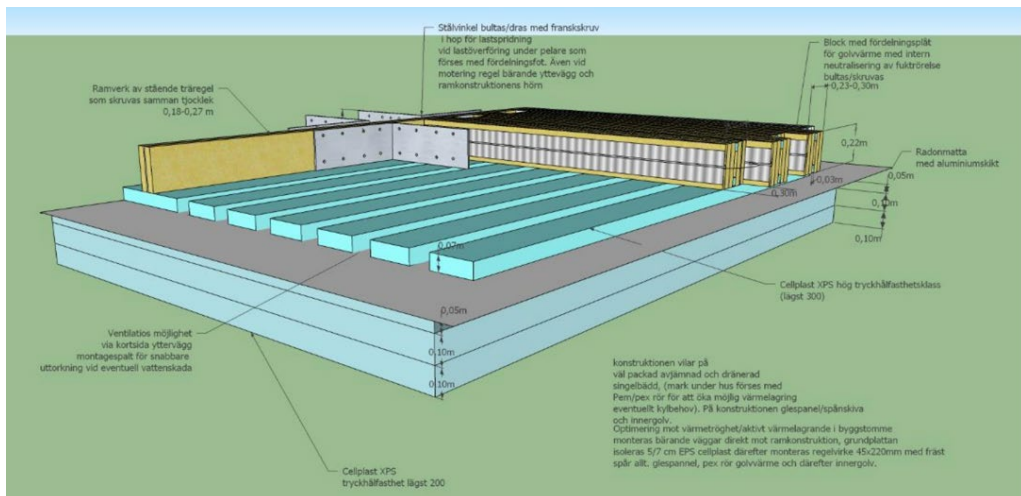
Typlösning

I rapporten presenterades ett förslag på grundläggningssystem som tagits fram av Svensk Trädgrundläggning, detta består av regler med en höjd på 180–270 mm som sammanfogas till stora bärande träplattor (så kallad NLT, Nail Laminated Timber), se Figur 7. Denna typ av konstruktionslösning till trägrund antas vara lämplig för byggnader upp till 3–4 våningar, så länge rätt typ av isoleringsskivor används (Gustafsson, 2019).



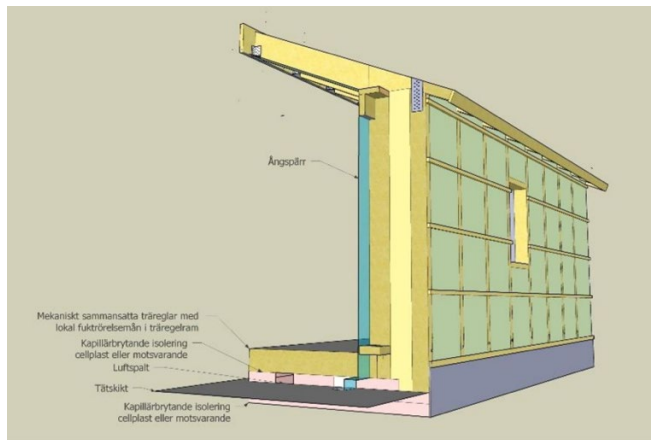
Figur 7 - Princip för trägrund av Svensk Trädgrundläggning AB (Gustafsson, 2019).

Dessa träplattor läggs på bärande isoleringsskikt med anpassad tjocklek och bärighet, se Figur 8. Observera att det i denna konstruktionslösning finns en ”glespanel” som utförs av ribbor av cellplast för att åstadkomma luftspalter precis under träplattorna. Dessa luftspalter används som beredskap för att mekaniskt kunna ventileras ifall fuktproblem uppstår. Luftspalten lyfter även upp träplattan så att den ligger säkrare och gör spridningsrisken mindre vid eventuellt inläckage. En ytterligare beredskap för fuktrelaterade problem är värmeslingorna som är placerade mellan de spikade reglarna.



Figur 8 - Princip för trägrund av Svensk Trädgrundläggning AB (Gustafsson, 2019).

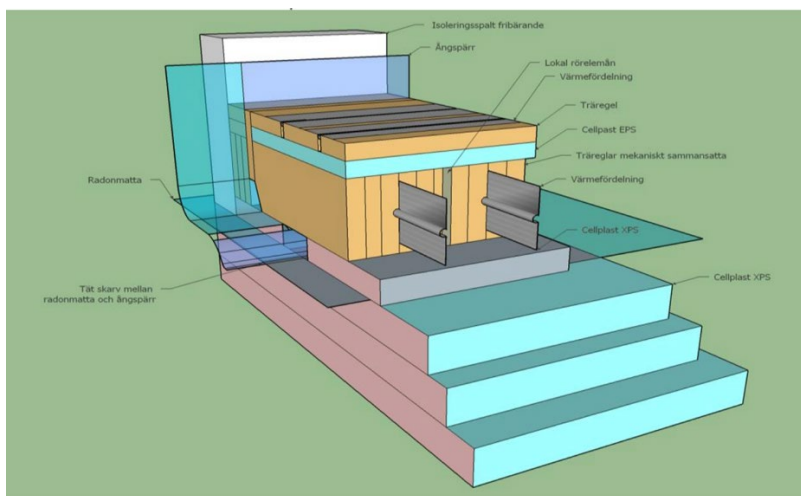
Till denna trägrund kan bärande väggar föras ner på traditionellt sätt med syll. Olika byggnader av regelväggar och anslutning ses som möjliga, exempelvis lösningen som kan ses i Figur 9.



Figur 9 - Principlösning på anslutning till yttervägg av Svensk Trägrundläggning AB (Gustafsson, 2019).

Fuktmätning

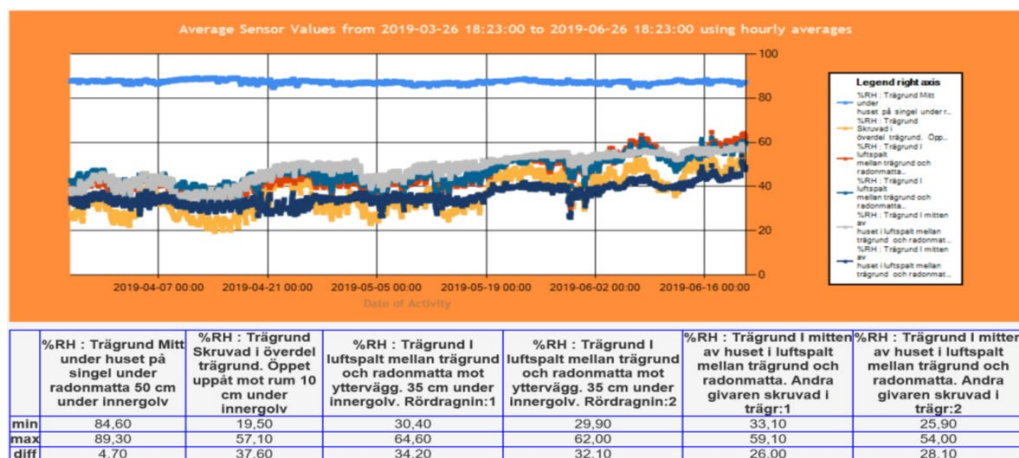
I samma rapport presenterades även resultat av fuktmätningar som utförts i befintligt hus med trägrund under projektets gång. Mätutrustning hade installerats i konstruktionslösningen som framgår i Figur 10 och mätningar hade utfört under cirka 6 månaders tid. Efter monteringen av grundläggningen har både temperatur och relativ luftfuktighet mätts kontinuerligt under hela mätperioden på ett antal olika ställen i grundkonstruktionen. Under mätperioden varierade inomhustemperaturen mellan 20–27 °C och utomhustemperaturen mellan -7–31 °C. Inomhus varierade luftfuktigheten mellan 20–65 % och utomhus mellan 20–100 % (Gustafsson, 2019).



Figur 10 - Konstruktion av trägrund i befintligt hus där fuktmätningar genomförts i (Gustafsson, 2019).

Grundläggning med platta på mark av KL-trä

Resulterande mätvärden i Figur 11 visar att relativa luftfuktigheten längst under grundkonstruktionen på singelbädden varierat mellan 85–90 % och att det inuti konstruktionen i närhet till trä uppmätts en maximal relativ fuktighet på 65 %, detta innebar att risken för påväxt var liten, vid jämförelse med riktvärden på 75–80% som kritisk relativ fuktighet för trä och träbaserade material enligt Johansson (2014) och SP (2005).



Figur 11 - Relativa luftfuktigheten i grundkonstruktion vid fuktmätning i befintligt hus (Gustafsson, 2019).

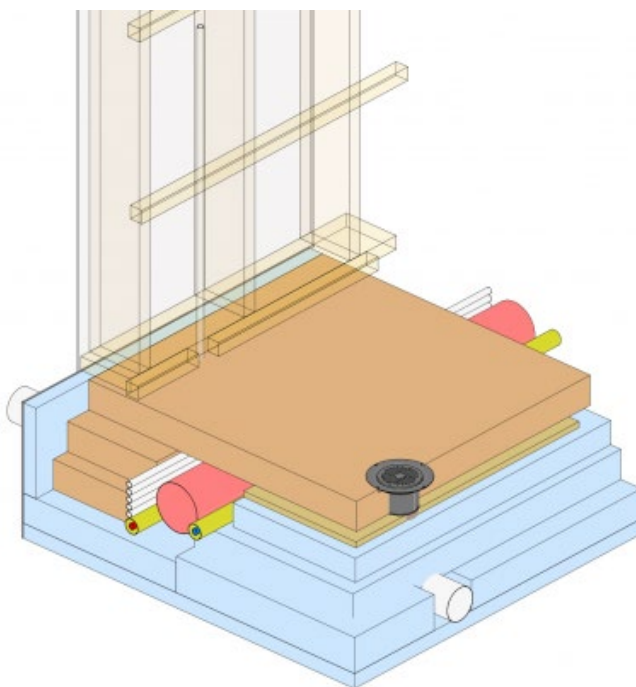
I rapporten tas det dock upp att det kan finnas risk för fukt underifrån. Förutom att värmeisolering på undersidan av träplattan håller träet varmt och relativt torrt finns där även värmeslingor i kontakt med värmefördelare som ger en ännu varmare och torrare platta, se återigen Figur 10. Dock kan användning av golvvärme orsaka fuktproblem i form av att marken värms upp så att det uppstår en lägre temperaturdifferens mellan mark och träplatta. Om eller när denna golvvärme stängs av under den varma delen av året finns risk för att marken blir varmare än träplattan och att markfukten som transporteras uppåt kondenserar på golvet (Boverket, 2021), om det getts tillfälle att ta sig igenom ångspärr. Detta ställer därför stora krav på täthet underifrån och kan uppnås genom folier och väl utförda isoleringsskikt. Golvvärme som endast finns i delar av grundläggningen kan också orsaka fuktbelastning på kallare delar (Boverket, 2021) genom att varmare luft som kan bära mera fukt stöter på kalla områden och höjer den relativa luftfuktigheten. Mer om detta ämne finns under rubrik 2.3.6.2 Uppvärmda golv och 2.3.6.3 Lokala värmekällor. Utöver golvvärmen bör även dräneringslagret under cellplasten planeras för att få god lutning mot dräneringsrör och säkerställa avrinning från ytan under plattan.

För en mer traditionell platta på mark är det vanligast att cellplast används som underliggande isolering. Ibland föredras det att använda en hård mineralullskiva som underliggande isolering och anledningen till detta är byggfukt. Mer specifikt har mineralullen ett lägre ånggenomgångsmotstånd än cellplast som resulterar i en kortare uttorkningstid för betongen efter byggnadstiden (Arfvidsson, et al., 2017). Detta kan också förklara varför denna typlösning av en trägrund har cellplast som underliggande isolering. Dels är tanken att träplattan ska levereras uttorkad och därför räknas det med

att ingen omfattande uttorkning kommer behövas. I kombination med att träplattan också är fuktkänsligare än en av betong blir det därför mer aktuellt att ha en underliggande isolering med ett högre ånggenomgångsmotstånd, om målet är att försöka ”avskärma” träplattan från markfukt.

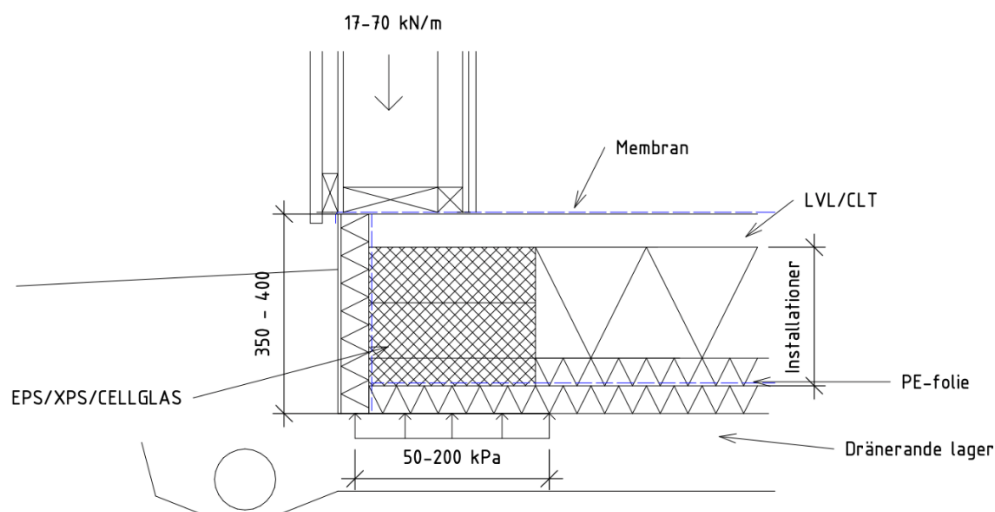
2.3.4.1 *Precisionsgrunden från Klara Byggsystem*

Klara Byggsystem är ett företag som lanserat en typ av platta på mark som bygger på att använda patentskyddad lösning där den bärande plattan består av KL-trä alternativt LVL (Laminated Veneer Lumber eller Fanérlaminatträ). Denna grund prefabriceras och kommer levererad med infällda installationer såsom el, vatten, avlopp och ventilation, se Figur 12 . Även guidespår för innerväggar och andra placeringar är förberedda (Klara Byggsystem, 2022).



Figur 12 - "Precisionsgrunden" med installationer (Klara Byggsystem, 2022).

Vid en närmare titt på konstruktionen i Figur 13 kan likheter observeras jämfört med den annars mer traditionella och beprövade metoden av platta på mark, här ersätts dock betong och armeringsstål med KL-trä eller LVL. Längs ut med kanterna av grundläggningssystemet räknas det med att eventuellt behöva kantförstärkning i form av cellplast eller cellglas som har en högre bärförmåga i förhållande till värmeisoleringsmaterialet som förekommer under resterande del av träplattan. Detta kan tänka sig ses som ett svar på en förvarning i rapporten av Gustafsson (2019) där det nämns risker med höga koncentrerade laster vid trägrundens kanter som kan ge krypning i underliggande cellplast. I vissa fall kan även en förstärkning i form av en kantbalk av KL-trä eller LVL vara aktuell.



Figur 13 - Konstruktionsritning av "Precisionsgrunden", Klara Byggsystem (2021).

Ytterligare en sak som skiljer konstruktionen från en platta på mark av betong med underliggande isolering är att en del av konstruktionen är "paketerad" med en kombination av fuktskyddsmembran och ångspärr (PE-folie), se Figur 13 återigen. Membranet monteras ovanpå och dess ändrar klistras fast på träplattans ändträ. Detta membran är regntätt och diffusionsöppet och används som fuktskydd av träplattan under transport, montering och byggtid. Det är även både nötningsbeständigt och halksäkert (SIGA, 2022). Ovanför den lägst belägna cellplastskivan finns en PE-folie som sedan fortsätter bakom sockelisoleringen tills den överlappar fuktskyddsmembranet. Avsedda funktionen hos PE-folien är att förhindra markfukt från att nå upp till träplattan. Trots att cellplasten kan vara tillräckligt fukttrög säkras konstruktionen med PE-folie, som är tätare än cellplasten, ifall cellplasten i kontakt med dränerande lagret blir helt blöt (Goverde, 2022).

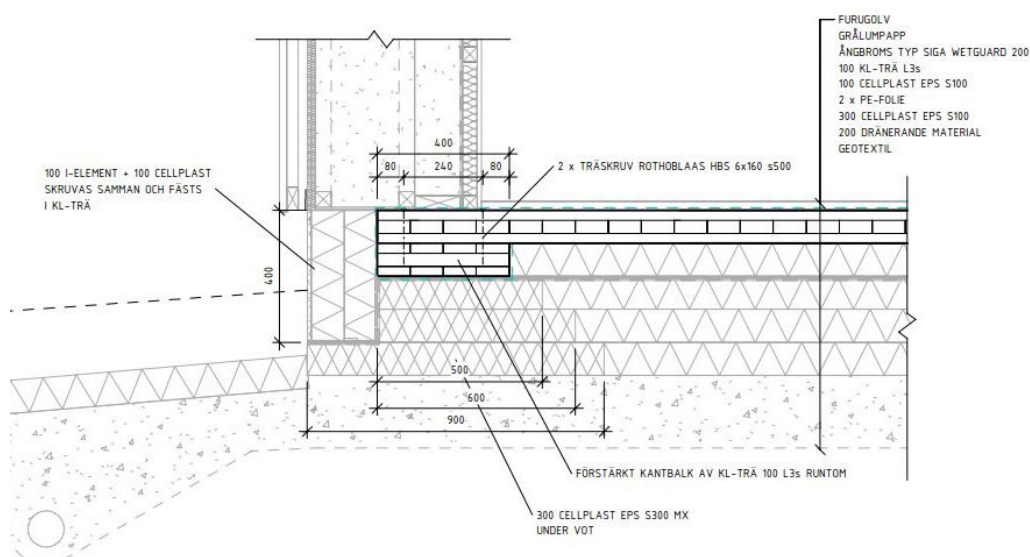
Till skillnad mot att bygga med en mer traditionell lösning av platta på mark av betong uttrycker Klara Byggsystem bland annat följande fördelar (Klara Byggsystem, 2022):

- Lägre klimatpåverkan genom att trä lagrar in koldioxid i stället för att ge upphov till stora nettoutsläpp. Jämfört med dagens lösningar beräknas "Precisionsgrunden" ha en besparing på cirka 55 % i koldioxidutsläpp för hela produkten. Massivträlagret i sig ger en koldioxidbesparing på cirka 93 % i jämförelse med betonglagret i en gjuten platta på mark. Industriell tillverkning hjälper också till att avsevärt minska materialsvinn i jämförelse med att tillverka grunden på byggarbetsplatsen.
- Industrialiserade processen möjliggör infällning av installationer med hög precision. Gällande fuktsäkerhet sker tillverkning i väderskyddad miljö och saker som fall i badrum kan bli urfrästa före leverans. Då det även möjliggörs till att ett montage kan utföras på en halv arbetsdag och att ingen uttorkningstid för KL-träplattan behövs kan väggar och tak monteras snabbt därefter.

Man kan fråga sig hur det ska gå till när framtida byten och lagningar av installationer som befinner sig i trägrunden ska behöva utföras. Om läckage sker under den bärande plattan ses det som en fördel att ha en platta av trä i stället för betong om det måste utföras reparationer. Till skillnad mot att behöva bila upp betongen och sedan gjuta på nytt kan erforderlig bit i stället sågas ut med hjalp av cirkelsåg och sedan monteras tillbaka eller, om den blivit skadad, ersättas av en ny bit när reparationen är slutförd. Är läckaget speciellt omfattande kan åtgärden av en stor fuktskadad träplatta dock börja ifrågasättas ur hållbarhetssynpunkt. En betongplatta har en stor fördel i att inte ta skada av fukt och i stället ha möjligheten till att kunna torkas ut, speciellt vid läckage ovanför den bärande plattan. Därför är förhoppningen att fuktskyddsmembranet ovanpå träplattan ska agera fuktskydd inte bara under byggskedet utan även under bruksskedet av byggnaden.

2.3.4.2 Utvecklingsprojektet Villazero

Villazero är ett utvecklingsprojekt som drivs av småhusföretaget Fiskarhedenvillan, Mondo Arkitekter och Structor Byggteknik Dalarna tillsammans med stöd ifrån Region Dalarna. Det huvudsakliga syftet med projektet var att bygga ett koldioxid neutralt småhus. För att åstadkomma detta har det bland annat valts att bygga med en trägrund som illustreras i Figur 14 (Fiskarhedenvillan, 2022).



Figur 14 - Grundkonstruktion i Villazero (Fiskarhedenvillan, 2022).

Till skillnad mot *Precisionsgrunden* från Klara Byggsystem är KL-träplattan, tillsammans med dess kantbalkar och cellplasten mellan kantbalkarna, den enda prefabricerade komponenten i denna grundläggning. Grunderna delar dock samma egenskaper när det kommer till användningen av fuktskyddsmembran ovanpå och PE-folie under KL-träplattan. I detta fall är fuktskyddsmembranet även placerat runt om kantbalken (ljusblå streckad linje) och två PE-folier placerade längre upp mot kantbalken som leds vidare under sockelisoleringen (ljusgrå streckad linje), se återigen Figur 14.

I detta fall används två PE-folier snarare som ett radonskydd än för att förhindra markfukt från att nå upp till KL-träplattan (Mundt-Petersen, 2022).

Vid framtagandet av grunden till detta projekt var det förutom att ha så liten klimatpåverkan som möjligt även ett mål att ha så lågt U-värde som möjligt, detta för att också minimera energiförbrukningen i bruksskedet. I Tabell 1 görs en jämförelse mellan olika typer av grundkonstruktioner. Jämförelsen är gjord på 1 m² golv och ingen hänsyn har tagits för kantbalkar. Jämförelsen gäller mer specifikt för stadie A1-A3, produktskedet i en byggnads livscykel. En massivträgrund (KL-träplatta) enligt Figur 14 visades vara optimal, observera att CO₂-belastningen är cirka 50 % mindre än för en betongplatta.

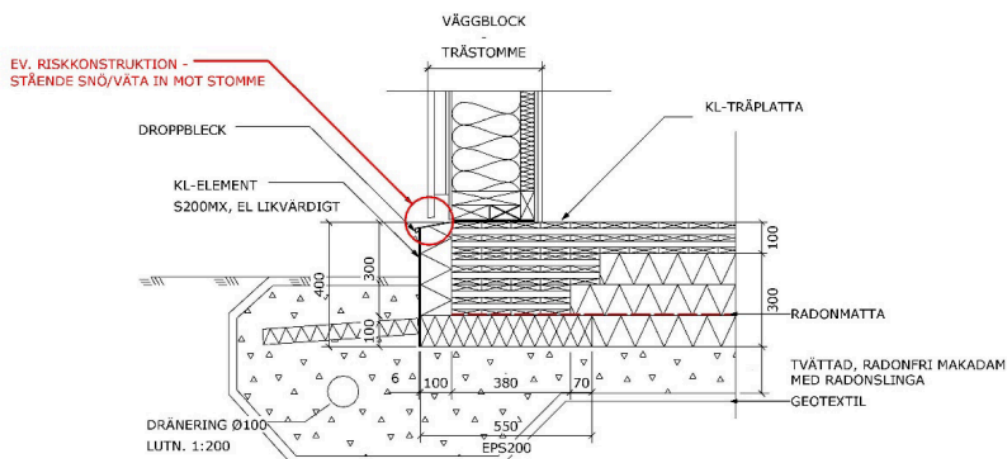
Tabell 1 - Jämförelse mellan olika grundkonstruktioners U-värden och CO₂-belastning samt kommentarer. Värden och kommentarer är tagna från Fiskarhedenvillan (2022).

| Grund | U-värde | Kg/CO ₂ /m ² | Kommentar |
|------------------------------|---------|------------------------------------|---|
| Massivträgrund - EPS | 0,074 | 19,06 | Låg CO ₂ -belastning |
| Massivträgrund - EPS+ISODRÄN | 0,074 | 20,93 | Något fuksäkrare men högre CO ₂ -belastning |
| Massivträgrund - Cellglas | 0,074 | 36,21 | Bra variant av grund tekniskt sett. Sållas dock bort pga. högre CO ₂ -belastning. Finns fördelar som skulle kunna ge utslag med andra ramar för LCA-beräkningen, som långvarig hållbarhet. Samt att den inte består av oljeprodukter. Ökar problematik gällande fukt vid badrum. |
| Betongplatta | 0,078 | 36,56 | Ett aningen högre U-värde och hög CO ₂ -belastning, ej intressant för projektet. |

2.3.4.3 Tidigare examensarbeten om platta på mark av KL-trä

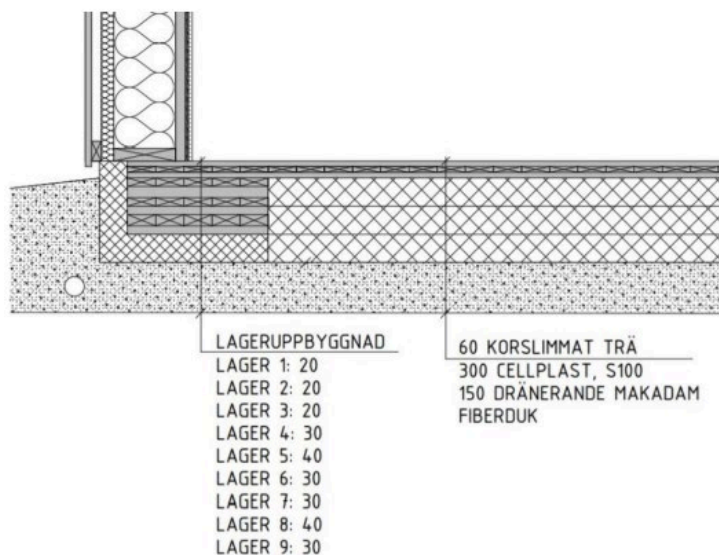
I ett examensarbete skrivet av Gustafsson (2020) föreslås en konstruktion av platta på mark av KL-trä, se Figur 15. Slutsatserna i arbetet är att KL-träplattan har potential till att spara in åtminstone fem dygns arbetstid under montageskedet vid jämförelse med betongplatta, främst på grund av smidigt montage och utebliven torktid. En byggnadsfysikalisk undersökning av denna KL-träplatta ut mot sockel och ned mot mark, som utvärderats med handberäkning och fuktberäkningsverktyget WUFI Pro 6.2, resulterade i att relativa fuktigheten vid den inre sidan av KL-träplattan i båda fallen stabiliserades vid 30 % under bruksskedet. I KL-träskiktets kärna stabiliserades relativa fuktigheten kring 70 % ut mot sockel samt runt 55 % ned mot marken.

Grundläggning med platta på mark av KL-trä



Figur 15 - K-Grundritning för platta på mark av KL-trä (Gustafsson, 2020).

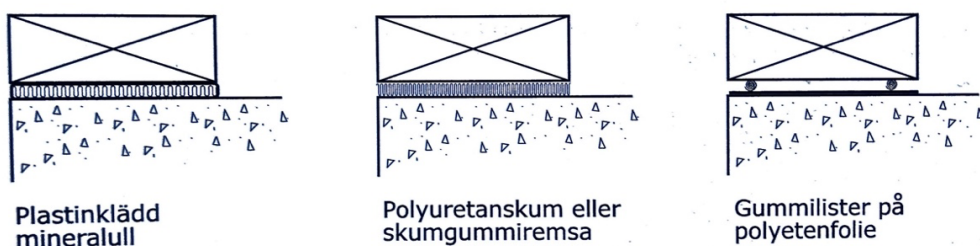
Ett annat examensarbete skrivet av Falck och Hellman (2021) handlade om att undersöka bärförmågan på en platta på mark av KL-trä för enbostadshus med och utan kantförstyvning, illustrerad med kantförstyvning i Figur 16. Resultatet visade att en kantförstyvning innebar en betydande minskning av kontaktrycket mellan platta och mark. Dessutom hade den kantförstyvade grundplattan en betydligt mindre deformation längs plattans rand jämfört med plattan utan kantbalk. Användning av kantbalk eller annan typ av kantförstyvning (som cellplast med större bärighetsförmåga) vid platta på mark av KL-trä kan därför vara högst lämpligt då bärande skikt i ytterväggen ansluter till grundläggningen enligt Figur 16, alltså relativt decentraliserat i förhållande till kantbalkens mitt.



Figur 16 - Grunddetalj med kantförstyvning och redovisning av lageruppbyggnad. Utan kantförstyvning ersätts lager 4–9 med cellplast, S100 (Falck & Hellman, 2021).

2.3.5 Anslutning mellan grund och yttervägg

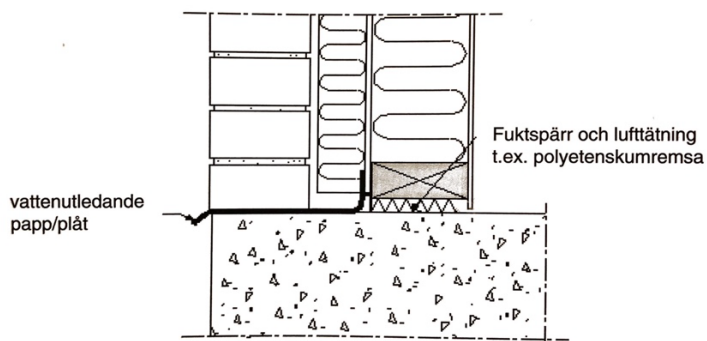
För att behålla tankesättet kring minskad klimatpåverkan inom husbyggande tas det för givet att trägrunden ansluter till någon typ av träregelvägg. Anslutningen mellan yttervägg och grund är ofta annars mellan en träregelvägg och en grundläggning av betong, den mer traditionella typen av platta på mark. När *syllen*, träregeln som befinner sig allra längst ned på ytterväggsstrukturen, förankras i grunden, ska det mellan dessa alltid finnas en effektiv fukt- och lufttätning (Sandin, 2007). Denna så kallade syllisolerering måste alltså både vara tät mot vattenånga och lufttät, detta för att bland annat fuktig uteluft inte ska läcka in i konstruktionen och för att syllen inte ska bli fuktig. Förr i tiden användes asfaltimpregnerad papp för detta ändamål fast med modern byggteknik handlar det främst om täta skumgummiremsor (Sandin, 2010). Olika typer av syllisolerering med olika profiler illustreras i Figur 17.



Figur 17 - Exempel på tätning mellan syll och grund/golv (Sandin, 2007).

En syllisolerering används framför allt då en träsyll monteras på en grundläggning av betong. Dess syfte handlar därför mycket om att förhindra fukt från betongplattan att tränga upp i syllen (Sandin, 2010) då plattan har en tendens att vara fuktigare och även har en högre kritisk relativ fuktighet jämfört med trä. Syllisolerering har även en lufttätande funktion. Vid fallet då en träsyll monteras ovanpå en platta på mark av trä blir syllisolereringens förmåga att lufttäta mer betydelsefull i och med att det förutses att trägrunden har en fuktkvot som är snarlik till syllen vid montering och bruksskede. Avrinningsanordningar för fukt som lyckas ta sig till anslutningen mellan yttervägg och grund blir också ännu viktigare i detta fall.

Genom de flesta fasadbeklädnader som exempelvis träpanel eller skalmur måste det alltid räknas med att vatten kan tränga in. För att vatten inte ska tränga in till syllen och eventuellt grunden måste det kunna ledas ut på nedre delen av ytterväggen. Vid både träpanel och skalmur krävs det därför avrinningsanordningar som vanligtvis är av plåt eller gummiduk. Tidigare användes det ofta en papp för att leda bort vattnet. Det är viktigt att plåten eller gummiduken går upp en bit bakom vindskyddet eller det yttersta värmeisoleringsskiktet (Sandin, 2010). I Figur 18 illustreras ett exempel när det gäller yttervägg med skalmur, samma princip gäller för yttervägg med träpanel.



Figur 18 - Vattenavledning, fuktisolering och lufttätning vid anslutning mellan grund och yttervägg (Sandin, 2010).

Om denna vattenutledning saknas eller är otät kan vatten som sagt tränga in i anslutningen, vilket kan orsaka fuktskador i både yttervägg, golv eller grundläggning. Sannolikheten för detta ökar därför för fasader som är speciellt utsatta för slagregn och där det finns genomföringar i fasaden, exempelvis dörrar med låg tröskel, fönster som går ned till mark, samt för fasadliv som varierar (Boverket, 2021).

Det är värt att påminna om att det ur fuktsynpunkt är bra att anslutningen mellan yttervägg och grund också är en viss bit ovanför marken. Enligt allmänna råd i BBR bör avståndet mellan markytan och fuktkänsliga fasader vara minst 200 mm (Boverket, 2020). Detta bland annat för att minimera risken att regn- eller smältvatten rinner in ovanpå grunden och för att minimera mängden vattenstänk på fasaden (Arfvidsson, et al., 2017).

2.3.5.1 Lufttätning mellan KL-trävägg och KL-trägrund

Ibland används även KL-träskivor som en bärande del i ytterväggar då KL-träskivor används i grunden. I och med att KL-träskivorna i dessa fall inte vilar på någon betongplatta används sällan syllisoleringen ur kapillärbrytande synpunkt. Dock kräver skarvar mellan dessa element fortfarande tätning för att uppnå lufttätetskrav för en byggnad. Det kan göras från insidan eller på utsidan av KL-träskivan, detta beror på hela väggens konstruktion (Martinsons, 2022). Förslagsvis kan skarvarna tätas mellan KL-träskivorna i grunden och ytterväggen med åldersbeständig tejp eller strängar av konstruktionslim.

Alternativt kan en duk på KL-träskivans utsida användas som säkerställer lufttätet. Fördelen med detta är att det kan fungera som fuktskydd för fasaden under byggtiden samt att skarvarna inte behöver tätas. För övrigt är KL-träskivor väldigt lufttäta. Mätningar på ett begränsat antal har visat på täthet som är långt över kravnivån för passivhus. Läckagenivåerna vid 50 Pa har varit så små att de inte gett utslag och vid 100 Pa har luftläckage mätts upp till $0,2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ (Martinsons, 2022). Detta kan jämföras med kravet för passivhus på $1,08 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ vid 50 Pa enligt FEBY 18 (FEBY, 2018).

2.3.6 Installationer

Förutom att försöka hantera fuktkällor som förekommer utanpå en byggnads grundläggning finns det även fuktbelastningar inifrån, som våtrum. Installationer ämnade för uppvärmning kan också orsaka oönskade fukttransporter. Däremot kan viss typ av installation, som mekaniska ventilation, i stället hjälpa till med att sänka fuktillstånden i grunden.

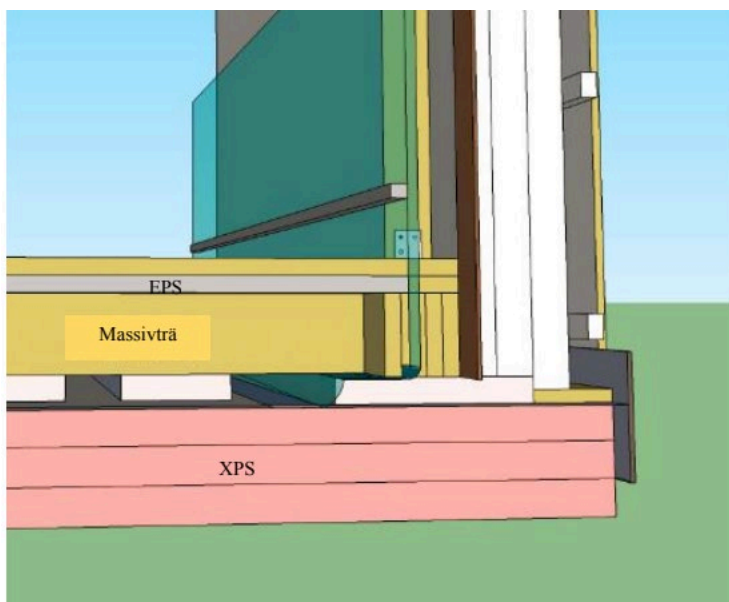
2.3.6.1 Våtrum

Våtrum är utrymmen där golv- och väggytor helt eller delvis kan utsättas för återkommande vattenbegjutning. I bostäder förekommer våtrum ofta som badrum, duschplatser och tvättstugor. Golvet i våtrum utförs därför vanligtvis med en ytbeläggning av keramiska plattor och ett särskilt tätskikt undertill. Det är även vanligt att använda en våtrumsmatta som skarvas genom att svetsa i fogarna. På ett träbjälklag, eller en trägrund, behöver det användas ett tätskikt som är i form av ett foliesystem som generellt sett är väldigt ångtätt. Problemen med dessa system brukar uppstå i självaste skarvtekniken, främst mellan våder och deras anslutning mot golvbrunn, därför är dessa arbetsmoment väldigt kritiska. I dessa system är det även viktigt att fogar, anslutningar, infästningar och genomföringar är helt vattentäta (Arfvidsson, et al., 2017).

Golvbrunnen ska vara fast monterad i underlaget och golvbrunnens fläns ska vara i nivå med spacklet runt omkring. Både golvbeläggning och tätskikt i våtrummet ska även ha erforderligt fall mot golvbrunnen. Om vägnära golvbrunnar ska användas gäller de förutsättningar som bestämts av branschorganisationer som Säker Vatten, GVK och Byggkeramikrådet. Tätskiktet bör hur som helst dras upp mot väggar och socklar. Rör genomföringar utförs med förtillverkade och anpassade plaststosar och rörhylsor som ansluts helt vattentätt till det aktuella tätskiktssystemet. Det är också viktigt att använda sig av tätskiktssystem som både är utprovade och godkända.

I en rapport av Olsson (2018) sammanställs en parameterstudie av fuktberäkningar på grundkonstruktionen som illustreras i Figur 19. Denna studie påvisade att det kan finnas svårigheter att uppnå en fuktsäker konstruktion med beaktning på massivträplattan under ett våtrumsgolv med keramiska plattor och tätskikt, varken om det finns en plastfolie ovanpå EPS-skivan eller inte. Det är mycket på grund av fuktillförsel från fästmassan, som antas vara konstant fuktig (100 % relativ fuktighet) i våtrum, under plattorna som kritiskt fuktillstånd överskrids. Vid användning av plastmatta i stället för keramiska plattor finns fortfarande bekymmer, både vid användning av plastfolie eller inte. Är luftspalten mellan massivträplatta och XPS-skivor dock ventilerad med 1 oms/h kan både byggfukt och tillskjutande fukt ventileras bort och undvika kritiskt fuktillstånd i nedre delen av massivträskiktet. För att kritiskt fuktillstånd inte ska uppnås i övre delen av massivträplattan behöver ventilerade luftspalten även kombineras med en plastfolie under avjämningsmassan (ovanpå EPS-skiva). Utan ventilerad luftspalt är det alltså i alternativen av våtrum med keramiskt ytskikt och med avjämningsmassa som inte tillåts torka, ned till ca 70 % relativ fuktighet innan applicering av ytskikt, svårt att undvika kritiskt fuktillstånd på massivträplattan (Olsson, 2018).

Den konstruktion som undersökts i rapporten av Olsson (2018) avviker en aning från andra nämnda plattor på mark av trä. Frågan är hur grundkonstruktionen i Figur 19 hade presterat i en parameterstudie utan ovanliggande EPS-skiva. Samtidigt som cellplasten bidrar med viss fukttätet ned till massivträplattan så kan det ses som ytterligare fuktskydd. Dock kan skiktet även försvåra uttorkning uppåt när massivträplattan nått högre relativa fuktigheter.



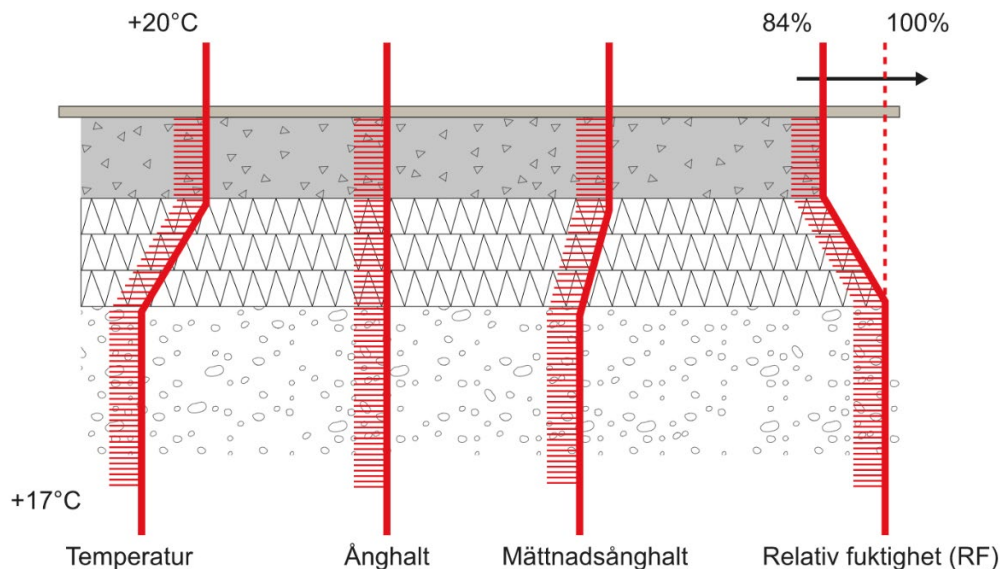
Figur 19 - Principskiss på golvkonstruktion för parameterstudie (Olsson, 2018).

2.3.6.2 Uppvärmda golv

Golvvärme i konstruktioner med underliggande värmeisolering kan innebära att ett värmesystem är inbyggt i grundplattan, antingen ingjutet i en betongplatta eller infällt i en träplatta. Golvvärme kan även installeras som ett skikt ovanpå grundplattan. Vanligtvis är tanken med golvvärme att det ska ge en ökad komfort, men ofta används det också för att ge ökad energieffektivitet. Detta förutsätter dock att inomhustemperaturen kan sänkas och värmeisoleringen under grundplattan är extra tjock (Arfvidsson, et al., 2017).

Om en byggnad med platta på mark utförs med golvvärme måste den även ur fuktsynpunkt, som sagt, värmeisoleras med en extra tjock isolering. Detta dels för att marken värms upp mer än under en byggnad med traditionellt radiatorsystem, vilket kan riskera att temperaturskillnaden mellan grundplattan och marken inte är tillräckligt stor. Dels är det också på grund av att marken endast kortvarigt ska bli varmare än golvet ovanför värmeisoleringen när golvvärmens stäng av. I båda fallen riskerar det annars att ske en fuktanrikning (Arfvidsson, et al., 2017), principen till detta förklaras grafiskt i Figur 20. Närmare förklarad är ånghalten i detta fall konstant i grundplattan och i marken. Temperaturskillnaden över isoleringen gör därmed att mätnadsånghalten blir högre i

grundplattan än i marken, vilket vidare innebär att den relativa fuktigheten blir lägre i grundplattan än i marken (Boverket, 2021).

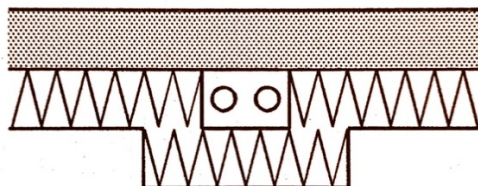


Figur 20 - Principen för hur isoleringen under en grundplatta fungerar som ett fuktskydd mot markfukt, samt när ångspärr inte befinner sig någonstans under plattan (Boverket, 2021).

Enligt Arvidsson, et al. (2017) borde en isoleringstjocklek på 200–300 mm resultera i tillräckligt stor temperaturskillnad och tillräckligt litet värmeläckage som vidare bidrar med för liten uppvärmning av marken för att golvvärmen ska kunna leda till några fuktproblem. Om isoleringen dessutom är av cellplast i stället för mineralull minskar riskerna ytterligare eftersom cellplasten har högre ångmotstånd.

2.3.6.3 Lokala värmekällor

Lokala värmekällor i grunden kan exempelvis vara varma rör för värme, varmvatten eller fjärrvärme. Dessa kan orsaka samma fuktförhållanden som vid användning av golvvärme, alltså transport av markfukt mot grundplattan. För att den relativa fuktigheten inte ska öka över och intill värmekällan bör värmerören därför förses med tjock isolering och placeras ovanför golvet värmeisolering. Exempel för detta i en platta på mark av betong illustreras i Figur 21. Vid en jämförelse med den platta på mark av trä som Klara Byggsystem erbjuder i Figur 12 kan samma princip observeras.



Figur 21 - Värmerör som placeras ovanför värmeisolering (Arvidsson, et al., 2017).

2.3.6.4 Mekanisk ventilation i konstruktionen

Under vissa förutsättningar kan ett kontrollerat luftflöde i en grundkonstruktion transportera bort fukt som tillförs byggnaden underifrån. Huvudsakliga kravet är att luftflödet är tillräckligt högt så att luften inte blir mättad under transporten genom grunden. Om ventilation även utgör en stor del i att skydda byggnaden mot markfukt i ångfas måste den alltid vara i drift, vilket kan ifrågasättas gällande energianvändning. I samband med att det även visat sig vara svårt att få jämn fördelning av luftflödet genom konstruktionen och att undvika oönskade luftläckage, behöver luftflödet vara mycket större för att kompensera för den vattenånga som behöver transporteras bort från omgivande material. Installeras ett ventilerande system redan vid uppförandet av byggnaden bör dock förutsättningarna öka för att få ett väl fungerande system (Arfvidsson, et al., 2017).

2.4 Fuktsäkerhet

Detta kapitel av litteraturstudien behandlar hur fuktsäkerheten kan regleras under byggprocessen. En god fuktsäkerhet kan uppnås genom att bland annat följa olika krav och ta hjälp av hjälpmedel som branschstandard *ByggaF*. Kapitlet innehåller även mer specifika instruktioner för hur man bygger fuktsäkert med KL-trä, till exempel genom att skydda mot väder och att kontinuerligt kontrollera fuktillstånd.

2.4.1 Boverkets krav

I Boverkets byggregler (2020), finns det föreskrifter och allmänna råd kring hur god fuktsäkerhet ska uppnås och därmed också hur god hygien, hälsa och miljö ska uppnås i en byggnad. I ”6 Hygien, hälsa och miljö” är allmänna beskrivningen att ”byggnader och deras installationer ska utformas så att luft- och vattenkvalitet samt ljus-, fukt-, temperatur- och hygienförhållanden blir tillfredställande under byggnadens livslängd och därmed olägenheter för människors hälsa kan undvikas”. Fuktkrav appliceras mer specifikt under ”6.5 Fukt”, där allmänna beskrivningen är att ”byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa” (BFS 2014:3). De allmänna råden för att uppnå detta är bland annat att:

- Kraven på fuktsäkerhet i projekteringsskedet bör verifieras med hjälp av fuktsäkerhetsprojektering, men att åtgärder i andra skeden av byggprocessen också kan påverka fuktsäkerheten. Som vägledning kan därför *Branschstandard ByggaF* användas som vägledning vid planering, projektering, utförande och kontroll av fuktsäkerheten.
- Byggnader, byggprodukter och byggmaterial under byggtiden bör skyddas mot fukt och mot smuts. Kontrollera att material inte har fuktskadats under byggtiden genom besiktningar, mätningar eller analyser som dokumenteras.
- Även utförandet av byggnadsdelar och byggnadsdetaljer med betydelse för framtida fuktsäkerhet bör dokumenteras (BFS 2014:3).

I fuktkapitlet beskrivs även krav på högsta tillåta fuktillstånd och hur den kan bestämmas. Högsta tillåtna fuktillstånd beskrivs som den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa. Det högsta tillåtna

fukttillståndet ska bestämmas utefter det kritiska fukttillstånd som råder för material och produkter, alltså då mögel och bakterier kan uppstå, även med hänsyn till att materialet eller produkten eventuellt kan smutsas ner. Vid bestämning kan det även behöva tas hänsyn till när oacceptabla kemiska reaktioner och fuktrörelser sker, förändringar av mekaniska och termiska egenskaper sker samt när angrepp av rötsvamp eller virkesförstörande insekter uppstår. Om kritiskt fukttillstånd inte är väl undersökt och dokumenterat bestäms kritiskt fukttillstånd till 75 % relativ fuktighet (BFS 2014:3).

Enligt BBR bygger fuktsäkerheten på att fukttillståndet i en byggnadsdel inte ska överskrida de högsta tillåtna fukttillstånden för de material och produkter som ingår i byggnadsdelen. Dock gäller inte detta om det saknar betydelse för hygien och hälsa. För att vara på säkra sidan ska fukttillståndet bestämmas utifrån fuktbelastningar som kan förväntas påverka byggnaden under ogynnsamma förutsättningar (BFS 2014:3).

För att uppnå god fuktsäkerhet ges bland annat rådet att ha så god lufttäthet som möjligt i byggnadens klimatskiljande delar, detta för att undvika skador på grund av fuktkonvektion. Vid bland annat stora temperaturskillnader bör särskild omsorg tas i beaktning för att åstadkomma lufttäthet. Vid bestämmandet av eventuella luftläckage är det även viktigt att undersöka om luftläckaget är koncentrerat till någon byggnadsdel, annars riskerar det att uppstå fuktskador.

Föreskrifter och råd ges även på hantering av markfukt och de olika byggnadsdelarnas utföranden. För grundkonstruktion och bjälklag ingår det enbart i föreskrifter att kryputrymmen ska kunna inspekteras i sin helhet. I allmänna råd anges det dock att en grundkonstruktion bör utformas med ett kapillärbrytande system. Annars är det mer råd angående uteluftsventilerade kryppgrunder, att slutlig kontroll av betongens uttorkning bör göras med fuktmätning och hänvisning för regler angående användning av tryckimpregnerat virke. Alltså inte mycket som är applicerbart för en platta på mark, inte minst för en utav KL-trä.

2.4.1.1 Handbok om tillämpning av föreskrifterna i BBR gällande fukt

Ytterligare tolkning av Boverkets fuktkrav kan hittas i en handbok i anslutning till BBR med fokus på fukt som är författad av Lars Olof Nilsson, professor i Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola. Målet med *Byggvägledning 9. Fukt* är att den ska underlätta tillämpningen av föreskrifterna i BBR och om möjligt förklara bakgrunden till dessa och på så sätt inspirera till lösningar som uppfyller funktionskraven (Nilsson, 2015).

I handboken framgår det att kopplingar till fuktsäkerhet också kan förekomma i andra delar än ”6:5 Fukt” i BBR. Andra viktiga allmänna krav som har koppling till fuktsäkerhet är bland annat:

- **6:11 Material** – Omprövning med beaktning på fuktsäkerhet av materialval vid beaktning av materialemissioner.
- **1:4 Byggprodukter med bedömda egenskaper** – Byggprodukter som används ska ha bedömda egenskaper, exempelvis kritiska fukttillstånd och fuktberoendet hos fukttransportegenskaper, vid fuktsäkerhetsprojektering.

- **2:1 Material och produkter** – Relevanta fuktgenskaper om material och produkter ska anges och vara dokumenterade.
- **2:2 Ekonomiskt rimlig livslängd** – Lösningar och material som väljs ska antingen kunna underhållas eller bytas ut om de har kortare livslängd än byggnaden. För fuktsäkerhet innebär detta att flera aspekter måste beaktas vid fuktsäkerhetsprojektering. Bland annat att det kritiska fukttillståndet och fukttransportegenskaper för ett material eller en produkt i vissa fall kan förändras med tiden och att beakta de konsekvenser som kan uppstå då material med begränsad livslängd byts ut.
- **2:31 Projektering och utförande** – Här nämns det bland annat att byggherre bör anlita en fuktsakkunnig, fuktberäkningar måste genomföras med modeller som kan förutsäga fukttillstånd med tillräckligt liten osäkerhet, fuktsäkerhetsprojekteringen med beprövade lösningar kräver en omsorgsfull analys samt komplett dokumentering i en fuktsäkerhetsbeskrivning och att eventuellt uppkomna eller av utföraren önskade avvikelser från projekterade lösningar och materialval också måste värderas av den fuktsäkerhetsansvarige.
- **2:32 Verifiering** – Verifiera att fukttillståndet alltid ska vara lägre än det högsta tillåtna först under projekteringen med hjälp av en fuktsäkerhetsprojektering, att i fuktsäkerhetsprojekteringen verifiera effekterna av eventuell fuktpåverkan under byggtiden och förutsättningarna för att uttorkningen av byggfukt ska kunna ske på ett tillförlitligt sätt, under utförandeskedet verifiera funktionen hos eventuellt erforderligt väderskydd med klimatregistrering, genom fuktmätningar verifiera krav på leveransfukttinhåll i samband med mottagningskontroll, verifiera uttorkning av byggfukt med fuktmätningar samt att verifiera det verkliga utförandet av kritiska delar genom funktionskontroll eller noggrann dokumentation.
- **2:51 Drift- och skötselinstruktioner m.m.** – Regelbundet kontrollera funktionen hos byggnadens fuktskydd med en ”OFK”, en obligatorisk fuktskyddskontroll, samt att utbyte av vissa komponenter i byggnadsdelar kan leda till en revidering av ursprungliga fuktsäkerhetsprojekteringen av byggnadsdelen.

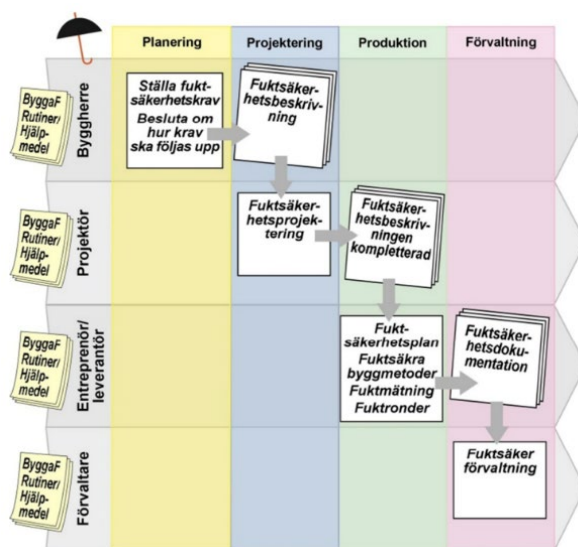
2.4.2 ByggaF

Branschstandard ByggaF är en metod som hjälper till att åstadkomma en fuktsäker byggprocess. Detta genom att säkerställa, dokumentera och kommunicera fuktsäkerheten i hela byggprocessen, ända från planering till förvaltning. Metoden innehåller rutiner och hjälpmedel för alla aktörer i byggprocessen, från byggherre, arkitekter och övriga konsulter, materialleverantörer, entreprenörer till driftpersonal och förvaltare. Denna branschstandard är framtagen av ett antal personer från olika företag, institut, högskolor, branschorganisationer, konsulter och myndigheter. Fuktcentrum på Lunds Tekniska Högskola har som uppgift att förvalta standarden (Fuktcentrum, 2013).

Bakgrunden till denna branschstandard ligger i att fuktskador i byggnader är ett stort problem, trots att byggtekniken blir mer modern visar trenden att fuktskador både uppstår och ökar i byggnader. Dessa fuktskador kan orsaka försämrat inomhusklimat

som därefter påverkar människans hälsa negativt. Fuktproblemen orsakar också ofta stora oförutsägbara kostnader för husägare. Dessa fuktskador kan orsakas av många olika saker, bland annat oklar ansvarsfördelning, otydliga krav, brister i uppföljning, orealistiska tidsplaner, otydlig kommunikation mellan skedena, bristande kompetens och bristande rutiner för fuktsäkerhet. Att fuktskador uppstår kan också bero på att olika och ofta nya typer av konstruktioner (som i detta fall en ny typ av grundplatta bestående bland annat av KL-trä), material och komponenter används där materialen riskerar att brytas ned i närvaro av fukt, med emissioner, mikrobiell påväxt och beständighetsproblem som resultat. För att undvika dessa fuktskador är det därför väldigt viktigt att utforma fuktsäkra konstruktioner bestående av material och uppsättningar av byggnadsdelar som tål den fukt som konstruktionen förväntas utsättas för under dess livslängd. Det är även viktigt att säkerställa en lämplig miljö för byggnaden under både bygg- och driftskedet (Fuktcentrum, 2013).

Denna bakgrund framhäver syftet med ByggaF, som är att uppmärksamma fuktfrågorna tidigt i nybyggnads-, ombyggnads- och renoveringsprojekt samt att på ett strukturerat sätt dokumentera alla de aktiviteter och åtgärder som krävs och utförs för att säkerställa en fuktsäker byggnad. Genom att tidigt ta fram fuktkrav och krav på aktiviteter kan dessa involveras i utformningen av programhandlingar, systemhandlingar, bygghandlingar och kontrollplaner etc. Detta innebär att viktiga system- och materialval samt produktionsmetoder som kommer ha påverkan på fuktsäkerheten i byggnaden kan utföras redan i början av projektet. Figur 22 sammanfattar ByggaF-metoden.



Figur 22 - Sammanfattande bild av metoden ByggaF (Fuktcentrum, 2013).

2.4.2.1 Fuktsäkerhetsprojektering

I projekteringskedet arbetas fuktsäkerhet först in i systemhandlingar. Efter detta skede beaktas fuktsäkerheten i detaljprojekteringen genom att bland annat presentera en rutin för hur en fuktsäkerhetsprojektering ska utföras. Detta omfattar fuktriskanalys och

kontroll av att systemvalen uppfyller fuktsäkerhetskraven samt hur detta ska dokumenteras. Rutinen för en fuktsäkerhetsprojektering är att (Fuktcentrum, 2013):

- Identifiera fuktkänsliga konstruktioner, detaljer och arbetsmoment.
- Identifiera fuktkällor och fuktbelastningar (samtliga byggnadsdelar ska belastas med alla tänkbara fuktkällor)
- Uppskatta fukttillstånden som de olika byggnadsdelarna utsätts för och hur de varierar i tiden.
- Undersöka så att uppskattade fukttillstånd ligger inom de tillåtna fukttillstånden.
- Hela projekteringsgruppen tillsammans utför och dokumenterar en fuktriskanalys där projekteringsledaren är ansvarig för samordning av denna.
- Välja och utforma konstruktioner, system och material så att risken för skada eller annan olägenhet minimeras.
- Redovisa och dokumentera kontroller och verifieringar som krävs i produktionsbeskedet utifrån valda konstruktioner, system och material.
- Redovisa förutsättningar och resultat från fuktsäkerhetsprojekteringen på ett systematiskt sätt så det är lätt att följa vilka åtgärder som utförts för att kunna säkerställa att byggnaden uppfyller fuktsäkerhetskraven.
- Fuktsäkerhetsansvariga projektörer granskar resultatet av projekteringen.

2.4.3 RäknaF

RäknaF är en rapport framtagen av avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Fuktcentrum och projektet ”Woodbuild”. Rapporten innefattar vägledning, rekommendationer och stöd vid värme- och fuktberäkningar. För beställare kan RäknaF även fungera som ett stöd för att ställa adekvata krav på beräkningar och redovisning av resultat.

Bakgrunden till framtagandet av RäknaF är att beräkningsverktyg används i allt större utsträckning för byggnadsfysikaliska beräkningar. Erfarenheter visar att vid användandet av samma program kan olika användare få vitt skilda resultat för samma konstruktion. Detta beror bland annat på att det saknas tydliga riktlinjer för de omfattande antalet parametrar som måste väljas och uppskattas, samt på vilken nivå indata ska användas i beräkningsverktygen (Wallentén, 2018).

Vid värme- och fuktberäkningar av en konstruktion utförs beräkningar av framtida fuktförhållande baserat på historiska data. Resultatet av beräkningar kan skilja sig från verkligheten då det faktiska framtida klimatet är okänt, samt att olika användare gör olika val av parametrar. Ett annat problem är att relativt få mätningar är gjorda av de ingående materialparametrarna. Endast en bråkdel av möjliga fukttillstånd och temperaturer är undersökta för respektive material. Vilket innebär att ett flertal parametrar har uppskattas baserat på liknande material. Skillnaden mellan resultat av beräkning och det verkliga utfallet benämns i rapporten som fel. Felet mellan beräkning och verklighet kan uppstå vid ett eller flera steg:

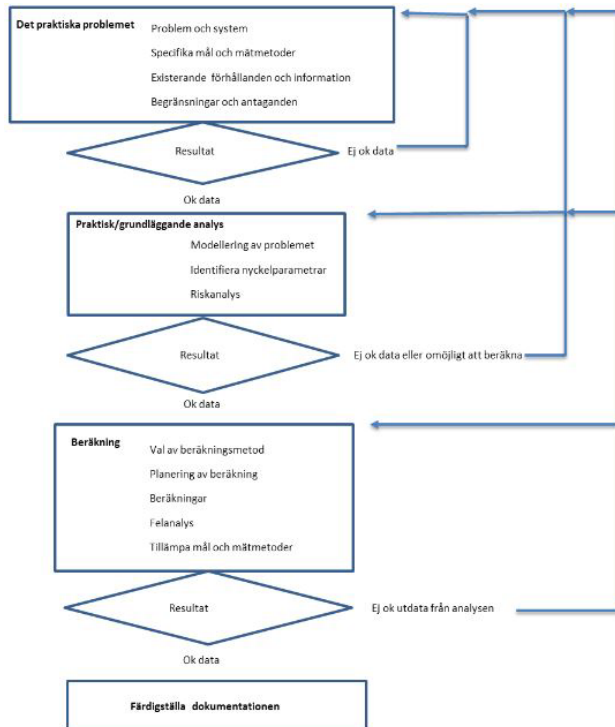
- **Framtagning av modellen** - Förenkling av verkligheten kan ske av fysikaliska processer, randvillkor och geometri.
- **Implementering av datormodell och beräkning** - Inmatning av data i programmet och programmeringen av den matematiska modellen.
- **Beräkning** - Körandet av programmet och presentation av resultat.

Alla beräkningsmodeller är en förenkling av verkligheten, vilket medför att det aldrig helt går att undvika fel. Genom att göra en validering kan användaren säkerställa att beräkningen ger ett litet fel, det vill säga skillnaden mellan resultat och verkligt utfall är liten. Validering är en jämförelse mellan uppmätta och beräknade data vilket i sin tur innebär att samtliga typer av mätfel kommer att påverka valideringen. Ett flertal studier, bland annat av Mundt Petersen (2015), har visat att blinda fuktberäkningar går att göra med användbara resultat.

Att göra en prediktering av ett förlopp som ännu inte har inträffat kan innebära stora felkällor i form av att randvillkor och fysiska förlopp, som materialets åldrande, är okända. Det går därmed inte att göra en validering av resultatet utan resultatet blir som bäst troligt, vilket bör utvärderas utifrån vilken risknivå som kan accepteras. Med tiden som ny mätdata blir tillgänglig kan randvillkor och andra parametrar uppdateras för att förbättra prediktionen. Som tidigare nämnts kan fel aldrig helt undvikas. Det viktigaste för att bedöma beräkningens relevans är att användaren är medveten om de problem som finns med antaganden vid resultatanalysen och redovisar en uppskattning av det totala felet i det slutliga resultatet. Samt att redovisa vilka delar som är de mest bidragande till felet eller osäkerheten.

Vid genomförandet av en värme- och fuktberäkning ska den övergripande beräkningsgången ske enligt Figur 23 och idén är att dela upp beräkningsgången i de följande stegen:

- Det praktiska problemet
- Praktisk grundläggande analys
- Beräkningar och analys av resultat
- Färdigställa dokumentation



Figur 23 - Övergripande beräkningsgång enligt RäknaF (Wallentén, 2018).

2.4.3.1 Det praktiska problemet

Målen och ramarna för det praktiska problemet definieras och systemgränser samt existerande förhållanden dokumenteras.

2.4.3.2 Praktisk grundläggande analys

Innan beräkning påbörjas ska en praktisk analys utföras där konstruktionens svagheter och styrkor visas i enlighet med ByggaF. Den praktiska analysen kan konstatera att konstruktionen visar på brister stora nog att en simulering inte är meningsfull. Bedöms konstruktionen uppfylla de inledande kraven förenklas det ursprungliga geometriska problemet till en modell.

Nyckelparameterar identifieras, motiveras och dokumenteras. Nyckelparameterar är de inparametrar som kan väsentligt påverka resultatet eftersom de kan ha stor variation på grund av osäkerhet, konstruktionsval eller modell. Klimat är en nyckelparameter som har en betydande inverkan på beräkningen eftersom valet av år har stor betydelse för resultatet och osäkerhetsanalysen. Det är viktigt att flera olika års klimatdata används för platsen. Skulle det inte finnas tillgång för flera olika års klimatdata för platsen måste samma simulation upprepas med samma års data i minst 5 år i följd. Om konstruktionen inte uppnått sitt sluttillstånd efter 5 år ska beräkningen utökas med fler år. Det är även rekommenderat att använda ett mer extremt klimat från flera olika år och platser när framtida fuktsäkerhet ska bedömas än endast normaldata. Konstruktionen kan då även bedömas utifrån hur känslig den är för framtida klimatförändringar.

För att den som granskar och utvärderar resultatet ska kunna ta ställning till rimligheten för antaganden och värden i modellen bör även parametrar som inte karakteriseras som nyckelparametrar redovisas och motiveras.

2.4.3.3 Beräkning och analys av resultatet

Ett antal testberäkningar av konstruktionen bör först utföras för att undersöka beroenden och fel i indata för att således kontrollera rimligheten i resultatet. En enkel handberäkning bör, om möjligt, utföras för att lättare hitta fel i den detaljerade beräkningen samt för att uppskatta storleksordningen på beräkningsresultaten.

Eftersom en analys av en konstruktion vanligtvis innefattar ett flertal beräkningar och är tidskrävande är det nödvändigt att planera och implementera en effektiv strategi. Den vanligaste strategin är att beräkningarna utförs i två steg:

- Stickprov
- Parameterstudie

Det första steget innefattar genomförandet av ett färre antal beräkningar för att få en uppfattning om extremvärdena i problemet och kontrollera indata. Därefter genomförs en parameterstudie där ett referensfall utgör utgångspunkten för beräkningarna. Betraktas de ingående parametrarna som oberoende och linjära medför detta att parametrarna varieras för att studera hur nyckelparametrar påverkar konstruktionen. Ett exempel av en parametervariation illustreras i Figur 24. Efter beräkning bör resultatet kompletteras med en fuktsäkerhetsbedömning.

| | | Parameter a | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------------|------|------|------|----|-----|-----|-----|------|
| | | -100% | -75% | -50% | -25% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Parameter b | 100% | | | | | O | | | | |
| | 75% | | | | | | | | | |
| | 50% | | | | | O | | | | |
| | 25% | | | | | | | | | |
| | 0% | O | | O | | R | | O | | O |
| | -25% | | | | | | | | | |
| | -50% | | | | | O | | | | |
| | -75% | | | | | | | | | |
| | -100% | | | | | O | | | | |

Figur 24- Exempel på oberoende beräkningsfall för två parametrar a och b (Wallentén, 2018).

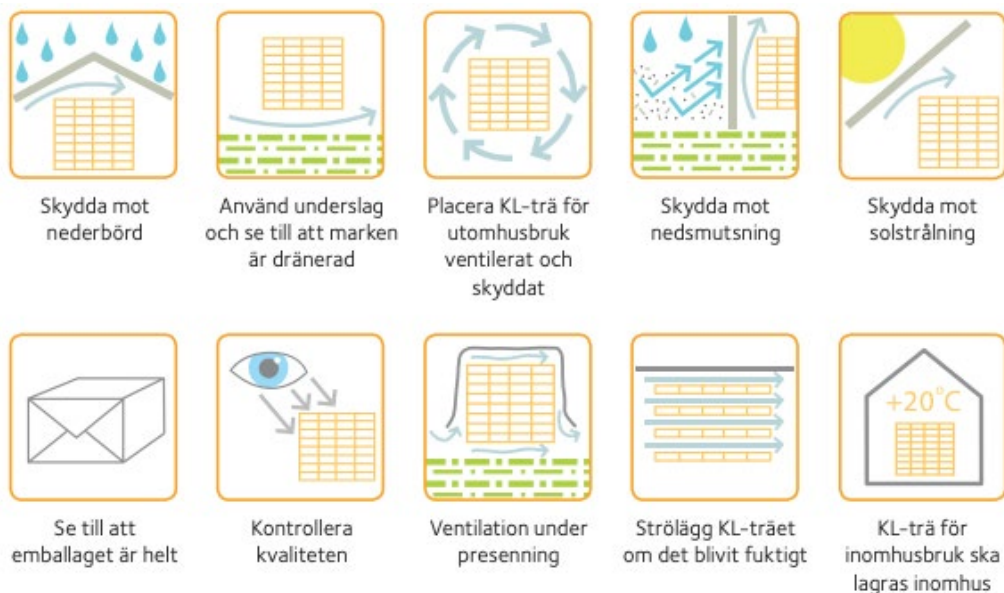
2.4.4 Fuktbelastning vid elementbygge av massivt trä

Då byggandet av moduler av massivt trä är relativt nytt har, vid studiens genomförande, få studier gjorts om dess fuktbelastning. En experimentell studie av fuktbelastning i kontrollerade miljöer i laboratorium har gjorts av Smart Housing Småland (2020) för att studera mögelpåväxt efter uppfuktning av fritt vatten samt artificiellt applicerade sporer på KL-trä i både sommar- och vinterklimat. Studien påvisar att det på vissa prover uppstod både måttlig och riklig påväxt redan inom en vecka. Varvid att på ytor som exponerats av vattenbelastning med begränsade uttorkningsmöjligheter, såsom skarvar, anslutningar, infästningar och springor uppkommit riklig mikrobiell påväxt redan efter ett dygns vattenbelastning. För ytor med goda uttorkningsmöjligheter har ingen eller sparsam påväxt uppkommit vid ett dygns vattenbelastning. Däremot har riklig mikrobiell påväxt uppkommit på ytor som haft goda eller begränsade uttorkningsmöjligheter då de utsatts för vattenbelastning i 6 – 7 dygn. För ytor med begränsade uttorkningsmöjligheter var uttorkningstiden upp emot en månad när de utsatts för 6 – 7 dagars vattenbelastning. På de allra flesta av proverna där det med mätning konstaterades mikrobiell påväxt var påväxten inte synlig med blotta ögat, vilket innebär en risk för konstruktioner som utsätts för vatten, då det inte alltid räcker med en okulär besiktning för att förhindra att fukt byggs in (Smart Housing Småland, 2020).

Vid framtagandet av moduler och konstruktioner som innehåller massivt trä behöver konstruktionerna dimensioneras mot kondens. Bedömningen som görs med hänsyn till risk för skadlig kondens inuti en konstruktion kan göras med hjälp av anpassade fuktberäkningsprogram. Bedömningen utgår ifrån att kondens inte ska inträffa i konstruktionen eller att den kondenserade vattenmängden kan föras bort över tid. Alternativt utgås det ifrån att mängden kondenserad fukt är så liten i förhållande till materialets förmåga att lagra kondenserad fukt tills fukten kan avdunsta, så att inga skador kan förväntas förekomma. En massiv trästomme har trots allt stor förmåga att lagra fukt. För att dock förhindra mikrobiell påväxt bör ytfuktkvoten i trä materialet understiga 18 % vid inbyggnad under produktion (Svenskt Trä, 2017).

2.4.5 Hantering av KL-trä med hänsyn till fukt

Som andra byggprodukter kräver KL-träskivor och element som är helt eller delvis tillverkade av KL-trä omsorg vid lagring och hantering. Detta har en avgörande påverkan på konstruktionens beständighet och utformning, men även på projektets ekonomi och planering. Några viktiga principer för att skydda KL-träprodukter sammanställs i Figur 25.



Figur 25 - Några viktiga principer för att skydda KL-träprodukter (Svenskt Trä, 2017).

I alla byggprojekt är lösningen av klimatskydd en viktig faktor under byggtiden, alltså hur man ska göra för att undanröja risker för framtida skador som är förorsakade av fukt. Dessutom när stora mängder KL-trä ska användas bör det i planeringsarbetet finnas en hög prioritet på vilket klimatskydd som ska användas. För att maximalt kunna utnyttja fördelen med att träet inte kräver någon uttorkning på byggarbetsplatsen måste träet skyddas mot fukt och det är då en snabbare byggtid kan möjliggöras. Grundprincipen med att skydda träet mot fukt är att klimatkänsliga konstruktionsdelar ska byggas in och på så vis skyddas så snabbt som möjligt. Finns inte möjligheten att bygga in dessa delar direkt ska de skyddas med temporära klimatskydd som är så effektiva som möjligt. Därför blir det viktigt att i projektets tidsplanering prioritera att fukt känsliga konstruktionsdelar snabbt byggs in. Beaktning av byggprojektplatsens årstid och lokala klimatförhållanden är även väsentlig, precis som att planera leverans och montage på ett sätt som gör att montaget sker snabbt och effektivt (Svenskt Trä, 2017).

I en studie av Öberg och Wiege (2018) som fokuserade på uppfuktning och utvärdering av mögelrisker från regnbelastning på KL-trä under produktion i nordiskt klimat så har en del konstaterats. Det är bland annat att korta byggtider är avgörande, att det krävs någon form av väderskydd året runt samt att tidig planering och konstruktion för fuktsäkerhet är avgörande. Detta är mycket på grund av att fördelarna med prefabricering och korta byggtider med KL-trä både bör och ska kunna utnyttjas.

2.4.5.1 Leverans, mottagning och lagring

Vid leverans och mottagning av KL-träelement är det bland annat viktigt att kontrollera om emballaget är helt. Oavsett om emballaget är helt eller inte är det även lägligt att ta stickprov av fuktkvoten på ett antal ställen med elektrisk resistansfuktkvotsmätare med isolerade hammarelektroder för att få en indikation på att fuktkvoten stämmer mot

beställningen. Det bör även kontrolleras om KL-träelementen är rena från jord och smuts (Svenskt Trä, 2017).

Att mellanlagra (lagringsplats mellan tillverkare och byggarbetsplats) elementen bör undvikas. Bästa möjliga är att elementen monteras direkt från lastbilen. Gällande lagring på byggarbetsplatsen ska KL-träelementen placeras där det inte finns risk för nedsmutsning orsakad av saker som stänk från takdropp eller trafik. Lagringsplatsen skall ligga i skugga under vår, sommar och höst eftersom när solen lyser på emballerade KL-trätytor får dessa en högre temperatur än utomhus temperaturen på andra sidan emballaget. Detta kan leda till sprickbildning eller kondens som ökar risken för mikrobiell påväxt. Underslagen som KL-träelementen vilar på ska vara rena och minst 300 mm höga över marken eller golvet och ge god luftning (Svenskt Trä, 2017).

Normaltvis ska KL-trä som blir levererat ha en medelfuktkvot på högst 16 %. KL-träprodukterna levereras oftast med någon typ av transportskydd. Om detta emballage är intakt kan produkterna förvaras utomhus under presenning under kortare tid. Om emballaget dock bryts ska emballaget lagas, men om produkterna ska användas inomhus kan emballaget tas bort helt för att sedan fortsätta lagras i ett torrt och varmt utrymme. Om KL-träet ska användas i icke uppvärmda byggnader eller i utomhusklimat, skyddat under tak, ska det lagras i ett kallt utrymme som är väl skyddat mot nederbörd (Svenskt Trä, 2017).

Om RF_{krit} ska sättas till 75 % enligt föreskrifter i BBR (om bättre kunskap saknas för materialet), innebär det stora utmaningar för hur KL-träet kan användas under byggtiden. Utomhusklimatet i Sverige innebär att fuktigheten i luften normalt är betydligt högre än 75 %, speciellt under vintern och perioder med mycket nederbörd. För att uppfylla detta skulle det krävas att trätytor kontinuerligt skyddas mot kontakt med utomhusluft, vilket skulle kräva en obruten kedja av skydd mot utomhusluft från torkning i fabrik till färdig byggnad. Detta skulle exempelvis kunna uppnås genom att KL-träet förpackas i ångtätt emballage direkt efter torkning som sedan inte öppnas förrän byggnaden är uppvärmd (Nilsson, 2015). Som ett delvis svar på detta finns det en relativt ny byggprodukt som används på grundläggningar och bjälklag av KL-trä hos mer än en tillverkare. Ovanpå KL-träplattan monteras en regntät, diffusionsöppen och robust, heltäckande självhäftande duk som ska agera fuktskydd under transport, montering och byggtid. Det kan även tillägas att duken både är transparent och halksäker (SIGA, 2022). Trots att duken är avsedd för tillfälligt skydd är den efter montering svår att avlägsna, vilket förmodligen leder till att den ofta byggs in och därefter antas fungera som ångbroms i framtida användning, med ånggenomgångsmotstånd som anges enligt produktfaktblad (SIGA, 2022). Hur den presterar som ångbroms över tid finns det dock ingen information om.

2.4.5.2 Väderskydd under byggtid

Användningen av heltäckande väderskydd har en stor fördel oavsett byggmaterial. Väderskyddet kan dock ha olika stor betydelse beroende på objekt och byggmetod. De fall då det är ett objekt med hög prefabriceringsgrad och känsliga detaljer är ett heltäckande väderskydd det bästa alternativet. Vid objekt med låg prefabriceringsgrad

är det mer aktuellt med enklare väderskydd eller endast täckning med presenningar på grund av ekonomiska skäl. Varaktigheten på montaget har också en påverkan vid val av väderskyddets omfattning (Svenskt Trä, 2017).

Ett väderskydd definieras enligt Arbetsmiljöverket som ”en temporär konstruktion som används när man vill täcka över eller kapsla in en yta där man arbetar med en byggnad eller anläggning, för att skydda arbetstagare och byggnadsverk från klimatisk påverkan (väder och vind). I ett väderskydd ingår alltid ett tak, men även väggar kan ingå. En inklädd fasadställning är däremot inte ett väderskydd, även om inklädnaden är invikt ovanför det översta arbetsplanet” (Arbetsmiljöverket, 2022). Väderskydden dimensioneras för varje enskilt objekt, laster som normalt beaktas är vind, snö och personlast. Det finns olika typer av system för väderskydd som är anpassade för olika behov; väderskydd på fasadställning, fasta eller rullbara takväderskydd eller klättrande väderskydd (Svenskt Trä, 2017).

Utan väderskydd

I en publikation från Svenskt Trä författad av Alsmarker (2021) presenteras en vägledning för hantering av KL-träelement vid byggnation utan heltäckande väderskydd. Den ska fungera som stöd för projektörer och utförare i hur ett industriellt och fuktsäkert KL-träbyggande utan väderskydd kan åstadkommas. Publikationen fokuserar på hur olika byggdelar, kritiska detaljer och anslutningar kan fuktskyddas och hur den konstruktiva utformningen kan bidra till ett effektivt KL-träbyggande. Det viktigaste att tänka på vid fuktsäkert KL-träbyggande utan väderskydd är att (Svenskt Trä, 2021):

- Fritt vatten eller blötsnö inte blir stående på horisontella ytor.
- Ändrä, elementskarvar och anslutningar är fuktskyddade.
- Vatten som tagit sig in snabbt kan ta sig ut.
- Trä som blivit fuktigt kan torka ut.
- Fuktkontroller utförs kontinuerligt.

Det ska strävas efter att använda bjälklag och ytterväggar som väderskydd för våningar som ligger under. Därför är det viktigt att projektera bjälklagen som ”täta tak” så långt som möjligt. En lösning är också att stommen monteras i vertikala sektioner i stället för plan för plan för att snabbare komma under tak. Genom att prioritera att taket byggs först kan det användas som skydd för underliggande våningar genom att det lyfts av och på efter hand som stommen reses (Svenskt Trä, 2021).

För att uppnå kort byggtid, slippa uttorkning och få en snabb inbyggnad är det viktigt att under projekteringsskedet förbereda för enkla, täta och släta skarvar och anslutningar. Dessa skapar goda förutsättningar för att få snabbt stommontage och kompletteringar med tejp eller dukt osv. I fallet av bjälklag och grunder är elementskarvar, anslutning vägg och golv samt håltagningar kritiska detaljer och anslutningar. Vid dessa är det viktigt att fuktkvot kontinuerligt kontrolleras under hela byggskedet (Svenskt Trä, 2021).

Baserat på dessa olika krav och en SBUF-rapport författad av Olsson (2019) kan det sammanfattas att det är svårt eller omöjligt att undvika uppkomst av mikrobiell påväxt

under byggnation med KL-trä utan väderskydd. Utifrån den slutsatsen rekommenderas det att helst använda heltäckande väderskydd. I SBUF-rapporten baserades resultaten på två fallstudier med totalt fyra byggnader av KL-trä. Mikrobiologisk påväxt uppstod i samtliga objekt och i princip på alla undersökta våningsplan. Av totalt 200 analyserade mätpunkter hade hälften sparsam påväxt och ungefär en tredjedel måttlig till riklig påväxt. Högst andel mögelpåväxt uppkom i de kritiska detaljer och anslutningar som nämns i Svenskt Trä (2021); i håligheter, springor mellan bräder och anslutningar där vatten kan bli stående eller där uttorkning är begränsad. Det är också vanligt med påväxt på plana ytor där vatten samlas. Mögelpåväxt uppkom även oavsett årstid (Olsson, 2019).

Fuktsäkerhetsplaner för att bygga utan väderskydd är för byggtreprenörer svåra att följa eftersom det visat sig vara praktiskt svårt att täta mot vatten samt att det tar längre tid att ta bort vattnet än planerat med till exempel våtdammsugare. Detta resulterar i att sanering får utföras i betydligt större utsträckning än vad som är planerat. Dessutom anser hälften av de som arbetat med KL-träbyggnader utan väderskydd att sanering bara behövs vid synlig påväxt. Få av de känner till att det finns ett krav på kritiskt fuktillstånd av 75 % relativ fuktighet för material och produkter som saknar dokumentation, enligt BBR (Olsson, 2019).

Erfarenheter från Nordamerika är att det är svårt att undvika uppfuktning utan heltäckande väderskydd. Det uttrycks att det starkt bör övervägas att använda lämpliga tillfälliga takväderskydd och väderskydd moduler innan dess montering för att skydda konstruktionen från att bli blöt (Finch, 2016). Enligt Wang et al. (2018) kan heltäckande väderskydd i vissa fall vara den enda lämpliga metoden med avseende på fuktsäkerhet. Ett gott exempel på att ett väderskydd faktiskt håller låga fuktvärden i olika byggmaterial av trä presenteras i en rapport från ETH i Zurich författad av Leyder, Chatzi och Frangi (2015).

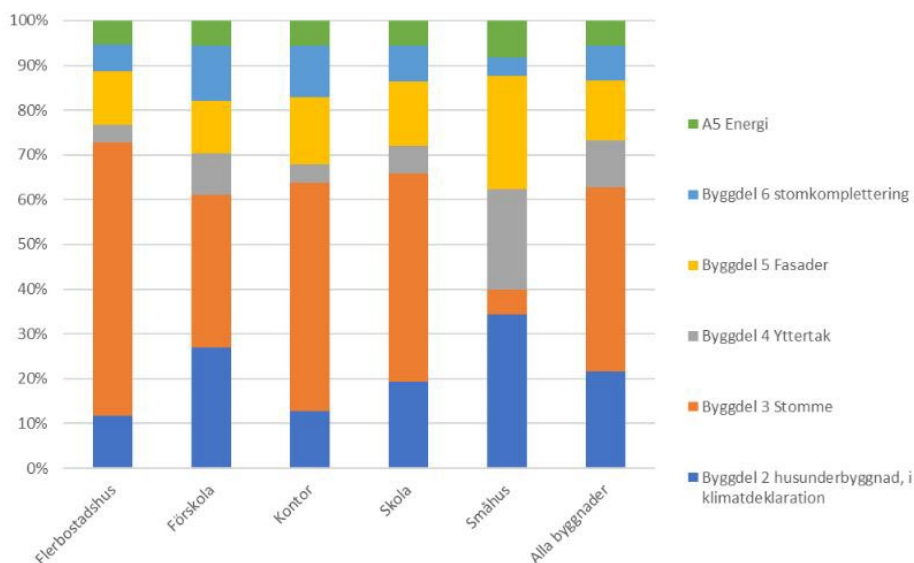
Det är inte ovanligt att regn och snö orsakar merarbete, längre byggtid och ökade kostnader, oavsett konstruktionsmaterial. Det finns därför goda exempel på hur heltäckande väderskydd i stället bidragit till kortare byggtid och lägre kostnader. Men frågan kring användningen och omfattningen av väderskydd ligger nog också mycket i att ställa kostnaden för ett heltäckande väderskydd mot kostnaden för de åtgärder som måste vidtas vid byggnation utan heltäckande väderskydd (Svenskt Trä, 2021).

2.5 Klimatpåverkan

Anledningen till att fuktsäkerheten i en platta på mark av trä undersökts är på grund av den påstådda låga klimatpåverkan som trä har (Svenskt Trä, 2022). Växande trä lagrar, genom fotosyntesen, koldioxid i form av kolföreningar. Den koldioxid som lagrats i ett träd finns kvar under hela trädets livslängd, från att trädet skövlasts och blivit till en träprodukt, tills koldioxiden åter släpps ut till atmosfären när produkten disponerats (Svenskt Trä, 2022). Genom ett hållbart skogsbruk med kontinuerlig återplantering och hänsyn till markens kolförråd, samt långsiktiga produktionsförmåga, kan koldioxiden som frigjorts vid disponering tas upp av växande träd. Skogen kan således, under dessa förutsättningar, fortsättas att avverkas utan att det sker någon nettoförlust av kol över ett

längre tidsperspektiv (Naturvårdsverket, 2021). När träprodukter ersätter mer energikrävande material som betong, stål och plast blir klimatnyttan dubbel eftersom utsläppsintensiva processer kan fasas ut samtidigt som kol binds in i konstruktionen (Naturvårdsverket, 2021).

Gällande omfattningen av klimatpåverkan ifrån en traditionell grundkonstruktion kan det refereras till en rapport från KTH (Malmqvist, et al., 2021), som tagit fram referensvärden för klimatdeklarationer av olika byggnadstyper. I klimatdeklarationen för småhus framkommer det enligt Figur 26 att en grundkonstruktion tillverkad av betong står för ungefär 35 % av småhusens totala klimatpåverkan.



Figur 26 – Medelvärde av klimatpåverkan inom modul A1-A5 för byggdelar i olika byggnadstyper (Malmqvist, et al., 2021).

Gustafsson hävdar i sin rapport (Gustafsson, 2019) att en träbaserad platta på mark har lägre klimatpåverkan gentemot en betongbaserad platta på mark. Enligt rapporten belastar betongplattan klimatet med cirka 50–100 kg CO₂-ekvivalentener/m², jämfört med träplattans belastning på cirka 5–10 kg CO₂-ekvivalentener/m² beroende på metodval för tillverkning av träskivan. I samma rapport hävdar Gustafsson att det vid rätt utformning finns goda möjligheter att producera en platta på mark av KL-trä med lång livslängd. Dock specificerar inte rapporten förväntad livslängd eller vad lång livslängd innebär. Eftersom platta på mark av KL-trä är, vid studiens genomförande, en relativt ny och obeprövad konstruktion har ingen studie genomförts på dess förväntade livslängd gentemot en platta på mark av betong. Dock listar Boverkets klimatdatabas för generiska klimatdata att KL-trä, som material, har en teknisk livslängd på mer än 50 år. Vilket är likställt med Boverkets listade tekniska livslängd för betong och klimatförbättrad betong (Boverket, 2022).

2.5.1 Hållbarhet

Den globalt accelererande befolkningsökningen och en större medelklass globalt leder till en ökad efterfrågan av diverse varor och tjänster, vilket medför att alltmer naturresurser behövs till produktion för att täcka detta behov. Den globala materialanvändningen förväntas att fördubblats till år 2060 om samhället fortsätter att förbruka resurser i samma takt och på samma sätt som idag. Eftersom de flesta råprodukterna är ändliga kan detta leda till resursbrist. Samhällets resursförbrukning är även starkt sammankopplad till rådande klimatförändringar och växande avfallsmängder (Svärd, 2019). Exkluderas avfallet från gruvindustrin står avfallet från byggbranschen för 35 % av allt avfall och 22 % av allt farligt avfall som genereras i Sverige (Boverket, 2021).

För att nå de miljö- och klimatmål som regeringen tagit sig an genom internationella överenskommelser behöver bland annat byggbranschen minska resurs- och materialanvändningen. Genom att material används mer effektivt kan materialets livslängd förlängas, vilket minskar både uttaget av jungfruliga material och deponering av avfall (Regeringen, 2020). Ett sätt att minska resursanvändningen skulle kunna vara att använda prefabricerade lösningar. Prefabricerade lösningar är effektivt ur ett avfallsminimeringsperspektiv, eftersom tillverkningen sker i en kontrollerad miljö som kan optimeras för att minska spill, materialanvändningen och restprodukter. Eventuella spill och restprodukter kan återföras in i huvudtillverkningen eller användas för tillverkning av biprodukter och således minska avfallet. Avfall som inte går att återföras i tillverkningen kan, i en kontrollerad miljö, enklare separeras och disponeras enligt avfallshierarkin (Byggföretagen, 2019). Avfallshierarkin är ett EU-direktiv som reglerar hanteringen av avfall och är antaget i den svenska miljöbalken. Avfallshierarkin består av fem nivåer som beskriver hur avfall ska hanteras och behandlas för att på bästa sätt skydda människors hälsa och miljön. Målet är att klättra högt upp på trappan och, om det är möjligt, att helt undvika att det skapas avfall (Naturskyddsföreningen, 2021). Avfallshierarkins fem steg är:

1. Förebyggande
2. Återanvändning
3. Materialåtervinning
4. Energiåtervinning
5. Deponering

Den vanligaste anledningen till att material eller delar behöver bytas ut i förtid är skador. De vanligaste typerna av skador på byggnader är fuktrelaterade och står bakom ungefär 75 % av åtgärderna. Kostnaden för att åtgärda fuktproblem uppskattas till ca 70 miljarder kronor årligen, dock är mörkertalet troligen stort då inte alla skador anmäls till försäkringsbolagen, speciellt inte om kostanden för skadan understiger självkostnaden. Detta är vanligt för flerbostadshus och i stället åtgärdas felen på fastighetsägarens bekostnad (Boverket, 2018). Material som blivit skadat eller utsatt för fukt behöver bytas ut och detta kan ske långt före dess beräknade livslängd har uppnåtts. Det är således viktigt ur ett hållbarhetsperspektiv och ekonomiskt perspektiv att, genom god fuktsäkerhet, förebygga skador. Fuktrelaterade skador påverkar även människors hälsa

och trivsel i byggnadens innemiljö samt att byggnaders energiförbrukning ökar och att nedbrytningen av material sker fortare (Kumlin & Norberg, 2016).

2.5.2 Livscykelanalys

En livscykelanalys (LCA) är en metod för att redovisa och bedöma miljöpåverkan från en enskild produkt eller process under hela livscykeln, från att råmaterialet utvinns och förädlas till att produkten uppnått sin livslängd och avfallet tas om hand. En LCA för en byggnad visar i vilket skede under livslängden som har störst miljöpåverkan och kan sedan användas för insatser i projekteringen för att minska miljöpåverkan (Boverket, 2019). En byggnads livscykel kan delas in i olika skeden som illustreras i Figur 27.

| | | |
|---|----|--------------------------------|
| A1-5 Byggskede | | |
| A1-3 Produktskede | A1 | Råvaruförsörjning |
| | A2 | Transport |
| | A3 | Tillverkning |
| A4-5 Byggproduktionsskede | A4 | Transport |
| | A5 | Bygg- och installationsprocess |
| B1-7 Användningsskede | B1 | Användning |
| | B2 | Underhåll |
| | B3 | Reparation |
| | B4 | Utbyte |
| | B5 | Ombyggnad |
| | B6 | Driftsenergi |
| | B7 | Driftens vattenanvändning |
| C1-4 Slutskede | C1 | Demontering, rivning |
| | C2 | Transport |
| | C3 | Restproduktsbehandling |
| | C4 | Bortskaffning |
| D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen | | |

Figur 27 - De olika skedena i en byggnads livscykel, enligt den europeiska standarden EN15978 (Boverket, 2019).

2.5.3 Klimatdeklaration

Som tidigare nämnts står byggbranschen för en betydande del av Sveriges utsläpp och ungefär en tredjedel av branschens utsläpp sker vid nyproduktion. Den 1 januari 2022 trädde kraven från Boverket om klimatdeklarationer i kraft för uppförandet av nya byggnader. Syftet med införandet av klimatdeklarationer är att styra branschen mot lägre klimatpåverkan och att bidra till det långsiktiga utsläppsmålet av att Sverige senast år

2045 ska vara klimatneutralt och inte generera några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären (Boverket, 2018).

Avsikten med kraven är således att minska klimatpåverkan vid nybyggnation genom att byggherren redovisar byggnadens klimatpåverkan för modul A1–A5 (Figur 27) med metoder och regler med beaktande av ett livscykelperspektiv. Även om klimatdeklarationen är ett krav och ska registreras hos Boverket innan ett slutbesked av kommunens byggnadsnämnd ges, ställs det vid studiens genomförande inga krav på högst tillåtna klimatpåverkan. Tanken är att öka byggherrarnas kunskap genom att beräkna klimatpåverkan och således göra det lättare att vidta åtgärder i byggprocessen som minskar klimatpåverkan. Deklarationen, utöver kunskapsökningen, synliggör även beräkningen av byggnadens påverkan och förbättrar möjligheten att göra medvetna val för att minska påverkan, genom att välja befintliga mer miljövänliga produkter, metoder och konstruktionslösningar (Boverket, 2021).

Kravet på att klimatdeklarera antas innebära en viss minskning av koldioxidutsläpp från byggsektorn cirka 5–10 år efter införandet genom förändrat beteende hos byggherrarna. Detta på grund av aktiva val av produkter och åtgärder som är mer miljövänliga. I takt med att medvetenhet och kraven ökar kommer även produkttillverkare och arkitekter påverkas. Kravet på att klimatdeklarera förväntas, på sikt, bidra med att klimatutsläppen från byggsektorn minskas med cirka 10–20 % jämfört med nivåerna vid tiden av införandet (Boverket, 2018).

De byggnadsdelar som ska redovisas är bärande konstruktionsdelar, innerväggar och klimatskärm, då dessa delar utgör cirka 80–90 % av klimatpåverkan för modul A1–A3 i byggnadens livscykel (Boverket, 2018). Dock är vissa byggnader exkluderade från deklaraionskravet, dessa är:

- Byggnader med tidsbegränsade bygglov som är avsedda att användas i högst två år.
- Byggnader som inte kräver bygglov enligt 9 kap. 6, 7 eller 9 § PBL.
- Byggnader för industri- eller verkstadsändamål.
- Ekonomibygnader för jordbruk, skogsbruk eller annan liknande näring.
- Byggnader som inte har större bruttoarea än 100 kvadratmeter.
- Byggnader som är avsedda för totalförsvaret och byggnader av betydelse för Sveriges säkerhet.
- Byggnader som byggs av vissa statliga byggherrar.
- Byggnader som byggs av privatpersoner och det inte sker i näringsverksamhet.

3 Metod

I detta kapitel redovisas metoden för studien. Bland annat beskrivs tillvägagångssättet för de delmoment som utförts i en fuktsäkerhetsprojektering samt hur jämförelsen av klimatpåverkan utförts.

3.1 Kvantitativt delmoment av fuktsäkerhetsprojektering

Fuktsäkerheten har undersökts i två utvalda konstruktioner med hjälp av fuktberäkningsprogrammet WUFI 2D. Detta skedde genom vad som skulle kunna likas vid ett kvantitativt delmoment av en fuktsäkerhetsprojektering i form av en parameterstudie. I sammanhanget innebar detta att parametrar varierades för att studera hur det påverkade konstruktionernas fuktillstånd i förhållande till redan befintliga konstruktioner och referensfall.

3.1.1 ByggaF

Under rubrik 2.4.2 har ett urval av fuktsäkerhetsaktiviteter i byggprocessen som omfattas av branschstandarden ByggaF sammanställts. I denna sammanställning nämns bland annat de olika delaktiviteter som en fuktsäkerhetsprojektering kan bestå av. Som tidigare nämnts har det i denna studie dock inte utförts en fullständig fuktsäkerhetsprojektering. I detta fall har det framför allt fokuserats på att kontrollera grundläggningarnas fuktillstånd samt verifiera deras fuktsäkerhet med en begränsad kvantitativ bestämning. Det innebär att grundläggningarna kontrollerats med beräkningar, som i denna studie varit av en relativt detaljerad grad för en specifik del av konstruktionen. Mer specifikt har följande delmoment av en fuktsäkerhetsprojektering utförts:

- Identifierat fuktkänsliga konstruktioner och detaljer.
- Identifierat fuktkällor och fuktbelastningar.
- Uppskattat fuktillstånden som träplattan utsatts för och hur de varierat i tiden.
- Undersökt att uppskattade fuktillstånd legat inom de tillåtna fuktillstånden.
- Valt och utformat konstruktionerna och materialen så att risken för skada eller annan olägenhet minimerats.

3.1.2 Parameterstudie

För att minska antalet beräkningsfall i parameterstudien och kunna ge en utförligare analys användes två ursprungsmodeller som var utformade efter konstruktionsritningar tillhandahållna av befintliga tillverkare. I verkligheten befann sig konstruktionerna i olika orter. För att ge ett mer rättvist resultat vid jämförelsen av de båda konstruktionerna, valdes den av de två orterna som vid simulering framgick som mest ogynnsam ur fuktsynpunkt för båda referensmodellerna. Båda referensmodellerna testades således med samma ”ogynnsamma” förutsättningar. Därefter varierades var parameter för sig. De ingående parametrarna betraktades som oberoende och linjära. På grund av komplexiteten i parameterstudier är detta även den vanligaste strategin (Wallentén, 2018).

3.1.2.1 Klimat

Klimatdata hämtades från Fuktcentrum som utfört en sammanställning av en sammanhängande mätning från SMHI av klimatet i fyra svenska städer under 9-årsperioden 1990–1998 (Fuktcentrum, 2018). Referensorten som ansattes för parameterstudien valdes, som tidigare nämnts, utefter den av de två orterna som konstruktionerna i verkligheten befann sig på som innebar värst förutsättning vid simulering. Simuleringarna beräknades över hela 9-årsperioden då målet var att fuktillståndet i konstruktionerna så småningom skulle uppnå jämvikt med omgivningen, det vill säga att byggfukten torkat ut. Den långa mätperioden utsatte även konstruktionerna för ett varierat klimat som minskade den osäkerhet som repetitiv och kort klimatdata kan medföra.

Referensmodellerna testades för två startdatum under startåret, den första januari och den första juli. Anledningen var att utsätta den inbyggda byggfukten i materialet för olika väder- och temperaturpåfrestningar med varierad relativ fuktighet samt begränsade uttorkningsmöjligheter. Startdatumet, som efter simuleringarna visade sig vara det värsta fallet, användes i de modifierade modellerna. De modifierade modellerna simulerades även i de tre andra orterna i landet för att testa hur konstruktionen står sig mot ett annorlunda eller mer extremt klimat med tanke på rådande klimatförändringar.

3.1.2.2 Material och geometri

I referensmodellerna användes de specifika material som tillverkarna listat i konstruktionsritningar eller specificerats i samtal med respektive tillverkare. För de material som inte fanns med i WUFI:s materialdata modifierades motsvarande material från WUFI:s databas utifrån materialegenskaper angivna i leverantörens produktdatablad. För de olistade materialen i konstruktionsritningarna, där tillverkaren inte vid förfrågan specificerat vilken produkt eller vilket fabrikat som använts, har de generiska materialen i WUFI:s databas använts och ansetts vara tillräckliga för att beräkningarna fortfarande skulle uppnå god trovärdighet och noggrannhet.

Utöver referensfallen har material lagts till, byts ut eller tagits bort för att undersöka inverkan på fuktsäkerheten av de enskilda parametrarna. I parameterstudien undersöktes även ibland inverkan av placering och tjocklek av de befintliga materialen i referensmodellen.

3.1.2.3 Luftväxlings- och värmekälla

I en del av parameterstudien lades det till ventilerade luftspalter vid modifiering av grunderna. Dessa befann sig under KL-träplattan och användes framför allt för pådrivning av uttorkning av byggfukt. I en annan del av parameterstudien simulerades användningen av golvvärme för att undersöka hur en värmekälla ovanifrån, under vinterhalvåret, påverkar konstruktionerna.

3.1.2.4 Höjda och sänkta fukthalter

En annan del av parameterstudien var att justera begynnelsevillkoren genom att höja fukthalten på material i nedre delar av KL-träplattan. Detta för att simulera ett visst

inläckage som uppstått och inte upptäckts före byggnadens slutförande och på så sätt få förståelse för vilka konsekvenser som det här kan bära med sig.

I andra fall justerades begynnelsevillkoren genom att i stället sänka fukthalten i KL-träplattan och resterande byggmaterial. Avsikten med detta är att få en förståelse kring hur stor roll som mängden byggfukt har på fuktsäkerheten.

3.1.3 Beräkningsmodeller och beräkningsmatriser

Under kapitel 4 Beräkningsmodeller presenteras en närmare redovisning och beskrivning av ingående parametrar för referensmodellerna Trägrund 1.0 och 2.0. I kapitlet presenteras även beräkningsmatriser för de två olika typerna av platta på mark av KL-trä, Trägrund 1 och 2. Dessa matriser redovisar värden på parametrar i respektive av de olika beräkningsmodellerna som innefattades i parameterstudien. Materialdata för referensmodellerna Trägrund 1.0 och Trägrund 2.0 redovisas i Bilaga 3 och 4. Grafisk redovisning av resterande modeller finns i Bilaga 1 och 2.

3.1.4 Fuktberäkningar med WUFI 2D

I studien användes fuktberäkningsprogrammet WUFI 2D för att utvärdera fukt- och temperaturförhållanden i grundkonstruktionerna över beräkningsperioden. Programmet hade som syfte att utvärdera både de befintliga konstruktionernas fuktsäkerhet och fuktsäkerheten efter att eventuell förändring av parametrar gjorts. Programmet kunde hjälpa till med att identifiera fukt känsliga detaljer och fuktbelastningar. Fuktsäkerheten kunde sedan fastställas genom att se till att de uppskattade fukttillstånden låg inom de tillåtna områdena. I WUFI 2D kan skador och olägenheter orsakade av till exempel vattenläckage simuleras både för att bedöma konstruktionernas risk för skada och för att föreslå hur dessa olägenheter kan minimeras.

Fuktberäkningsprogrammet bygger på att temperaturtillstånd och fukttillstånd är sammankopplade, precis som transporten av värme och fukt i byggnader och byggnadsdelar är. Det är välkänt att högre fuktnivåer resulterar i högre värmeförluster, samt att olika temperaturtillstånd i byggnadsdelar kan orsaka fukttransporter. Detta samband mellan värme och fukt kallas för hygrotermik (Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP), 2022).

Tidigare metod för att bedöma fukttillståndet i en byggnadsdel har varit den traditionella *Glasermetoden*. Denna metod analyserar diffusionstransporten i en byggnadsdel, dock utan att beakta kapillär fukttransport samt sorptionskurvor för olika material. Detta resulterar i att risken minskar för skador som är orsakade av kondensation. Vidare kan Glasermetoden endast beakta statiska transporter under förenklade statiska gränsvillkor, vilket innebär att den inte kan reproducera individuella kortvariga förhållanden eller beakta nederbörd eller solstrålning. Därför är Glasermetoden ämnad för att ge en mer generell bedömning av den hygrotermiska lämpligheten hos en byggnadskomponent och inte ge en realistisk simulering av temperatur- och fukttillstånd i en byggnadskomponent som är utsatt för klimatet som råder på aktuell plats. Som svar på detta är WUFI-mjukvara baserad på den senaste kunskapen inom ångdiffusion och vätsketransporter i

byggmaterial och därmed utvecklade för att utföra hygrotermiska analyser av en mer avancerad och realistisk nivå (Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP), 2022). Trots att WUFI kan utföra relativt avancerade hygrotermiska analyser är de fortfarande baserade på förenklingar och antaganden, som exempel förekommer det inte någon luftkonvektion eller gravitation och fukttransport antas kunna delas upp i en ånghaltstransport och en vätsketransport, trots att det inte finns några detaljerade vetenskapliga experiment som stöder detta (Wallentén, 2018).

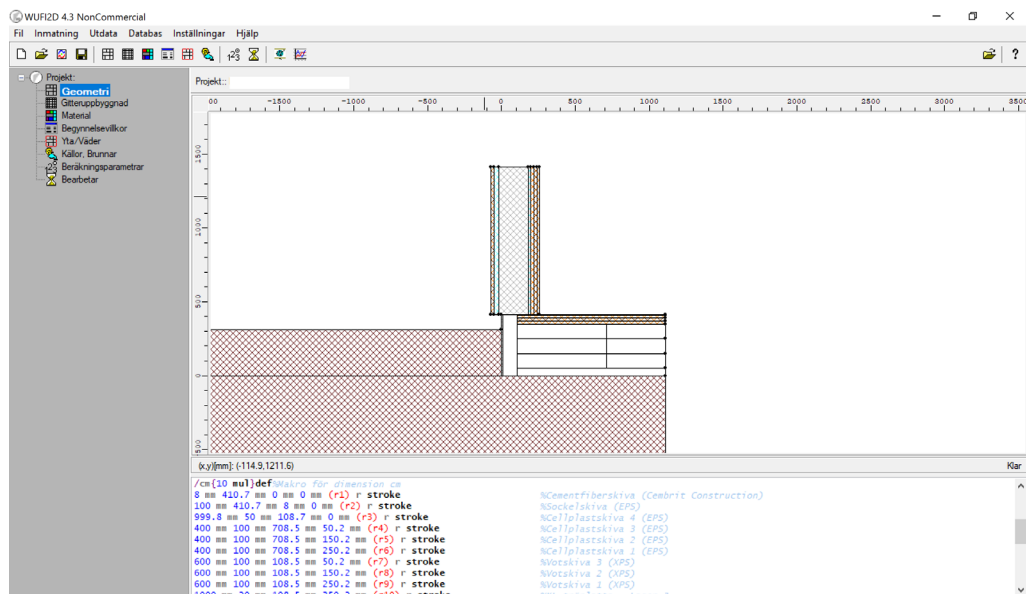
WUFI 2D bygger på matematiska modeller för kopplad värme- och fukttransport, en ekvation för värmetransport och en för fukttransport. Dessa ekvationer löses numeriskt genom att diskretisera i tiden och rummet, med andra ord delas materialet upp i celler, och tiden delas upp i tidssteg. I denna studie delas beräkningsperioderna upp i tidssteget timme. Det finns olika metoder för att lösa de berörda ekvationerna. I WUFI 2D löses ekvationerna genom implicit metod, vilket bland annat innebär att lösningen alltid kommer vara fysikaliskt rimlig. En indirekt nackdel är dock att användaren inte ser om lösningen är korrekt, lösningen kommer alltså alltid vara ”sund” men har fortfarande risken att vara felaktig jämfört med noggrannare beräkning. För att göra beräkningen noggrannare kan den utföras med ett kortare tidssteg för att få en uppfattning om felet i beräkningen. I denna studie har det på grund av beräkningarnas stora tidsåtgång endast utförts beräkning med tidssteg i timmar. En anledning till att beräkningarna tar lång tid är för att ekvationerna för värme- respektive fukttransport måste lösas samtidigt för varje tidssteg. Detta görs iterativt tills skillnaden blir tillräckligt liten mellan iterationerna (Wallentén, 2018).

För många branschaktörer kan mer specifikt WUFI Pro ses som ett standardiserat verktyg vid fuktssäkerhetsprojektering. Denna version är begränsad till att utföra endimensionella analyser, vilket gör den lämplig för att göra en snabbare och enkel utvärdering av ett tvärsnitt på en byggnadsdel. När det kommer till frågor gällande anslutningar mellan byggnadsdelar och tvådimensionella analyser kan dessa besvaras med hjälp av WUFI 2D. En tvådimensionell analys i WUFI 2D är nödvändig då material med olika värme- och fukttegenskaper är inblandade, men framför allt är den nödvändig vid mer komplicerade geometrier som byggnadshörn eller anslutning mellan yttervägg och grund, som är aktuellt i detta fall, samt när mer lokala ”källor och brunnar” av värme och fukt förekommer. Följaktligen är indata för WUFI 2D mer komplex och beräkningstiden avsevärt längre jämfört med WUFI Pro (Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP), 2022).

Programmet ger en möjlighet att studera en stor mängd beräkningsresultat. I denna studie har dock den relativa fuktighetens balans och temperaturen i träplattan varit främst av intresse. Denna data har sedan använts för att redovisa resultatet för varje beräkningsmodell i form av Folos-diagram.

I denna studie nyttjades WUFI 2D till att undersöka två befintliga konstruktioner av platta på mark av KL-trä. Ursprungliga uppbyggnaden av dessa två konstruktioner presenteras under rubrik 4 Beräkningsmodeller. I Figur 28 kan användargränssnittet för WUFI 2D observeras. Figuren visar hur en anslutning mellan yttervägg och grund är illustrerad i ett sektionssnitt. Anslutningen och dessa ingående byggnadsdelar ritas in

med rätt placering och dimensioner för att sedan få respektive materialegenskaper angivna i både x- och y-led.



Figur 28 - Användargränssnitt i WUFI 2D 4 (WUFI 2D 4, 2022).

I programmet ställs även gitteruppbyggnad in som avgör hur många beräkningsceller som kommer finnas i modellen. Ju fler celler desto noggrannare beräkning, men även mer tidskrävande.

Under begynnelsevillkor anges vilka värden av temperatur och fukthalt som de olika materialen antas innehålla före beräkning.

I nästa steg definieras förhållanden, väder och egenskaper för var yta som avgränsar modellen. De ytor som uppstår efter att beräkningsmodellen blivit "kapad" från resterande konstruktion anges som adiabatiska, mer specifikt innebär det att ingen värme- eller fukttransport förekommer över dessa ytor.

I programmet finns en möjlighet att ange källor av värme, fukt och luftväxling. Detta är lämpligt då det exempelvis förekommer någon typ av ventilerad luftspalt i konstruktionen eller vid simulering av ett inläckage av regnvatten eller annan fuktälla.

Före slutgiltig beräkning kan olika typer av parametrar i form av beräkningsperiod, beräkningstyp och andra numeriska parametrar justeras för att passa ens önskemål.

3.1.5 Riskutvärdering

I studien bedöms kritiska fuktillståndet definieras av då det råder risk för mikrobiell påväxt på biologiskt nedbrytbart material, rättare sagt på trä. Mikrobiell påväxt gynnas av högre mängder substrat, i form av damm och smuts, högre relativa fuktigheter samt

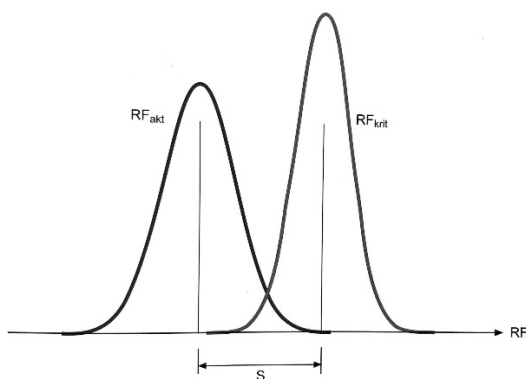
högre temperaturer. Varaktigheten av gynnsamma förhållanden påverkar också den mikrobiella påväxten, ju längre desto bättre.

Utförandet av studien handlade konkret om att beräkna och utvärdera den relativa fuktigheten och temperaturen i den identifierade dimensionerande mätpunkten i grundläggningen. Det beslutades att utvärderingen av risken för mögelpåväxt främst skulle baseras på att undersöka överskridning av aktuell kritisk relativ fuktighet vid viss temperatur. Vid utvärderingen av risken för mögelpåväxt tillfördes en säkerhetsmarginal mot det kritiska fukttillståndet.

3.1.5.1 Högsta tillåtna fukttillstånd

Enligt föreskriften i 6:52 i BBR ska det högsta tillåtna fukttillståndet, ” RF_{OK} ”, bestämmas som ett kritiskt fukttillstånd minskat med en säkerhetsmarginal (Boverket, 2020). Denna marginal ska ta hänsyn till de osäkerheter som kan uppstå i beräkningsmodeller, ingångsparametrar (t.ex. materialegenskaper) eller mätmetoder.

Enligt Nilsson (2015) måste det till detta rimligen också läggas till en säkerhetsmarginal som dels beror på osäkerheten hos det kritiska fukttillståndet, dels till konsekvenserna av att det kritiska fukttillståndet överskrids. Är denna konsekvens liten är det mer lämpligt att en mindre säkerhetsmarginal väljs. Är konsekvens större bör en större säkerhetsmarginal väljas, vilket genom att observera Figur 29 innebär mindre sannolikhet för att RF_{akt} ska blir större än RF_{krit} .



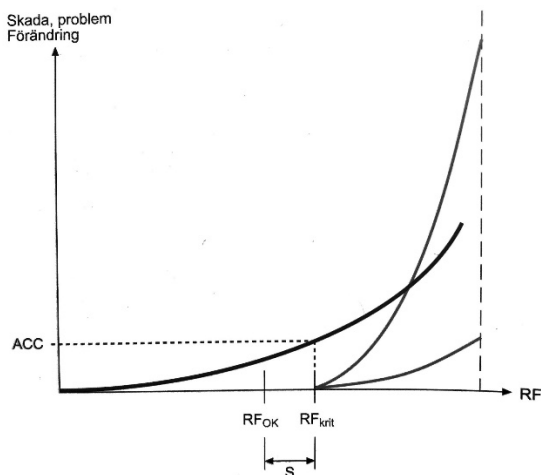
Figur 29 - Problemställning vid fuktsäkerhetsprojektering, där hänsyn tas till osäkerheter i storleken hos både fuktpåverkan och den kritiska gränsen. S står för säkerhetsmarginal (Nilsson, 2015).

Säkerhetsmarginal på 5 procentenheter tillfördes vid utvärderingen av relativa fuktigheten, mer specifikt skulle den relativa fuktigheten understiga den kritiska relativa fuktigheten med minst 5 procentenheter. Detta beror dels på osäkerheter i beräkningsmodellerna i WUFI 2D och bestämning av det kritiska fukttillståndet samt dels på konsekvenserna som orsakas av att det kritiska fukttillståndet överskrids. Åtgärder i grundläggningens mest bärande delar bedöms vara en konsekvens av större grad.

3.1.5.2 Kritiskt fuktillstånd

Ett kritiskt fuktstillstånd, RF_{krit} , är inte bara en gräns uttryckt i relativ fuktighet eller något annat mått på fuktnivån. Denna gräns är också beroende på andra parametrar än fukt. En viktig sådan parameter är varaktigheten av den höga fuktbelastningen. En annan viktig parameter är temperaturen. Detta innebär till exempel att risken för mögelpåväxt på trä, vid samma relativa fuktighet, är mycket mindre vid en låg temperatur och vid en kortvarig uppfuktning. Ibland är även fuktfördelningen avgörande och inte bara fuktnivån i en enstaka punkt, detta till exempel vid formändringar vid uttorkning och uppfuktning (Nilsson, 2015).

Ett ”äkta” kritiskt fuktillstånd är en tydlig gräns mellan när ett material inte förändras alls av en fuktbelastning och när sådan förändring uppstår. Exempel på förändring där sådant kritiskt fuktillstånd kan definieras är mikrobiell påväxt, men det gäller även förändringar som frostsador och korrosion. I flera fall finns det inte en tydlig gräns där förändringar på fukt börjar ske. Exempel på dessa gradvisa förändringar är fuktrörelser och ändring av termiska och andra materialegenskaper. I de fallen måste en viss nivå av förändring alltid accepteras och den kritiska nivån definieras utifrån hur stor förändring som är acceptabel (Nilsson, 2015), se Figur 30. Vid utvärdering av beräkningsmodellerna i denna studie kommer det läggas viss beaktning av detta, speciellt i perioder när material torkat ut efter höga fuktbelastningar som varat under längre tid.

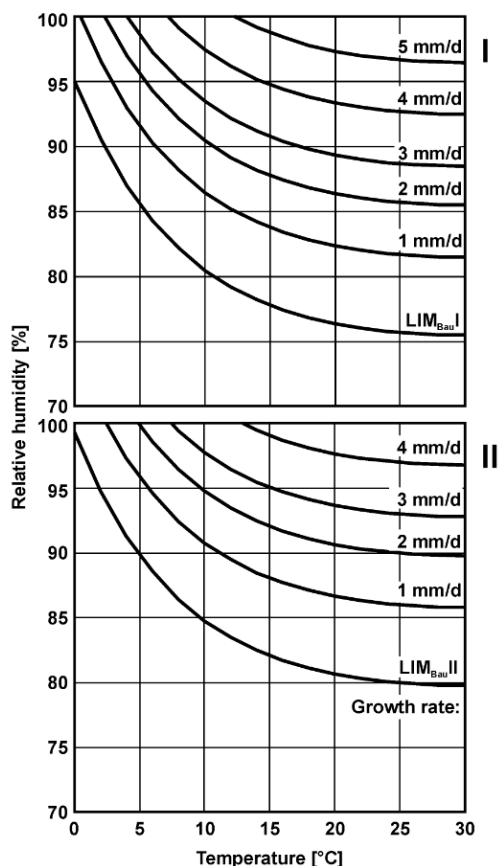


Figur 30 - Definitionen av kritiskt (RF_{OK}) och högsta tillåtna fuktillstånd (RF_{krit}), med en säkerhetsmarginal S däremellan (Nilsson, 2015).

Dessa ”äkta” kritiska fuktillstånd är inte alltid väl undersökta och dokumenterade, men med den data som finns att hämta vid studiens genomförande, kan det sägas att kritisk relativ fuktighet med avseende på mikrobiell påväxt för trä och träbaserade material är vid 75–80 % (Johansson, 2014), (SP, 2005). Samma kritiska relativa fuktighet gäller även med avseende på avsevärd svällning och krympning på trä och träbaserade material (Pettersson, 2001). Detta värde får dock anses gälla vid långvarig fuktbelastning och rumstemperatur, då det sen tidigare forskning är känt att både fuktbelastningen, varaktighet och temperatur annars har inverkan på värdet. Kritiskt fuktillstånd då

träbaserade material riskerar röttsvampangrepp och förändrade mekaniska egenskaper är då materialet har en fuktkvot på 25–30 % (Nilsson, 2006), med andra ord då det i princip är helt mättat (närmare 100 % relativ fuktighet).

Den mögelmodell som bedömdes vara lämplig att använda i denna studie är en generell isoplethmodell för mögelpåväxt enligt Sedlbauer (2001). Mer specifikt handlar det om mögelpåväxt för substratkategori I, biologiskt nedbrytbara substrat. Påbörjan till tillväxt är enligt kurvan "LIM_{Bau,I}" i övre diagrammet i Figur 31. Den anger kritiskt fuktillstånd beroende på vilken temperatur som råder.



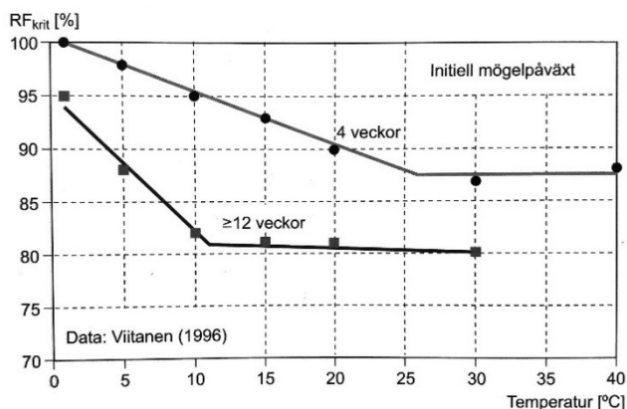
Figur 31 - Generaliserad isoplethmodell för all typ av mögelpåväxt i byggnader för substratkategorier I, biologiskt nedbrytbara substrat (ovan) och II, substrat med porös struktur (nedan) (Sedlbauer, 2001).

3.1.5.3 Varaktighet hos fuktbelastningen

Som tidigare nämnts, har varaktigheten hos fuktbelastningen en stor betydelse för fuktproblem. I flera fall är en hög fuktbelastning kortvarig och denna utlöser då inte de konsekvenser som en långvarig fuktbelastning gör. För mikrobiell påväxt på träbaserade material kan detta redovisas enligt Figur 32. Detta diagram är baserat på data från Viitanen (1996). I och med att diagrammet saknar data för kortare varaktigheter än fyra veckors fuktbelastning saknas exempelvis uppgifter om hur länge en träyta kan vara våt

efter att ha utsatts för regn under byggtiden, utan att mikrobiell påväxt uppstår. Om det då skulle krävas att träytors kritiska fuktillstånd alltid ska vara lägre än 100 % relativ fuktighet, det vill säga även vid extremt kortvarig fuktbelastning som från ett regn, ställer det krav på en obruten kedja av väderskydd från torkning på fabrik till färdig byggnad.

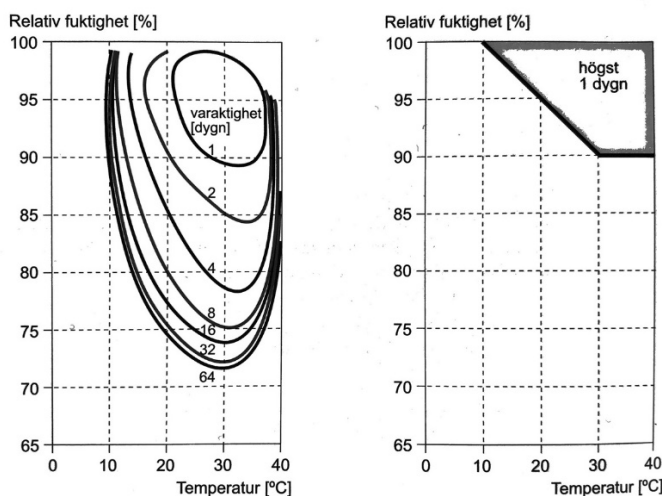
Ett träbaserat material som är ”fritt” borde få kunna utsättas för kortvarig regnbelastning om alla dess ytor omedelbart därefter får möjlighet att torka ut. Om sådana material dock monteras, och en del av dess ytor därmed står i kontakt med andra ytor, inte minst om materialet kort därefter blir ”inkapslat”, kan inte ens en kortvarig regnbelastning accepteras eftersom uttorkning av sådana kontaktytor sker långsamt och därför riskerar att mikrobiell påväxt uppstår (Olsson, 2011). Ett exempel på detta är en KL-träplatta som monterats i grundläggning kort efter regnbelastning.



Figur 32 - Kritiskt fuktillstånd för mögelpåväxt på trä vid olika temperaturnivåer och varaktigheter hos fuktbelastningen (Nilsson, 2015).

Kunskapen som åskådliggörs i Figur 32 kan dock utnyttjas för alternativ strategi under byggtiden. Enligt kunskapen kan virkesytor utsättas för kontakt med fuktig utomhusluft dels om det samtidigt är kallt, dels om varaktigheten är begränsad (Nilsson, 2015). Exempelvis om varaktigheten är kortare än fyra veckor vid 95 % relativ fuktighet och temperaturen högst +10 °C. När varaktigheterna blir kortare än fyra veckor skulle andra, men inte lika ”väl undersökta och dokumenterade”, litteraturuppgifter kunna användas. För att kunna acceptera att virkesytor kortvarigt utsätts för fritt vatten från regn, som kan torka bort så gott som omedelbart, eller för fuktigt uteklimat, kan diagrammen i Figur 33 användas. Högra diagrammet är baserat på Nilsson (2009) och det vänstra på Smith & Hill (1982).

Trots att det fanns en möjlighet att närmare undersöka varaktigheten hos fuktbelastningarna i resultaten från de olika beräkningsmodellerna bedömdes det vara för tidskrävande att gå in på närmare detaljer. För att erhålla en någorlunda strikt gräns som är på den säkra sidan sattes målet att kritiskt relativ fuktighet aldrig skulle överskridas för att en konstruktion skulle bedömas som fuktsäker.



Figur 33 - Möjlig formulering av högsta tillåtna fuktillstånd hos virkesytor under byggtiden, med hänsyn taget till temperatur och kort varaktighet hos fuktbelastningen (Nilsson, 2015).

3.1.5.4 Folos-diagram

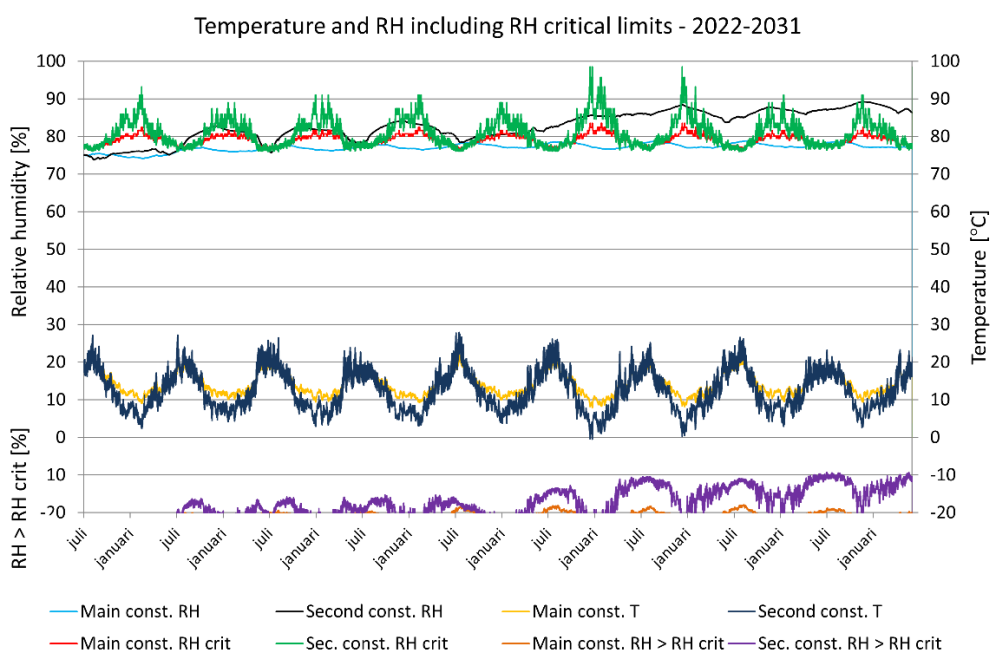
Som hjälpmedel för att kunna utvärdera risken för mögelpåväxt i beräkningsmodellerna bearbetades resultatet av simuleringarna i ett Folos-diagram. Folos-diagrammet är framtaget av Mundt-Petersen (2012) och ger en tydlig överblick av när den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten över tiden beroende på omgivande temperatur. Verktøyet ger möjlighet att hantera olika gränsvärden. I denna studie har ”LIM_{Bau}I”-kurvan av Sedlbauer (2001) använts som mögelmodell i Folos-diagrammen. Diagrammet har tidigare använts vid jämförelse mellan mätningar av blinda beräkningar (Mundt Petersen, et al., 2012).

För att mögel ska kunna växa och angripa en konstruktionsdel behöver, som tidigare nämnts, den relativa fuktigheten i konstruktionsdelen vara högre än materialets kritiska relativa fuktighet under en tillräckligt lång period i kombination med inverkan av omgivande temperatur. Det är således av intresse att kunna urskilja om när och hur länge en period i simuleringen den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten med hänsyn till temperaturen (Mundt Petersen, et al., 2012).

Vid beräkning av den relativa fuktigheten och den kritiska relativa fuktigheten tar Folos-diagrammet hänsyn till temperaturen i konstruktionsdelen för varje tidssteg. Den kritiska relativa fuktigheten är således inte statiskt bestämt till ett värde utan, likt den relativa fuktigheten, varierar med temperaturen. Utöver Folos-diagrammet och WUFI:s egna inbyggda resultatdiagram finns det en mängd kompletterande program och verktyg som redovisar fukt och risk för mögelpåväxt (Mundt Petersen, et al., 2012).

Folos-diagrammet gav även möjligheten att direkt jämföra risken för mögelpåväxt mellan de modifierade konstruktionerna och referensmodellerna. Genom att applicera den modifierade konstruktionens data i samma Folos-diagram som referensmodellen kunde resultatet och jämförelsen avläsas i ett och samma diagram, ett exempel

presenteras i Figur 34. ”Main const. RH” motsvarar den relativa fuktigheten som verkar i den angivna mätpunkten i en modell, medan ”Second const. RH” motsvarar det samma fast i en modell modifierad på annat vis. ”Main const. T” och ”Second const. T” motsvarar respektives temperatur i samma mätpunkt. För den ena och den andra modellen skapas en graf av den kritiska relativa fuktigheten, ”Main const. RH crit” och ”Sec. const. RH crit”, som är beroende av temperaturen som verkar i respektive konstruktion. Den slutliga bedömningen kan baseras på graferna ”Main const. RH > RH crit” och ”Sec. const. RH > RH crit”. Dessa grafer anger med hur många procentenheter som den relativa fuktigheten överskrider den då rådande kritiska relativa fuktigheten för respektive beräkningsmodell. I fallet nedan överstiger båda modeller kritisk relativ fuktighet vid flera tillfällen. Den modifierade konstruktionen har dock avsevärt längre och högre överskridningar.



Figur 34 - Exempel på resultat i ett Folos-diagram av en konstruktion i två olika klimat.

3.1.6 Studiebesök vid stomresning

Under studiens gång utfördes ett studiebesök vid stomresning av Trägrund 1. Under besöket utfördes fuktmätningar på KL-träplattan i grundläggningar som precis monterats för att få en indikation över vilken fuktkvot som KL-träplattorna kan befinna sig i vid uppbyggnad. Besöket bidrog även med en bättre inblick i både arbetsmomentens betydelse och konstruktionens olika delars betydelse för fuktsäkerheten.

Plats: Laholm, Halland, Sverige.

Tid: 2022-03-23, kl. 10:00-13:00.

Utomhustemperatur: +8 °C

Fuktmätare: BES Bollman H-DI 3.10 (resistansfuktkvotsmätare)

Stomresningen skulle vid besöket bestå av utplacering av prefabricerade moduler av platta på mark. I detta fall var grundläggningen avsedd för radhus. Modulerna stod staplade på varandra utomhus under emballage i två månader innan stomresning, se Figur 35 (med emballage borttagen).



Figur 35 - Moduler av Trägrund 1 staplade (med emballage borttagen) inför montage.

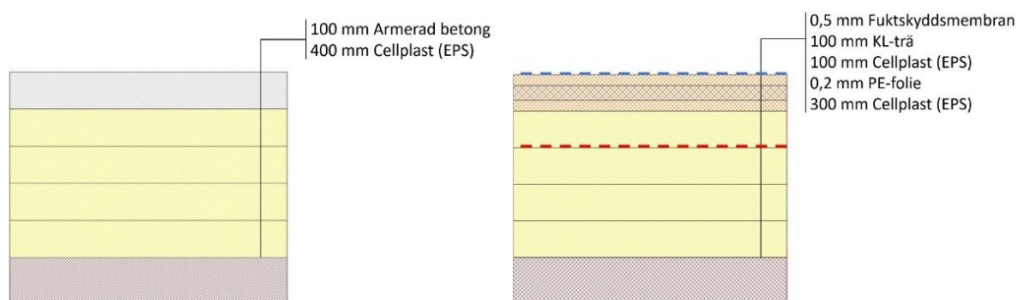
Strax efter att modulerna placerades ut utfördes det fuktkvotmätningar i KL-träplattorna båda ovanifrån och från sidorna på flera ställen. Fuktmätningar utfördes med resistansfuktkvotsmätare med isolerade hammarelektroder, se Figur 36. Fuktmätaren ställdes bland annat in efter virkets temperatur, som uppskattades till 0 °C (då 20 °C var nästa steg). Den ställdes även in för att mäta i furu/gran som träslag, som visas som inställning ”3” på fuktmätaren. Efter fuktmätningar tätades hål, orsakade av perforering med elektroderna, med åldersbeständig tejp och därefter kunde sockelelement monteras.



Figur 36 - Mätning av yfuktkvot med resistansfuktkvotsmätare.

3.2 Jämförelse av klimatpåverkan

Huvudargument som legat till grund för att utveckla en träbaserad platta på mark har varit att dess klimatpåverkan påstås vara lägre i jämförelse med en platta på mark av betong (Gustafsson, 2019). För att undersöka skillnaden i klimatpåverkan jämfördes klimatpåverkan för en platta på mark av KL-trä gentemot en platta på mark av betong, samt klimatförbättrad betong. Betonggrunden utformades efter en traditionell platta på mark och KL-trägrunden utformades efter Trägrund 2. Grundisoleringen ansattes till 400 mm på båda konstruktioner för att isoleringstjockleken inte skulle inverka på jämförelsen mellan konstruktionerna. Konstruktionerna illustreras i Figur 37.



Figur 37 - Grundkonstruktion av betong (vänster) och av KL-trä (höger) (WUFI 2D 4, 2022).

Jämförelse av klimatpåverkan utfördes för modulerna A1–A5 med enklare handberäkningar av generiska data från Boverkets klimatdatabas (Boverket, 2022). Data för modul A1–A3 samt A5 i Boverkets klimatdatabas är konservativt värderade. Detta innebär att generiska klimatdata för modul A1–A3, byggprodukters klimatpåverkan, från Boverket har cirka 25 % högre klimatpåverkan än genomsnittliga klimatdata. För modul A5, byggspills klimatpåverkan, innebär det ett påslag av 5 % för eventuellt byggspill. Syftet med påslagen är att uppmuntra framtagandet och användning av specifika klimatdata (Boverket, 2022). Modul A4, transporters klimatpåverkan, baseras på genomsnittliga transporter för respektive byggmaterial som oftast utförs med lastbil driven med svensk reduktionsdieselmix (Boverket, 2022). Enligt Boverkets digitala handbok för klimatdeklarationer som behandlar riktlinjer och föreskrifter beräknas klimatpåverkan till kg CO₂-ekvivalentener/m² (Boverket, 2022). I handboken föreskrivs det att beräkning av klimatpåverkan ska utföras per kvadratmeter bruttoarea (BTA), dock utfördes jämförelsen i detta fall för ett sektionssnitt i mitten av grundplattan för en kvadratmeter. Kantelement eller andra typer av kantförstärkningar har således inte tagits med i beräkningen.

Eftersom produktspecifika klimatdata inte fanns att tillgå för samtliga material i konstruktionerna, samt för att jämförelserna inte skulle bli färgade av specifika produktval, användes klimatdata från Boverkets klimatdatabas. Detta innebar att enstaka material i grunderna förenklades till generella material med likartade egenskaper och funktioner som fanns att tillgå i klimatdatabasen. Exempelvis ersattes fuktskyddsmembranet i KL-trägrunden med en variabel ångspärr, precis som den tolkats i den del av studien som behandlar fuktsäkerhet. Betongkvaliteten valdes till hållfasthetsklassen C30/37 för både den konventionella betongen och den

klimatförbättrade betongen. Hållfasthetsklassen valdes utefter exponeringsklass som ansattes till XC3 (grundläggning ovan grundvattenyta och ovan frostfritt djup) (Thomas Betong AB, 2022), vilket innebar hållfasthetsklassen C30/37 (Thomas Betong AB, 2022). Andelen armeringsstål i betongkonstruktionen ansattes till 80 kg per kubikmeter betong, som förväntas vid grundkonstruktion för ett vanligt hus (Cementa AB, 2017).

Klimatpåverkan för modulerna A1–A5 angavs i enheten kg CO₂e/kg för de enskilda materialen i klimatdatabasen. Exempel på klimatdata som hämtades från Boverket visas i Figur 38. Klimatpåverkan summerades ihop till ett sammanlagt värde i kg CO₂e/kg för vart enskilt material i modulerna A1–A5 och multiplicerades därefter med vikten för varje enskilt material som förekommer i en kvadratmeter grund för att få fram klimatpåverkan i kg CO₂e av de enskilda materialen per kvadratmeter. För att få fram vikten av de enskilda materialen i en kvadratmeter grund multiplicerades den specifika omräkningsfaktorn som angavs för materialet i klimatdatabasen med materialets volym i snittet. De enskilda materialens klimatpåverkan summerades därefter ihop till en total klimatpåverkan per kvadratmeter för grunderna och jämfördes med varandra.

Version 02.02.000, 2022-01-13

Korslimmat trä, u 12 %, barrträ

Klimatindikatorer för beräkning i klimatdeklaration

A1-A3 byggproduktens klimatpåverkan GWP-GHG, konservativt värde

0.12 kg CO₂e/kg

A4 transporters klimatpåverkan GWP-GHG

0.0345 kg CO₂e/kg

A5 byggspills klimatpåverkan GWP-GHG, konservativt värde

0.00773 kg CO₂e/kg

Övrig data

A1-A3 byggproduktens klimatpåverkan GWP-GHG, typiskt värde

Ej för beräkning i klimatdeklaration

0.096 kg CO₂e/kg

A1-A3 faktor för konservativa värden

1.25

A5 faktor för byggspill

1.05

Teknisk livslängd

>50 år

Omräkningsfaktor

465.0 kg/m³

Figur 38 - Generiska data för korslimmat trä (Boverket, 2022).

4 Beräkningsmodeller

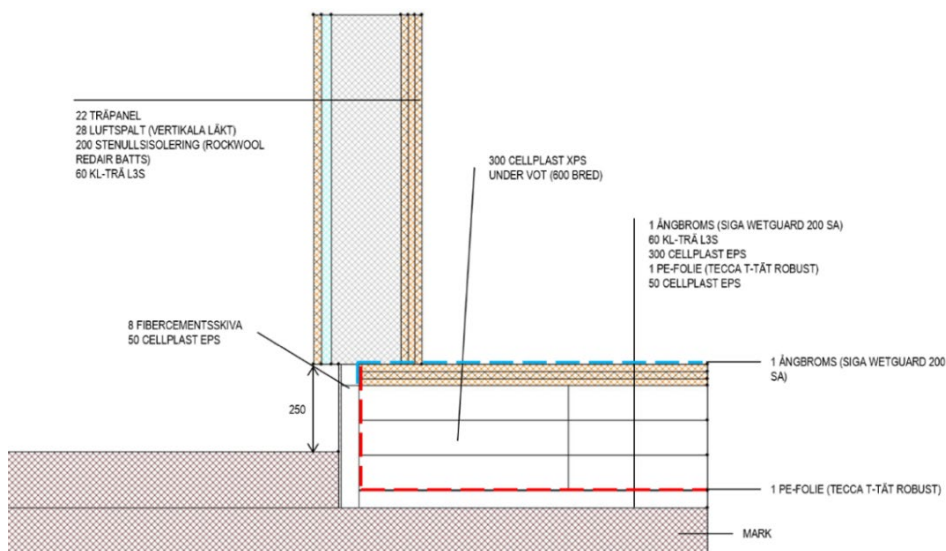
I detta kapitel presenteras de ursprungliga beräkningsmodellerna, även nämnda referensmodeller, av de två befintliga konstruktionslösningar av platta på mark av KL-trä som undersökts och hur de konstruerats i fuktberäkningsprogrammet. Beräkningsmodellerna som simulerats i WUFI 2D illustrerar en anslutning mellan yttervägg och grundläggning. Kapitlet innehåller även vissa typer av resultat från studien som krävs för att kunna fastställa samtliga parametrar i referensmodellerna, exempelvis vilken mätpunkt som skulle användas i samtliga beräkningsmodeller. Slutligen presenteras även beräkningsmatriser för de två olika konstruktionstyperna.

4.1 Geometri

Valet av konstruktioner eller ”geometrier” som skulle undersökas baserades huvudsakligen på villkoret av att konstruktionerna skulle finnas i verkligheten. Trots att konstruktionerna är två av endast några få av liknande typ varierar de bland annat när det kommer till användning av kantförstyvning och mängden värmeisolering. För varje konstruktion och beräkningsmodell ritades respektive geometriska modell ut. Geometrin ritades utefter de ritningar som tillhandahållits av respektive tillverkare.

4.1.1 Trägrund 1

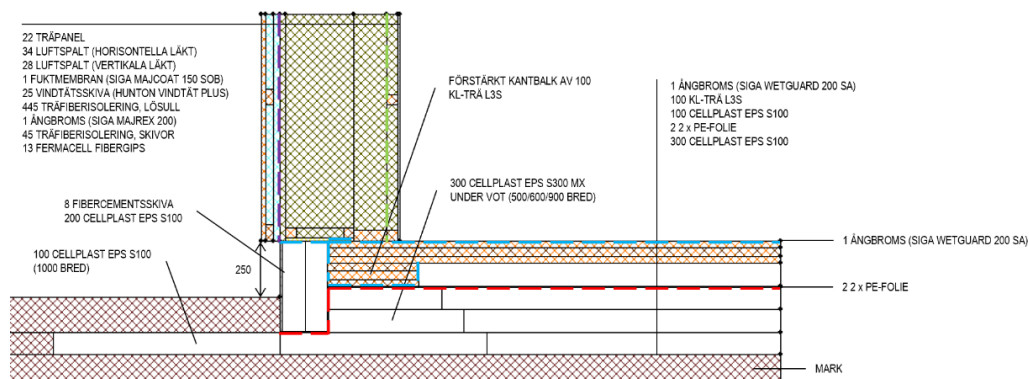
Första konstruktionen som undersökts illustreras i Figur 39. Konstruktionen påminner mycket om en traditionell platta på mark. Som tidigare poängterats handlar det huvudsakligen om att byta ut betongplattan mot en träplatta, i detta fall en KL-träplatta med en tjocklek på 60 mm. Jämfört med en traditionell platta på mark av betong finns det i detta fall ingen kantförstyvning i form av en kantbalk, som i traditionella fall ofta annars förekommer. Här används i stället cellplast (XPS) med en större bärförmåga. Marknivån var i detta fall 250 mm från ovanliggande fasad.



Figur 39 - Beräkningsmodell av Trägrund 1 (WUFI 2D 4, 2022).

4.1.2 Trägrund 2

Den andra konstruktionen är av en mer avancerad grad, se Figur 40. Till skillnad mot den första konstruktionen har konstruktionen en kantbalk av KL-trä, kombinerat med cellplast med högre bärlighetsförmåga undertill. KL-träplattan är 100 mm tjock och kantbalken likaså. Detta innebär att KL-träplattan längst ut har en summerad tjocklek av 200 mm. I detta fall förekommer det mer sockelisolerings, rättare sagt 200 mm, vilket kan jämföras med den första konstruktionens 50 mm. I detta fall låg marknivån även 250 mm från ovanliggande fasad, detta för att ha samma förutsättningar vid jämförelse mellan Trägrund 1 och 2.



Figur 40 - Beräkningsmodell av Trägrund 2 (WUFI 2D 4, 2022).

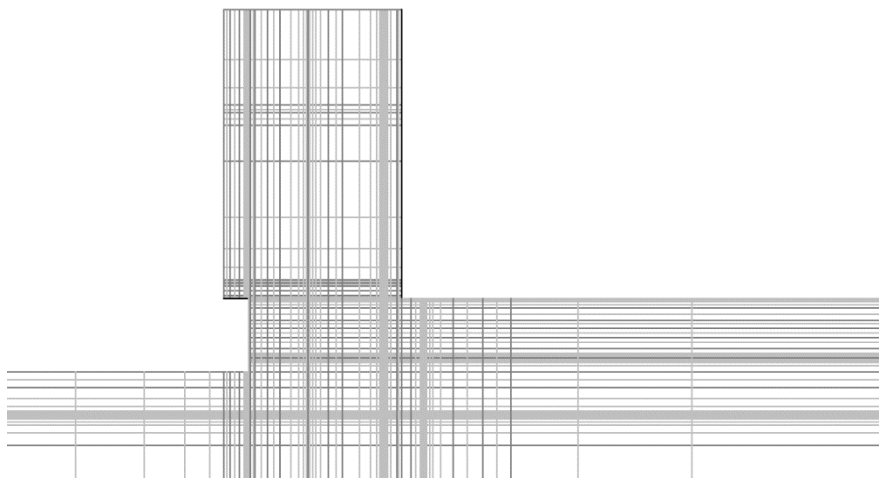
4.1.3 Mark

Vanligtvis brukar beräkningar av denna typ inte ha något markmaterial under konstruktionen utan i stället räknas det med en relativ fuktighet om 100 % under lägst belägna isoleringsskiktet och en bit upp på utsidan av sockelelementet. För att mer försöka efterlikna verkligheten och få en ökad noggrannhet har även markskikt, både under och bredvid byggnaden, modellerats i beräkningen. På detta vis kan bland annat den nederbörd som förekommer på markytan vid sidan om grundläggningen, som sedan transporteras ned i marken, beaktas. Förutom att få en verkligare modell med markens varierande fukttinnehåll beaktas även den värmekapacitet som marken bidrar med.

I och med beräkningsmodellernas uppbyggnad har konstruktionerna därför placerats direkt på marken. I dessa modeller förekommer alltså ingen typ av dränerande skikt. I båda beräkningsmodeller användes samma typ av mark med samma tjocklekar både ned i marken och åt sidan, mer specifikt fortsatte markskikten 5 meter ned från undersidan av konstruktionen och 5 meter åt sidan från sockelytan av konstruktionen. Anledningen till att markskikten är så tjocka i förhållande till resterande delar av modellen är för att så mycket som möjligt imitera markens verkliga värmekapacitet och fukttinnehåll. Resultat och analys av markförhållanden under beräkningsperioden kan tas del av i Bilaga 5.

4.2 Gitteruppbyggnad

Gitteruppbyggnaden påverkar antalet beräkningsceller och fördelningen utav dessa i beräkningsmodellerna, därför även beräkningens tidsåtgång. Målet vid gitteruppbyggnaden var att uppnå tillräckligt små och även relativt jämnt fördelade gitter, speciellt i områdena där fukttillstånd skulle mätas, i både Trägrund 1 och Trägrund 2. För att få många och relativt jämnt fördelade gitter användes en ”Fin” fördelning i både x- och y-led. En ”Medium” och ”Grov” fördelning testas inte på grund av tidsåtgång. Ett exempel på gitteruppbyggnad visas i Figur 41.



Figur 41 - Gitteruppbyggnad i Trägrund 2 (WUFI 2D 4, 2022).

4.2.1 Trägrund 1

Trägrund 1 resulterade i 70 celler i x-led och 70 celler i y-led, alltså 70 x 70 celler totalt.

4.2.2 Trägrund 2

Trägrund 2 var av en lite mer komplicerad karaktär med både fler och tjockare materialskikt jämfört med Trägrund 1, därför resulterade det i det fallet med 80 x 80 celler.

4.3 Material

Som tidigare nämnts har det i referensmodellerna använts specifika material som listats i tillverkarens konstruktionsritningar eller specificerats vid samtal med tillverkaren. För de material som inte fanns med i WUFI:s materialdatabas modifierades befintligt och motsvarande material från WUFI:s materialdatabas utifrån fabrikatörens produktdatablad för att bedömningen skulle bli så nära verkligheten som möjligt. För de olistade materialen i konstruktionsritningarna, där tillverkaren inte vid förfrågan specificerat vilken produkt eller fabrikat som använts, har de generiska materialen i WUFI:s databas använts som ansetts ge mest noggranna beräkningar. Data för de specifika material som använts i referensmodellerna anges i Bilaga 3 och 4.

4.3.1 KL-träplattor

I beräkningsmodellerna konstruerades KL-träplattorna genom att dela upp dem i respektive skikt av trä. Varje skikt hade sedan olika materialegenskaper i x- och y-riktning beroende på vilket håll som skikten låg i. Till exempel kunde det i x-led av övre skiktet varit att träet låg i longitudinell riktning och i undre skiktet att det låg i tangentiell riktning. På så vis antogs det att beräkningarna skulle bli noggrannare, dock beaktades det samtidigt inte för några limskikt mellan träskikten i KL-träplattorna.

4.3.2 Luftspalter

Vid val av material till luftspalter i WUFI 2D fanns det under ”allmänna material” i materialdatabasen en möjlighet att välja material som skulle efterlikna luftspalter av olika bredd. I de fall där dessa luftspalter var uppdelade i flera skikt i beräkningsmodellens geometri sågs det till att välja ett material av luftspalt med den summerade bredden av de intilliggande skikten av luftspalter. Var luftspalten exempelvis fördelad i två geometriska skikt om 25 respektive 35 mm valdes det i båda skikt ett material av luftspalt på 60 mm. För lättare förståelse kan denna typ av fördelning observeras bakom fasadpanelen i tidigare Figur 40.

Enligt Wallentén (2018) bör luftspalterna delas upp med två olika typer av material för luftspalter. En typ inkluderar utökad fuktkapacitet och används företrädesvis i kontakt med ytorna, med några enstaka millimeters bredd. Den andra typen med vanlig (låg) fuktkapacitet, bör läggas i mitten av luftspalterna och inkludera luftflöden samt fukt- och värmekällor. I denna studie valdes det, främst för att spara tid i beräkningarna, att endast använda den andra typen med vanlig fuktkapacitet i hela luftspalten. I och med att luftspalter i majoriteten av fallen förekom i ytterväggen, antogs det att förenklingen inte skulle innebära en allt för stor inverkan på förhållandena i grundläggningen.

4.3.3 Mark

Materialet i markskikten har varit det samma i samtliga beräkningsmodeller. Jordmaterialet som valts kan hittas under ”allmänna material” i WUFI:s materialdatabas. WUFI:s ena förslag på generiska jordmaterial är mark som efterliknar lera eller silt. Detta material har dock ingen definierad fuktlagringsfunktion, därför är användningen av detta material inte lämplig då marken är i kontakt med flödande eller stående vatten. Det innebär vidare att ingen vattentransport i vätskefas kan simuleras med detta material, vilket leder till att detta materialval inte blev aktuellt. Det andra generiska jordmaterialet är mark som efterliknar sand och grus. I detta fall har materialet dock en definierad fuktlagringsfunktion och definierade transportkoefficienter för vatten i vätskefas. Detta gör materialet lämpligt för att simulera fuktbelastning på grund av stående eller flödande vatten, vilket leder till att detta material används till markskikten i samtliga beräkningsmodeller. Resultat och analys av markförhållanden under beräkningsperioden kan tas del av i Bilaga 5.

4.4 Begynnelsevillkor

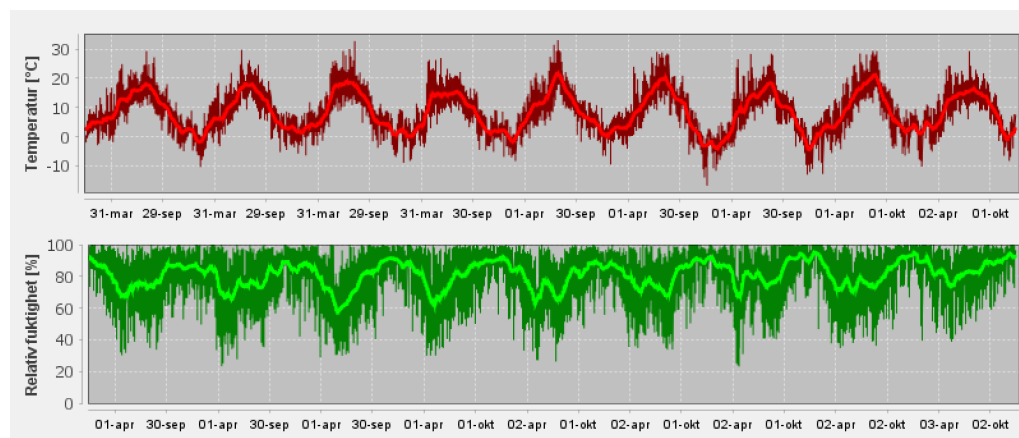
Inför beräkning av respektive beräkningsmodell angavs begynnelsevillkor i form av de fuktillstånd som varje material skulle befinna sig i vid starten av beräkningsperioderna. WUFI 2D har som standard att samtliga material från början har en temperatur på 20 °C och en relativ fuktighet på 80 %. Samtliga material förutom träreglar, KL-trä och mark fick behålla dessa begynnelsevillkor. Träreglar och KL-trä justerades till att ha en lägre relativ fuktighet på 75 %, detta motsvarar en fuktkvot på cirka 16 %, som tidigare nämnts vara den högsta fuktkvoten som KL-trätillverkare får ha vid leverans (Svenskt Trä, 2017). Gällande markmaterialet ansattes vid start en relativ fuktighet på 98 %.

4.5 Ytförhållanden

I denna del beskrivs valet av de olika egenskaper som specificeras för varje yta av beräkningsmodellerna.

4.5.1 Utomhusklimat

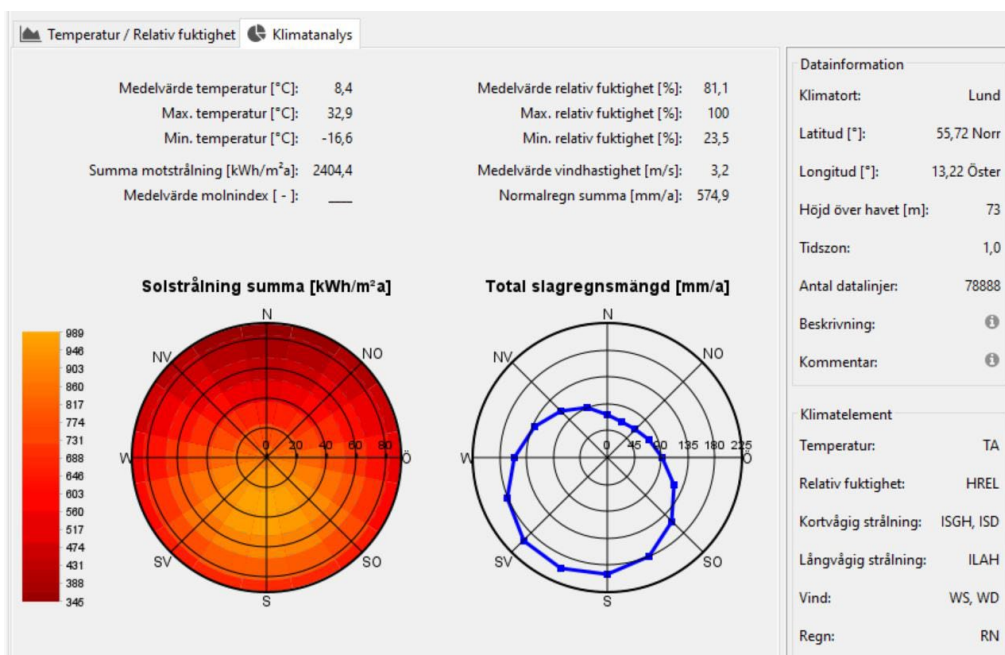
De två befintliga konstruktionerna som skulle undersökas i parameterstudien befann sig i två olika orter och klimat. För att kunna göra en mer rättvis bedömning och jämförelse mellan de två konstruktionerna valdes det först att testa hur konstruktionerna klarade sig i respektive av de två aktuella orterna, Lund och Borlänge. Den orten som visade sig vara den mest krävande för de två konstruktionerna valdes som referensort. Hypotesen inför denna jämförelse var att den ort som befann sig allra längst söderut skulle visa sig vara dimensionerade ur fuktsynpunkt, detta stämde väl överens med resultaten och vald referensort blev därmed Lund. Hur resultaten såg ut för dessa beräkningar presenteras under 5 Resultat och analys. Utomhusklimatet i Lund under 9-årsperioden 1990–1998 (Fuktcentrum, 2018) redovisas i Figur 42. För referensmodellerna angavs detta som verkande klimat för samtliga ytor utomhus.



Figur 42 - Temperatur och relativ fuktighet i Lund under åren 1990–1998 (WUFI 2D 4 , 2022).

4.5.2 Orientering, lutning och höjd

I WUFI 2D fanns möjligheten att utföra en snabb klimatanalys av de 9-åriga klimatdatafilerna för orterna, som tidigare nämnts, hämtades från Fuktcentrum. Klimatanalyserna angav för varje ort hur mycket solinstrålning och mängd slagregn som varje väderstreck utsattes för. Vanligtvis skulle det vara lämpligt att utföra en simulering för det fallet där solstrålningen är som minst och en simulering där mängden slagregn är som högst, för att avgöra i vilken riktning som konstruktionen utsätts för tuffast påverkan. Det valdes dock att göra en sammanvägd bedömning av vilken riktning som utsattes för störst andel slagregn och minst andel solinstrålning, med störst tyngd på störst andel slagregn, för att antalet simuleringar inte skulle bli allt för överväldigande. Denna bedömning låg till grund för valet av orienteringen i simuleringarna som utsätter konstruktionen för starkast påfrestning. Exempel på en klimatanalys för Lund illustreras i Figur 43, i detta fall bedömdes en sydvästlig riktning (45 grader azimuth) vara dimensionerande för samtliga ytor utomhus.



Figur 43 - Klimatanalys av klimatdatafil för Lund (WUFI 2D 4 , 2022).

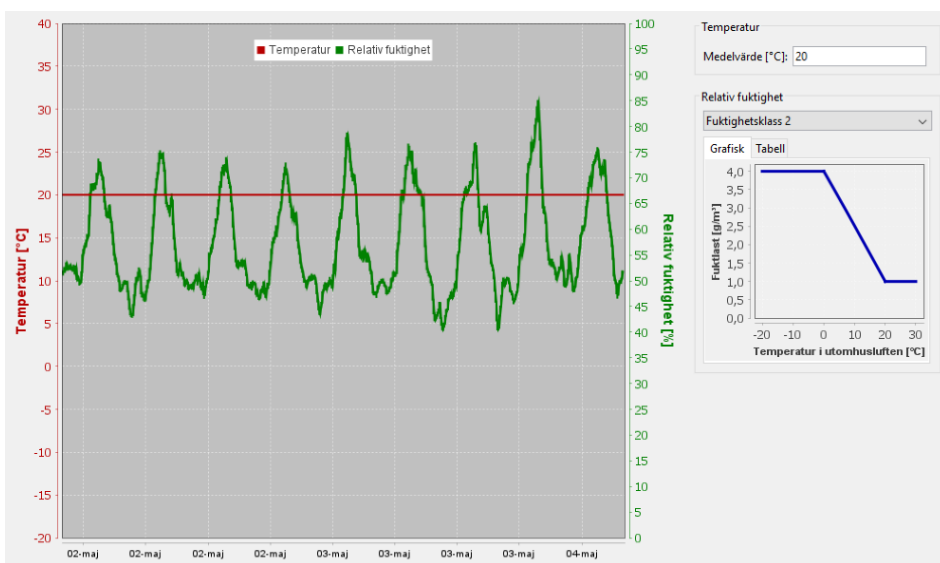
Efter att klimatet som ska verka på ytor utomhus valts och vilken riktning de ska peka åt specificerades förhållandena för varje yta av beräkningsmodellen. Hur utomhusytor ställdes in för väderstreck, lutning och höjd för respektive yta redovisas i Figur 44. Vertikala ytor, som fasaden, angavs till en lutning på 90 ° och höjden ”Låg byggnad, höjd upp till 10 m” och horisontella ytor, som markytan, angavs till en lutning på 0 ° och höjden ”Tak”.

The interface shows a compass rose with a wind direction indicator pointing towards the South-East. Below it, the 'Azimut [grad]' is set to 45. To the right, a 3D diagram shows a vertical brown surface with an orange arrow indicating a 90-degree tilt. The 'Lutning [°]' is set to 90. Below the diagram, there are checkboxes for 'Regnbelastning efter ASHRAE Standard 160' and 'Obs: Regn*(R1+R2*Vindhastighet)'. At the bottom, there are input fields for 'R1 [-]' (0) and 'R2 [s/m]' (0.07), along with a button for 'Låg byggnad, höjd upp till 10 m'.

Figur 44 - Inställning av väderstreck, lutning och höjd för fasadytan i en beräkningsmodell i Lund (WUFI 2D 4, 2022).

4.5.3 Inomhusklimat

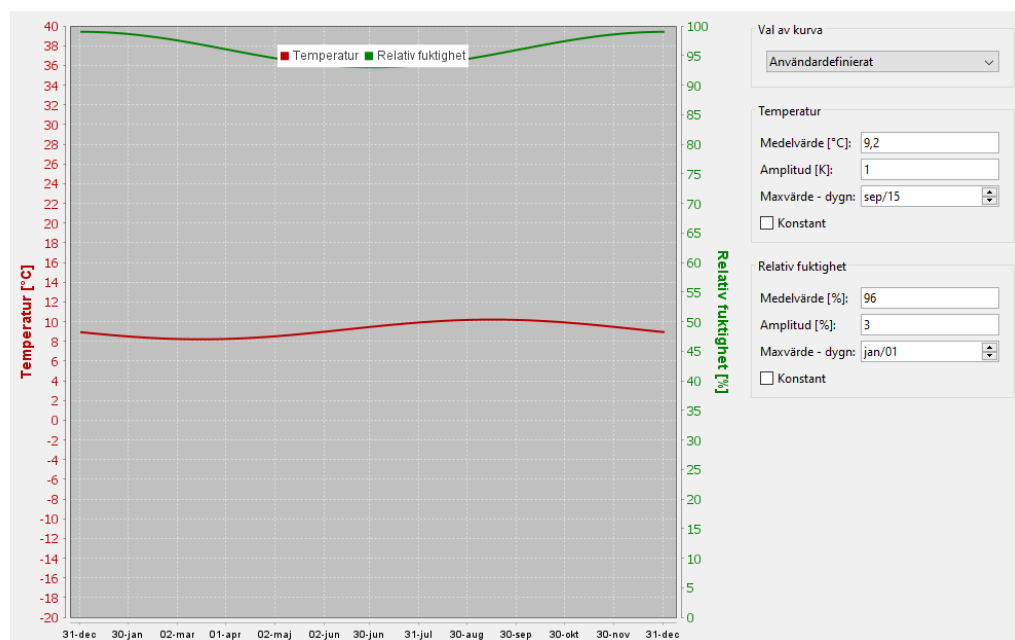
För specificering av ytor inomhus användes standarden ISO 13788. Detta innebär att det appliceras ett fukttillskott på den aktuella ånghalten utomhus beroende på vald fuktklass inomhus. Dessa fuktklasser beror på den aktuella utomhustemperaturen. I samband med detta specificeras även ett medelvärde på lufttemperaturen inomhus vilket sedan resulterar i den relativ fuktigheten inomhus. I detta fall valdes det för samtliga beräkningsmodeller fuktklass 2 och en medellufttemperaturen på 20 °C inomhus, vilket kan observeras i Figur 45. Det rekommenderas att enbart fuktklass 1–3 används eftersom de övriga ger orimligt höga värden (Arfvidsson, et al., 2017).



Figur 45 - Inomhusklimat för ytor inomhus som befinner sig i Lund (WUFI 2D 4, 2022).

4.5.4 Markförhållanden

I beräkningsmodellerna finns det en ”yta” allra längst ned under det 5 meter tjocka markskiktet som ska symbolisera markförhållanden. Markförhållanden simulerades som en sinuskurva där medeltemperaturen för marken antogs vara årsmedelvärdet för orten, med en amplitud på 1 °C. Maximala marktemperaturen antogs vara i mitten av september, detta på grund av att det förväntas ske en viss fördröjning av maximala temperaturen i marken i förhållande till den utomhus. I fallet av referensmodellerna som befann sig i Lund innebar det en medeltemperatur på 9,2 °C (Arfvidsson, et al., 2017). Även relativa fuktigheten varierades i form av en sinuskurva. I samtliga av fallen valdes att marken skulle ha en relativ fuktighet på 96 % med en amplitud på 3 %, alltså inte konstant 100 % som annars är vanligt att använda vid dimensionering. Anledningen till detta är för att återigen mer noggrant försöka efterlikna verkligheten då det oftast förekommer dränering och ingen konstant nederbörd. Vid jämförelse med mättningsdata ifrån Gustafsson (2019), där det visa sig att relativa luftfuktigheten längst under grundkonstruktionen på singelbädden varierat mellan 85–90 %, ansågs det att antagandet av en lägre relativ fuktighet än 100 % inte var en dålig idé. Marken har alltså en fortsatt en förhållandevis hög relativ fuktighet men varierar med året på grund av varierande årstider och nederbörd. Hur markförhållanden såg ut för en beräkningsmodell i Lund redovisas i Figur 46.



Figur 46 - Förhållanden längst ned i markskiktet för beräkningsmodeller i Lund (WUFI 2D 4 , 2022).

4.5.5 Adiabatiska ytor

De resterande ytor som uppstår vid ”kapning” och begräsning av beräkningsmodellen i yttervägg, grundläggning och mark på vänster och höger sida från fortsatt materia kallas, som tidigare nämnts, för adiabatiska ytor eller systemgränser. Över dessa ytor förekommer ingen värme- eller fukttransport.

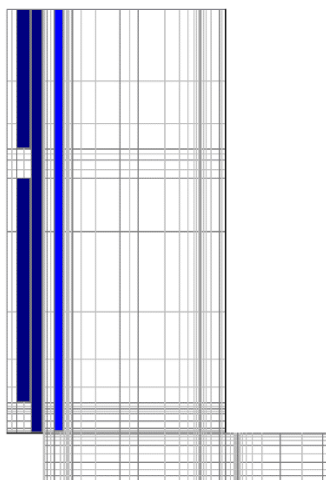
4.5.6 Ytövergångskoefficienter

För samtliga ytor, förutom de adiabatiska, kan de ytövergångskoefficienter som ska verka på samtliga ytor specificeras. I detta fall valdes det för samtliga ytor utomhus att lämpligen specificera värmeöverföringskoefficient, absorption av kortvågig strålning, kortvågig reflexivitet från mark, Sd-värde (ytbeläggning) och vidhäftande del av regn för respektive yta. För vertikala ytor utomhus har värmeöverföringskoefficienten angetts vara den samma som för en yttervägg och för horisontella ytor utomhus som för ett tak. Val av absorption av kortvågig strålning är anpassat till aktuellt material. Kortvågig reflexivitet från mark har ställts in på WUFI:s standardvärde för samtliga ytor utomhus förutom mot luftspalten, där förekommer varken någon reflexivitet eller absorption. Sd-värdet för samtliga ytor utomhus är angivet beroende på ytans beläggning. Vidhäftande del av regn är på samtliga ytor utomhus beroende av komponentens lutning förutom på understa horisontella ytan av fasaden som inte har någon regnvattenabsorption. För ytor inomhus har värmeöverföringskoefficienten angetts vara den samma som för en yta inomhus och Sd-värdet beroende på beläggning. Ytan längst ned under markskiktet har samtliga ytövergångskoefficienter på noll.

4.6 Luftväxlings- och fuktkällor

I beräkningsmodellerna har det bland annat placerats ut luftväxlingskällor i ventilerade luftspalter som förekommer bakom fasadpanel. I båda referensfallen förekom en sektion av luftspalt med vertikala läkt. Luftspalterna ventilerades med luft som har samma relativa fuktighet och temperatur som den utomhus. Dessa luftväxlingskällor har antagits ventileras luftspalterna med en omsättning på 70 oms/h, detta kan jämföras med uppmätta värden på 230–310 oms/h, också vid utförande med vertikala läkt, som redovisats av Falk (2010) för olika ställläkt med en spaltbredd på ca 25 mm. Trots att det i en parameterstudie kan varit lämpligt att variera denna luftomsättning, ansågs detta vara för tidskrävande och samtidigt antogs ha för liten påverkan på förhållandena i grundläggningen. Vald omsättning 70 h^{-1} låg dock en bra bit under nämnda intervallet, vilket gör räkningen relativt robust, i och med att mer ventilation annars oftast ger ett mindre kritiskt fukttillstånd (Wallentén, 2018).

Det har även placerats ut en fuktkälla en bit innanför luftspalten som ska efterlikna det regnläckage som uppstår bakom fasadpanelen. Regnläckaget förväntas motsvara 1 % av den regnlast som uppstår på fasaden, enligt ASHRAE 160–2009. Oavsett materialuppsättning simulerades ett regnläckage med en bredd på cirka 20 mm, längs hela biten med yttervägg, cirka 25 mm in från luftspalten. Detta baseras på att det inom detta område, i dimensionerande fallet, var cirka 25 mm in tills regninträngning nådde regelverket innanför klimatskivan. Exempel på placering av dessa källor illustreras i Figur 47.



Figur 47 - Luftväxlingskällor (mörkblått) och fuktkälla (blått) placerade i Trägergrund 2 som redovisas med gitteruppbyggnad (WUFI 2D 4, 2022).

4.7 Beräkningsparametrar

I beräkningsparametrar ändrades inga ingående värden förutom beräkningsperioden. Detta innebär mer specifikt att noggrannheten under numeriska parametrar var fortsatt inställd på "Medel", konvergensen på "Mjuka beroenden" och adaptiva tidsstegskontrollen fortfarande aktiv. Klimatfilerna var som tidigare nämnts på en mätperiod av 9 år som anger ett mätvärde en gång i timmen, vilket resulterade i 78 840 mätpunkter för denna period, som vidare ansattes till antal tidssteg i simuleringen. För att försöka minska antalet konvergensfel i beräkningen kan noggrannheten ökas på de numeriska parametrarna (Wallentén, 2018), men på grund av simuleringarnas redan långa beräkningstid valdes det att inte göra detta. Exempelvis hade noggrannheten på beräkningen kunnat ökas genom att halvera tidsstegen från en gång per timme till en gång per halvtimme, för att undersöka och notera om resultatet förändrades. Detta hade dock inneburit att beräkningstiden hade blivit cirka dubbel så lång, vilket medförde att denna provning inte utfördes.

Startdatumet för simuleringen vägdes mellan två datum, den första januari och den första juli, för att den inbyggda byggfukten i materialet skulle utsättas för olika väder- och temperaturpåfrestningar med varierad relativ fuktighet samt begränsade uttorkningsmöjligheter. För att simuleringen skulle ske med startdatumet där konstruktionen hade värst förutsättning, gjordes en simulering med varje startdatum för att sedan jämföra resultaten i ett Folos-diagram. Resultaten visade att det värsta fallet var med startdatum den första juli, vilket blev det dimensionerande fallet för modellerna. Det är även troligare att en grundläggning utförs under vår- och sommarhalvår eftersom väderförhållanden är mer gynnsamma för att bygga utan väderskydd. Som tidigare nämnts råder det trots allt delade meningar om väderskyddets nödvändighet, samt att väderskydd kan stå för en stor kostnadspost, särskilt för mindre byggprojekt.

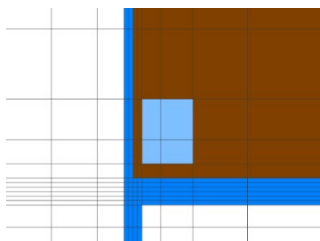
4.8 Mätpunkt

Inför simuleringarna förutsattes det att KL-träplattorna i båda konstruktioner skulle vara dimensionerande vid påbörjandet av den begränsade fuktsäkerhetsprojektering. För att mer noggrant lokalisera vart på KL-träplattorna som mest ogynnsamma förhållanden förekom undersöktes resultaten i flera områden. Med tanke på den geometriska köldbryggan som förekommer i en anslutning mellan yttervägg och grundläggning, samt att det blir kallare och fuktigare ju längre bort från inneklimatet och närmare uteluften och marken mätpunkten befinner sig, kunde det fastställas att hörnen allra längst ned ut på KL-träplattan, i tvådimensionellt format, hade störst risk för mikrobiell påväxt. Det blev därför denna punkt som undersöktes i samtliga beräkningsmodeller, se exempel på mätpunkt i Figur 48. Hade fuktberäkningar däremot kunnat utföras i ett tredimensionellt format hade det med tidigare nämnda motivering kunnat fastställas att mätpunkten med allra sämst förhållanden befinner sig längst ned i ytterhörnen av en grundläggning (mer specifikt längst ut på ytterkanten av en grundplatta sedd ovanifrån).



Figur 48 – Utplacering av mätpunkt i Trägrund 2 (WUFI 2D 4, 2022).

Mätpunktens area var cirka 50 mm² i beräkningsmodellerna för båda konstruktionslösningarna. Det sågs även till att mätpunkterna placerades 2–4 millimeter in i materialet i både x- och y-riktning, se Figur 49. Anledningen var att försöka kompensera för att beräkningarna inte stämmer helt perfekt med verkligheten och för att undvika kraftigt varierande resultat med en hög amplitud. Trots att mögelpåväxt eventuellt förekommer på ytan av KL-träet bedömdes det att detta skulle ge ett mer stabilt värde.



Figur 49 - Närmare titt på mätpunkten i Trägrund 2 (WUFI 2D 4, 2022).

4.9 Beräkningsmatriser

Nedan presenteras beräkningsmatriser för de två olika typerna av platta på mark av KL-trä, Trägrund 1 och 2. Dessa matriser redovisar värden på parametrar i respektive av de olika beräkningsmodellerna som innefattades i parameterstudien. Grafisk redovisning av samtliga beräkningsmodeller finns i Bilaga 1 och 2.

4.9.1 Trägrund 1

Tabell 2 redovisar beräkningsmatrisen för Trägrund 1.

Tabell 2 - Beräkningsmatris för Trägrund 1.

| Modell | Ort | KL-träplatta | | Sockelisolering | | Plastfolie | | Votisolering - Material | Marknivå | Tjäl-isolering | Övrigt |
|--------|-----------|---------------------|-------------------|-----------------|----------|------------|---------|-------------------------|----------|----------------|-------------------------|
| | | Material | Fuktkvot | Material | Tjocklek | Användning | Skarv | | | | |
| 1.0 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.1.1 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 100 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.1.2 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.2 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | Flyttad | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.3 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 50 mm | Ja | Flyttad | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.4 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellglas | 250 | Nej | - |
| 1.5 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 100 | Nej | - |
| 1.6 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Ja | - |
| 1.7 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.8 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | Ventilerade luftspalter |
| 1.9 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | Golvvärme |
| 1.10.1 | Stockholm | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.10.2 | Borlänge | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.10.3 | Luleå | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.11.1 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.11.2 | Stockholm | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.11.3 | Borlänge | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.11.4 | Luleå | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.12.1 | Lund | Gran ¹ | 30 % ³ | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.12.2 | Lund | Gran ¹ | 30 % ³ | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.13.1 | Lund | Gran ¹ | 12 % ⁴ | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.13.2 | Lund | Gran ¹ | 12 % ⁴ | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.14.1 | Lund | KL-trä ² | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |
| 1.14.2 | Lund | KL-trä ² | 16 % | Stenull | 100 mm | Nej | - | Cellplast, XPS | 250 | Nej | - |

¹ KL-träplattan är uppdelad i flera skikt av gran med olika riktningar och dess respektive materialegenskaper.

² KL-träplattan är av ett enda homogent material som skall ge genomsnittliga värden för en KL-träplattas materialegenskaper.

³ En del av det nedersta skiktet i KL-träplattan höjs till en fuktkvot på 30 % som begynnelsevillkor.

⁴ Samtliga trämaterial i modellen börjar på en fuktkvot av 12 %, resterande material (förutom mark) sänks från 80 % till 75 % RF.

Trägrund 1.0 - Referensmodell

Körning gjordes på befintliga konstruktionen i Lund. Modellens orientering var 45 grader azimut och medelutetemperaturen 9,2 °C.

Trägrund 1.1.1 – Ökad sockelisolering 1

Sockelisoleringen ökades från 50 till 100 mm cellplast. I samband med detta gjordes en modifiering på angivet skikt i yttervägg. Skiktets bredd ökades från 200 mm till 250 mm för att inte äventyra konstruktionens bärlighet.

Trägrund 1.1.2 – Ökad sockelisolering 2

Sockelisoleringen ökades från 50 till 200 mm cellplast. I samband med detta gjordes även här en modifiering på angivet skikt i yttervägg. Skiktets bredd ökades från 200 mm till 350 mm för att inte äventyra konstruktionens bärlighet.

Trägrund 1.2 – Skarv fuktskyddsmembran/PE-folie flyttas ner

Skarven mellan PE-folien och fuktskyddsmembranet flyttades längre ner i konstruktionen.

Trägrund 1.3 – Materialutbyte på sockelisolering

Sockelisolering byttes ut från cellplast till stenull. Stenullen modifierades till att ha samma värmeledningsförmåga som den ursprungliga cellplasten för att inte äventyra isoleringsförmågan. Stenullskivan hade egenskaper angivna i Tabell 3.

Tabell 3 - Materialegenskaper på stenullskiva.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|---------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Stenullsskiva | 135 | 0,953 | 1030 | 0,04 | 1,1 |

Trägrund 1.4 – Materialutbyte på votisolering

Votisoleringen byttes ut från cellplast till cellglas med följande egenskaper i Tabell 4 (FOAMGLAS Nordic AB, 2021).

Tabell 4 - Materialegenskaper för cellglas.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|--------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| FOAMGLAS BOARD T3+ | 100 | 0,25 | 1000 | 0,04 | 1 500 000 |

Trägrund 1.5 – Höjd marknivå

Marken höjdes från ett avstånd på 250 mm till ovanliggande fasad till ett avstånd på 100 mm.

Trägrund 1.6 – Tillägg av tjällisolering

Tillägg av 100 mm tjock och 1 m bred cellplastskiva (EPS) som tjällisolering.

Trägrund 1.7 – Borttagning av PE-folie

PE-folien togs bort ur konstruktionen.

Trägrund 1.8 – Ventilerande luftspalter under KL-träplatta

Det kompletterades med ventilerande luftspalter under KL-träplattan. Den ursprungliga underliggande cellplastskivan med en tjocklek på 100 mm byttes ut mot en 50 mm tjock skiva av samma cellplast med en ovanpåliggande 50 mm tjock glespanel av 200 mm breda ribbor av samma cellplast med 300 mm cc-avstånd. De resulterande luftspalterna på 100 mm i bredd kompletterades med en luftväxlingskälla med en omsättning på 1 oms/h av inomhusluft. Luftspalterna hade materialegenskaper enligt Tabell 5.

Tabell 5 - Materialegenskaper på luftspalter under KL-träplatta.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|-----------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Air Layer 50 mm | 1,3 | 0,999 | 1000 | 0,28 | 0,32 |

Trägrund 1.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta

Implementeringen av golvvärme modellerades för att efterlikna Floorés (Flooré, 2022) spårade aluminiumbelagda cellplastskivor (EPS) med en tjocklek på 13 mm som golvvärmerör är placerade i. Cellplastskivan placerades ovanpå KL-träplattan och uppvärmningen från golvvärmen simulerades som en värmekälla i hela skiktet. Effekten från golvvärmen antogs vara 100 W/m². Eftersom WUFI 2D anger värmekällor i enheten W/m antogs golvvärmerören ligga på ett cc-avstånd 200 mm. Detta innebär att effekten för ett golvvärmerör beräknades till 20 W/m, vilket ansattes som värmekälla för skiktet. Golvvärmen sattes i drift var vinterhalvår, från 1 oktober till 1 april.

Trägrund 1.10.1 – Referensmodell i Stockholm

Referensmodellen kördes med klimatfil för Stockholm. Modellens orientering var 0 grader azimut och medelutetemperaturen 6,8 °C.

Trägrund 1.10.2 – Referensmodell i Borlänge

Referensmodellen kördes med klimatfil för Borlänge. Modellens orientering var 247,5 grader azimut och medelutetemperaturen 4,5 °C.

Trägrund 1.10.3 – Referensmodell i Luleå

Referensmodellen kördes med klimatfil för Luleå. Modellens orientering var 292,5 grader azimut och medelutetemperaturen 1,2 °C.

Trägrund 1.11.1 – Optimerad modell

Den optimerade modellen kombinerar alla parameterändringar som bedömdes förbättra konstruktionens fuktsäkerhet. Parameterändringar i Trägrund 1.1.1, 1.3, och 1.7 kombineras. Mer specifikt byttes sockelisoleringen ut från 50 mm cellplast till 100 mm stenull och PE-folien togs bort. Modellen kördes först i Lund med orientering 45 grader azimut och medelutetemperaturen 9,2 °C.

Trägrund 1.11.2 – Optimerad modell i Stockholm

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Stockholm. Modellens orientering var 0 grader azimut och medelutetemperaturen 6,8 °C.

Trägrund 1.11.3 – Optimerad modell i Borlänge

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Borlänge. Modellens orientering var 247,5 grader azimut och medelutetemperaturen 4,5 °C.

Trägrund 1.11.4 – Optimerad modell i Luleå

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Luleå. Modellens orientering var 292,5 grader azimut och medelutetemperaturen 1,2 °C.

Trägrund 1.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell

I detta fall simulerades resultatet av ett regnläckage som uppstått under byggskedet. Det antogs att ett regnläckage skulle orsaka att en viss bredd av skiktet allra längst ned i KL-plattan blev mer eller mindre helt mättad och fick ett begynnelsevillkor som motsvarade en fuktkvot på 30 %, alltså fibermättnadspunkten för trä (Svenskt Trä, 2017). I detta fall innebar det en relativ fuktighet på 96 %.

Trägrund 1.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell

Den optimerade modell modifierades på samma sätt som i Trägrund 1.12.1.

Trägrund 1.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell

Fuktkvoten sänktes i allt trä från 16 % till 12 %, då vissa leverantörer av KL-trä har detta som leveransfuktkvot (Martinsons, 2022). Denna fuktkvot uppfylldes även vid flera antal mätningar som utfördes vid ett studiebesök av stomresning, som går djupare in på under 2.2.6 Studiebesök vid stomresning. Begynnelsevillkoret för samtligt trä sattes till en relativ fuktighet på 60 %, medan resterande material, förutom mark, sänktes från 80 % till 75 % relativ fuktighet.

Trägrund 1.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell

Fuktkvoten sänktes i optimerade modellen på samma sätt som i Trägrund 1.13.1.

Trägrund 1.14.1 – Ändrat material på KL-träplatta i referensmodell

Materialet på KL-träplattan ändrades i referensmodellen. Mer specifikt simulerades KL-träplattan som ett enda skikt i stället för att vara uppdelat i flera skikt med olika materialegenskaper. Homogena materialet som användes för det nya skiktet ska motsvara ett genomsnittligt värde av materialegenskaper på KL-träplattor med olika tjocklekar och olika antal skikt, se Tabell 6. För detta material motsvarade en ingående fuktkvot av 16 % en relativ fuktighet på 82 %.

Tabell 6 - Materialegenskaper för ett homogent material för KL-trä.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|----------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Stora Enso CLT | 410 | 0,74 | 1300 | 0,098 | 500 |

Trägrund 1.14.2 – Ändrat material på KL-träplatta i optimerad modell

Materialet på KL-träplattan ändrades i optimerade modellen på samma sätt som i Trägrund 1.14.1.

4.9.2 Trägrund 2

Tabell 7 redovisar beräkningsmatrisen för Trägrund 2.

Tabell 7 - Beräkningsmatris för Trägrund 2.

| Modell | Ort | KL-träplatta | | Sockelisolering | | Plastfolie | | Votisolering - Material | Marknivå | Tjälisolering | Övrigt |
|--------|-----------|---------------------|-------------------|-----------------|----------|------------|---------|-------------------------|----------|---------------|-------------------------|
| | | Material | Fuktkvot | Material | Tjocklek | Användning | Skarv | | | | |
| 2.0 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.1.1 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 100 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.1.2 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 50 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.2 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | Flyttad | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.3 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.4 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellglas | 250 | Ja | - |
| 2.5 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 100 | Ja | - |
| 2.6 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.7 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.8 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | Ventilerade luftspalter |
| 2.9 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | Golvvarme |
| 2.10.1 | Stockholm | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.10.2 | Borlänge | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.10.3 | Luleå | Gran ¹ | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.11.1 | Lund | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.11.2 | Stockholm | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.11.3 | Borlänge | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.11.4 | Luleå | Gran ¹ | 16 % | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.12.1 | Lund | Gran ¹ | 30 % ³ | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.12.2 | Lund | Gran ¹ | 30 % ³ | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.13.1 | Lund | Gran ¹ | 12 % ⁴ | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.13.2 | Lund | Gran ¹ | 12 % ⁴ | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |
| 2.14.1 | Lund | KL-trä ² | 16 % | Cellplast, EPS | 200 mm | Ja | - | Cellplast, EPS | 250 | Ja | - |
| 2.14.2 | Lund | KL-trä ² | 16 % | Stenull | 200 mm | Nej | - | Cellplast, EPS | 250 | Nej | - |

¹ KL-träplattan är uppdelad i flera skikt av gran med olika riktningar och dess respektive materialegenskaper.

² KL-träplattan är av ett enda homogent material som skall ge ett genomsnittligt värde för en KL-träplattas materialegenskaper.

³ Nedersta skiktet i kantförstyvningen av KL-trä har höjts till en fuktkvot på 30 % som begynnelsevillkor.

⁴ Samtliga trämaterial i modellen börjar på en fuktkvot av 12 %, resterande material sänks från 80 % till 75 % RF.

Trägrund 2.0 - Referensmodell

Körning gjordes på befintliga konstruktionen i Lund. Modellens orientering var 45 grader azimut och medelutetemperaturen 9,2 °C.

Trägrund 2.1.1 – Minskad sockelisolering 1

Sockelisoleringen minskades från 200 till 100 mm cellplast. I samband med detta gjordes en modifiering på angivet skikt i yttervägg. Skiktets bredd minskades från 300 mm till 200 mm för att inte äventyra konstruktionens bärlighet.

Trägrund 2.1.2 – Minskad sockelisolering 2

Sockelisoleringen minskades från 200 till 50 mm cellplast. I samband med detta gjordes även här samma modifiering som i Trägrund 2.1.1 på angivet skikt i yttervägg. Mindre dimension var inte tillgängliga hos leverantören av skiktet, vilket därför leder till reservering för om denna modifiering verkligen är tillräcklig för att inte äventyra konstruktionens bärlighet.

Trägrund 2.2 – Omplacering av PE-folie

PE-folie omplacerades för att fortsätta upp bakom sockelisolering i stället för ner under den.

Trägrund 2.3 – Materialutbyte på sockelisolering

Sockelisolering byttes ut från cellplast till stenull. Stenullen modifierades till samma värmeledningsförmåga som den ursprungliga cellplasten för att inte äventyra isoleringsförmågan. Stenullskivan hade egenskaper angivna i Tabell 8.

Tabell 8 - Materialegenskaper på stenullskiva.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|---------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Stenullsskiva | 135 | 0,953 | 1030 | 0,037 | 1,1 |

Trägrund 2.4 – Materialutbyte på votisolering

Votisoleringen byttes ut från cellplast till cellglas med följande egenskaper i Tabell 9 (FOAMGLAS Nordic AB, 2021).

Tabell 9 - Materialegenskaper för cellglas.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|--------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| FOAMGLAS BOARD T3+ | 100 | 0,25 | 1000 | 0,036 | 1 500 000 |

Trägrund 2.5 – Höjd marknivå

Marken höjdes från ett avstånd på 250 mm till ovanliggande fasad till ett avstånd på 100 mm.

Trägrund 2.6 – Borttagning av tjällisolering

Tjällisolering togs bort från konstruktionen.

Trägrund 2.7 – Borttagning av PE-folie

PE-folien togs bort ur konstruktionen.

Trägrund 2.8 – Ventilerande luftspalter under KL-träplatta

Det kompletterades med ventilerande luftspalter under KL-träplattan. Den ursprungliga underliggande cellplastskivan med en tjocklek på 100 mm byttes ut mot en 50 mm tjock skiva av samma cellplast med en ovanpåliggande 50 mm tjock glespanel av 200 mm breda ribbor av samma cellplast på 300 mm cc-avstånd. De resulterande luftspalterna på 100 mm i bredd kompletterades med en luftväxlingskälla med en omsättning på 1 oms/h av inomhusluft. Luftspalterna hade materialegenskaper enligt Tabell 10.

Tabell 10 - Materialegenskaper på luftspalter under KL-träplatta.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|-----------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Air Layer 50 mm | 1,3 | 0,999 | 1000 | 0,28 | 0,32 |

Trägrund 2.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta

Implementeringen av golvvärme modellerades för att efterlikna Floorés (Flooré, 2022) spårade aluminiumbelagda cellplastskivor (EPS) med en tjocklek på 13 mm som golvvärmerören är placerade i. Cellplastskivan placerades ovanpå KL-träplattan och uppvärmningen från golvvärmen simulerades som en värmekälla i hela skiktet. Effekten från golvvärmen antogs vara 100 W/m². Eftersom WUFI 2D anger värmekällor i enheten W/m antogs golvvärmerören ligga på ett cc-avstånd 200 mm. Detta innebar att effekten för ett golvvärmerör beräknades till 20 W/m, vilket ansattes som värmekälla för skiktet. Golvvärmen sattes i drift var vinterhalvår, från 1 oktober till 1 april.

Trägrund 2.10.1 – Referensmodell i Stockholm

Referensmodellen kördes med klimatfil för Stockholm. Modellens orientering var 0 grader azimuth och medelutetemperaturen 6,8 °C.

Trägrund 2.10.2 – Referensmodell i Borlänge

Referensmodellen kördes med klimatfil för Borlänge. Modellens orientering var 247,5 grader azimuth och medelutetemperaturen 4,5 °C.

Trägrund 2.10.3 – Referensmodell i Luleå

Referensmodellen kördes med klimatfil för Luleå. Modellens orientering var 292,5 grader azimuth och medelutetemperaturen 1,2 °C.

Trägrund 2.11.1 – Optimerad modell

Den optimerade modellen kombinerar alla de parameterändringar som bedöms förbättra konstruktionens fuktsäkerhet. Parameterändringar i Trägrund 2.3, 2.6 och 2.7 kombineras. Mer specifikt byttes sockelisoleringen ut från cellplast till stenull, tjälisoleringen togs bort och PE-folien togs bort. Modellen kördes först i Lund med orienteringen 45 grader azimuth och medelutetemperaturen 9,2 °C.

Trägrund 2.11.2 – Optimerad modell i Stockholm

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Stockholm. Modellens orientering var 0 grader azimut och medelutetemperaturen 6,8 °C.

Trägrund 2.11.3 – Optimerad modell i Borlänge

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Borlänge. Modellens orientering var 247,5 grader azimut och medelutetemperaturen 4,5 °C.

Trägrund 2.11.4 – Optimerad modell i Luleå

Den optimerade modellen kördes med klimatfil för Luleå. Modellens orientering var 292,5 grader azimut och medelutetemperaturen 1,2 °C.

Trägrund 2.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell

I detta fall simulerades resultatet av ett regnläckage som uppstått under byggskedet. Det antogs att ett regnläckage skulle orsaka att skiktet allra längst ned i KL-träbalken (kantförstärkningen) blev mer eller mindre helt mättat och fick ett begynnelsevillkor som motsvarade en fuktkvot på 30 %, alltså fibermättnadspunkten för trä (Svenskt Trä, 2017). I detta fall innebar det en relativ fuktighet på 98 %.

Trägrund 2.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell

Den optimerade modell modifierades på samma sätt som i Trägrund 2.12.1.

Trägrund 2.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell

Fuktkvoten sänktes i allt trä från 16 % till 12 %, då vissa leverantörer av KL-trä har detta som leverensfuktkvot (Martinsons, 2022). Denna fuktkvot uppfylldes även vid flera antal mätningar som utfördes vid ett studiebesök av stomresning, som går djupare in på under 2.2.6 Studiebesök vid stomresning. Begynnelsevillkoret för samtligt trä sattes till en relativ fuktighet på 60 %, medan resterande material, förutom mark, sänktes från 80 % till 75 % relativ fuktighet.

Trägrund 2.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell

Fuktkvoten sänktes i optimerade modellen på samma sätt som i Trägrund 2.13.1.

Trägrund 2.14.1 – Ändrat material på KL-träplatta i referensmodell

Materialet på KL-träplattan ändrades i referensmodellen. Mer specifikt simulerades KL-träplattan som ett enda skikt i stället för att vara uppdelat i flera skikt med olika materialegenskaper. Homogena materialet som användes för det nya skiktet ska motsvara ett genomsnittligt värde av materialegenskaper på KL-träplattor med olika tjocklekar och olika antal skikt, se Tabell 11. För detta material motsvarade en ingående fuktkvot av 16 % en relativ fuktighet på 82 %.

Grundläggning med platta på mark av KL-trä

Tabell 11 - Materialegenskaper för ett homogent material för KL-trä.

| Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ³] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/KgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] |
|----------------|---------------------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------|--|
| Stora Enso CLT | 410 | 0,74 | 1300 | 0,098 | 500 |

Trägrund 2.14.2 – Ändrat material på KL-träplatta i optimerad modell

Materialet på KL-träplattan ändrades i optimerade modellen på samma sätt som i Trägrund 2.14.1.

5 Resultat och analys

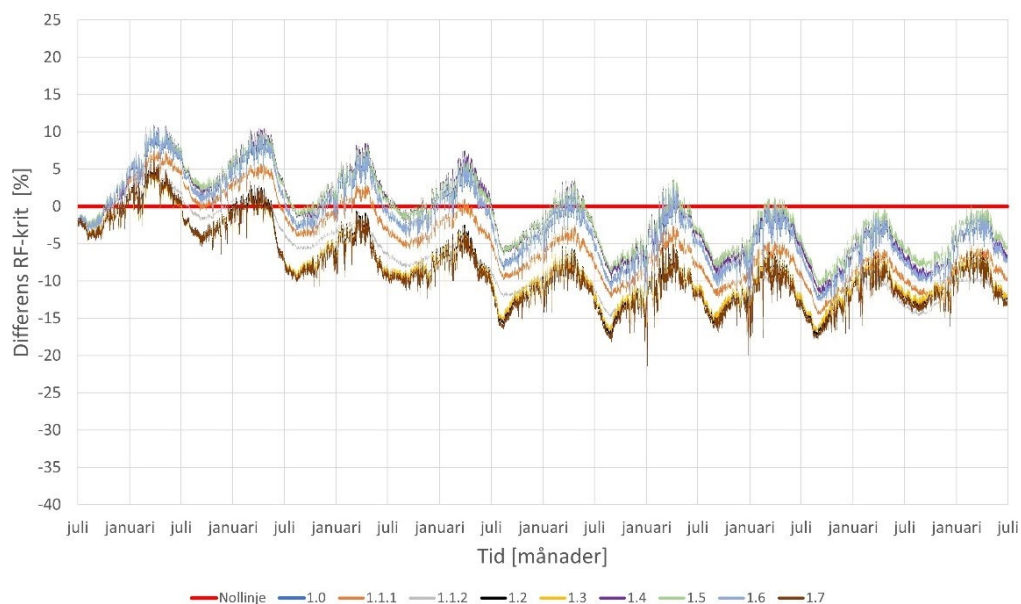
I detta kapitel presenteras bland annat resultaten från samtliga beräkningsmodeller i WUFI 2D. Till varje beräkning tillkommer viss beskrivning och analys. Det redovisas även resultat från en mindre fuktmätning som utförts. Kapitlet avslutas med resultat från jämförelse av klimatpåverkan.

5.1 Beräkningsresultat

Resultaten från fuktberäkningarna i WUFI 2D redovisas i form av Folos-diagram för respektive beräkningsmodell av Trägrund 1 under Bilaga 1 och för respektive beräkningsmodell av Trägrund 2 under Bilaga 2. Enligt denna studie klarar sig varken referensmodellen Trägrund 1.0 eller Trägrund 2.0 från att överskrida kritiska fukttillstånd med givna förutsättningar. Med hjälp av vissa modifieringar och förändringar av förutsättningar på referensmodellerna kunde i vissa fall en fuktsäker konstruktion uppnås.

I detta kapitel sammanfattas resultaten från flera olika beräkningsmodeller i samma diagram. Diagrammen redovisar hur den aktuella relativa fuktigheten varierar i förhållande till den aktuella kritiska relativa fuktigheten, för respektive beräkningsmodell. Den röda nollinjen symboliserar den kritiska relativa fuktigheten som annars är varierande, på grund av temperaturen, när den presenteras i ett Folos-diagram. Grafen för respektive beräkningsmodell symboliserar här hur mycket den relativa fuktigheten avviker från den kritiska i procentenheter. Grafer som är över den röda linjen är över kritisk relativ fuktighet och tvärtom för de som är under den. Om lämpligt har det i vissa diagram kompletterats med en röd streckad linje som är förskjuten nedåt med 5 procentenheter i förhållande till linjen för kritisk relativ fuktighet. Denna linje symboliserar den säkerhetsmarginal som beaktats vid bedömningen av resultaten i denna studie. Efter redovisning av resultaten för separat undersökning av Trägrund 1 och Trägrund 2 görs en jämförelse mellan dem.

5.1.1 Trägrund 1 – Material- och konstruktionsförändringar



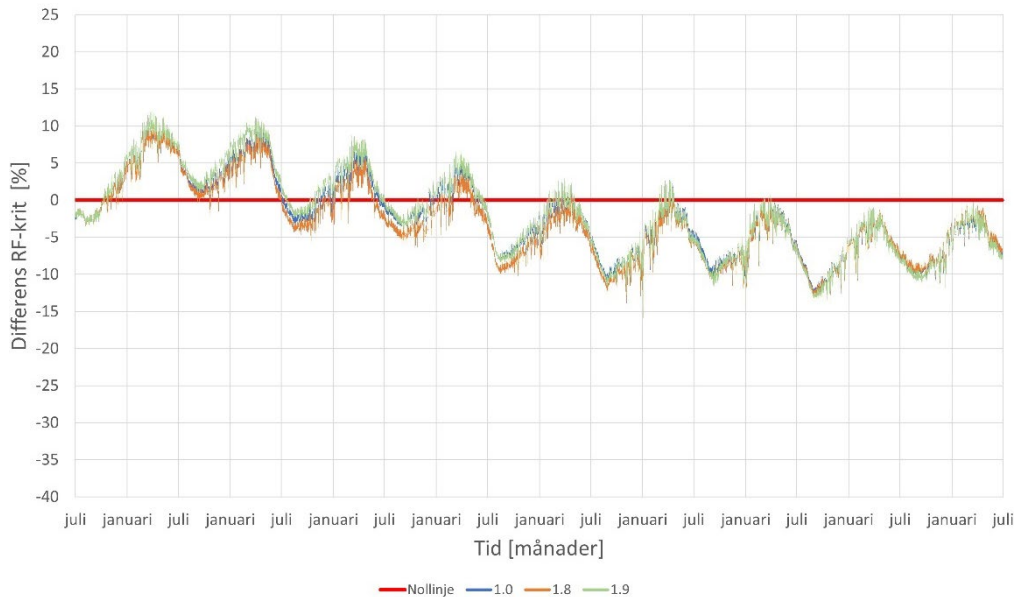
Figur 50 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.1.1 – Ökad sockelisolering 1, 1.1.2 – Ökad sockelisolering 2, 1.2 – Skarv fuktskyddsmembran/PE-folie flyttas ner, 1.3 – Materialutbyte på sockelisolering, 1.4 – Materialutbyte på votisolering, 1.5 – Höjd marknivå, 1.6 – Tillägg av tjälisolering, 1.7 – Borttagning av PE-folie.

Kommentar

Parameterstudien för material- och konstruktionsförändringar visade att en enskild material- eller konstruktionsförändring inte var tillräcklig för att Trägrund 1 skulle klara sig ifrån mögelpåväxt. De tre huvudsakliga förbättringsåtgärderna, som framgår av Figur 50, var ökad isolering i sockeln (1.1.1 samt 1.1.2), utbyte av material i sockelisolering från cellplast till stenull (1.3) och borttagning av PE-folien (1.7). Dessa tre förbättringsåtgärderna valdes vid uppbyggnad av en optimerad modell. Dock ansattes sockelisoleringen till 100 mm (1.1.1) i stället för 200 mm (1.1.2), eftersom en isolertjocklek på 200 mm ansågs innebära ett för stort ingrepp på ytterväggen, som även skulle innebära att boarean (BOA) signifikant skulle minska.

Ur Figur 50 framgår det att ett utbyte av material i votisolering (1.4), från cellplast till cellglas, höjd marknivå (1.5) samt tillägg av tjälisolering (1.6) gav försämrade fuktsäkerhet.

5.1.2 Trägrund 1 – Komplettering av ventilation- och värmeinstallationer

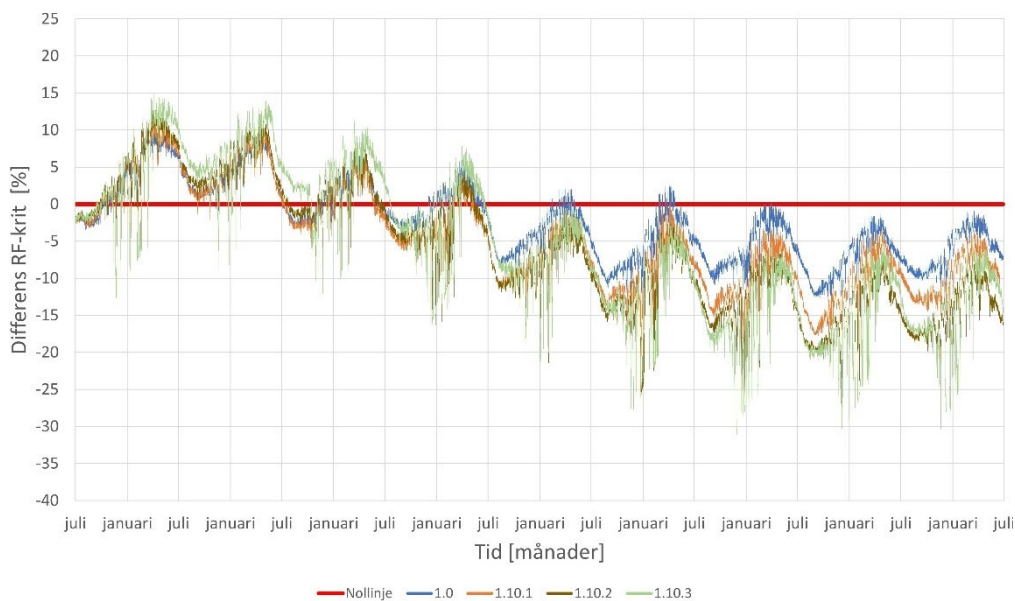


Figur 51 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.8 – Ventilerande luftspalter under KL-träplatta, 1.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta.

Kommentar

Parameterstudien för komplettering av ventilation- och värmeinstallationer visade, som framgår av Figur 51, att installation av ventilerade luftspalter under grunden (1.8) gav en marginell förbättring och vid installation av golvvärme (1.9) gav marginellt försämrade fuktsäkerhet. Förbättringen som ventilerade luftspalterna (1.8) tillbringade ansågs inte vara tillräcklig för att motivera det ingrepp i konstruktionen och det komplexa systemet som krävs, därför lades det inte till i den optimerade modellen.

5.1.3 Trägrund 1 – Referensmodell i andra klimat

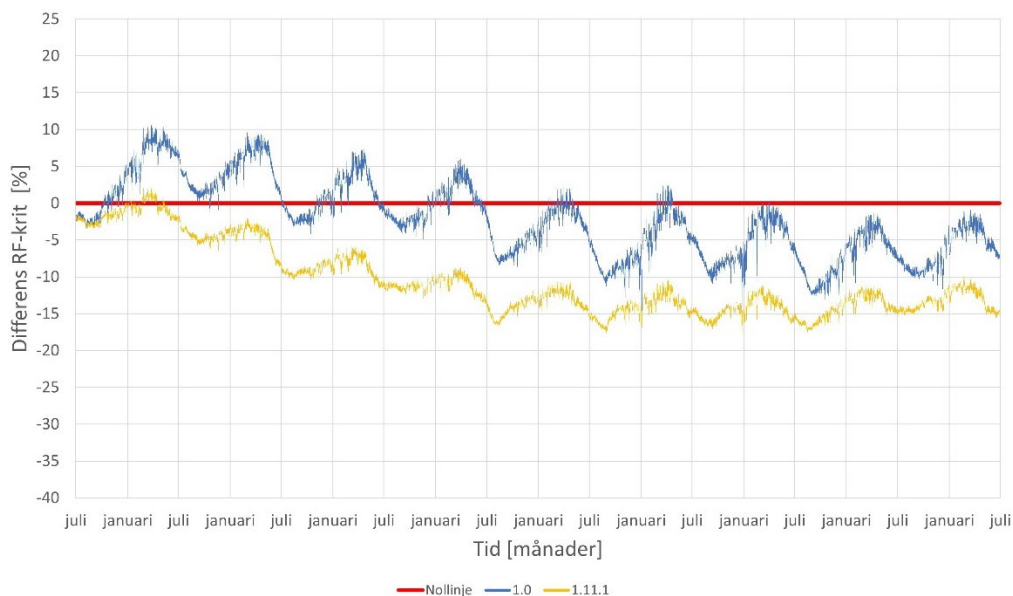


Figur 52 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.10.1 – Referensmodell i Stockholm, 1.10.2 – Referensmodell i Borlänge, 1.10.3 – Referensmodell i Luleå.

Kommentar

Referensmodellen i andra klimat visade, som framgår av Figur 52, att Trägrund 1 inte klarade kraven för mögelpåväxt i kallare klimat. Ur Figur 52 framgår det att ett kallare klimat är, efter att KL-träskivan torkat ut till sitt jämviktsläge, ett gynnsammare klimat. Trägrund 1 torkar ut, under den kritiska relativa fuktigheten, ungefär två år tidigare i Luleå och Stockholm än i Lund och Borlänge.

5.1.4 Trägrund 1 – Optimerad modell

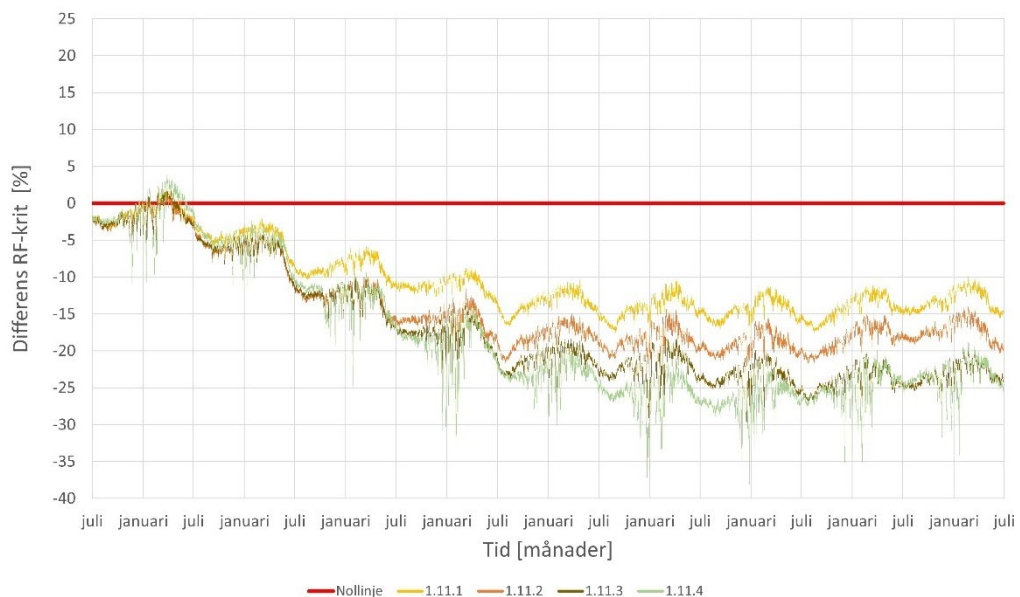


Figur 53 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.11.1 – Optimerad modell.

Kommentar

Den optimerade modellen av Trägrund 1, som bestod av de tre förbättringsåtgärderna 1.1.1, 1.3 samt 1.7, visade som det framgår i Figur 53, en förbättring i jämförelse med referensfallet för Trägrund 1. Trots denna förbättring klarade inte den optimerade modellen sig ifrån att överstiga kritisk relativ fuktighet under det första året av uttorkningen. Den optimerade modellen nådde sitt jämviktsläge efter ungefär fyra år och stabiliserades därefter på en nivå som underskrider den kritiska relativa fuktigheten med 10–17 procentenheter.

5.1.5 Trägrund 1 – Optimerad modell i andra klimat

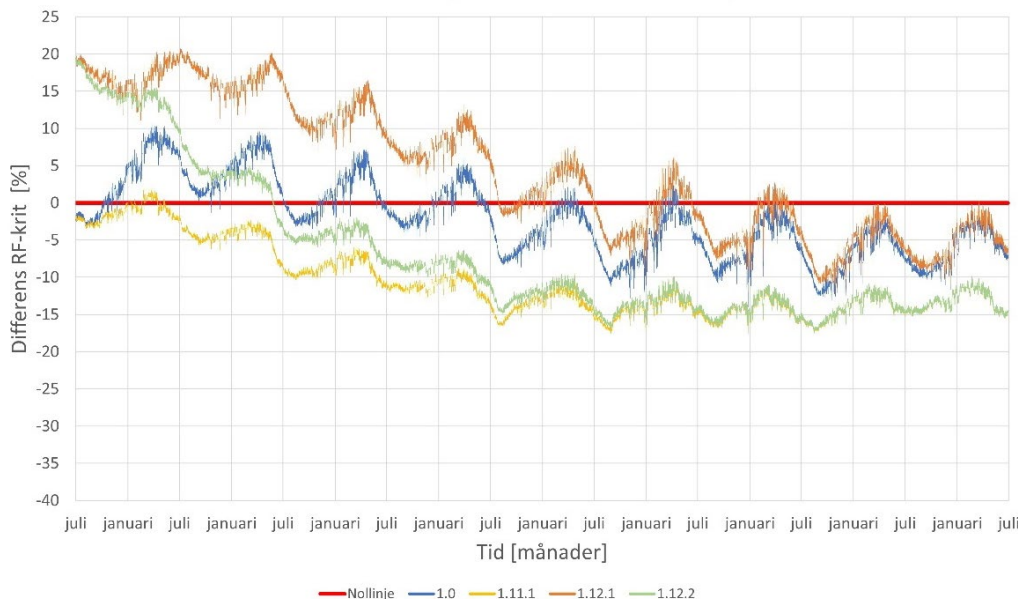


Figur 54 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.11.1 – Optimerad modell, 1.11.2 – Optimerad modell i Stockholm, 1.11.3 – Optimerad modell i Borlänge, 1.11.4 – Optimerad modell i Luleå.

Kommentar

Den optimerade modellen av Trägrund 1 i andra klimat visar, som framgår av Figur 54, en förbättring i jämförelse med referensfallen för Trägrund 1 i andra klimat (Figur 52). Trots förbättringen klarade den optimerade modellen i andra klimat inte sig från att överstiga kritisk relativ fuktighet under det första året av uttorkningen. Ur Figur 54 framgår det att ett kallare klimat är, efter att KL-träskivan torkat ut till sitt jämnviktsläge, ett gynnsammare klimat.

5.1.6 Trägrund 1 – Simulerat inläckage i referensmodell och optimerad modell

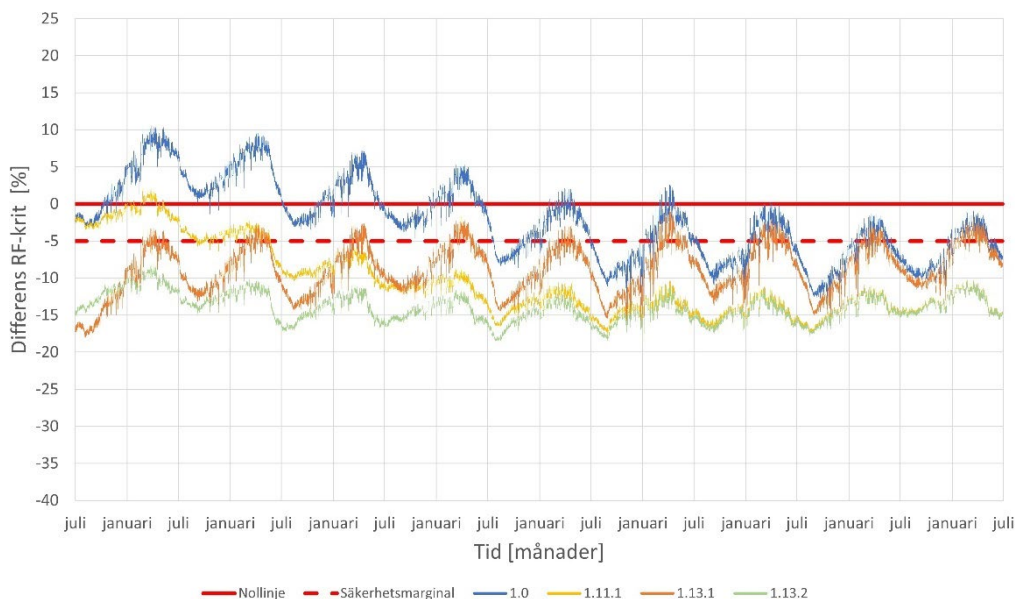


Figur 55 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.11.1 – Optimerad modell, 1.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell, 1.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

Det simulerade inläckaget visar, som framgår i Figur 55, att både referensmodellen (1.12.2) och den optimerade modellen (1.12.2) för Trägrund 1 har svårigheter att torka ut den ökade fukthalten. För den optimerade modellen (1.12.2) tog det ungefär fem år innan modellen torkade ut den extra fukt som orsakades av läckaget för att till slut stabilisera sig i nivå med fallet utan inläckage (1.11.1). För referensmodellen (1.12.1) tog motsvarande tid ungefär tre år längre i jämförelse med referensfallet utan inläckage (1.0).

5.1.7 Trägrund 1 – Sänkt fukthalt i referensmodell och optimerad modell

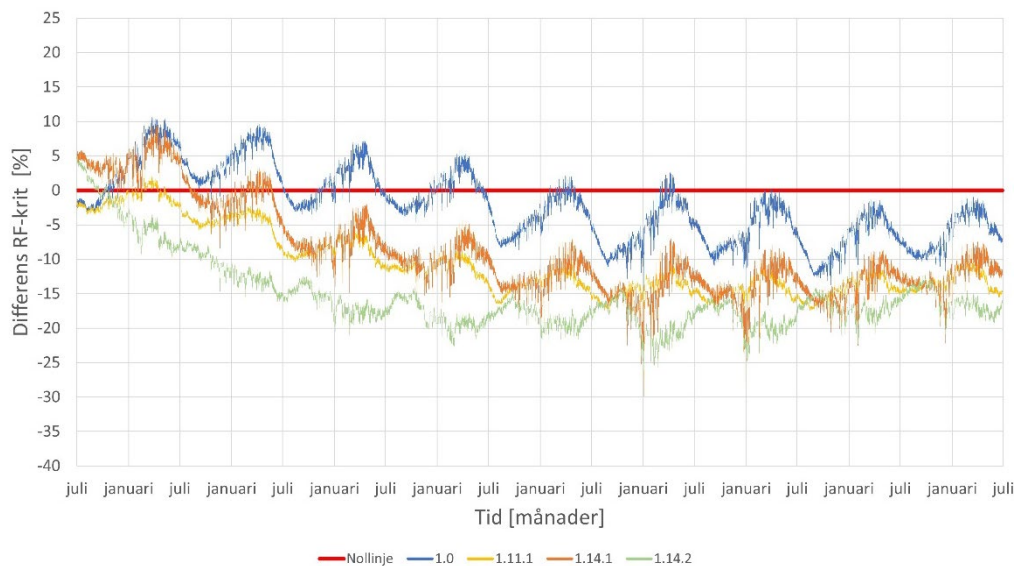


Figur 56 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.11.1 – Optimerad modell, 1.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell, 1.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

Genom att sänka den ingående fuktkvoten i trämaterial till 12 % och resterande byggmaterial till en ingående relativ fuktighet på 75 %, klarar både referensmodellen (1.13.1) och den optimerade modellen (1.13.2) för Trägrund 1 sig ifrån att överstiga kritisk relativ fuktighet under hela perioden. Som det framgår av Figur 56 klarar dock inte referensmodellen (1.13.1) den angivna säkerhetsmarginalen (som i detta diagram är redovisad med röd streckad linje) på fem procentenheter under vårmånaderna för mätperioden. Den relativa fuktigheten för referensmodellen (1.13.1) är som högst, efter ungefär sex år, en procentenhet lägre än den kritiska relativa fuktigheten under en längre period och uppfyller därmed inte studiens krav för en fuktsäker konstruktion. Den relativa fuktigheten för den optimerade modellen (1.13.2) är under hela perioden lägre än säkerhetsmarginalen och kan, utefter dessa förutsättningar, anses vara en fuktsäker konstruktion.

5.1.8 Trägrund 1 – Ändrat material på KL-trä i referensmodell och optimerad modell



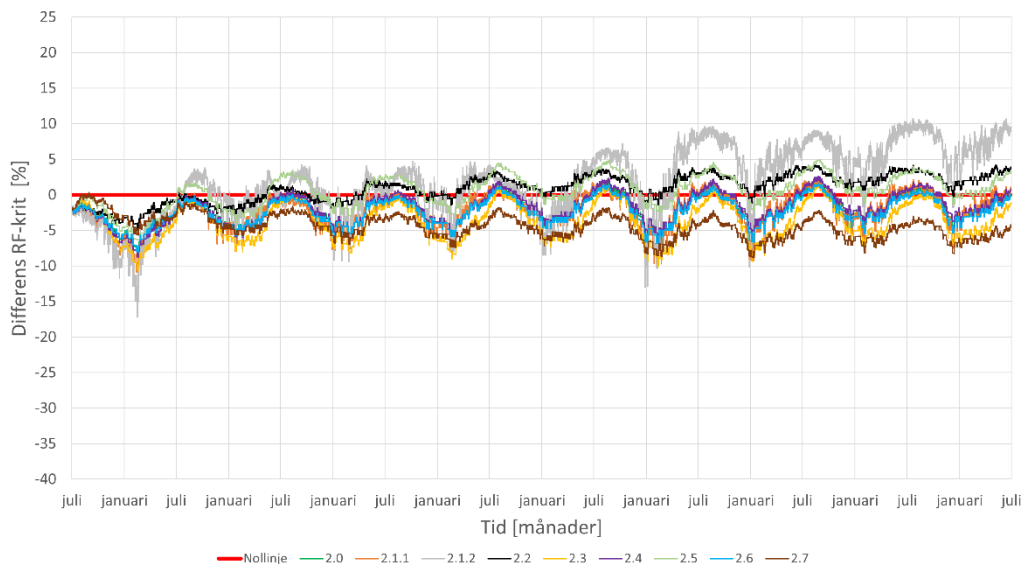
Figur 57 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.11.1 – Optimerad modell. 1.14.1 – Ändrat material på KL-träplatta i referensmodell, 1.14.2 – Ändrat material på KL-träplatta i optimerad modell.

Kommentar

Vid byte av material på KL-trä så framgår det i Figur 57 att den relativa fuktigheten för referensmodellen med annat material (1.14.1) och optimerad modell med annat material (1.14.2) överskrider den kritisk relativ fuktighet med ungefär fem procentenheter vid start av beräkningsperioden. En ingående fuktkvot på 16 % innebär i det nya materialet en högre relativ fuktighet. Referensmodellen med det nya materialet (1.14.1) överstiger kritisk relativ fuktighet under hela det första året och stora delar av det andra året för att därefter ligga under den kritiska relativa fuktigheten för resterande delen av mätperioden. Referensmodellen med det nya materialet (1.14.1) har även ett lägre jämviktssläge i jämförelse med referensmodellen (1.0) med ungefär fem procentenheter.

Gällande den optimerade modellen med ändrat material för KL-trä (1.14.2) sjunker den relativ fuktigheten under den kritiska relativa fuktigheten redan efter ungefär ett par månader. Efter cirka tre år har jämvikt uppstått för den optimerade modellen med ändrat material (1.14.2) vilket kan jämföras med fyra år för den optimerade modellen (1.11.1). Observera att den optimerade modellen med ändrat material (1.14.2) även fått ett förändrat fukt beteende jämfört med resterande av fallen. Högsta relativa fuktigheter nås på hösten snarare än på våren och lägsta på våren snarare än på hösten.

5.1.9 Trägrund 2 – Material och konstruktionsändringar



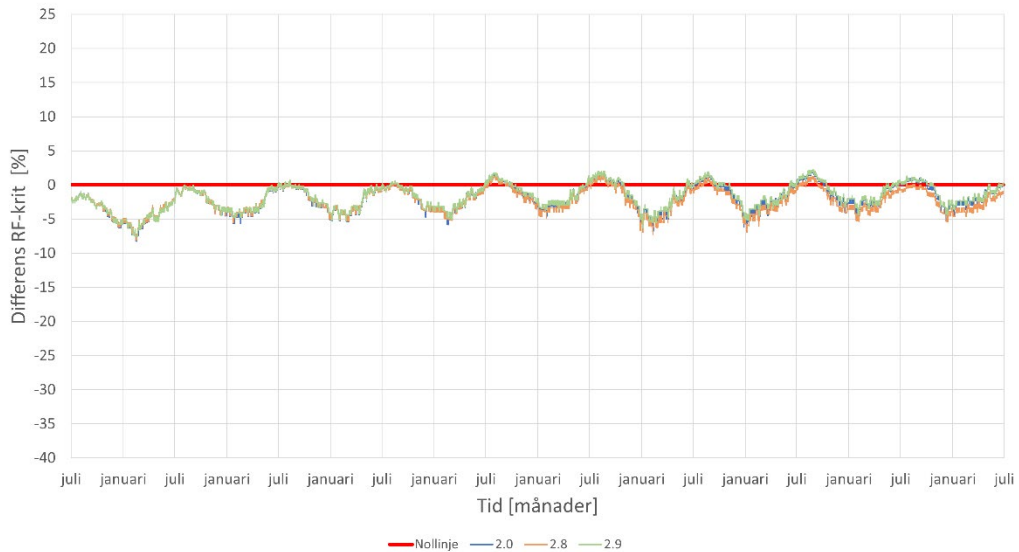
Figur 58 - Differens mot kritisk relativfuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.1.1 – Minskad sockelisolering 1, 2.1.2 – Minskad sockelisolering 2, 2.2 – Omplacering av PE-folie, 2.3 – Materialutbyte på sockelisolering, 2.4 – Materialutbyte på votisolering, 2.5 – Höjd marknivå, 2.6 – Borttagning av tjälisolering, 2.7 – Borttagning av PE-folie.

Kommentar

Parameterstudien för material- och konstruktionsförändringar visade att en enskild material- eller konstruktionsförändring kan vara tillräcklig för att Trägrund 2 skulle klara sig ifrån att överstiga kritisk relativ fuktighet. Den huvudsakliga förbättringsåtgärden, som framgår av Figur 58, var att ta bort PE-folien (2.7). Även utbyte av material i sockelisolering från cellplast till stenull (2.3) och borttagning av tjälisolering gjorde viss förbättring. Dessa tre förbättringsåtgärdena valdes vid uppbyggnad av en optimerad modell.

Ur Figur 58 framgår det att minskad tjocklek av sockelisolering (2.1.1 och 2.1.2) gav försämrad fuktsäkerhet, speciellt under senare år av beräkningsperioden, vilket påvisar på betydelse sockelisoleringens tjocklek för att hålla KL-träet varmt och torrt i förhållande till förhållande i marken och uteluften. I fallet för Trägrund 1 innebar det en förbättring då sockelisoleringens tjocklek i stället ökats. Uppflyttning av PE-folie (2.2), användning av cellglas i stället för cellplast som votisolering (2.4) samt höjd marknivå (2.5) gav samtliga också försämrad fuktsäkerhet. I fallet för beräkningsmodell 2.2 och 2.4 bedömdes detta främst bero på att KL-träplattan hade det svårare att torka ut och gällande höjd marknivå bedömdes det bero på en större fuktbelastning då mätpunkten i stället hamnade under marknivån.

5.1.10 Trägrund 2 – Komplettering av ventilation- och värmeinstallationer

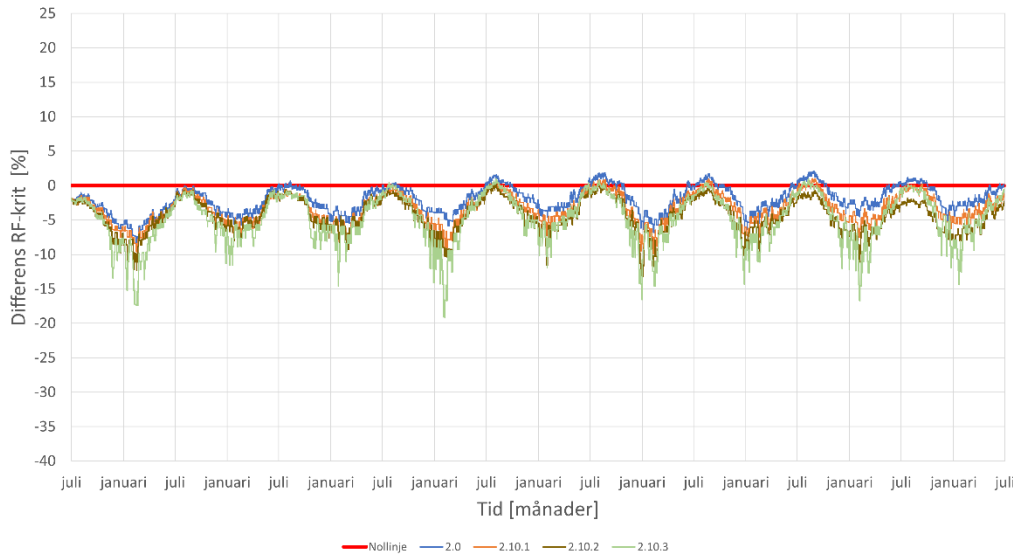


Figur 59 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.8 – Ventilerade luftspalter under KL-träplatta, 2.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta.

Kommentar

Vid komplettering av golvvärme till konstruktionen (2.9) kan det i Figur 59 observeras en mindre försämring. Användning av ventilerade luftspalter under KL-träplattan (2.8) gav en marginell förbättring under senare år av beräkningsperioden. Förbättringen av ventilerade luftspalter ansågs inte vara tillräcklig för att motivera det ingrepp och den konstruktionsförändring som krävs för att åtgärden skulle implementeras i optimerade modellen.

5.1.11 Trägrund 2 – Referensmodell i andra klimat

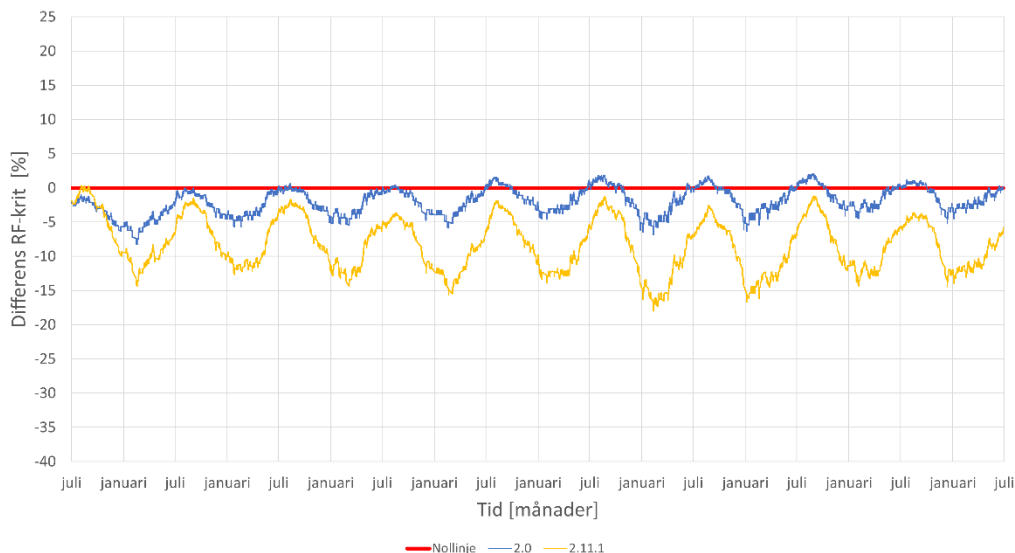


Figur 60 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.10.1 – Referensmodell i Stockholm, 2.10.2 – Referensmodell i Borlänge, 2.10.3 – Referensmodell i Luleå.

Kommentar

Enligt Figur 60 kan referensmodellen bedömas ha det värst i Lund (1.0). Klimatet i Borlänge (2.10.2) klara sig bäst och överstiger kritisk relativ fuktighet under fjärde och femte året med små marginaler och under relativt korta perioder.

5.1.12 Trägrund 2 – Optimerad modell

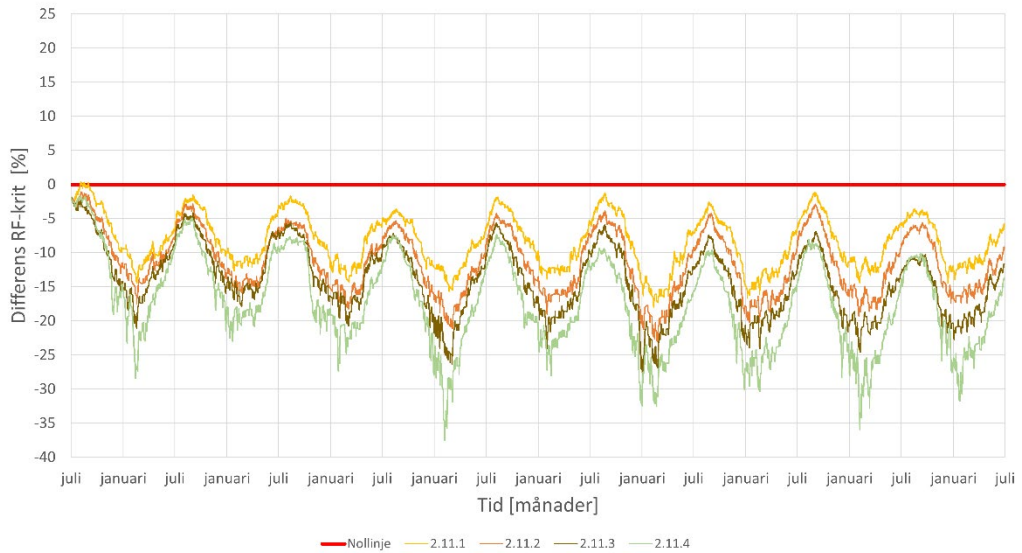


Figur 61 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.11.1 – Optimerad modell.

Kommentar

Optimerade modellen av Trägrund 2 (2.11.1) baserades på tre förbättringsåtgärder. Utbyte av material på sockelisolering (2.3), från cellplast till stenull, borttagning av tjälisolering (2.6) samt borttagning av PE-folie (2.7). Gällande borttagning av tjälisolering så gav det endast en marginell förbättring, en diskussion till varför det just gav en förbättring kan hittas under 6.1.7. Enligt Figur 61 uppnås en förbättring av fuktsäkerheten under majoriteten av beräkningsperioden. Kritisk relativ fuktighet uppnås inte någon gång förutom precis i början, där det i den perioden i stället resulterade i en försämring. Trots att fuktsäkerheten förbättrades har grafen en större amplitud då den pendlar upp och ner och vid vissa tillfällen befinner sig relativt nära den kritiska relativa fuktigheten.

5.1.13 Trägrund 2 – Optimerad modell i andra klimat

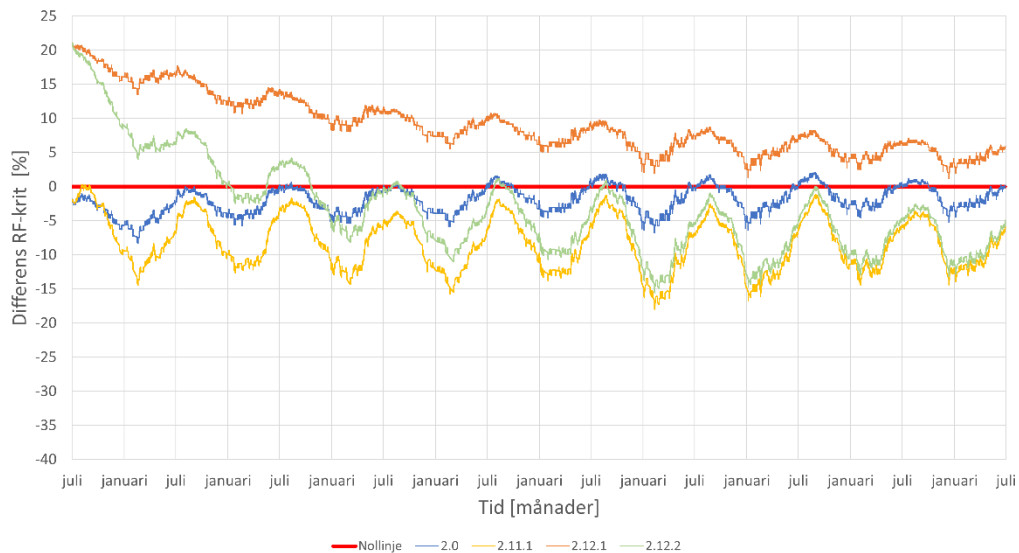


Figur 62 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.11.1 – Optimerad modell, 2.11.2 – Optimerad modell i Stockholm, 2.11.3 – Optimerad modell i Borlänge, 2.11.4 – Optimerad modell i Luleå.

Kommentar

Det kan observeras i Figur 62 att den optimerade modellen klarar sig ännu bättre i kallare klimat. I de fallen överstigs inte kritisk relativ fuktighet en enda gång. Grafens kraftiga pendling kvarstår och i vissa fall förvärras, när optimerade modellen befinner sig i kallare klimat.

5.1.14 Trägrund 2 – Simulerat inläckage i referensmodell och optimerad modell

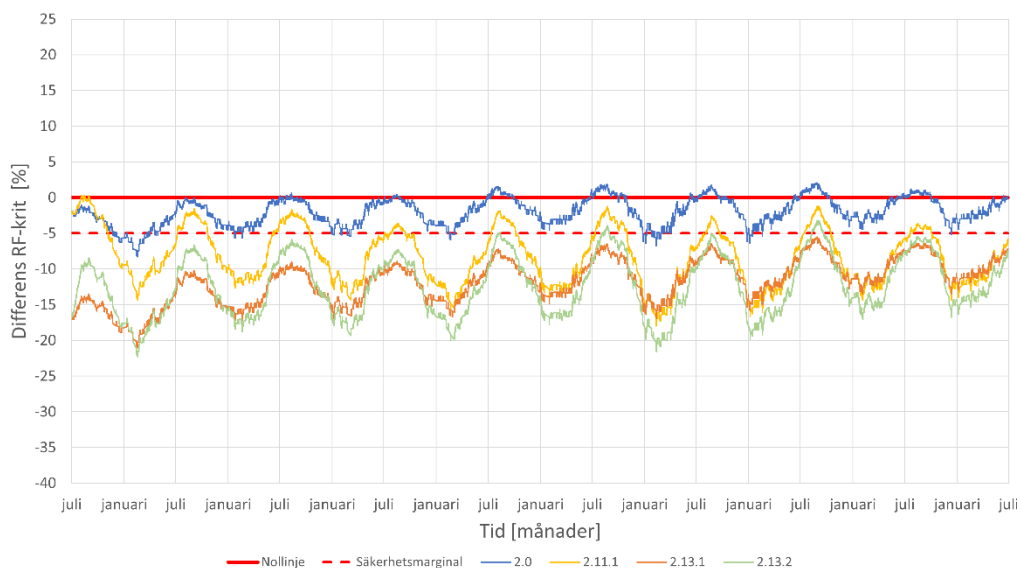


Figur 63 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.11.1 – Optimerad modell, 2.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell, 2.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

Ett inläckage som uppstått under byggskedet simuleras genom att höja ingående fuktkvoten kring mätpunkten till 30 %. I Figur 63 framgår det därför att kritisk relativ fuktighet överstigs markant för att sedan sjunka ner mot ett jämviktsläge. Det ökade fuktöverskottet är speciellt svårt för referensmodellen (2.12.1) att hantera, relativa fuktigheten lyckas aldrig hamna under kritisk relativ fuktighet under beräkningsperioden. Efter cirka sex år hamnar referensmodellen med inläckage (2.12.1) i en form av jämviktsläge som är förskjutet och parallellt med referensmodellen utan inläckage (2.0). I fallet för den optimerade modellen med inläckage (2.12.2) stabiliserar sig den relativa fuktigheten snabbare. Under majoriteten av de tre första åren av beräkningsperioden befinner sig den relativa fuktigheten över den kritiska för att sedan hamna i nära jämviktsläge med optimerade modellen utan inläckage (2.11.1). Optimerade modellen med inläckage (2.12.2) når dock stundvis kritiskt relativ fuktighet under de resterande åren.

5.1.15 Trägrund 2 – Sänkt fukthalt i referensmodell och optimerad modell



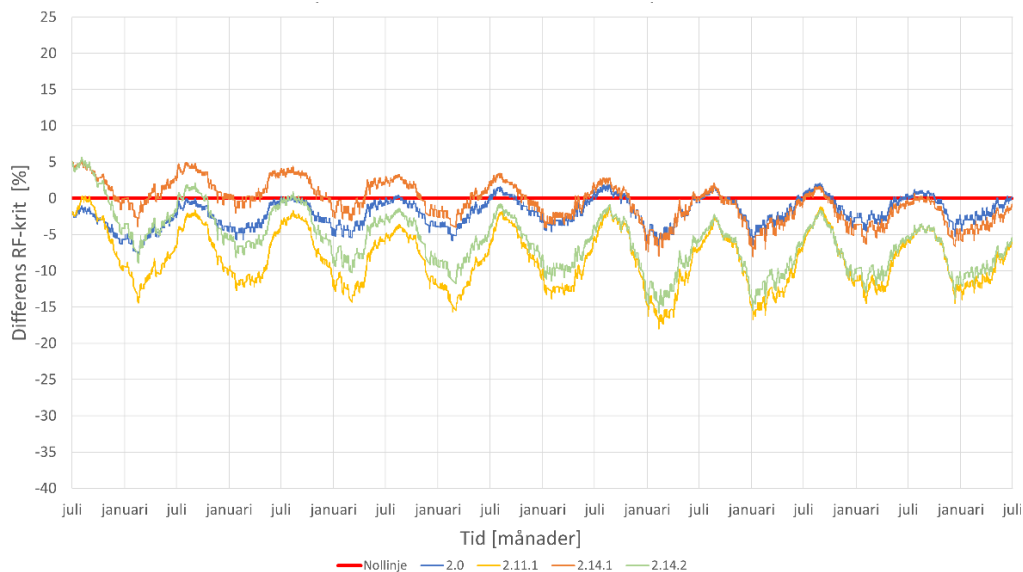
Figur 64 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.11.1 – Optimerad modell, 2.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell, 2.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

I Figur 64 presenteras resultaten då ingående fuktkvoten i trämaterial sänkts till 12 % och resterande byggmaterial sänkts till en ingående relativ fuktighet på 75 % i både referensmodell (2.13.1) och optimerad modell (2.13.2). I detta fall klara sig både referensmodell och optimerad med sänkta fukthalter ifrån att nå kritisk relativ fuktighet under hela perioden. Som kontrast visar det sig att det i detta fall är referensmodellen som klara sig bättre än optimerade modellen då sänkta fukthalter appliceras, grafen når lägre relativa fuktigheter och har även en mindre variation. I jämförelse med bestämd säkerhetsmarginal, som är angiven med röd streckad linje, kan det även sägas att referensmodell med sänkt fukthalt (2.13.1) är godkänd enligt studiens krav. Optimerad modell med sänkt fukthalt (2.13.2) hamnar vid två senare tillfällen, under hösten, över säkerhetsmarginalen och vid andra höstmånader relativt nära den.

Gällande referensmodellen utan sänkt fukthalt (2.0) kan det här tydligare observeras att relativa fuktigheten till största del rör sig i ett område mellan säkerhetsmarginal och kritisk relativ fuktighet, samtidigt som den mer eller mindre årligen överskrider kritisk relativ fuktighet under sommar/höst. Optimerad modell utan sänkt fukthalt (2.11.1) överstiger säkerhetsmarginalen med uppemot 3–4 procentenheter i cirka 3 månader varje år.

5.1.16 Trägrund 2 – Ändrat material på KL-trä i referensmodell och optimerad modell

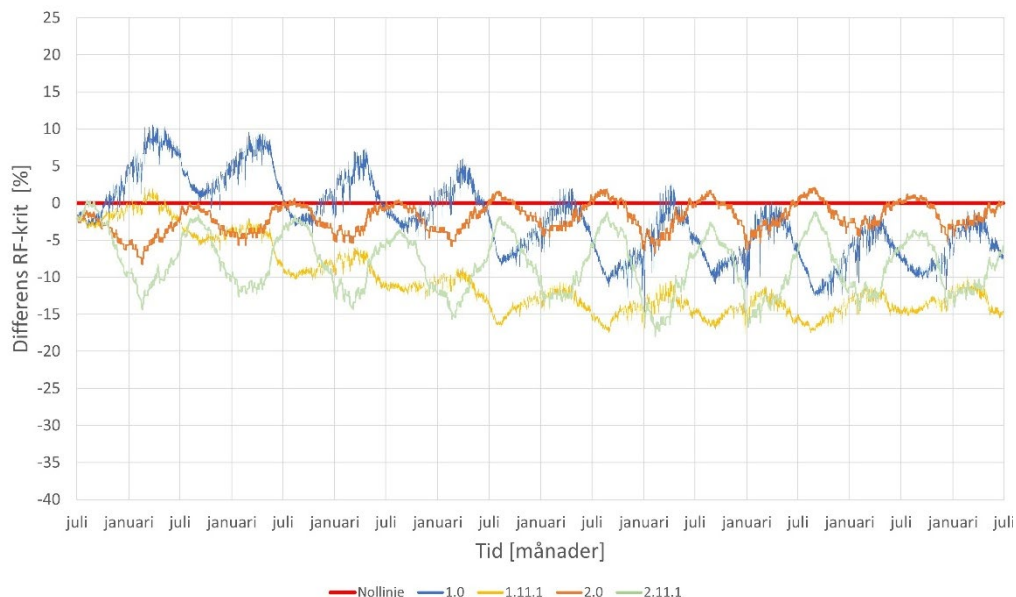


Figur 65 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 2.0 – Referensmodell, 2.11.1 – Optimerad modell, 2.14.1 – Ändrat material på KL-träplatta i referensmodell, 2.14.2 – Ändrat material på KL-träplatta i optimerad modell.

Kommentar

Vid byte av material på KL-trä framgår det i Figur 65 att referensmodellen med annat material (2.14.1) och optimerad modell med annat material (2.14.2) överskrider kritiskt relativ fuktighet med cirka 5 procentenheter redan i början av beräkningsperioden. En ingående fuktkvot på 16 % innebär i det nya materialet en högre relativ fuktighet. Referensmodellen med det nya materialet (2.14.1) överstiger kritisk relativ fuktighet under första halvan av beräkningsperioden under relativ långa perioder. Efter cirka sex år övergår den dock till att underskrida den relativa fuktigheten för den ursprungliga referensmodellen (2.0). Gällande den optimerade modellen med ändrat material för KL-trä (2.14.2) sjunker den relativ fuktigheten snabbare ned under den kritiska. Efter cirka 5 år stabiliserar sig relativa fuktigheten relativt nära till den av den ursprungliga optimerade modellen (2.11.1).

5.1.17 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade modeller i Lund



Figur 66 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.0 – Referensmodell, 1.11.1 – Optimerad modell, 2.0 – Referensmodell, 2.11.1 – Optimerad modell.

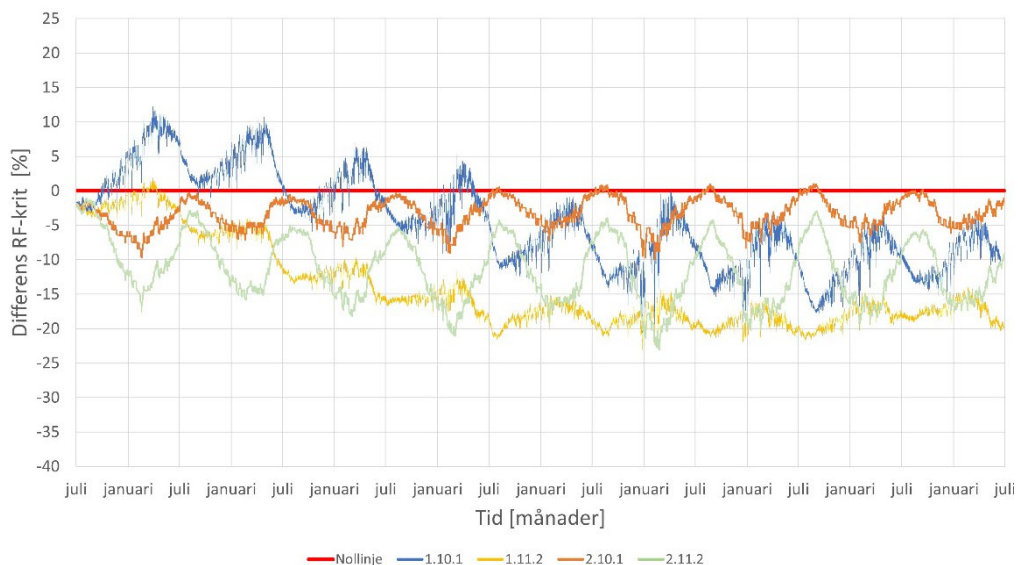
Kommentar

I Figur 66 redovisas referensmodell och optimerad modell för både Trägrund 1 och 2 när de befinner sig i Lund. Vid jämförelse av relativ fuktighet för referensmodellerna 1.0 och 2.0 kan det observeras att graferna har ett skilt beteende. Trägrund 1 utgår ifrån att ha hög relativ fuktighet i början av beräkningsperioden till att sedan sjunka under kritiska nivåer de sista tre åren. Till skillnad mot Trägrund 1 ökar relativa fuktigheten med åren för Trägrund 2. Dessa beteenden kvarstår vid optimerade modeller, förutom att graferna mer eller mindre förskjuts nedåt i diagrammet. Den relativa fuktigheten varierar också olika mellan Trägrund 1 och 2 beroende på årstid. Trägrund 1 har sina högsta relativa fuktigheter under våren medan Trägrund 2 har det under sen sommar och höst. Diskussion kring anledningen av dessa skiljaktigheter kan hittas under 6.1.19.

I Figur 66 kan det återigen konstateras att båda konstruktioner i sina referensfall inte klarar av att hålla sig under kritisk relativ fuktighet med givna förutsättningar. Trägrund 1 har speciellt problem under första halvan av beräkningsperioden där den i början överskrider kritisk relativ fuktighet under sammanhängande period av cirka ett och ett halvt år. Trägrund 2 har under hela perioden nära till och är även i vissa perioder över den kritiska relativa fuktigheten. Vid de optimerade fallen konstateras det att det utförts en förbättring för både Trägrund 1 (1.11.1) och 2 (2.11.1) med givna förutsättningar, framför allt för Trägrund 1. Efter de två första åren presterar optimerade modellen av Trägrund 1 speciellt bra. Optimerade modellen av Trägrund 2 behåller ungefär samma nivåer under hela beräkningsperioden, fast samtidigt har optimeringen av modellen lett

till en kraftigare variation av relativ fuktighet under hela perioden. Båda optimerade modeller når dock kritisk relativ fuktighet under kortare perioder av första året.

5.1.18 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade modeller i Stockholm

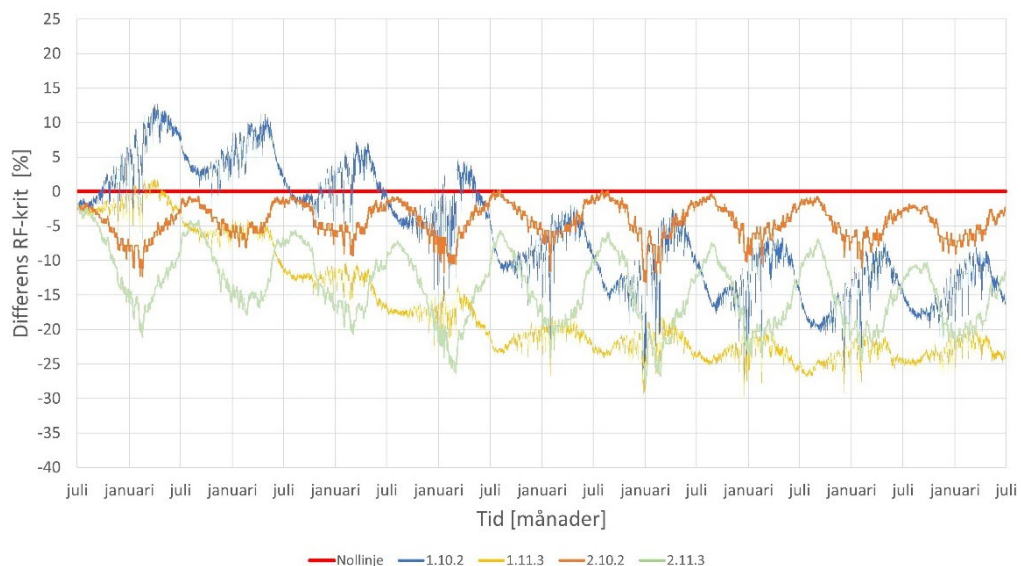


Figur 67 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.10.1 – Referensmodell i Stockholm, 1.11.2 – Optimerad modell i Stockholm, 2.10.1 – Referensmodell i Stockholm, 2.11.2 – Optimerad modell i Stockholm.

Kommentar

Då konstruktionerna placeras i Stockholm framgår det av Figur 67 att resultaten och beteendena är lika de i Lund. Dock observeras det här att relativ fuktigheten sjunker under majoriteten av beräkningsperioden för samtliga fallen. Relativa fuktigheten har även en kraftigare variation i Stockholm. I Stockholm hamnar inte den optimerade modellen av Trägrund 2 (2.11.2) vid något tillfälle över den kritiska relativa fuktigheten.

5.1.19 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade modeller i Borlänge

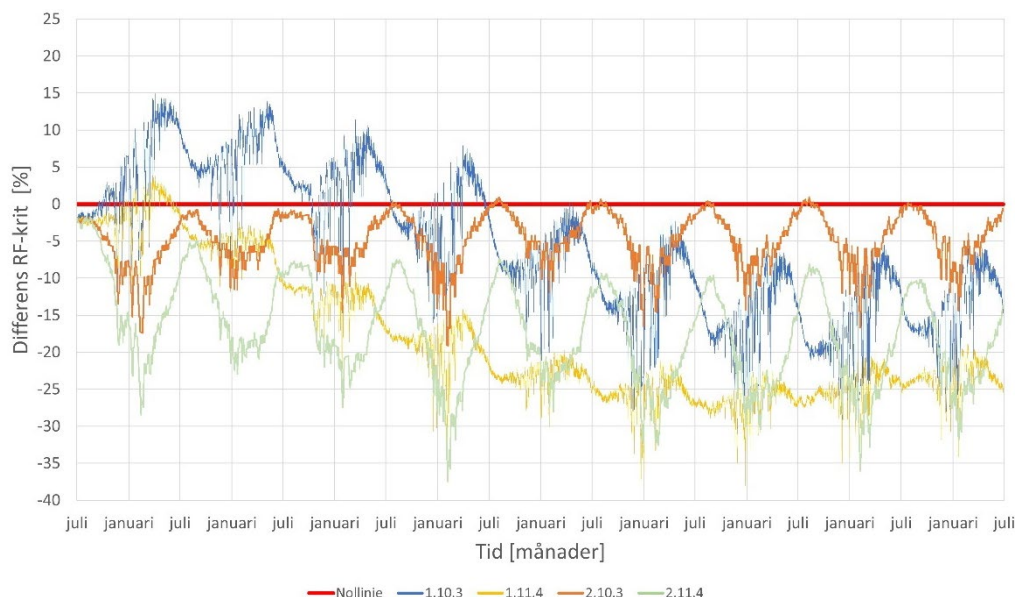


Figur 68 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.10.2 – Referensmodell i Borlänge, 1.11.3 – Optimerad modell i Borlänge, 2.10.2 – Referensmodell i Borlänge, 2.11.3 – Optimerad modell i Borlänge.

Kommentar

Trenden hos resultatförändringen för kallare klimat fortsätter enligt Figur 68. Detta antas främst bero på att det uppstår en större skillnad i temperatur mellan inom- och utomhus som minskar mängden fukt som uteluften kan bära och därmed minskar mängden tillskjutande markfukt. Relativ fuktighet sjunker ytterligare, samtidigt som kraftigare variationer uppstår i den. I detta fall är referensmodellen för Trägrund 2 (2.10.2) på gränsen till att klara sig under kritisk relativ fuktighet.

5.1.20 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade modeller i Luleå

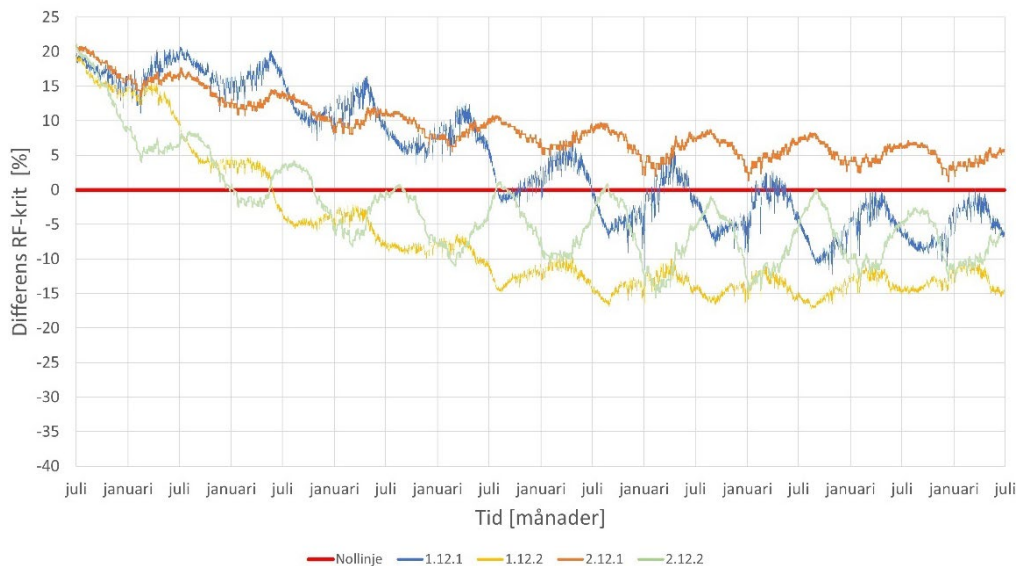


Figur 69 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.10.3 – Referensmodell i Luleå, 1.11.4 – Optimerad modell i Luleå, 2.10.3 – Referensmodell i Luleå, 2.11.4 – Optimerad modell i Luleå.

Kommentar

I Luleå visar resultaten en vändning, speciellt för Trägrund 1. Enligt Figur 69 har referensmodellen för Trägrund 1 (1.10.3) ökad överskridning av kritisk relativ fuktighet under de fyra första åren. Trots att det är kallare bedöms försämringen bero på att Luleå har en förhållandevis större nederbörd jämfört med orterna längre söderut. Kritisk relativ fuktigheten är mer eller mindre överskriden under en sammanhängande period av nästan 3 år, som mest är den överskriden med 15 procentenheter. Under senare delen av beräkningsperioden håller referensmodeller ungefär samma genomsnittlig relativ fuktighet som i Borlänge, dock är det en ännu kraftigare variation med både högre högsta värden och lägre lägsta värden. Referensmodellen för Trägrund 2 (2.10.3) har i detta fall resulterat i att återigen överstiga kritisk relativ fuktighet vid flera tillfällen som vid varmare klimat. Gällande optimerade modeller stabiliseras den relativa fuktigheten på ännu lägre nivåer, som lägst underskrivs kritisk relativ fuktighet med cirka 35 %. I fallet av den optimerade modellen för Trägrund 1 (1.11.4) överskrivs kritisk relativ fuktighet, i början av perioden, mer och längre än i något av de andra klimaten.

5.1.21 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade med simulerat inläckage

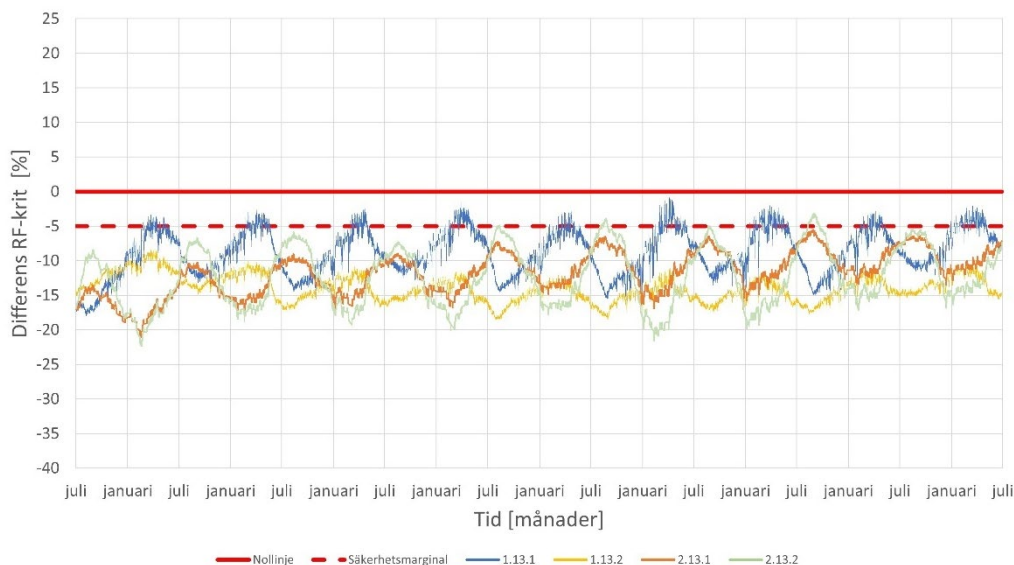


Figur 70 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell, 1.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell, 2.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell, 2.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

I Figur 70 presenteras hur referensmodeller och optimerade modeller av Trägrund 1 och 2 hanterat ett simulerat inläckage som uppstått vid byggskedet. I fallet av både Trägrund 1 och 2 kan det konstateras att optimerade modellerna hanterat den förhöjda ingående fukthalten bättre. De tre första åren har de optimerade modellerna ungefär samma genomsnittliga förhållande till den kritiska relativa fuktigheten, därefter har optimerade modellen för Trägrund 2 (2.12.2) det svårare att fortsatt inte nå kritisk relativ fuktighet. Referensmodellen för Trägrund 2 (2.12.1) har i förhållande till den av Trägrund 1 (1.12.1) också det svårare att hamna under kritisk relativ fuktighet överhuvudtaget. En allmän bedömning av Figur 70 är att ett inläckage under byggskedet kan orsaka höga och svårt hanterbara mängder av fukt.

5.1.22 Trägrund 1 och 2 – Referensmodeller och optimerade modeller med sänkt fukthalt



Figur 71 - Differens mot kritisk relativ fuktighet vid beräkningsmodell 1.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell, 1.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell, 2.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell, 2.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell.

Kommentar

Figur 71 presenterar hur referensmodell och optimerad modell för båda konstruktioner presterar med ingående sänkta fukthalter. Samtliga av fallen underskrider kritisk relativ fuktighet under hela beräkningsperioden. Med lägre ingående fukthalter börjar även referensmodeller och optimerade modeller under beräkningsperioden mer eller mindre i sina jämviktslägen. För Trägrund 1 presterar optimerade modellen (1.13.2) bättre än referensmodellen (1.13.1). Referensmodellen överskrider studiens angivna säkerhetsmarginal årligen, till skillnad mot den optimerade modellen som genomsnittlig underskrider kritisk relativ fuktighet med 10–15 procentenheter. Vid jämförelse med mätningdata ifrån Gustafsson (2019) kan det konstateras att liknande resultat fås ut, då det inuti konstruktionen i närhet till trä, i Gustafssons mätningar, uppmätts en maximal relativ fuktighet på 65 % i kombination med att kritisk relativ fuktighet för trä och träbaserade material är 75–80 % enligt Johansson (2014). För Trägrund 2 har både referensmodell (2.13.1) och optimerad modell (2.13.2) ungefär samma genomsnittliga underskridning av kritisk relativ fuktighet, men den optimerade modellen har en kraftigare variation. Detta innebär att referensmodellen för Trägrund 2 presterar bättre än optimerade modellen med dessa förutsättningar. Referensmodellen för Trägrund 2 (2.13.1) håller sig under säkerhetsmarginalen till skillnad mot optimerade modellen (2.13.2) som överskrider den i senare delar av beräkningsperioden. Det observeras även att samtliga fallen visar en marginell trend mot att röra sig närmare kritisk relativ fuktighet både under och eventuellt efter beräkningsperioden.

5.2 Fuktmätning vid studiebesök

Resultaterande mätvärden från fuktmätning presenteras i Tabell 12 och Tabell 13. I mätvärden för medelfuktkvot, Tabell 13, observerades att två mätningar, vid mätställe 2 och 4, visade relativt höga och avvikande värden.

Tabell 12 - Mätvärden från mätning av ytfuktkvot.

| | | | |
|-----------------------|------|-----|------|
| Mätställe | 1 | 2 | 3 |
| Ytfuktkvot [%] | 10,8 | 9,7 | 11,5 |

Tabell 13 - Mätvärden från mätning av medelfuktkvot.

| | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mätställe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Medelfuktkvot [%] | 10,3 | 20,0 | 11,8 | 17,9 | 11,0 | 12,0 | 12,6 |

5.3 Jämförelse av klimatpåverkan

KL-trägrunden har enligt Tabell 14 en klimatpåverkan som är 44 % lägre jämfört med en av betong. Vid jämförelse med en platta på mark av klimatförbättrad betong är klimatpåverkan 36 % lägre för en platta på mark av KL-trä. Klimatpåverkan för respektive konstruktion presenteras i Tabell 15, Tabell 16 och Tabell 17.

Tabell 14 - Jämförelse av klimatpåverkan för 1 m²

| | Betonggrund C30/37 | Klimatförbättrad betonggrund C30/37 | KL-trägrund |
|--|-----------------------|--|-------------|
| Summa klimatpåverkan för 1 m² [kg CO₂e] | 70,73 | 61,87 | 39,40 |

Platta på mark av KL-trä

Tabell 15 - Klimatpåverkan av KL-trägrund

| Material [-] | A1-A3 [kg CO ₂ e/kg] | A4 [kg CO ₂ e/kg] | A5 [kg CO ₂ e/kg] | Summa A1-A5 [kg CO ₂ e/kg] | Omräknings- faktor [kg/m ³] | Volym [m ³] | Vikt [kg] | Klimatpåverkan [kg CO ₂ e] |
|--|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|----------------------------|--------------|--|
| Korslimmat trä ¹ | 0,12 | 0,0345 | 0,00773 | 0,16223 | 465 | 0,1 | 46,5 | 7,543695 |
| EPS ² | 4 | 0,0345 | 0,28242 | 4,31692 | 16 | 0,4 | 6,4 | 27,628288 |
| Plastfolie ³ | 2,75 | 0,0495 | 0,27995 | 3,07945 | 900 | 0,0002 | 0,18 | 0,554301 |
| Plastfolie, variabel ångspärr ⁴ | 7,3625 | 0,0495 | 0,7412 | 8,1532 | 900 | 0,0005 | 0,45 | 3,66894 |
| Summa klimatpåverkan för 1 m² [kg CO₂e] | | | | | | | | 39,40 |

Platta på mark av betong

Tabell 16 - Klimatpåverkan av betonggrund

| Material [-] | A1-A3 [kg CO ₂ e/kg] | A4 [kg CO ₂ e/kg] | A5 [kg CO ₂ e/kg] | Summa A1-A5 [kg CO ₂ e/kg] | Omräknings- faktor [kg/m ³] | Volym [m ³] | Vikt [kg] | Klimatpåverkan [kg CO ₂ e] |
|--|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|----------------------------|--------------|--|
| Betong C30/37 ⁵ | 0,145 | 0,0039 | 0,00447 | 0,15337 | 2350 | 0,1 | 235 | 36,04195 |
| Armeringsstål ⁶ | 0,745 | 0,0795 | 0,07421 | 0,89871 | 7850 | 0,001 | 7,85 | 7,0548735 |
| EPS ² | 4 | 0,0345 | 0,28242 | 4,31692 | 16 | 0,4 | 6,4 | 27,628288 |
| Summa klimatpåverkan för 1 m² [kg CO₂e] | | | | | | | | 70,73 |

Platta på mark av klimatförbättrad betong

Tabell 17 - Klimatpåverkan av klimatförbättrad betong

| Material [-] | A1-A3 [kg CO ₂ e/kg] | A4 [kg CO ₂ e/kg] | A5 [kg CO ₂ e/kg] | Summa A1-A5 [kg CO ₂ e/kg] | Omräknings- faktor [kg/m ³] | Volym [m ³] | Vikt [kg] | Klimatpåverkan [kg CO ₂ e] |
|--|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|----------------------------|--------------|--|
| Klimatförbättrad betong C30/37 ⁷ | 0,1084 | 0,0039 | 0,00337 | 0,11567 | 2350 | 0,1 | 235 | 27,18245 |
| Armeringsstål ⁶ | 0,745 | 0,0795 | 0,07421 | 0,89871 | 7850 | 0,001 | 7,85 | 7,0548735 |
| EPS ² | 4 | 0,0345 | 0,28242 | 4,31692 | 16 | 0,4 | 6,4 | 27,628288 |
| Summa klimatpåverkan för 1 m² [kg CO₂e] | | | | | | | | 61,87 |

¹ Korslimmat trä, u 12 %, barrträ

² EPS, expanderad polystyren, tryckhållfasthetsklass 80

³ Plastfolie, ångspärr

⁴ Plastfolie, variabel ångspärr

⁵ Fabriksbetong, husbyggnad C30/37

⁶ Konstruktionsstål, alla sorter, skrotbaserad (exkl. objektsanpassningar)

⁷ Fabriksbetong, husbyggnad klimatförbättrad C30/37

Generiska data för material är hämtade från Boverkets klimatdatabas (Boverket, 2022).

6 Diskussion och slutsatser

Sista kapitlet innehåller diskussioner som uppmärksammas under studien och slutsatserna som kan dras utifrån dem och resultaten. Det ges även förslag på framtida utvecklingsmöjligheter inom området som behandlats i denna studie.

6.1 Diskussion inom fuktsäkerhetsstudie

Under studiens genomförande uppkom det en del ämnen att diskutera. Det har bland annat involverat felmarginaler vid användning av WUFI 2D, val av ingångsvärden, anledningar till resultaten och varför de skiljer sig mellan konstruktionerna samt hur resultaten förhåller sig till det som är funnet i litteraturstudien.

6.1.1 Val av metod

Metodvalet vid undersökningen av fuktsäkerheten i konstruktionerna ansågs vara högst lämpligt. För att relativt snabbt kunna få ut resultat för om en konstruktion är fuktsäker eller inte, samtidigt som det utförs upprepade förändringar i konstruktionen, ansågs det vara lämpligt att använda ett beräkningsprogram som WUFI 2D. Detta möjliggör att det kan utföras utförliga bedömningar av konstruktioner för att därefter utvärdera om det överhuvudtaget är aktuellt att testa konstruktionerna i verkligheten. I och med konstruktionernas relativt obeprövade karaktär bedömdes det även lämpligt att utföra kvantitativa delmoment av en fuktsäkerhetsprojektering som i princip därför endast baseras på kvantitativa bedömningar och mindre kvalitativa bedömningar. Gällande pålitligheten av resultaten bedömdes de vara fysiskt rimliga och även mer pålitliga jämfört med om det i stället hade utförts förenklade beräkningar för hand. Dessutom har det enligt Mundt Petersen, et. al. (2012) och enligt tidigare mätningar visat sig att resultat, av den typen av blinda beräkningar som utförts i studien, stämmer bra överens med verkligheten.

Som det nämnts i litteraturstudien har en byggnadsfysikalisk undersökning av en platta på mark av KL-trä utförts av Gustafsson (2020) med hjälp av WUFI Pro. Där bedömdes det att relativ fuktigheten i KL-träskiktets kärna stabiliserats kring 55–70 %, vilket kan jämföras med ett mer specifikt värde som kan uppnås med WUFI 2D. Detta kan förklaras av att det vid användning av WUFI Pro varit tvunget att endimensionellt både räkna på en beräkningsmodell som pekar mot utomhusluft (vid sockel) samt en beräkningsmodell mot mark, för att slutligen uppnå något genomsnittligt värde i området kring en anslutning mellan grundläggning och yttervägg. WUFI 2D ger möjligheten att mer specifikt välja ut en mätpunkt i en sådan typ av anslutning, som i fallet av denna studie i det nedersta hörnet av KL-träplattan, snarare än bara i KL-träplattans kärna. I en tvådimensionell beräkning har materialen som möts mellan de två olika byggnadsdelarna även en förmåga att beakta varandras olika värme- och fuktgenskaper för att därefter kunna bidra med en mer noggrann beräkning.

6.1.2 Numeriska fel i beräkningsprogrammet

Beräkningar i WUFI 2D utgick från att lösa ekvationer för värme- och fukttransport samtidigt i respektive av de 78 840 tidssteg (antalet timmar under nio år) som beräkningarna var uppdelade i. Detta utfördes iterativt tills skillnaden blev tillräckligt liten mellan de två iterationerna. Det resulterade i att beräkningarna under denna studie nådde antalet iterationer i en storleksordning av 5–10 miljoner per beräkningsmodell. Vid varje beräkning var det genomsnittligen 10 000 iterationer som avbröts, alltså 1–2 % av totala antalet iterationer. Mellan dessa iterationer misslyckades det att uppnå konvergens cirka 400–900 gånger per beräkningsmodell, alltså vid cirka 0,5–1 % av totala antalet tidssteg. Dessa beräkningsfel bedömdes vara så pass små att de inte har någon avgörande inverkan på pålitligheten av beräkningsresultaten. Trots att lösningar inte alltid är helt korrekta bedömdes de vara fysikaliskt rimliga.

6.1.3 Förenkling av parameterstudie

Trots att en parameterstudie av utförd grad resulterat i en relativt detaljerad fuktsäkerhetsprojektering skulle parameterstudien i optimala fall kunna utföras ännu mer noggrant. Till exempel genom att testa flera olika värden av ingående fuktkvot och avstånd mellan markyta och ovanliggande fasad. Detta innebär även att samtliga valda parameterändringar skulle kunna kombinerats på flera vis, till skillnad mot att endast utföra en parameterändring åt gången, som gjorts till största del i denna studie. Nackdelen med denna noggrannare parameterstudie är att det hade resulterat i en överväldigande mängd av beräkningsmodeller som bedömdes vara icke hanterbart och överflödigt för denna studie. I och med att parameterstudien inte utförts ”fullständigt” har konsekvensen varit att de kvantitativa delmomenten av en fuktsäkerhetsprojektering inte bara fullständigt baserats på en kvantitativ bestämning, utan även med viss hjälp av beprövade lösningar och kvalitativa bedömningar, för att välja ut mest väsentliga beräkningsmodeller och parameterändringar.

6.1.4 Säkerhetsmarginaler

Tidigare i rapporten har det nämnts att det lagts till en mer konkret säkerhetsmarginal, enligt Boverket (2020), Nilsson (2015) och Wallentén (2018), på 5 procentenheter till det högsta tillåtna fukttillstånd som beaktats under utvärderingen av fuktberäkningsresultaten. Kritiska relativ fuktighet var alltså minskat med 5 procentenheter för att bland annat ta hänsyn till osäkerheter i användandet av WUFI 2D och valet av ingångsparametrar. Säkerhetsmarginalen skulle också beakta osäkerheten hos de valda mögelmodellerna och konsekvenserna då mögelpåväxt uppnås. Mindre konkreta säkerhetsmarginaler har dock även implementerats på andra sätt vid fuktberäkning.

6.1.4.1 Val av mätpunkt

Vid försöket av att besvara på frågeställningen kring om en platta på mark av KL-trä är fuktsäker utgicks det ifrån att utvärdera grundläggningen i den punkt som förutsattes vara den mest dimensionerande, bara denna förutsättning kan betraktas som en säkerhetsmarginal. Först och främst utfördes undersökningen i det område av

grundläggningen som antogs vara värst ur fuktsynpunkt beroende på att bland annat vara geometrisk köldbrygga och mest utsatt för fuktbelastningar (under normala förhållanden). Alltså i anslutningen mellan grundläggning och yttervägg. Sedan bedömdes det med hjälp av fuktberäkningar mer noggrant var i anslutningen som dimensionerande punkten befann sig.

6.1.4.2 Ingående fukthalter

Vid bestämmande av ingående fukthalter har det utgått ifrån att räkna med relativt höga värden av byggfukt för att vara på säkra sidan. Som ingående byggfukt på KL-trä och annat trämaterial har en fuktkvot på 16 %, högsta tillåtna leveransfuktkvot enligt Svenskt Trä (2017), använts. I detta fall motsvarade det en relativ fuktighet på 75 %. För resterande delar och material (förutom markskiktet) användes WUFI 2D:s typiska värde för byggfukt av 80 % relativ fuktighet. Dessa värden anses vara en säkerhetsmarginal av högre grad, den kan till och med i efterhand bedömas vara lite väl kraftig, med tanke på att kritisk relativ fuktighet för trä anses vara vid 75–80 % (Johansson, 2014).

I några modeller av parameterstudien simulerades ett inläckage i grundkonstruktionen genom att höja ingående fuktkvoten i ett angivet område till 30 %, vilket motsvarar så kallad fibermättnadspunkt. Trots att det är en god säkerhetsmarginal kan det finnas tvivel till om detta är ett rimligt antagande vid ett inläckage. Samtidigt bedöms det vara svårt att bestämma vilken grad av fuktöverskott som det ska kompletteras med för att motsvara ett ofrivilligt och så pass varierande problem som ett inläckage. I andra fall hade det därför kunnat vara lämpligt att testa inläckage av olika och framför allt mindre grader.

6.1.4.3 Klimat och orientering

Den mest omfattande delen av parameterstudien utgick ifrån att testa konstruktionerna i det klimat som bedömdes vara svårast att hantera. Beräkningsmodellerna var dessutom orienterade mot det väderstreck som bedömdes vara mest ogynnsamt för respektive ort med främst beaktning på slagregn.

6.1.4.4 Regninträngning

I samtliga beräkningsmodeller har det förutsatts att 1 % av slagregnmängden som förekommit under beräkningsperioden penetrerat fasadskiktet och sedan fasadskivan för att till slut simuleras som ett inläckage cirka 25 mm innanför fasadskivan.

6.1.4.5 Startdatum

Startdatumet, 1 juli, som bedömdes vara tuffast för konstruktionerna, användes i samtliga beräkningsmodeller.

6.1.5 Användning av kantbalk och tjocklek på KL-träplatta

Trots att det i en rapport av Falck och Hellman (2012) visats vara lämpligt att använda kantbalk vid platta på mark av KL-trä vid enbostadshus har det i litteraturstudien av denna studie funnits och pratats med leverantörer som utför konstruktionerna utan kantbalk. Det förklarades att starkare typ av cellplast är tillräcklig som kantförstyvning för att uppfylla kraven på bärförmåga.

Denna skillnad i konstruktion mellan Trägrund 1 och 2 bedöms göra en påverkan i hur konstruktionerna presterar fuktmässigt i sina respektive mätpunkter. Ju längre ned från insidan av huset som mätpunkten befinner sig desto kallare blir det runt omkring den och desto närmare kommer den till fukten i marken, vilket kan göra den mer benägen till att nå högre fuktillstånd. Förutom att detta beror på att det är längre ifrån den varma insidan beror det även på KL-träets relativt goda isolerförmåga jämfört med betong. Förr i tiden var trots allt golvbjälkarna i en äldre ”platta på mark” mer eller mindre det enda meningsfulla bidraget av värmeisolering i en grundläggning. Dock var de enkla och primitiva husen från förr samtidigt starkt beroende av värmeläckaget genom golvet för att hålla fuktproblem borta, vilket leder till att träets goda isolerförmåga också kan komma till att bli en nackdel i dessa moderna konstruktioner (Sjömar, 1988).

Det är värt att nämna att KL-träplattan och kantbalken i Trägrund 2 också är tjockare än KL-träplattan i Trägrund 1. Mätpunkten i Trägrund 1 befinner sig därför strax under 60 mm ned från färdigt golv och i Trägrund 2 strax under 200 mm ner från färdigt golv. Trägrund 2 har en fyra gånger tjockare sockelisolering än i Trägrund 1 för att försöka kompensera för den tjockare och förhållandevis isolerande träplattan. Denna princip kan kopplas till Arfvidsson, et al. (2017) resonerande kring hur en viktig en temperaturskillnad är ur fuktsynpunkt mellan marken och grundplattan.

6.1.6 Användning av tjälisolering

Under parameterstudien bedömdes tjälisoleringen försämra fuktsäkerheten i konstruktionen, trots dess huvudsakliga syfte av att bevara värme i jorden intill byggnaden. I och med att markmaterialet i WUFI 2D har en funktion för transporterering av vatten antogs detta bland annat bero på att nederbörd orsakade att vattnet ”fastnade” och blev kvar ovanför horisontella tjälisolering. I WUFI 2D kunde tjälisoleringen inte placeras med en lutning ned från byggnaden, som den brukar placeras i verkligheten. I kombination med att tjälisoleringen även placeras dikt an mot grundläggningen antogs det att vattnet hade svårt att transporteras ned för ena kanten då vatten hade samlats. Denna vattenmängd som ”fastnat” ovanpå tjälisoleringen antogs därför orsaka en högre fuktbelastning på intilliggande grundläggning.

Trots att tjälisolering inte fanns med i optimerade modellerna för båda byggnader bedömdes det fortfarande vara lämpligt att använda tjälisolering. Jämfört med andra ingrepp förbättrade inte borttagningen av tjälisolering fuktsäkerheten med en allt för betydande grad. Dessutom beaktar inte WUFI 2D en sådan sak som tjällyftning, som eventuellt kan orsaka relativt stora problem.

6.1.7 Användning av fuktskyddsmembran

I denna studie beslutades det att fuktskyddsmembranet av SIGA (2020), som använts ovanpå KL-träplattan i båda befintliga konstruktioner, skulle vara kvar i samtliga beräkningsmodeller. I och med att det förutsattes att produkten skulle användas, för att skydda KL-träplattan från fukt under transport, montering och byggtid, antogs den även sitta kvar och byggas in då den är svår att avlägsna i efterhand. Trots att produkten under driftskedet, med sin antagna funktion som ångbroms, möjligtvis kan bidra som

fuktskydd vid framtida eventuella höga fuktbelastningar inifrån, försvårar den grundkonstruktionens förmåga att torka ut inåt. Till skillnad mot om den inte är där alls. Fuktskyddsmembranet inverkan blir ännu större då den enda vägen för materialen att torka ut är genom den. Trots att det därför även hade varit intressant att utföra beräkningar utan detta fuktskyddsmembran bedömdes det vara på säkra sidan att utföra beräkningarna då detta alltid var med.

6.1.8 Användning av markskikt i beräkningsmodellen

Som förenkling brukar det i en fuktberäkning vara vanligt att anta att det råder en konstant relativ fuktighet om 100 % på ytan precis under lägst belägna isoleringsskivan av grundläggningen. Denna studie försökte efterlikna verkliga markförhållanden genom att placera markskikt vid sidan om och under grundläggningen, se Bilaga 5. Trots att den ingående relativa fuktigheten i markskikten var på 98 % visa det sig att den inom en månad, i mark vid sidan om byggnaden, och att den så småningom i mark även under byggnaden, rörde sig mot ett område som var omkring 100 % relativ fuktighet. Därför bedömdes det delvis vara likvärdigt med ovan nämnda förenkling. Däremot observerades det att den relativa fuktigheten precis under byggnaden ökade speciellt långsamt i förhållande till marken vid sidan om byggnaden. Trenden visade att relativa fuktigheten var på väg från 98 % till 100 %, detta väckte misstankar om att det kunde ha en påverkan till hur genomsnittliga nivåer av relativ fuktighet i beräkningsresultaten i allmänhet svagt ökade i förhållande till kritisk relativ fuktighet under de senare åren.

Temperaturförhållanden som undersökts i marken anses vara realistiska, förutom ingående materialtemperaturen på 20 °C som sedan sjunker och stabiliserar sig i djupare delar av markskikten. Senare reflektioner leder till att det hade varit mer lämpligt att starta med en marktemperatur som är runt årsmedeltemperatur utomhus.

6.1.9 Val av material

I RäknaF av Wallentén (2018) beskrivs det hur olika användare av samma beräkningsverktyg kan få olika resultat för samma konstruktion, bland annat för att olika användare gör olika val av parametrar. Närmare studiens slutförande undersöktes detta genom att ändra materialparameter för KL-träplattorna i båda konstruktioner. Under den omfattande delen av parameterstudien var plattor och kantbalkar av KL-trä i både Trägrund 1 och 2 uppdelade i olika skikt med olika egenskaper i x- och y- led. Detta gjordes med avsikt i att försöka efterlikna träets väldigt olika egenskaper i olika riktningar. Vid senare skede förenklades uppbyggnaden av KL-träplattorna genom att utföra de i ett enda skikt och därefter använda ett generiskt material för KL-trä som har samma egenskaper i både x- och y-led. Förutom att materialet i stället blev homogent blev det även tätare. Jämförelsevis hade trä materialet till en början ett diffusionsmotstånd med en faktor mellan 4,3–130 i x- och y-led beroende på orienteringen av skikten. Vid ändrat material blev diffusionsmotståndet en faktor 500 i alla led, detta förmodligen för att limskikten och varierande egenskaper i korslimmade skikten beaktas. Det nya materialet hade även en högre ingående relativ fuktighet på 82 % till skillnad mot 75 %, då en fuktkvot på 16 % skulle uppfyllas.

Resultatet efter ändring av materialet blev i fallet av Trägrund 1 en relativt stor förbättring av fuktsäkerhet då det jämförs med resultatet av andra parameterändringar. Vid ett jämviktsläge sjönk relativ fuktighet, i förhållande till kritisk fuktighet, med cirka 5 procentenheter efter att material byttes ut. För Trägrund 2 blev det inte lika stor skillnad. Förutom att det nya materialet startade på en högre relativ fuktighet stationerade den sig nära samma jämviktsläge som vid användning av föregående material. Resultatet antas kunna bero på träets varierande egenskaper i olika riktning, som nämnts enligt Schmulsky & Jones (2019) och Arfvidsson, et al. (2017). Mer specifikt gäller det den större förändringen av diffusionsmotstånd i x-led efter materialändring i Trägrund 1 jämfört med Trägrund 2. Kring mätpunkten i Trägrund 1 var diffusionsmotståndet innan materialändring i x-led 4,3 (fiberriktning i trä) och i Trägrund 2 på 83,3 (tangentiell riktning).

6.1.10 Diffusionsöppna material och PE-folie

I utformningen av optimerade modeller lades stort fokus på att sträva efter att göra konstruktionerna mer diffusionsöppna. Anledningen till detta var att underlätta konstruktionernas förmåga att hantera byggfukt och lättare kunna torka ut, vilket framför allt syns när referensmodeller och optimerade modeller med simulerat inläckage jämförts. PE-folie togs bort i båda konstruktioner och sockelisolering byttes ut till en mer diffusionsöppen stenull i stället för tätare cellplast. Dessa ingrepp resulterade i att ge de mest påtagliga förbättringar när de kom till att hamna under kritisk relativ fuktighet. Till skillnad mot vad som förklarats av Goverde (2022) bedömdes PE-folien inte ha någon större funktion i att förhindra markfukt från att nå upp till plattan eller, vid studiens givna förutsättningar, förbättra fuktsäkerheten med den funktionen i tanke.

Med hjälp av ingreppen blev genomsnittliga relativa fuktigheter lägre, men i fallet av Trägrund 2 blev variationen av relativ fuktighet kraftigare då sockelisolering byttes ut till stenull. Resultatet av att byta till ett mer diffusionsöppet material blev att lägre genomsnittlig relativ fuktighet uppnåddes tack vara lägre lägsta värden, dock uppnåddes mer eller mindre samma högsta värden under beräkningsperioden som innan ingreppet. Det skulle kunna förväntas att samma resultat skulle visa sig för Trägrund 1, men där sjönk genomsnittlig relativ fuktighet utan att skapa kraftigare variationer. Detta antas bero på att den utökade sockelisoleringen (dubbelt så tjock) i den optimerade modellen kompenserade genom att samtidigt minska variationerna. Att kraftiga variationer uppstår i Trägrund 2 efter bytet till stenull kan även motiveras till att bero på att KL-träet befinner sig närmare marken. I parameterstudien har det visat sig att fuktsäkerheten försämrats i båda konstruktioner då marknivån höjts, eller med andra ord då KL-träet kommit närmare marken. I kombination med att sockelisoleringen även blir mer diffusionsöppen är nackdelen att den i detta fall även blir mer mottaglig till fukt. Trots att diffusionsöppna material innebär lättare uttorkning, innebär det även en större känslighet mot fuktbelastningar utifrån. I optimala fall hade det därför möjligtvis kunnat vara en bra idé att den ena proportionen av sockelisolering som är i kontakt med marken är av cellplast och att den andra proportionen av sockelisoleringen som är i kontakt med uteluften är av stenull.

Det är värt att påminna om att det vid implementering av en sockelisolering i stenull i Trägrund 1 kombinerats med att bakom förflytta skarven mellan PE-folie och fuktskyddsmembran längre ned i konstruktionen. Detta för att möjliggöra för den mer diffusionsöppna sockelisoleringen att bidra till uttorkning. Dock visa det sig i resultaten att denna kombination presterade en marginell nivå värre än vid att bara flytta skarven mellan PE-folie och fuktskyddsmembran, vilket i efterhand ifrågasätter om ett materialbyte av sockelisolering i denna konstruktion är lämplig (förutsatt att sockelisoleringen inte gjorts tjockare).

Resultatet av att ta bort PE-folien i Trägrund 1 visade sig vara den enskilt mest effektiva förbättringen. Dock får det poängteras att en närmast identisk förändring uppnåddes då skarven bakom sockelisoleringen mellan PE-folie och fuktskyddsmembran bara förflyttades så långt ner som möjligt i konstruktionen. Med det sagt kan det antas att det endast behöver strävas efter att inte ha PE-folie bakom sockel och inte i direkt kontakt eller närhet till KL-träplattan för att tillåta den att torka ut. Vill det behållas en PE-folie eller radonduk längst ner i konstruktionen för att användas mot markfukt och radon som kommer underifrån antas detta inte äventyra fuktsäkerheten i KL-träplattan i områden kring ytterväggar. Det kan därför diskuteras om delar av KL-träplattan som befinner sig närmare byggnadens mitt har lika enkelt att torka ut, antingen med eller utan en plastfolie under sig.

Resultatet av att ta bort PE-folien i Trägrund 2 visade sig i längden även här vara den enskilt mest effektiva förbättringen. Modifieringen resulterade i en lägre genomsnittlig relativ fuktighet med lägre variation och dessutom den enda konstruktionsmässiga modifiering som faktiskt bidrog med betydande sänkning av de högsta värden av relativ fuktighet under året, förutom precis i början av beräkningsperioden. Anledningen till att relativa fuktigheten i stället till en början ökade, efter denna modifiering, antogs bero på att byggfukt från materialskikt som tidigare låg under PE-folien fick möjlighet att torka ut mot sidan och upp mot KL-träplattan och inte bara nedåt. Till skillnad från Trägrund 1 befann sig denna PE-folie till en början precis under kantbalken av KL-träplattan och inte lika långt ner under. Detta kan även förklara de väldigt höga värden som förekom i första halvan av beräkningsperioden för referensmodellen av Trägrund 1. Då PE-folien var placerad under flera lager av cellplast och även fortsatte hela vägen upp längs med sidan av KL-träplattan fann byggfukten i cellplastskivorna ingen annan väg att torka ut än uppåt mot KL-träplattan och igenom det, i förhållande till PE-folien, mindre täta fuktskyddsmembranet. Samma sak gällde för Trägrund 2 då PE-folien leddes om till att fortsätta längs upp med sidan av KL-träet.

6.1.11 Sänkt fuktkvot

Vid en ingående sänkt fuktkvot i KL-träplattorna till 12 % och en lägre ingående relativ fuktighet på 75 % i resterande byggmaterial klarade sig både referensmodeller och optimerade modeller under sina kritiska relativa fuktigheter. För Trägrund 1 klarade sig dock bara den optimerade modellen under studiens angivna säkerhetsmarginal om 5 procentenheter, den höll sig nästintill nere med en säkerhetsmarginal om 10 procentenheter under hela beräkningsperioden med dessutom en relativt liten variation. I fallet för Trägrund 2 var det tvärtom, där klarade sig endast referensmodellen under

den angivna säkerhetsmarginalen. Trots att den optimerade modellen behöll en snarlik genomsnittlig underskridning av kritisk relativ fuktighet genom majoriteten av beräkningsperioden varierade den för kraftigt och nådde för höga toppar för att kunna hålla sig kvar under säkerhetsmarginalen. Detta antas som sagt bero på materialskiftet till stenull i sockelisolering och för tankarna mot om det hade blivit bättre ifall inget materialbyte utförts i optimerade modellen av Trägrund 2. Möjligtvis hade en optimerad modell med endast borttagning av PE-folie varit bättre vid en sänkt fukthalt. Dock finns även möjligheten att PE-folien i referensmodellen agerar bra mot att stoppa fukt underifrån, när en lägre mängd byggfukt är applicerad.

Ur annan aspekt uppmärksammas det att i beräkningsmodeller med ingående fuktkvot på 12 % påbörjas med en fuktnivå som mer efterliknar det jämviktsläge som konstruktionerna senare stabiliserar sig i. I dessa modeller stabiliserar det sig relativt fort och stora variationer av relativ fuktighet undviks. Variationerna blir således enklare att acceptera, då större variationer annars kan orsaka förändringar i form av fuktrörelser eller ändring av termiska och andra materialegenskaper (Nilsson, 2015).

6.1.12 Värmeisolering

Enligt studiens resultat spelade värmeisolering i sockeln en stor roll i att hålla konstruktionerna fuktsäkra, både i att hålla konstruktionerna varma, hålla lägre nivåer av relativ fuktighet och för att minska temperaturvariationer och därmed variationen på relativ fuktighet under året. I Trägrund 1, som började med en sockelisolering på 50 mm, visa det sig att det fanns en god betydelse i att höja tjockleken till 100 respektive 200 mm. För Trägrund 2 visa det sig därför i stället vara en sämre idé att minska sockelisoleringens tjocklek från 200 till 100 respektive 50 mm. Under studien uppmärksammades det uppstå andra anpassningar då sockelisoleringens tjocklek skulle utökas i Trägrund 1. För att inte äventyra konstruktionens bärlighet bedömdes det vara lämpligt att även utöka tjockleken av ytterväggens isolering för att laster längs med ytterväggen inte skulle appliceras längre ut på KL-träplattan. Trots att detta utökade isoleringsförmågan i ytterväggen är det inte nödvändigtvis att det ligger i en byggherres intresse att initiera denna komplettering på grund av ekonomiska eller andra skäl. Då tjockleken av sockelisolering i Trägrund 2 skulle minskas var anpassningen av ytterväggen därför tvärtom, för att lasten fortfarande skulle kunna appliceras rakt ovanför kantbalken.

6.1.13 Radonskydd

Enligt Mundt-Petersen (2022) används PE-folier även i vissa fall som radonskydd. I kontrast till detta visar studien att det ur fuktsynpunkt är lämpligt att utföra dessa plattor på mark av KL-trä i vissa fall helt utan plastfolie. Därför är det lämpligt att vissa utredningar utförs för att undersöka alternativ eller möjligheten till omplacering av PE-folier/radonduk för att förse en platta på mark av KL-trä med både ett tillräckligt bra radonskydd och fuktskydd.

6.1.14 Äldre klimatdata

I studien har det utförts fuktberäkningar av framtida fuktförhållanden baserade på historiska data. Som nämnts i RäknaF av Wallentén (2018) kan därför resultaten av beräkningarna komma att skilja sig från verkligheten, då det faktiska framtida klimatet är okänt. Under senare delen beräkningsperioden av båda konstruktioner observeras en marginell ökning av genomsnittlig relativ fuktighet i förhållande till kritisk relativ fuktighet. Det har diskuterats om detta kan ha ett svagt beroende till eventuella klimatförändringar. För att undersöka detta närmare och även uppskatta konsekvensen av framtida klimatförändring anses det därför vara lämpligt att använda nyare och även längre perioder av klimatdata. Använd klimatdata i denna studie är trots allt runt 30 år gammal.

6.1.15 Åldrande och nedbrytning av material

Vid simulering av en modell i WUFI beaktas inte åldrandet eller nedbrytningen av materialets förmåga att prestera över tid då programmet inte tar hänsyn till fysiska förlopp som materialets åldrande. Detta innebär att felkällor som förslitningar eller försämrade prestanda beaktas i form av den angivna säkerhetsmarginalen. Ett speciellt exempel är fuktskyddsmembranet som klistras på KL-träskivan och som sedan är svår att avlägsna, vilket gör att den sitter kvar vid inbyggnad. Livslängden på fuktmembranet och dess prestanda som ångbroms över tid är som sagt inte dokumenterad.

6.1.16 Ventilerande skikt och värmegolv

Som enligt Arfvidsson, et al. (2017) kan ett kontrollerat luftflöde i en grundkonstruktion transportera bort byggfukt och fukt som tillförs byggnaden underifrån. Resultatet visade i detta fall att ventilerade skikt inte hade någon större inverkan på uttorkning av den initiala byggfukten. Detta misstänkts bland annat bero på att obehandlad inomhusluft använts till ventilering och att luftflödet varit för litet för att göra någon effekt. Det ventilerande skiktet testades med en omsättning på 1 oms/h som använts i rapporten av från Olsson (2018), där det visats att både byggfukt och tillskjutande fukt i en platta på mark av KL-trä kan ventileras bort med denna omsättning. Resultaten i denna studie visade dock att det skulle behövas en mycket högre omsättning för att denna lösning ska ha en påtaglig och betydelsefull inverkan på uttorkningen, som även nämnts ofta vara fallet enligt Arfvidsson, et al. (2017).

För det ventilerade skiktet användes som sagt inomhusluft till luftflöde. Inomhusluft har en högre fuktighet än utomhusluft på grund av fuktillskott och inomhusluften skulle därför lämpligen behöva avfuktas innan den används i grunden. Att ventilera med utomhusluft under vinterhalvåret skulle däremot innebära att grunden kyls ner och riskera att en energikortslutning skulle uppstå eftersom utomhusluften har en lägre temperatur än inomhusluften. Vidare undersökning behöver göras för att utreda vilken omsättning av luft och vilket val av inom- eller utomhusluft som skulle kunna vara lämpligt.

En motivering till att behålla luftspalterna i grunden skulle däremot kunna vara för att användas i förebyggande syfte och skydd vid eventuellt inläckage eller förhöjd fukthalt

i träplattan, som i fallet för typlösningen i rapporten av Gustafsson (2019). Dessa luftspalter är i så fall kvar som beredskap för att mekaniskt kunna ventileras ifall fuktproblem uppstår. Luftspalterna lyfter även upp KL-träplattan så att den ligger säkrare och gör spridningsrisken mindre vid eventuellt inläckage.

Värmegolv visade sig innebära en marginellt förhöjd fukthalt i KL-träskikten för både Trägrund 1 och 2. Den förhöjda fuktkvoten är däremot så liten att golvvärme vid rätt dimensionering inte anses utgöra en risk för en fuktsäker platta på mark av KL-trä och kan därför användas ur ett komförhänseende. Dock är det viktigt att inte dimensionera golvvärmens effekt för högt så att risken för fuktvandring uppstår. Vid val av effekt ansattes först en överdimensionerad effekt för golvvärmen som resulterade i att en fuktvandring uppstod ner och utåt i plattan. Den höga effekten i kombination med omkringliggande PE-folie innebar att fukten inte kunde ta sig ut ur konstruktionen utan samlades i den yttersta och nedre delen av KL-träplattan.

6.1.17 Användning av väderskydd

Resultaten från mätningarna visar att trägrunderna har svårt att torka ut en förhöjd fuktkvot även vid optimerade modeller. Det är således viktigt att en platta på mark av KL-trä är torr och skyddad under hela produktionen. I litteraturstudien framkom det delade meningar om väderskyddets betydelse och nödvändighet. I SBUF-rapporten författad av Olsson (2019) framkommer det att det är svårt och ibland omöjligt att undvika uppkomst av mikrobiell påväxt under byggnation med KL-trä utan väderskydd (Olsson, 2019). Medan det i en publikation av Svenskt Trä framhävs att det genom planering, regelbundna kontroller samt åtgärder av trä som blivit fuktigt, är möjligt att bygga med KL-trä utan väderskydd (Svenskt Trä, 2021). Båda sidor är däremot överens om vikten av att en konstruktion av KL-trä ska hållas torr samt att särskild beaktning bör tas för känsliga delar som ändträn, som även stämmer överens med resultaten av denna studie och rapporten från Smart Housing Småland (2020). Huruvida väderskydd är en nödvändighet eller inte får vara upp till byggherrens och entreprenörens omdöme och riskbedömning. Resultaten från denna studie visar däremot hur viktigt det är att KL-träets fuktkvot under lagring är på en nivå nära jämviktsläget som verkar under bruksskedet, att det skyddas från tillkommande fukt och att en slutlig fuktkontroll utförs innan inbyggnad.

6.1.18 Olika fukt beteenden i konstruktionerna

Vid jämförelse av resultaten för de olika konstruktionslösningarna uppmärksammades det att relativ fuktighet varierade på olika sätt samtidigt som kritisk relativ fuktighet varierade på liknande sätt mellan årstiderna. I Trägrund 1 reste sig relativ fuktighet som högst då den kritiska var som högt. I Trägrund 2 var det snarare att relativ fuktighet reste sig som högst då den kritiska var som lägst, vilket kan ses som en fördel för Trägrund 1 när det kom till att basera bedömningen på hur relativ fuktighet skilde sig mot den kritiska vid respektive tillfällen.

Vid en separat beräkningsmodell för både Trägrund 1 och Trägrund 2 liknade fukt beteendet det allmänna av den andra konstruktionslösningen. I fallet för Trägrund 1

rörde sig den relativa fuktigheten på samma sätt som för den i Trägrund 2 då materialet i den optimerade modellen byttes ut till ett annat material i KL-träplattan. Gällande Trägrund 2 var det minskandet av tjockleken på sockelisolering från 200 mm till 50 mm som gjorde att rörelsen av relativ fuktigheten mer liknade den hos Trägrund 2. Vid skrivandet av denna rapport har ingen speciellt stark misstanke lyckats riktas mot varför detta uppstått. En svag misstanke var att det berodde på värmeisoleringen kring mätpunkten. Vid en mycket tunnare sockelisolering i Trägrund 2 förändras beteendet då det blir kallare kring punkten. När det i x-led av KL-träplattan blir en hälften så stor värmeledningsförmåga i optimerade modellen för Trägrund 1, på grund av materialbyte, läcker inte lika mycket värme ut från insidan byggnaden som resulterar i att området kring mätpunkten blir kallare.

6.1.19 Fuktmätning vid studiebesök

Vid studiebesökets genomförande hade trägrunderna stått utomhus i emballage i två månader. Resultatet av mätvärdena visade att grundkonstruktionerna i de flesta mätpunkter hade en fuktkvot på ungefär 12 % men att två av de sju mätvärdena visade en fuktkvot över 17 %. Resultaten från denna studie visade att referensmodellerna hade svårt att torka ut den initiala byggfukten med en fuktkvot på 16 % och att den kritiska relativa fuktigheten överskreds under en så lång tid att mikrobiell påväxt hinner uppstå. Mätvärdena från studiebesöket visar därför på vikten av att skydda en konstruktion av KL-trä under lagring samt att en slutlig kontroll utförs innan inbyggnad.

6.1.20 Fuktsäkerhet och hållbarhet

Fuktsäkerhet kommer alltid vara en viktig del när det kommer till byggnaders hållbarhet, som även nämnts enligt Kumlin & Norberg (2016). Det är viktigt att påminna om att en konstruktions egenskaper som exempelvis ger en byggnad lägre klimatpåverkan eller en byggnad som är billigare att konstruera snabbt kan tappa sin innebörd då den utsätts för omfattande fuktskador. Att behöva bygga om eller bygga nytt resulterar i att huvudtanken om lägre klimatpåverkan, billigare konstruktioner och billigare produktionsmetoder tappar sitt värde. På så sätt kan fuktsäkerhet därför starkt kopplas till begreppet ”hållbarhet”.

Vid en jämförelse mellan trä och betong så kan det lätt leda till frågan om vilket material som klarar fuktbelastningar bäst. Trots att en platta på mark av trä slipper uttorkning vid uppbyggnad har en platta av betong en större tolerans av att kunna bli blöt och samtidigt inte utsättas för några fuktskador. Om olyckan är framme kan det i fallet av betongen vara tillräckligt att bara låta plattan torka ut, samtidigt som det i fallet av träet inte finns någon annan utväg än att byta ut plattan. I dessa sammanhang kan därför träets starka koppling till hållbarhet lätt ifrågasättas. Som förslag till att försöka lösa detta dilemma kan det tas lärdom av hur det i äldre timmerhus fanns ”extra” stockar under syllarna som inte hade någon konstruktiv betydelse utan agerade som ”utfyllnads- och offerstock”. I stället för att behöva utföra omfattande ingrepp kunde dessa stockar lätt bytas ut om de drabbats av fuktskador (Andersson, et al., 2008).

6.2 Diskussion inom studie av klimatpåverkan

Jämförelsen av klimatpåverkan visade att en platta på mark av KL-trä har 44 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av konventionell betong och 36 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av klimatförbättrad betong. I jämförelse med den lägre klimatpåverkan som en platta på mark av KL-trä påstås innebära i litteraturstudien är studiens resultat likartat den procentuellt lägre klimatpåverkan i modul A1-A3 som presenterades av Fiskarhedenvillan (2022). Däremot skiljer sig studiens resultat påtagligt från den procentuella lägre klimatpåverkan som presenterades av Gustafssons (2019). Detta kan bero på flera olika faktorer. Möjligen kan Gustafsson räknat på en betong med överdimensionerande hållfasthetsklass, större mängd armeringsjärn eller armeringsjärn med högre klimatpåverkan samt inte beaktat de extra fuktmembran som eventuellt används i en platta på mark av trä.

Resultaten av studien visade på att en platta på mark av KL-trä har lägre klimatpåverkan i jämförelse med en platta på mark av betong eller klimatförbättrad betong. Däremot behöver den lägre klimatpåverkan sättas i relation till den totala klimatpåverkan för ett småhus där grunden utgör ungefär 35 % av klimatpåverkan (Malmqvist, et al., 2021). Beställaren måste således överväga om klimatvinsten är värd den eventuellt förhöjda fuktrisk som uppkommer med grundläggning av KL-trä.

6.2.1 Generiska data

I studien användes Boverkets generiska materialdata (Boverket, 2022) för beräkning av klimatpåverkan. Generiska materialdata innebar ett påslag på 25 % för modulerna A1–A3 samt 5 % för modul A5 vilket ger ett högre värde än produktspecifika material som därmed skiljer studiens resultat i klimatpåverkan i kg CO₂-ekvivalentener/m² från de andra resultaten i litteraturstudien. Eftersom påslaget gjordes för samtliga material i klimatberäkningarna jämfördes i stället resultatet av den procentuella skillnaden med de andra resultaten i litteraturstudien. Skillnaden i kg CO₂-ekvivalentener/m² samt den procentuella skillnaden visar att det finns många olika sätt att räkna och redovisa klimatpåverkan på samt vikten av det finns transparenta redovisningar av beräkningarna.

6.2.2 Livscykelperspektiv och livslängd

Beräkning av klimatpåverkan genomfördes för modulerna A1–A5, därmed betraktades inte modulerna för användningsskede (modul B1–B7) och slutskede (modul C1–C4). Användningsskedet och slutskedet betraktades inte på grund av den bristande information som fanns tillgänglig under studiens genomförande samt den svårighet att uppskatta vad som kommer att ske med konstruktionerna efter dess livslängd uppnåtts. Det var även svårt att få fram opartisk information om LCA och livslängd eftersom en del av den tillgängliga informationen och påstådda lägre klimatpåverkan kom från intresseorganisationer med vad som kan bedömas vara icke transparenta beräkningar.

KL-trä har använts som stommaterial i flera byggnader och livslängden för KL-trä i grundkonstruktionen bör därmed vara likvärdig den förväntade livslängden för en

stomme av KL-trä så länge grunden utformas på ett fuktsäkert sätt samt skyddas under montage från fukt och kontrolleras innan inbyggnad.

6.3 Slutsatser

Nedan presenteras de slutsatser som kunnat dras utifrån de frågeställningar som ställts i 1.4 Problemformulering. Slutsatserna motiveras av resultaten i studien och diskussionen kring dessa. Slutsatserna baseras på en sammanvägning av de studier som utförts på respektive konstruktionslösning.

6.3.1 Är en platta på mark av KL-trä för småhus en fuktsäker konstruktion och hur bör en sådan utformas?

Resultaten visar att en platta på mark av KL-trä för småhus kan, vid fuktbelastningar som förväntas vid normala driftfall, vara en fuktsäker konstruktion om den byggs på rätt sätt. Rekommendationer för att uppnå en fuktsäker konstruktion i en platta på mark av KL-trä är att:

- Ha tillförlitligt väderskydd under hela byggskedet så att fuktillstånd i KL-träelement som kontrolleras motsvarar högst 12 % fuktkvot och att resterande byggmaterial är torra, vid inbyggnad.
- Ha tillförlitlig tjocklek av sockelisolering, minst 100 mm.
- Avståndet mellan markyta och fasad bör minst vara 250 mm.
- KL-trämateriäl bör befinna sig så högt som möjligt i grundläggningen. Om möjlighet finns ska KL-träplattan utföras utan kantbalk.
- Möjliggör att KL-träplatta och omkringliggande materiäl tillåts torka ut i andra riktningar än bara genom KL-träplattan. Därför undanbedes användning av ångspärr speciellt bakom sockel, i grundläggningen. Det föreslås dock fortfarande att delen av sockelisolering som är i kontakt med marken eller under markytan är av cellplast.
- Vid ny typ av konstruktionslösning eller omplacering av byggnad till ort med annat klimat bör värme- och fuktberäkningar utföras i program som WUFI 2D.

6.3.2 Vilken skillnad är det i klimatpåverkan under byggskedet mellan en platta på mark av KL-trä respektive betong?

Jämförelsen av klimatpåverkan i modul A1–A5 för en likartad konstruktion utformad med KL-trä gentemot betong och klimatförbättrad betong visade att en platta på mark av KL-trä har cirka 44 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av konventionell betong och cirka 36 % lägre klimatpåverkan än en platta på mark av klimatförbättrad betong.

6.4 Förslag till framtida studier

Konceptet med en platta på mark av KL-trä är något som ligger i tiden, liksom andra typer av byggmaterial som framställs på ett mer miljövänligt sätt. Därför finns det fler viktiga områden att utreda med syfte att främja utvecklingen för detta koncept.

6.4.1 Utökade parameterstudier

Som tidigare nämnts i denna rapport har parameterstudiens omfattning begränsats på grund av den tidsåtgång som krävts för beräkning av varje enskild parameterändring och varje kombination. Det bör utföras utökade parameterstudier som bland annat behandlar följande parametrar:

- **Inläckage** - Det som bedöms äventyra fuktsäkerheten i en platta på mark av KL-trä allra mest är när inläckage uppstår. Det är lämpligt att utföra studier där mängden inläckage varierar och placeras i olika delar av konstruktionen.
- **Ventilerad luftspalt** - Implementeringen av ventilerade luftspalter under KL-träskivan är ett intressant koncept för att torka ut eventuellt inläckage eller höga nivåer av byggfukt utan att göra för stora ingrepp i konstruktionen. Studien visar på att vidare undersökning behöver göras för att utreda vilken omsättning som skulle kunna vara lämplig samt om det ska ventileras med inom- eller utomhusluft.
- **Marknivå** - Det är lämpligt att utföra parameterstudie med flera olika avstånd mellan markyta och ovanliggande fasad.
- **Byggfukt** - Prova flera olika nivåer av byggfukt vid inbyggnad.
Placering - Det bör utföras studier som undersöker konstruktionens fuktsäkerhet i även andra delar av byggnaden, så som mitt under byggnaden vid eventuell grundbalk. Det är även lämpligt att utföra undersökningar där det förekommer en annan typ av fuktbelastning inifrån, till exempel under våtrum.

6.4.2 Uppdaterade klimatdata

Den klimatdata som användes för studien är för 4 svenska städer under 9-årsperioden 1990–1998. Uppdaterade klimatdata för dessa städer hade varit intressant och aktuellt i takt med klimatförändringen. Klimatdata för orter med mer extrema medeltemperaturer och kraftigare nederbörd hade varit av intresse för att undersöka hur en platta på mark av KL-trä presterar under andra förutsättningar. Om möjligheten finns är det även intressant att testa konstruktioner med uppskattad framtida klimatdata.

6.4.3 Jämförelse av resulterande data från fuktberäkningsprogram med verkliga mätvärden

För att validera de resultat som fås utav programvara som utvärderar fukt- och temperaturförhållanden i en platta på mark av KL-trä, anses det lämpligt att jämföra resultaten med mätvärden som erhålls från fukt- och temperaturmätningar i befintliga konstruktioner.

Litteraturförteckning

Andersson, G. o.a., 2008. *Golv - De nordsvenska timmerhusens konstruktion*, u.o.: Timmerdraget och Jamtli förlag.

Andersson, R., 2017. *Laster till grund och svällning av regler vid inläckage*, RISE-rapport HSi6023-1, Borlänge: RISE.

Arbetsmiljöverket, 2022. www.av.se.

<https://www.av.se/produktion-industri-och-logistik/stallningar/>
[Använd 9 Februari 2022].

Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok - Praktik och teori*. Fjärde utgåvan red. Stockholm: AB Svenska Byggtjänst.

ASHRAE, 2009. *Standards 160-2009 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc..

Bioinnovation, 2019. www.bioinnovation.se.

<https://www.bioinnovation.se/projekt/tragrund/>
[Använd 28 Januari 2022].

Boverket, 2018. *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2018. *Klimatdeklaration av byggnader*, Karlskrona : Boverket.

Boverket, 2019. *Introduktion till livscykelanalys (LCA): Boverket*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
[Använd 18 Februari 2022].

Boverket, 2020. *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2021. Boverket.se.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/avfall/>
[Använd 2 Februari 2022].

Boverket, 2021. boverket.se: klimatdeklaration.

<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/syfte/>
[Använd 16 Februari 2022].

Boverket, 2021. *www.boverket.se*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/>
[Använd 22 Februari 2022].

Boverket, 2021. *www.boverket.se*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/risk-intrangande-vatten/>
[Använd 8 Februari 2022].

Boverket, 2021. *www.boverket.se*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/risker/risker-fuktskador/fuktrisker-for-grund/betongplatta-mark/risk-fukttransport-mark/>
[Använd 8 Februari 2022].

Boverket, 2022. *boverket.se*
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/webbplatskarta/>
[Använd 11 Mars 2022].

Boverket, 2022. *Boverkets klimatdatabas*
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/klimatdatabas/>
[Använd 4 maj 2022].

Byggföretagen, 2018. *fossilfrittserige.se*
<https://fossilfrittserige.se/roadmap/bygg-och-anlaggningssektorn/>
[Använd 22 Februari 2022].

Byggföretagen, 2019. *byggforetagen.se*
https://byggforetagen.se/app/uploads/2020/02/Bilaga-16-Forebyggande-av-avfall-vid-byggproduktion_190415-.pdf
[Använd 2 Februari 2022].

Byggföretagen, 2022. *byggforetagen.se*
<https://byggforetagen.se/cementkrisen/>
[Använd 22 Februari 2022].

Cementa AB, 2017. *Tidningen Cementa*
https://www.cementa.se/sites/default/files/assets/document/cementa_217_web.pdf
[Använd 3 maj 2022].

Falck, N. & Hellman, L., 2021. *Platta på mark av korslimmat trä - En undersökning av bärformåga med och utan kantförstyvning*, Västerås: Mälardalens Högskola.
Falk, J., 2010. *Ventilerad luftspalt i yttervägg : luftomsättningar och konvektiv fukttransport*, Lund: Avd. Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

FEBY, 2018. *FEBY 18 - Kravspecifikation för energieffektiva byggnader*, u.o.: Forum för Energieffektivt Byggnade.

Finch, G., 2016. *High-Rise Wood Building Enclosures*, Vancouver: ASHRAE.

Fiskarhedenvillan, 2022. *fiskarhedenvillan.se*
<https://fiskarhedenvillan.se/villazero/>
[Använd 15 Februari 2022].

Flooré, 2022. *floore.se*
<https://floore.se/produkter/vara-skivor/>
[Använd 26 April 2022].

FOAMGLAS Nordic AB, 2021. *www.foamglas.com*
<https://www.foamglas.com/sv-se/produkter/fgbt3boards>
[Använd 22 April 2022].

Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP), 2022. *wufi.de*
<https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>
[Använd 7 Mars 2022].

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

Fuktcentrum, 2018. *fuktcentrum.lth.se*
<https://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg-och-hjaelpmedel/klimatdatafiler-foer-fyra-svenska-staeder/>

Goverde, E., 2022. *Intervju med Klara Byggsystem* [Intervju] (18 Januari 2022).

Goverde, E., 2022. *Mailkonversation angående PE-foliens funktion* [Intervju] (27 April 2022).

Gustafsson, A., 1998. *Väggar av massivträ - Teknik, ekonomi, produktion, Träteknik-rapport P 9812112*, Skellefteå: Träteknik.

Gustafsson, A., 2018. *Trägrund, RISE-rapport HSi6023-2*, Skellefteå: RISE.

Gustafsson, A., 2019. *energieffektivasmahus.se*
<https://energieffektivasmahus.se/wp-content/uploads/2019/11/Tr%C3%A4grund-pres-5-nov-N%C3%A4ssj%C3%B6-2019.pdf>
[Använd 28 Januari 2022].

Gustafsson, A., 2019. *Trägrund - RISE Rapport 2019:107*, Borås: RISE Research Institutes of Sweden AB.

Gustafsson, K. K., 2020. *KL-träplatta på mark - En fallstudie avseende fuktegenskaper och projekteringsmöjligheter för en grundplatta på mark av KL-trä*, Umeå: Umeå Universitet.

Gustafsson, M. & Ek, L., 2018. *Kolfastläggning av trähusgrund - Utveckling och kommersialisering av massiv trägrundläggning*, Sködinge: Ecotopic AB.

Hagentoft, C., 2018. *Inlagring av värme i massiv trägrund, inverkan på innertemperatur och träbjälklagstemperatur*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Hunton, 2022. *hunton.se*
<https://hunton.se/produkter/vagg/hunton-vindtat-plus/>
[Använd 13 April 2022].

Hunton, 2022. *hunton.se*
https://hunton.se/wp-content/uploads/sites/17/2020/03/Nativo-trafiberisolering-Handbok-0322_SE_2korr.pdf
[Använd 13 April 2022].

Johansson, P., 2014. *Fastställande av den kritiska fukthalten för mögeltillväxt på Byggnadsmaterial (Rapport TVBH-1020)*, Lund: Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds universitet.

Klara Byggsystem, 2022. *www.klarabyggsystem.se*
<https://www.klarabyggsystem.se/bygg-med-precisionsgrunden/>
[Använd 28 Januari 2022].

Kumlin, A. & Norberg, M., 2016. Hållbara byggnader är fuktsäkra. *Bygg & teknik*, Issue 5, pp. 17-19.

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

Martinsons, 2022. *martinsons.se*
https://martinsons.se/wp-content/uploads/2022/04/Materialguide_KL-tra_04_2022.pdf
[Använd 26 April 2022].

Masonite Beams, 2022. *www.masonitebeams.se*
<https://www.masonitebeams.se/masonite-beams-laettbalk/sortiment/>
[Använd 13 April 2022].

Mundt Petersen, S., 2015. *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*, Lund: Lund University.

Mundt Petersen, S., Wallentén, P., Toratti, T. & Heikkinen, J., 2012. Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart. *Conference proceedings - Thermophysics 2012*, pp. 134-141.

Mundt-Petersen, S., 2022. *Intervju angående fuktsäkerhet i Villazero* [Intervju] (17 Februari 2022).

Naturskyddsföreningen, 2021. *naturskyddsforeningen.se*
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/>
[Använd 4 Februari 2022].

Naturvårdsverket, 2021. *Klimatet och skogen*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-skogen/>
[Använd 6 Maj 2022].

Naturvårdsverket, 2022. *www.naturvardsverket.se*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>
[Använd 22 Februari 2022].

Naturvårdsverket, 2022. *www.naturvardsverket.se*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-bygg--och-fastighetssektorn/>
[Använd 22 Februari 2022].

Nilsson, L.-O., 2006. *Fuktpåverkan på material - kritiska fuktnivåer*. Stockholm: Fuktcentrums Informationsskrift, Fuktsäkerhet i byggnader, Forskningsrådet Formas.

Nilsson, L.-O., 2009. *Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner, Lägesrapport 2009, Woodbuild E1, rapport TVBM-3151*, Lund: Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.

Nilsson, L.-O., 2015. *Byggvägledning. 9, Fukt : en handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. Tredje, reviderade utgåvan red. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Olsson, L., 2011. *Laboratoriestudie av syllar som utsatts för regn, SP-rapport 2011:18*, Borås: SP-Energiteknik.

Olsson, L., 2018. *Fuktberäkning av golvkonstruktion - HSi6023-B*, Borås: RISE.

Olsson, L., 2019. *Fuktsäkerhet vid KL-träbyggnade utan vädskydd - Fallstudie, fältmätningar och intervjuer*, Kalmar: SBUF, RISE.

Petterson, B.-Å., 2001. *Tillämpad byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur.

Regeringen, 2020. *Regeringen.nu*
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/07/sverige-staller-om-till-en-cirkular-ekonomi/>
[Använd 2 Februari 2022].

ROCKWOOL, 2022. www.rockwool.com

<https://www.rockwool.com/se/produkter-och-konstruktioner/produktoversikt/utvandig-fasadisolering/redair-batts-1/?selectedCat=dokumentation#Tekniskaegenskaper&sortiment>
[Använd 13 April 2022].

Rosenkilde, A., 2022. *Mailkonversation angående situationen för hus med trägrund* [Intervju] (14 Februari 2022).

Sandin, K., 2007. *Praktisk husbyggnadsteknik*. Upplaga 2:13 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Sandin, K., 2010. *Praktiskt byggnadsfysik*. Upplaga 1:8 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Sedlbauer, K., 2001. *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*
<https://inspectapedia.com/mold/Mold-on-building-surfaces-prediction-Sedlbauer.pdf>
[Använd 4 Maj 2022].

Shmulsky, R. & Jones, P. D., 1989. *Forest Products and Wood Science An Introduction*. 7 red. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

SIGA, 2020. www.siga.swiss.

https://www.siga.swiss/se_sv/produkter/majcoat/majcoat-150-majcoat-150-sob
[Använd 13 April 2022].

SIGA, 2020. www.siga.swiss.

https://www.siga.swiss/se_sv/produkter/majrex
[Använd 13 April 2022].

SIGA, 2022. www.siga.swiss.

https://www.siga.swiss/se_sv/produkter/wetguard/wetguard-200-sa
[Använd 2 Februari 2022].

Sjömar, P., 1988. *Byggnadsteknik och timmermanskonst*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Smart Housing Småland, 2020. *Fuktsäkerhet vid massivträbyggande: Förstudie laboratorieförsök*, Kalmar: Smart Housing Småland.

Smith, S. L. & Hill, S. T., 1982. Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *A. Versicolor*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 79(3).

SP, 2005. *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial: kunskapsammanfattning (SP AR 2005:11)*, Borås: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

Sundolitt, 2021. www.sundolitt.com
<https://www.sundolitt.com/globalassets/inriver/resources/produktblad-s100.pdf>
[Använd 13 April 2022].

Sundolitt, 2021. www.sundolitt.com
<https://www.sundolitt.com/globalassets/inriver/resources/produktblad-s300.pdf>
[Använd 13 April 2022].

Svenskt Trä, 2017. *Fuktkvot och mätning*
<https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/fuktkvot-och-matning/>
[Använd 16 Maj 2022].

Svenskt Trä, 2017. *KL-trähandbok - Fakta projektering av KL-träkonstruktioner*. Första utgåvan red. Stockholm: Skogsindustrierna, Svenskt Trä.

Svenskt Trä, 2021. *Fuksäkert KL-träbyggande utan heltäckande väderskydd*. Första utgåvan red. Stockholm: Skogsindustrierna, Svenskt Trä.

Svenskt Trä, 2022. *Bygg klimatsmart*
<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/>
[Använd 5 Maj 2022].

Svärd, J., 2019. *Cirkulär ekonomi för ett konkurrenskraftigt och hållbart näringsliv i Sverige*, u.o.: Svenskt Näringsliv.

TECCA, 2022. api.teccaworld.com
<https://api.teccaworld.com/content/documents/62NJDFEVALC1.pdf>
[Använd 13 April 2022].

Thomas Betong AB, 2022. *Exponeringsklasser för olika konstruktionsdelar*
<https://thomasbetong.se/images/docs/Valjrttbetong-Exponeringsklasser.pdf>
[Använd 5 Maj 2022].

Thomas Betong AB, 2022. *Välj rätt tryckhållfasthetsklass*
<https://thomasbetong.se/images/docs/Valjrttbetong-Tryckhallfasthetsklass.pdf>
[Använd 5 Maj 2022].

United Nations Development Programme, 2022. www.globalamalen.se
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/>
[Använd 22 Februari 2022].

Viitanen, H., 1996. *Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time*, Uppsala: SLU.

Wallentén, P., 2018. *RäknaF 2018 -Stöd för kombinerade värme- och fuktberäkningar i byggnadsdelar*, LUND: Lunds universitet.

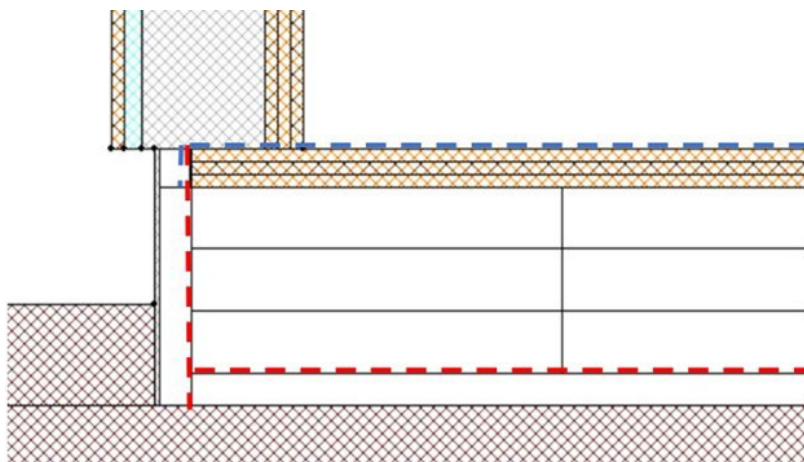
Wang, J. Y. o.a., 2018. *Durability of mass timber structures: a review of the biological risks*, u.o.: Society of Wood Science and Technology.

WUFI 2D 4, 2022. u.o.:Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP).

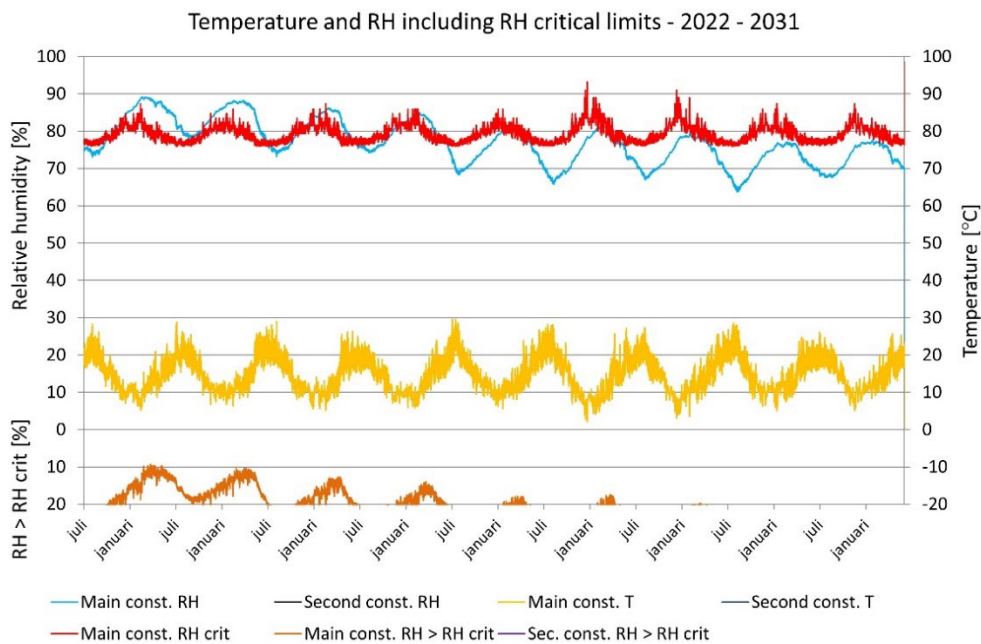
Öberg, J., Wiege & Erik, 2018. *Moisture risks with CLT-panels subjected to outdoor climate during construction - focus on mould and wetting processes*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan (KTH).

Bilaga 1 – Beräkningsmodeller och Folos-diagram för Trägrund 1

Trägrund 1.0 – Referensmodell



Figur 72 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.0 (WUFI 2D 4, 2022).

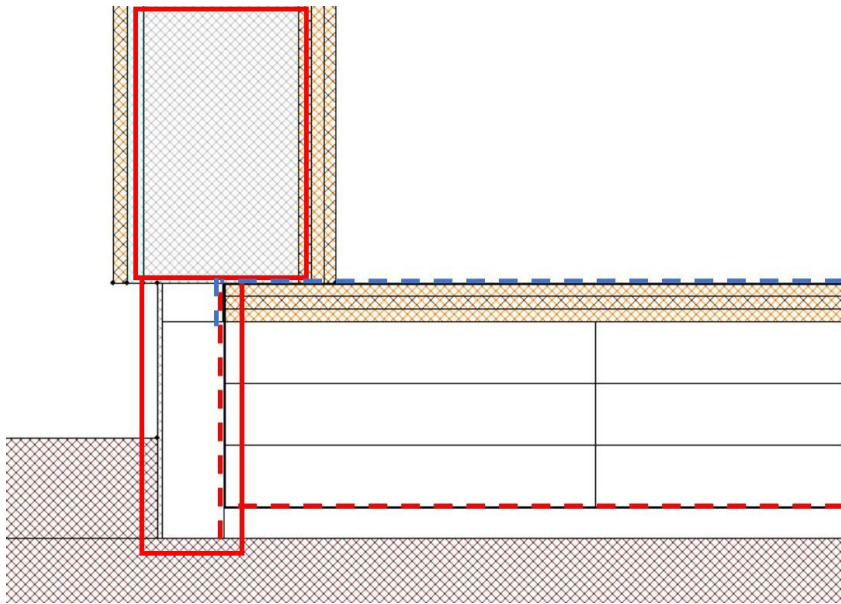


Figur 73 - Folos-diagram för Trägrund 1.0

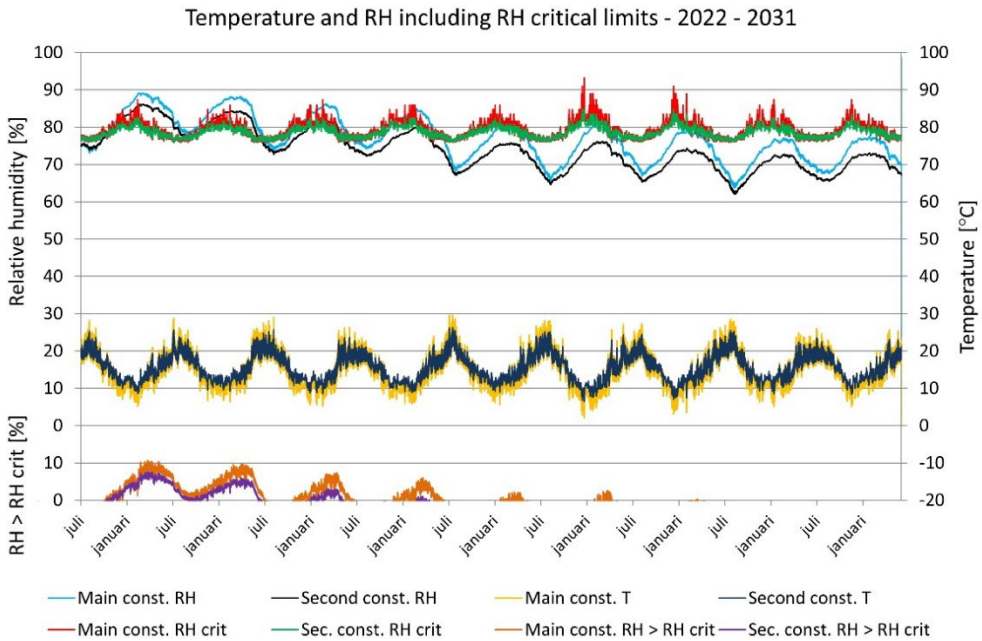
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: -

Trägrund 1.1.1 – Ökad sockelisolering 1



Figur 74 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.1.1 (WUFI 2D 4, 2022).

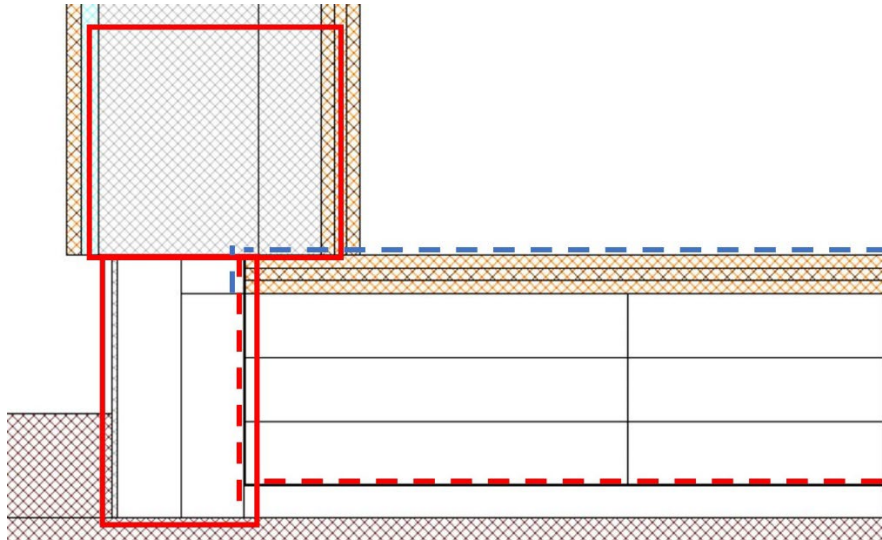


Figur 75 – Folios-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.1.1.

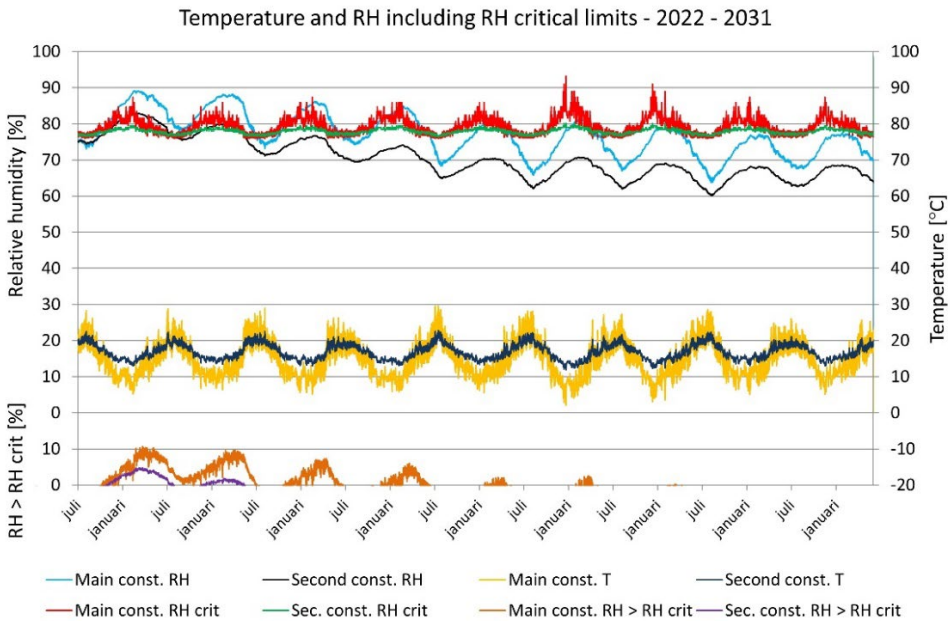
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.1.1

Trägrund 1.1.2 – Ökad sockelisolering 2



Figur 76 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.1.2 (WUFI 2D 4 , 2022).

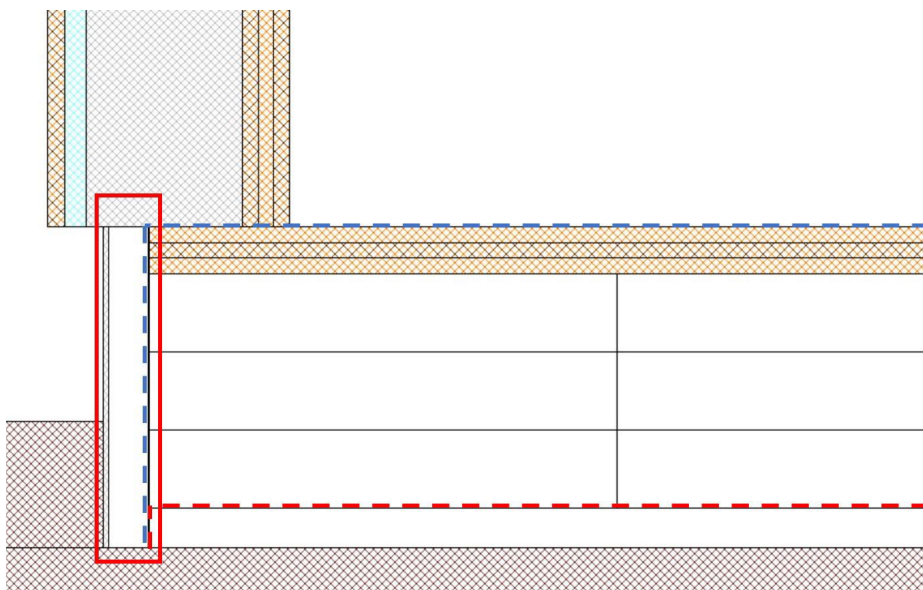


Figur 77 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.1.2.

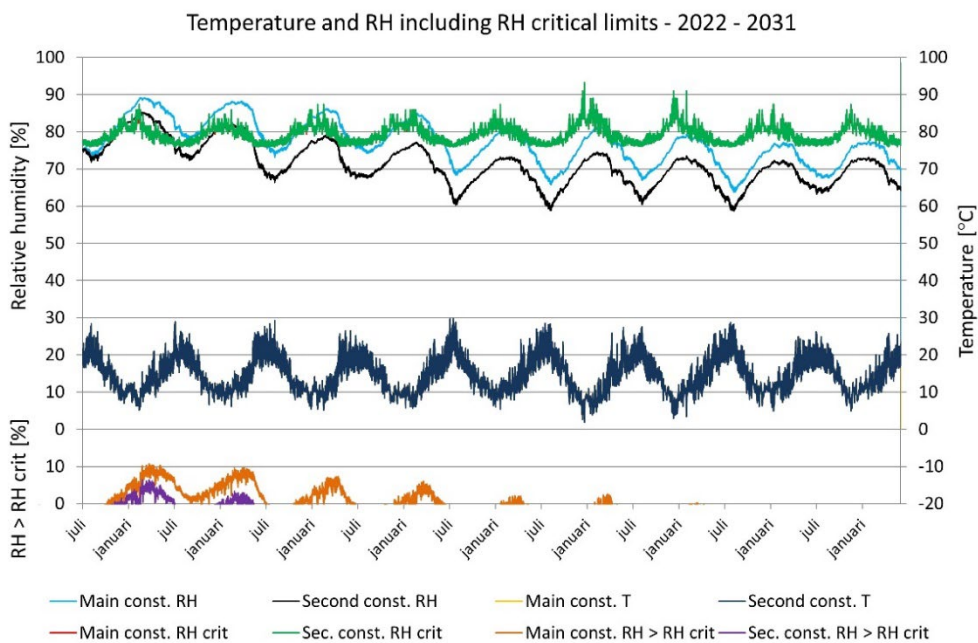
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.1.2

Trägrund 1.2 – Skarv fuktskyddsmembran/PE-folie flyttas ner



Figur 78 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.2 (WUFI 2D 4, 2022).

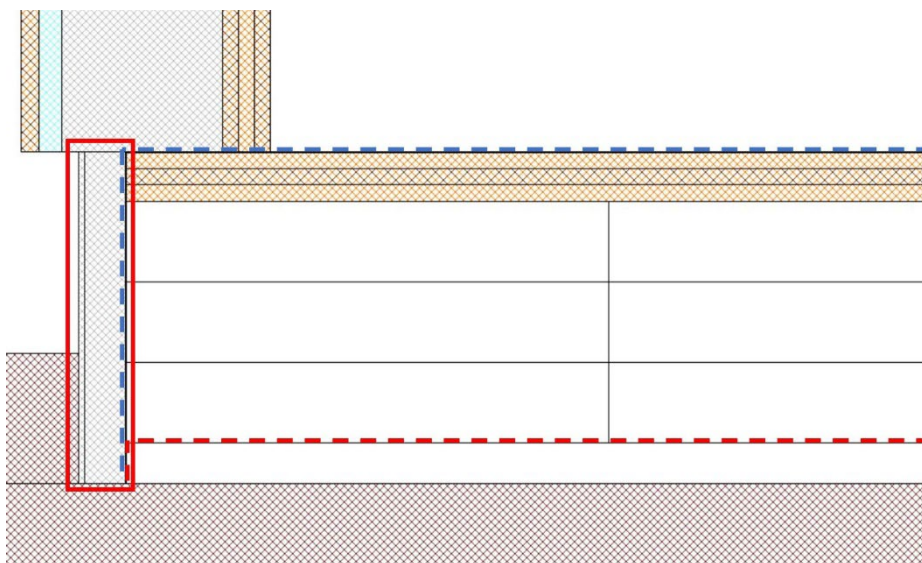


Figur 79 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.2.

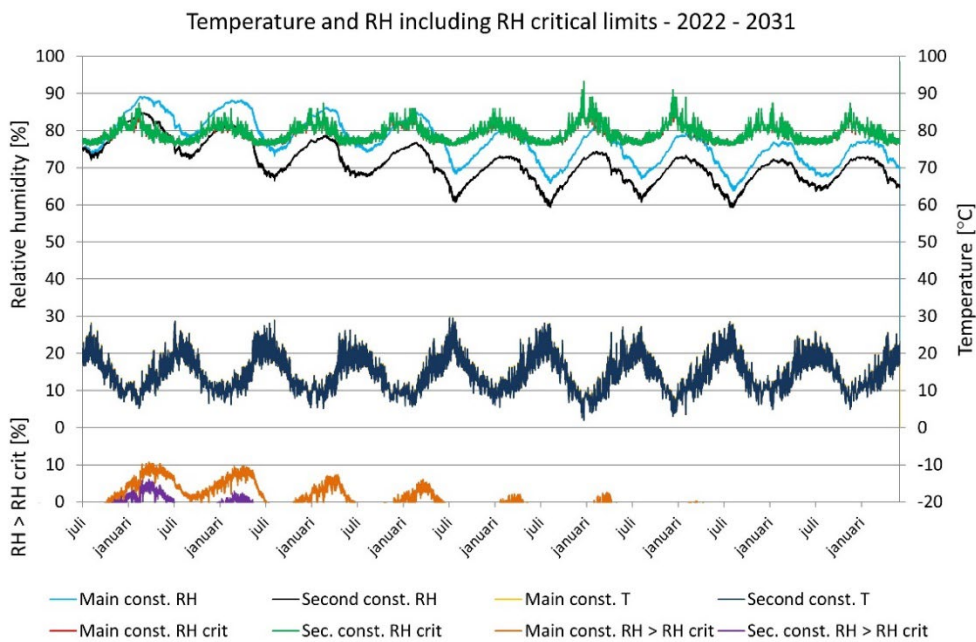
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.2

Trägerund 1.3 – Materialutbyte på sockelisolering



Figur 80 - Beräkningsmodell för Trägerund 1.3 (WUFI 2D 4, 2022).

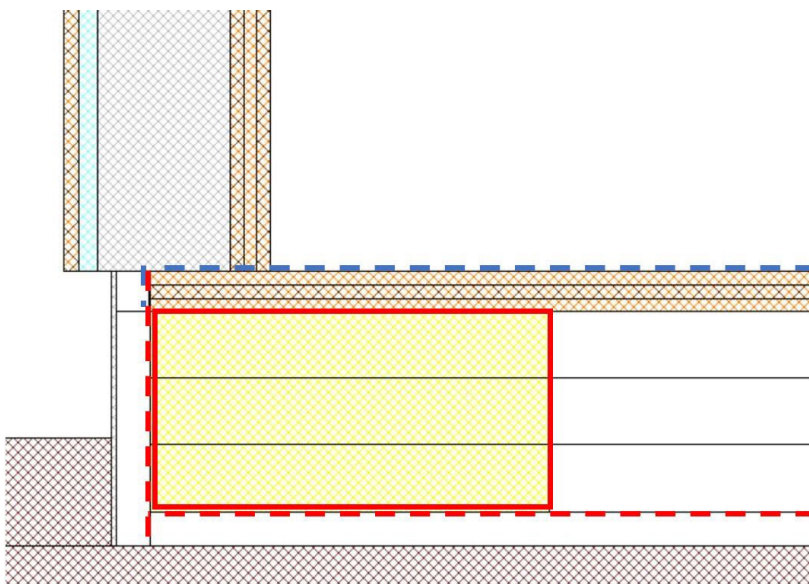


Figur 81 – Folos-diagram för Trägerund 1.0 och Trägerund 1.3.

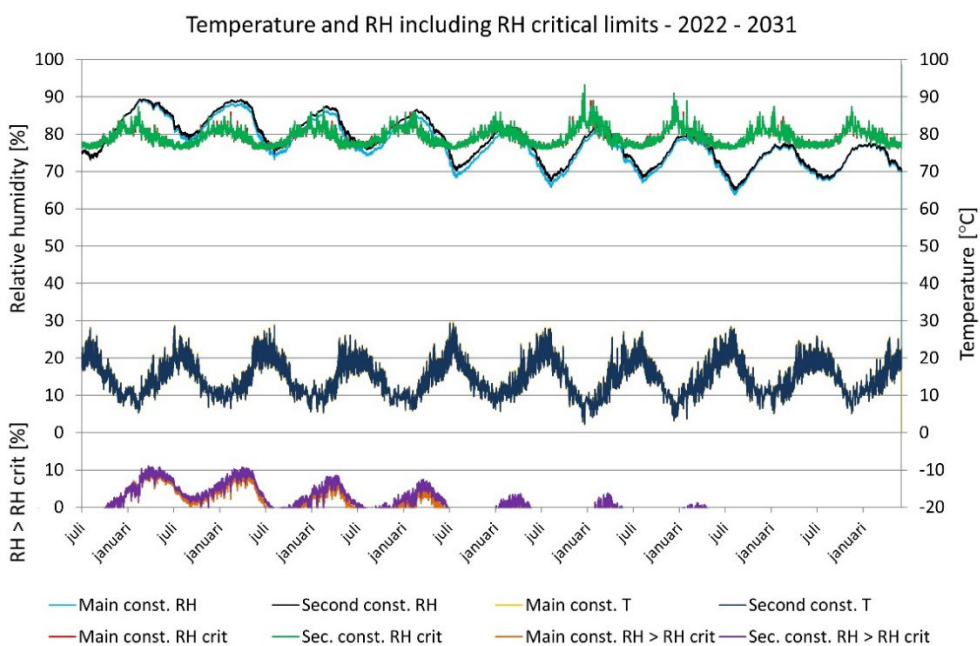
Main construction: Trägerund 1.0

Second construction: Trägerund 1.3

Trägrund 1.4 – Materialutbyte på votisolering



Figur 82 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.4 (WUFI 2D 4, 2022).

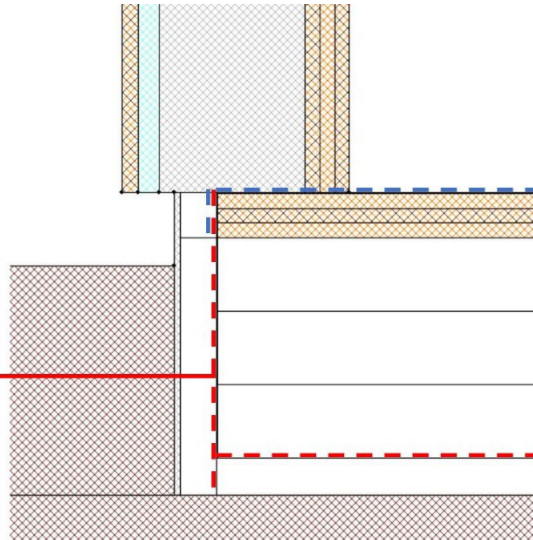


Figur 83 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.4.

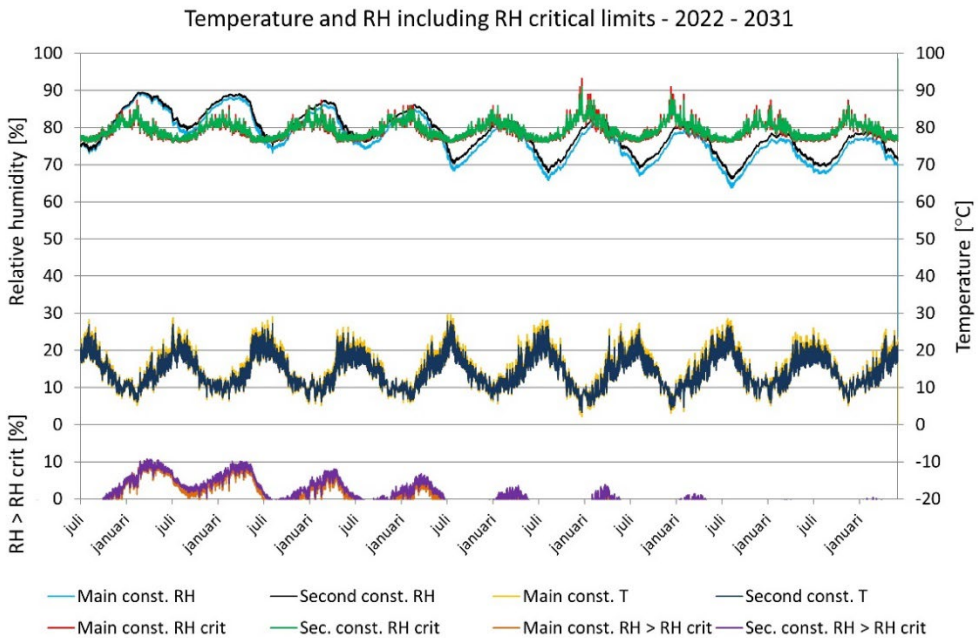
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.4

Trägrund 1.5 – Höjd marknivå



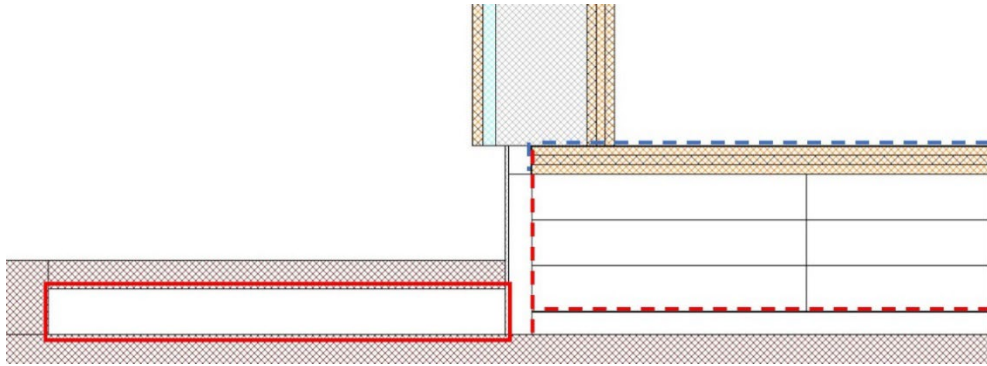
Figur 84 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.5 (WUFI 2D 4 , 2022).



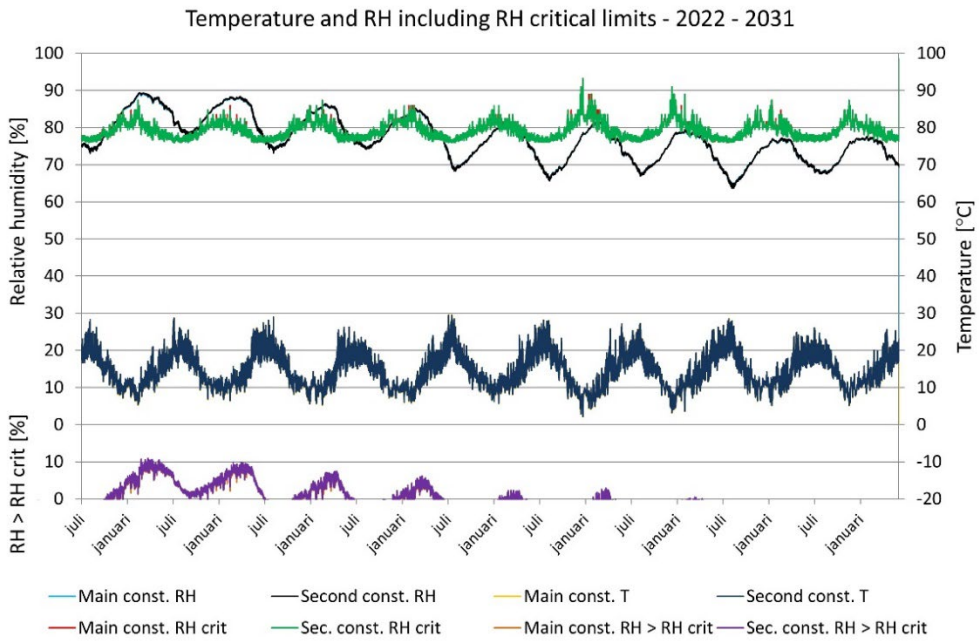
Figur 85 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.5.

Main construction: Trägrund 1.0
Second construction: Trägrund 1.5

Trägrund 1.6 – Tillägg av tjälisolering



Figur 86 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.6 (WUFI 2D 4, 2022).

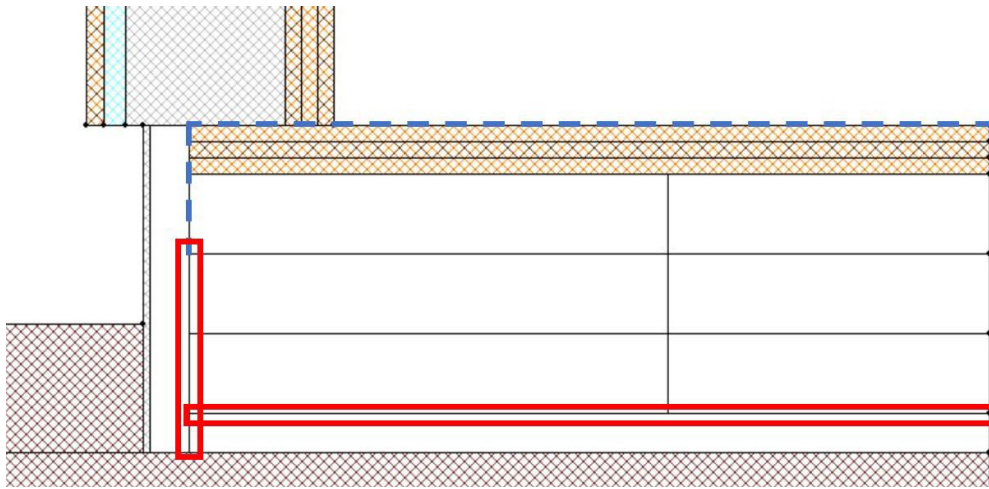


Figur 87 – Folios-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.6.

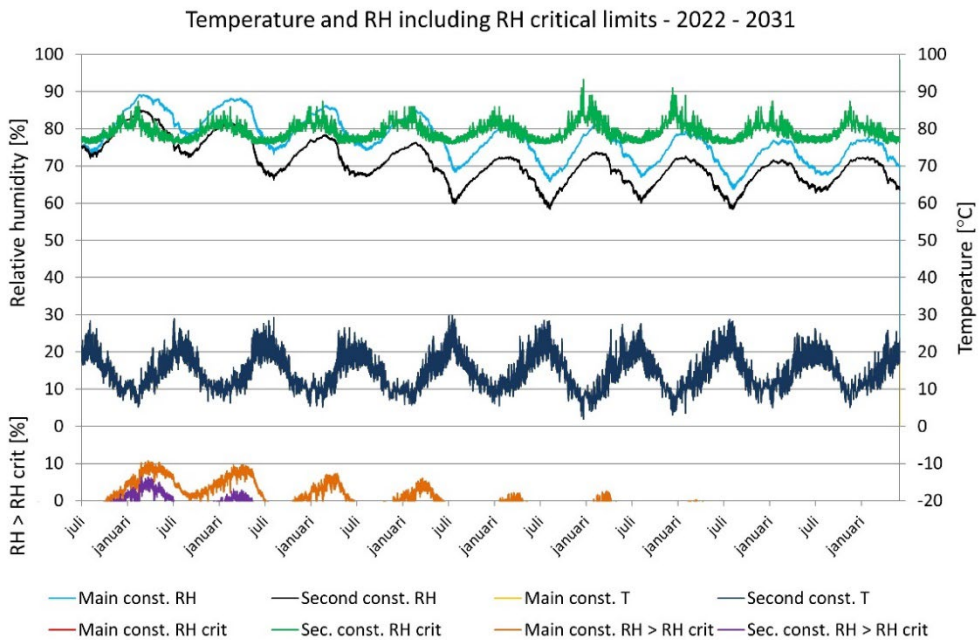
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.6

Trägrund 1.7 – Borttagning av PE-folie



Figur 88 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.7 (WUFI 2D 4 , 2022).

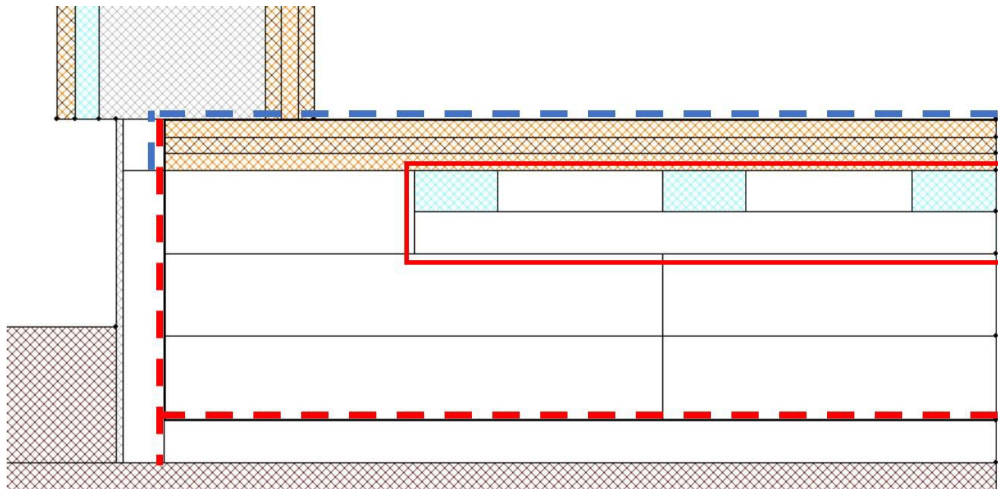


Figur 89 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.7.

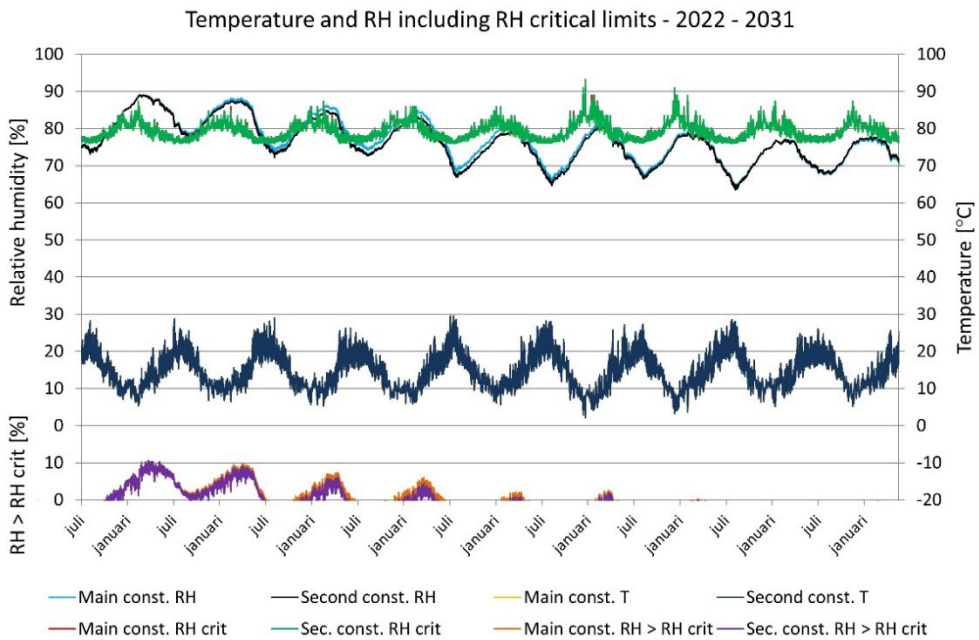
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.7

Trägrund 1.8 – Ventilerande luftspalter under KL-träplatta



Figur 90 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.8 (WUFI 2D 4, 2022).

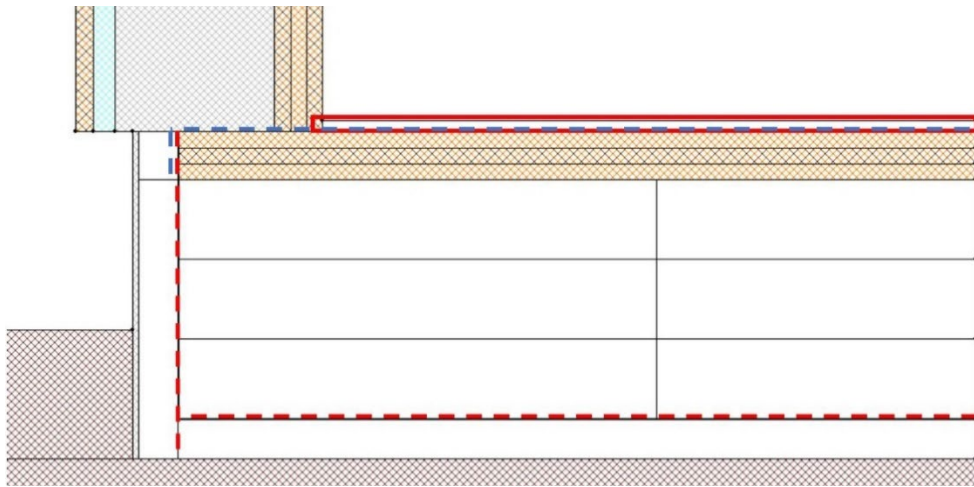


Figur 91 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.8.

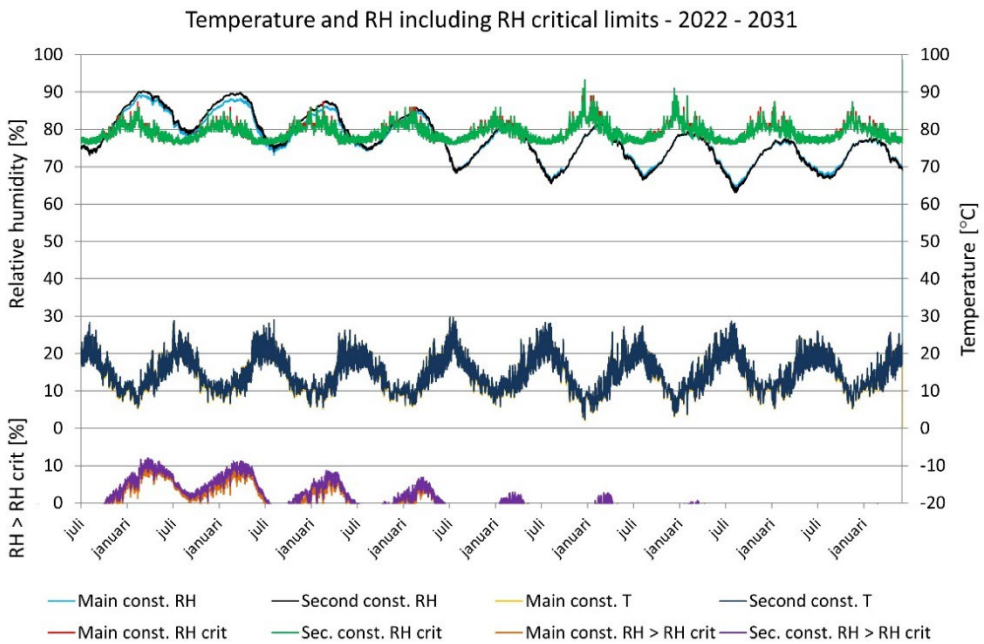
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.8

Trägrund 1.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta



Figur 92 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.9 (WUFI 2D 4 , 2022).

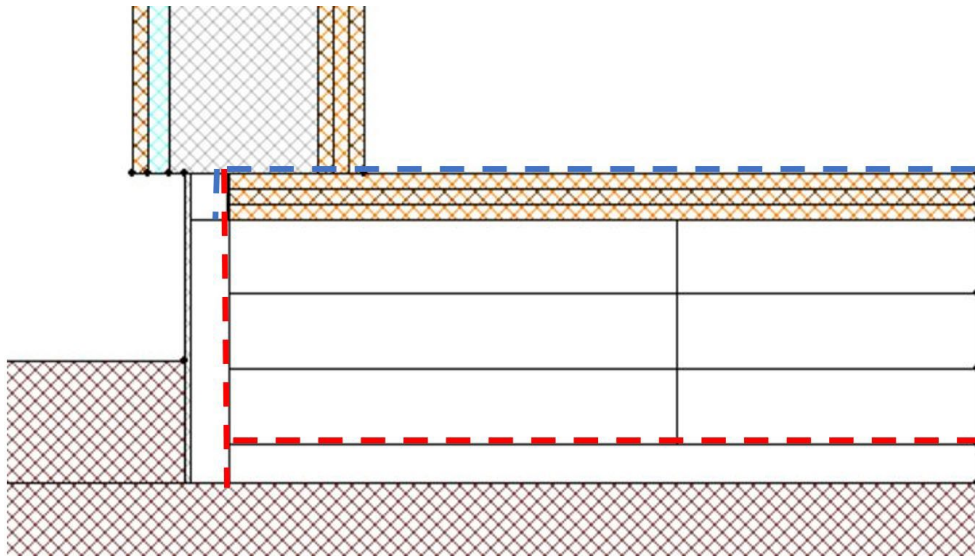


Figur 93 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.9.

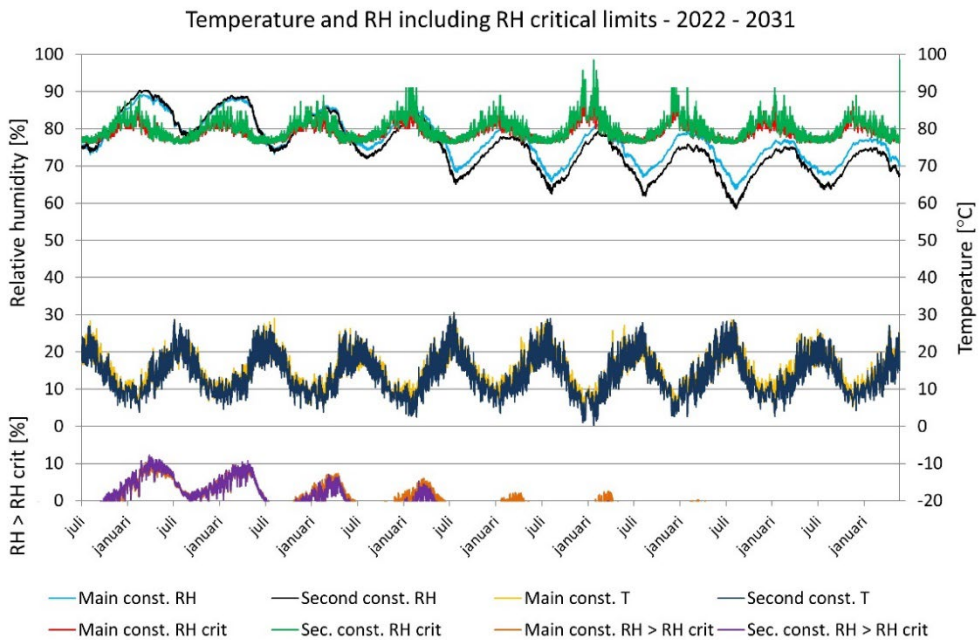
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.9

Trägrund 1.10.1 – Referensmodell i Stockholm



Figur 94 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.10.1 (WUFI 2D 4 , 2022).

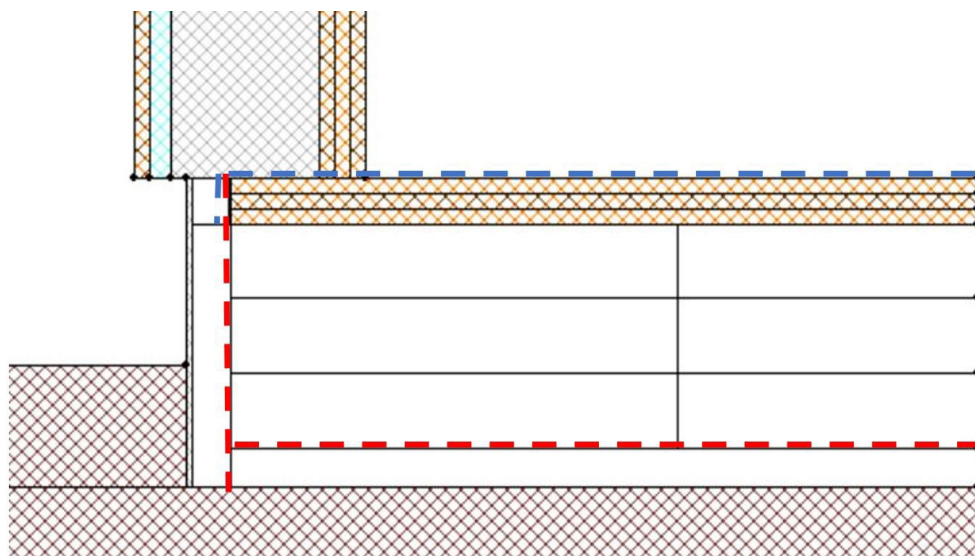


Figur 95 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.10.1.

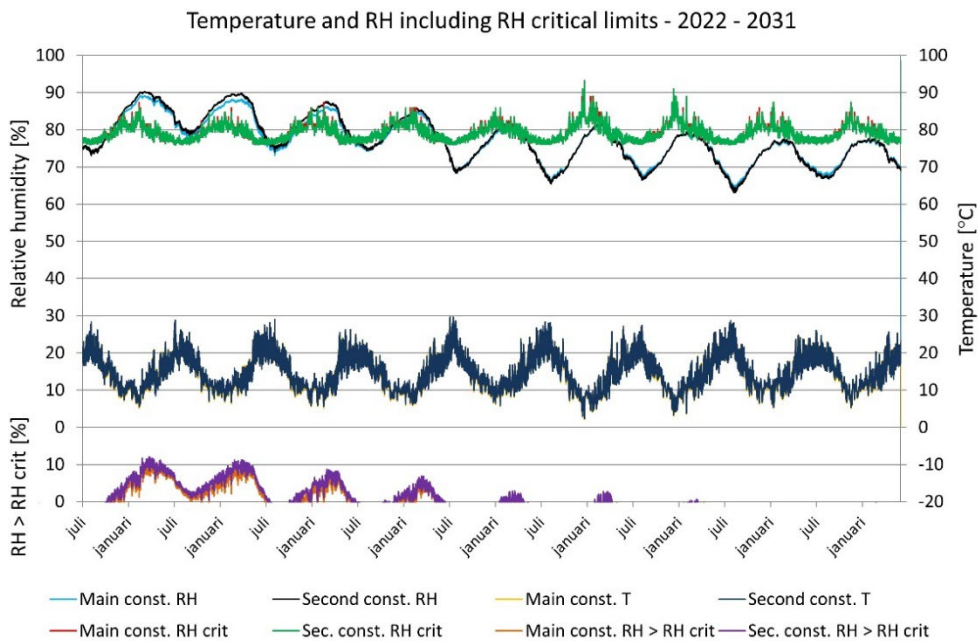
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.10.1

Trägrund 1.10.2 – Referensmodell i Borlänge



Figur 96 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.10.2 (WUFI 2D 4 , 2022).

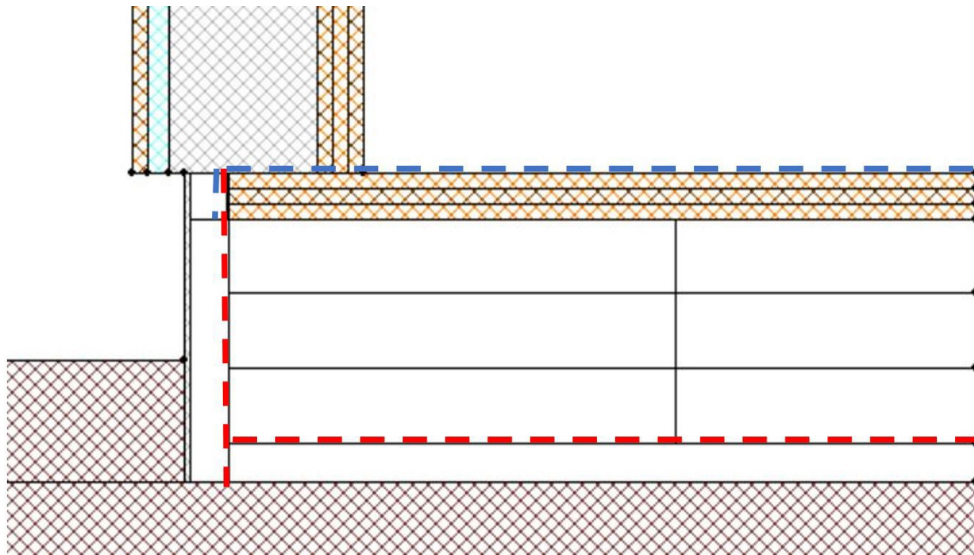


Figur 97 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.10.2.

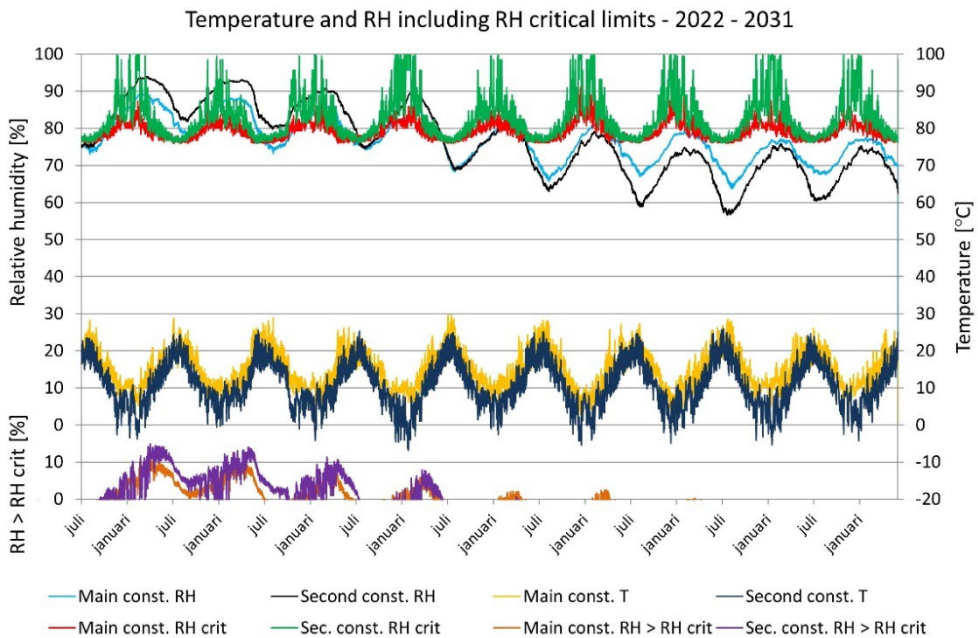
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.10.2

Trägrund 1.10.3 – Referensmodell i Luleå



Figur 98 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.10.3 (WUFI 2D 4, 2022).

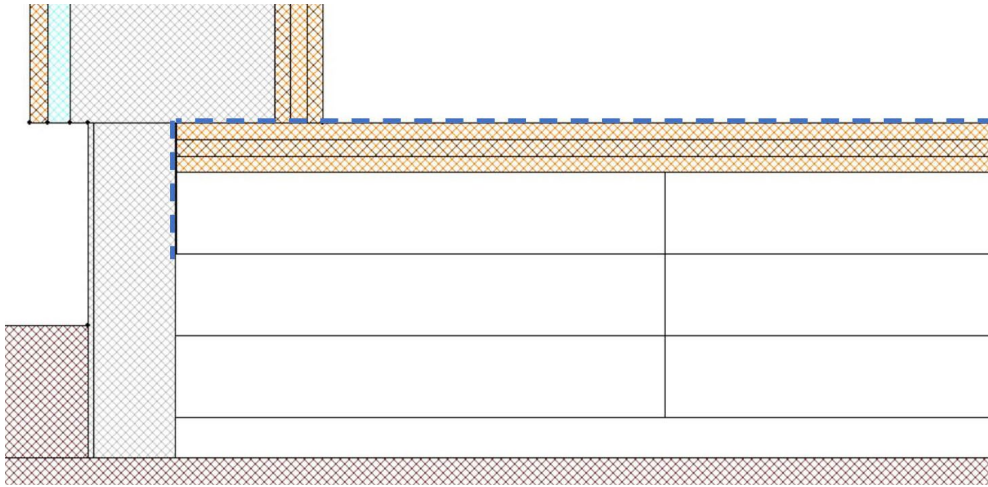


Figur 99 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.10.3.

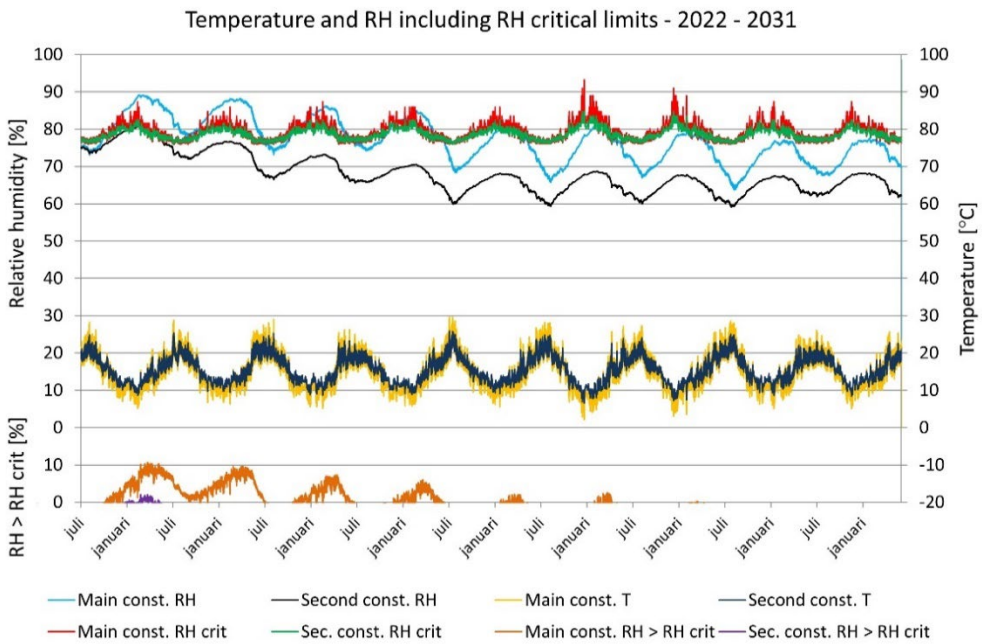
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.10.3

Trägrund 1.11.1 – Optimerad modell



Figur 100 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.11.1 (WUFI 2D 4, 2022).

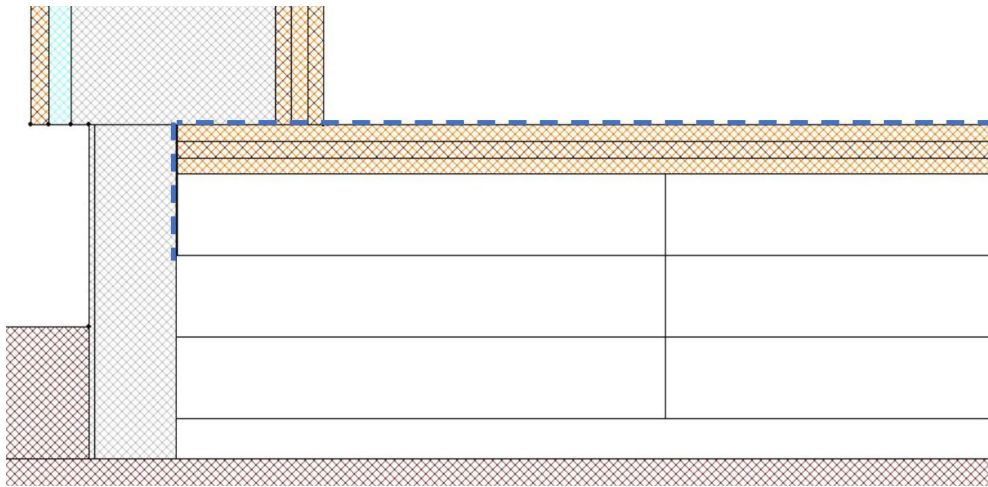


Figur 101 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och Trägrund 1.11.1.

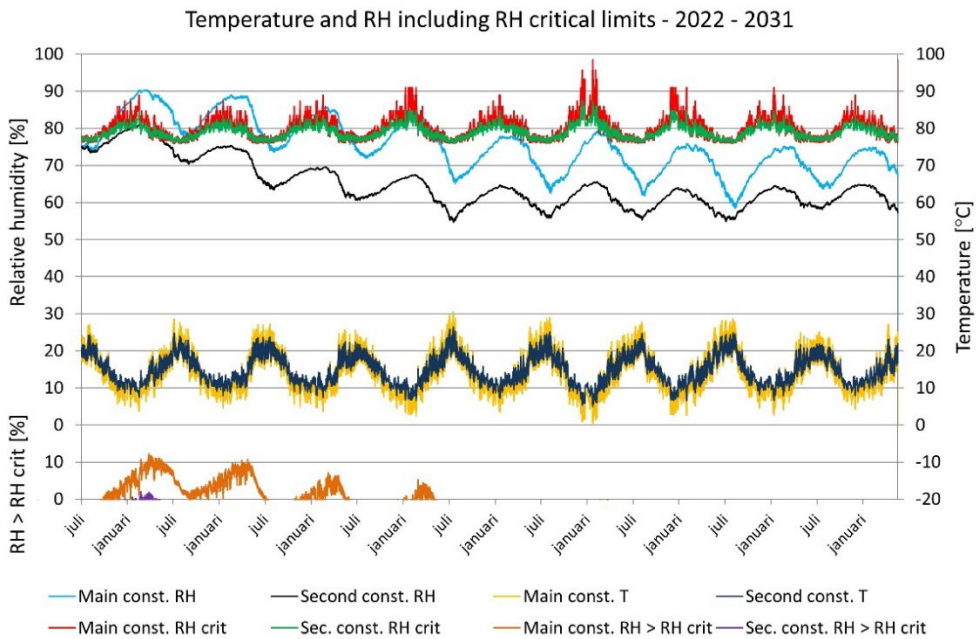
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.11.1

Trägrund 1.11.2 – Optimerad modell i Stockholm



Figur 102 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.11.2 (WUFI 2D 4, 2022).



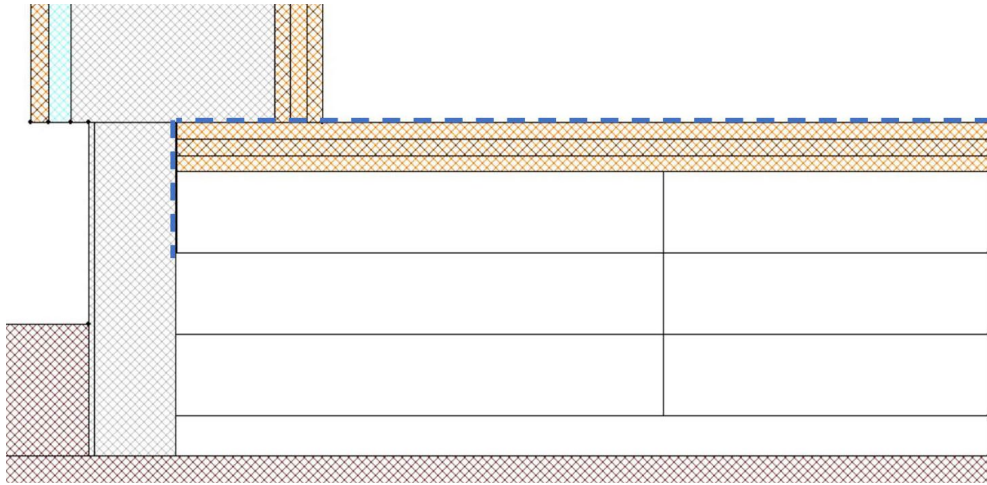
Figur 103 – Folos-diagram för Trägrund 1.10.1 och Trägrund 1.11.2.

Main construction: Trägrund 1.10.1

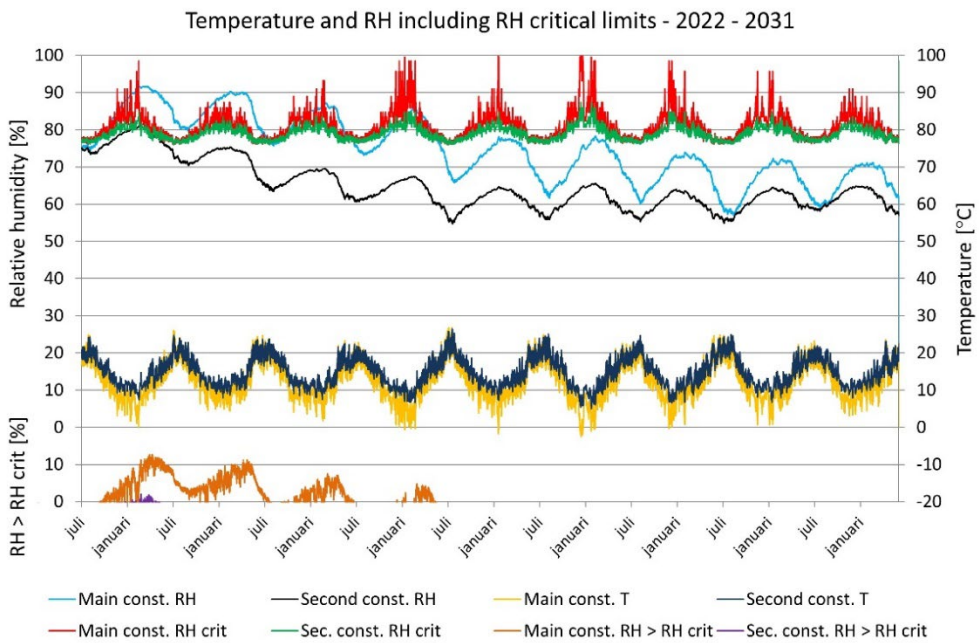
Second construction: Trägrund 1.11.2

(Jämförelse för Trägrund 2 har utförts mot optimerad modell i Lund i stället för Stockholm)

Trägrund 1.11.3 – Optimerad modell i Borlänge



Figur 104 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.11.3 (WUFI 2D 4, 2022).



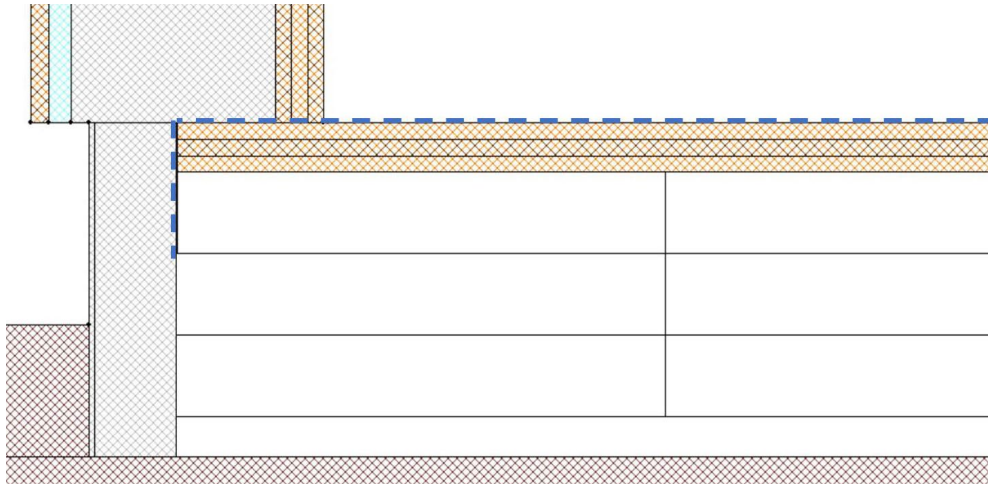
Figur 105 – Folos-diagram för Trägrund 1.10.2 och Trägrund 1.11.3.

Main construction: Trägrund 1.10.2

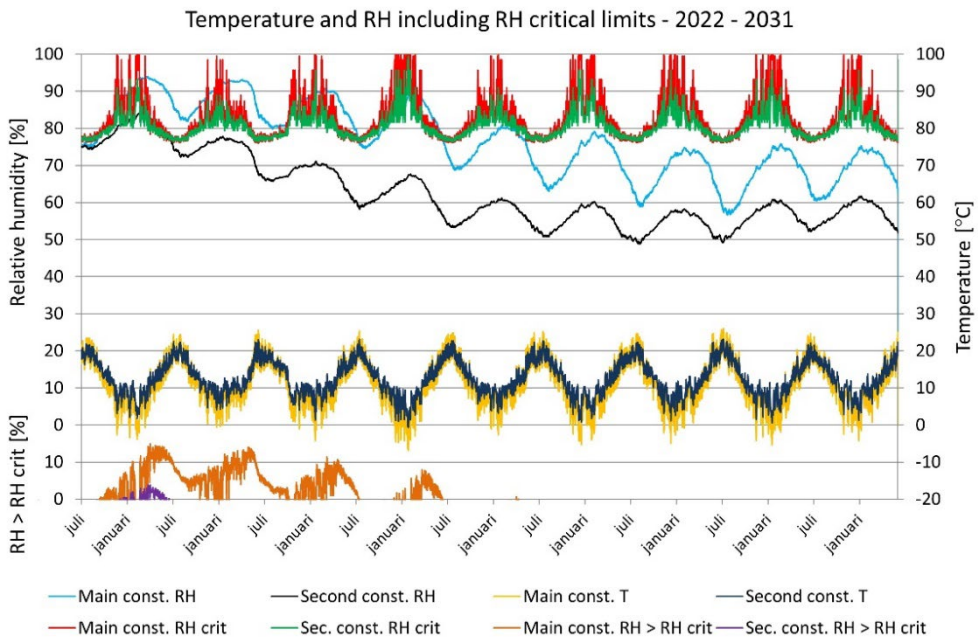
Second construction: Trägrund 1.11.3

(Jämförelse för Trägrund 2 har utförts mot optimerad modell i Lund i stället för Borlänge)

Trägrund 1.11.4 – Optimerad modell Luleå



Figur 106 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.11.4 (WUFI 2D 4, 2022).



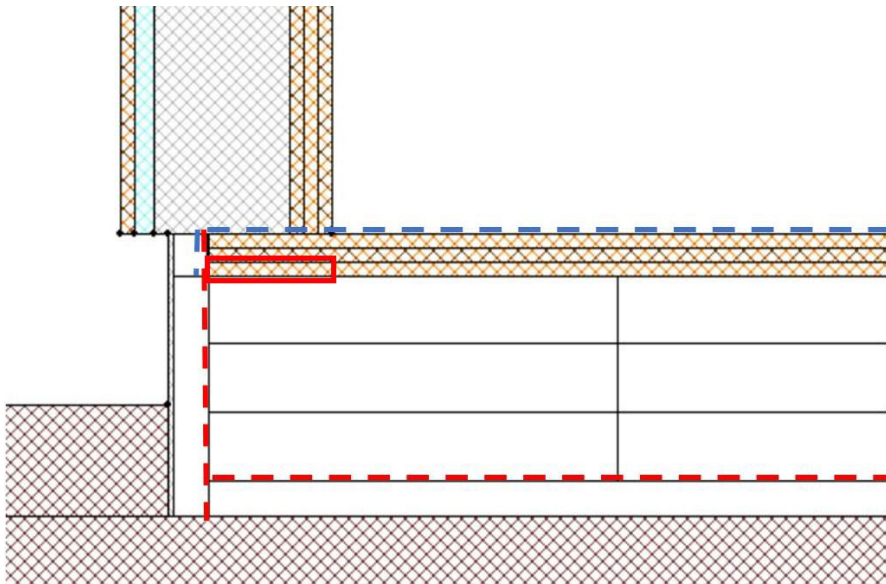
Figur 107 – Folios-diagram för Trägrund 1.10.3 och 1.11.4.

Main construction: Trägrund 1.10.3

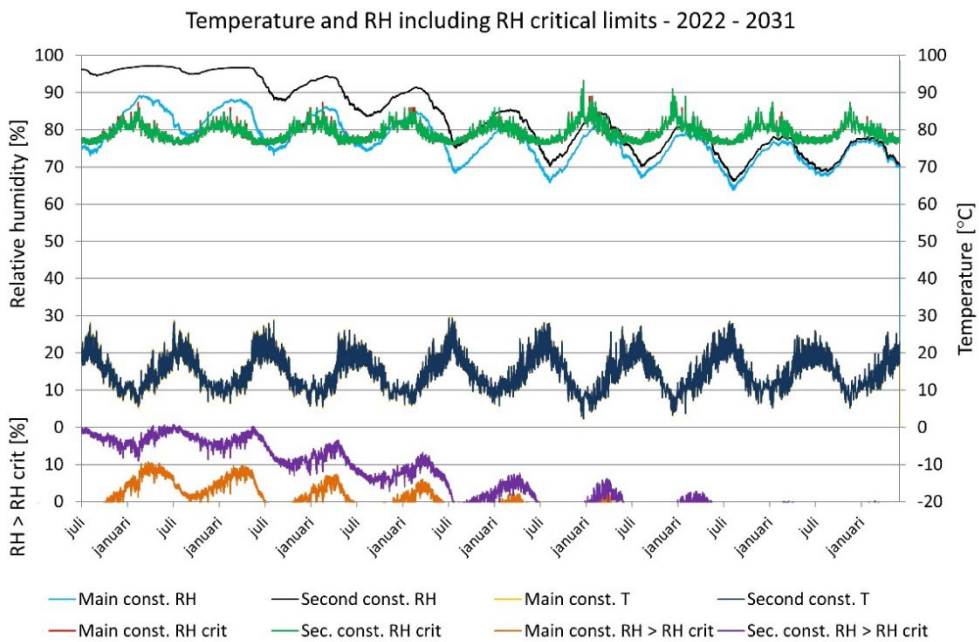
Second construction: Trägrund 1.11.4

(Jämförelse för Trägrund 2 har utförts mot optimerad modell i Lund i stället för Luleå)

Trägrund 1.12.1 – Höjd fuktkvot i referensmodell



Figur 108 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.12.1 (WUFI 2D 4 , 2022).

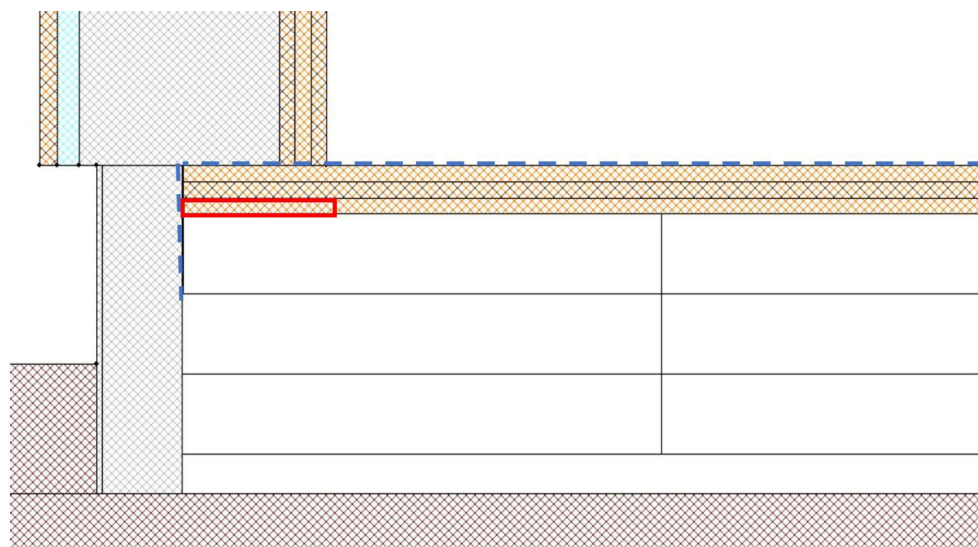


Figur 109 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och 1.12.1.

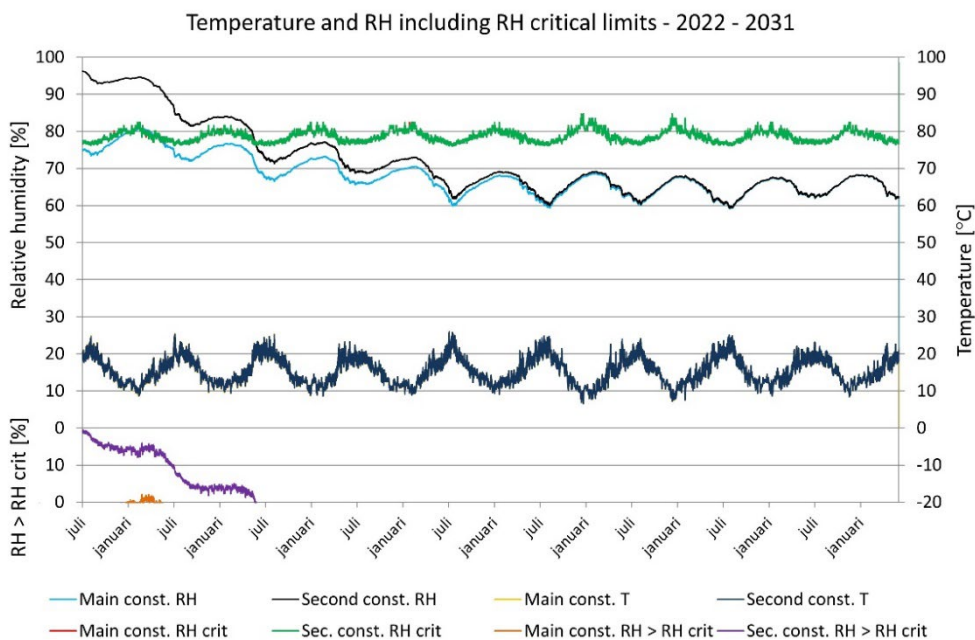
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.12.1

Trägrund 1.12.2 – Höjd fuktkvot i optimerad modell



Figur 110 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.12.2 (WUFI 2D 4, 2022).

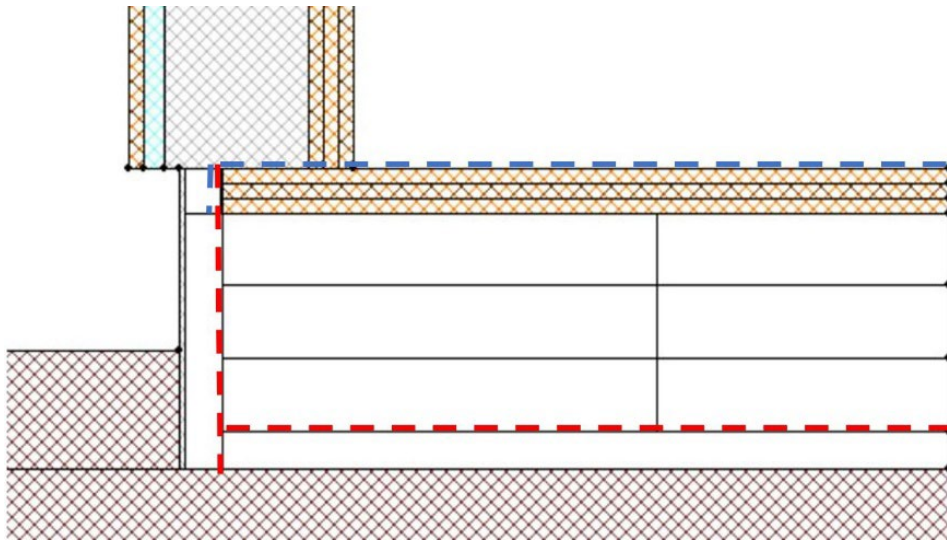


Figur 111 – Folos-diagram för Trägrund 1.11.1 och 1.12.2.

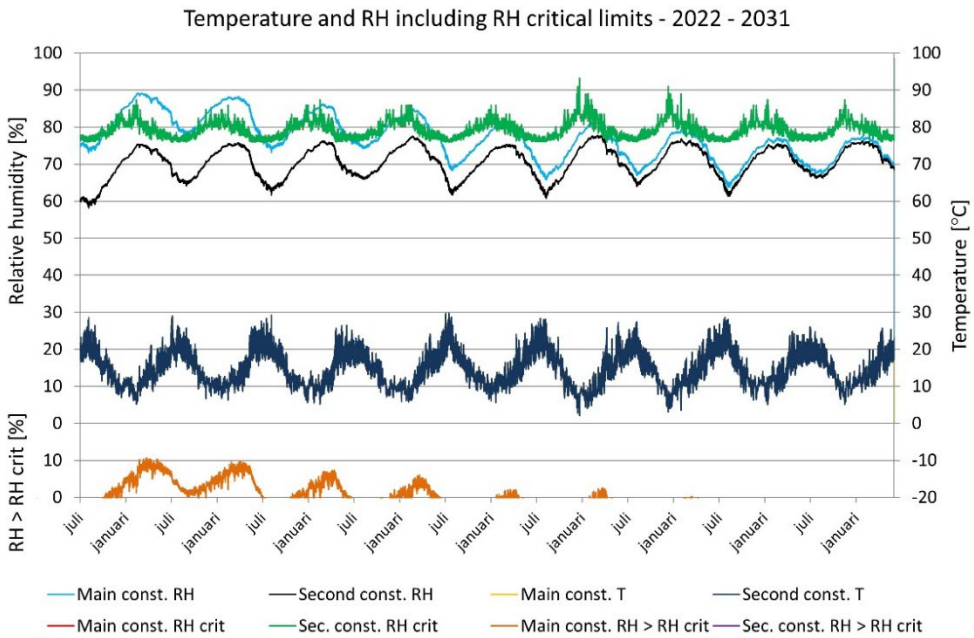
Main construction: Trägrund 1.11.1

Second construction: Trägrund 1.12.2

Trägrund 1.13.1 – Sänkt fuktkvot i referensmodell



Figur 112 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.13.1 (WUFI 2D 4 , 2022).

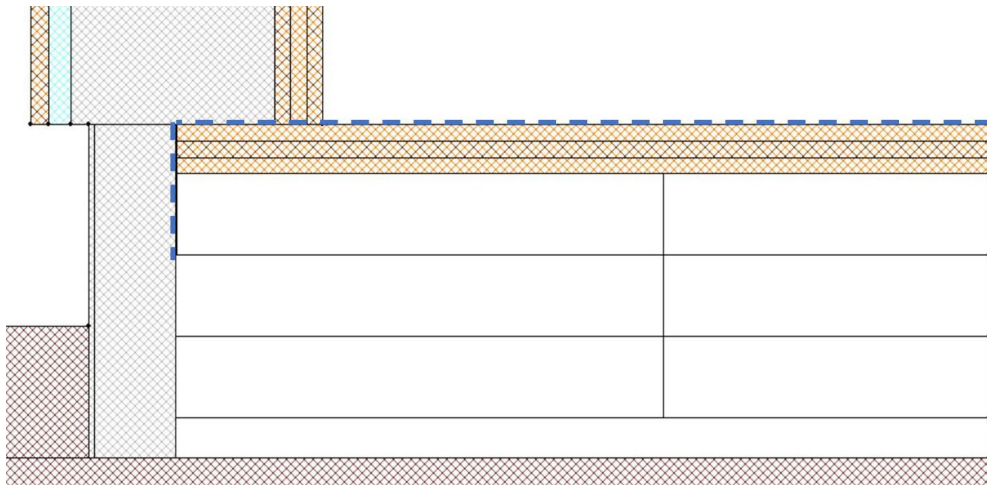


Figur 113- Folos-diagram för Trägrund 1.0 och 1.13.1.

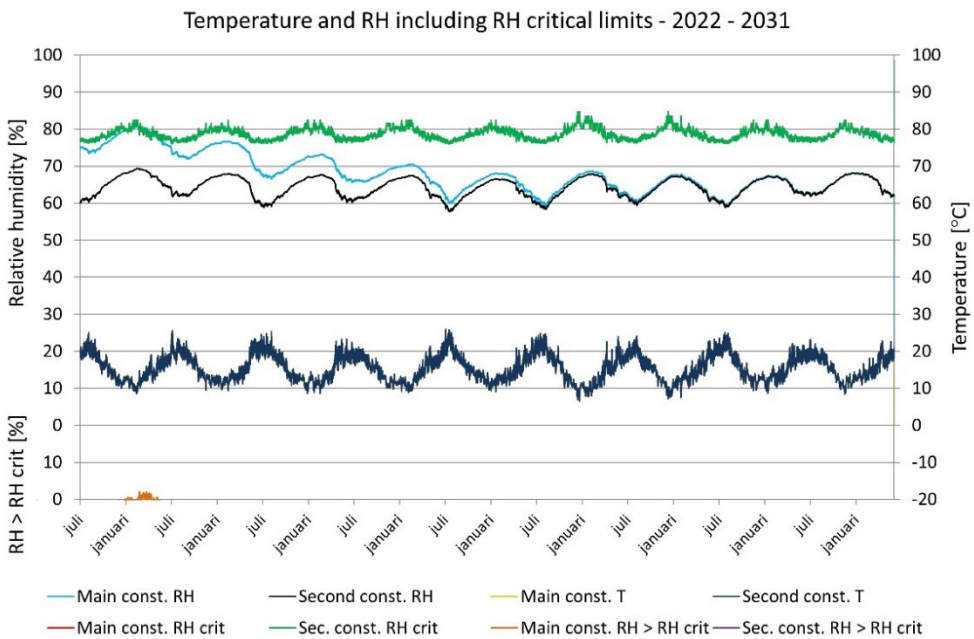
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.13.1

Trägrund 1.13.2 – Sänkt fuktkvot i optimerad modell



Figur 114 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.13.2 (WUFI 2D 4, 2022).

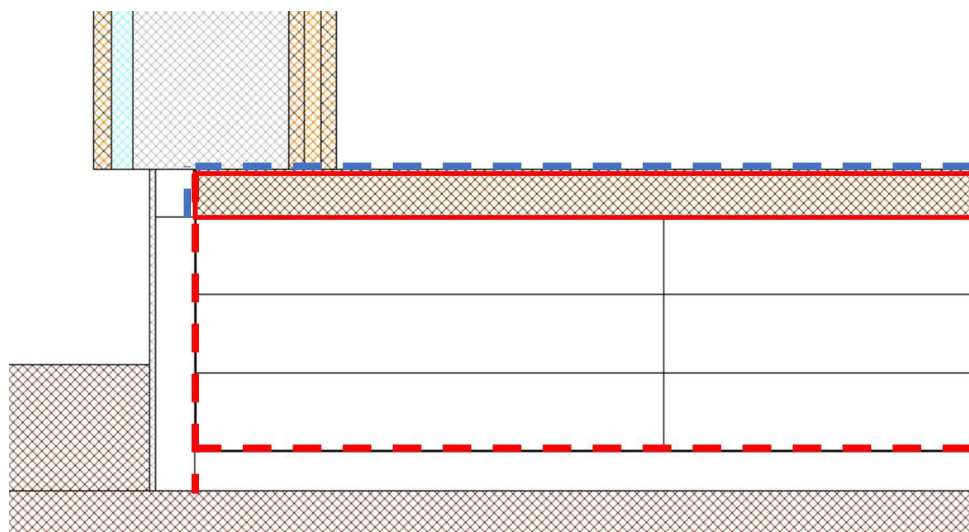


Figur 115 – Folos-diagram för Trägrund 1.11.1 och 1.13.2.

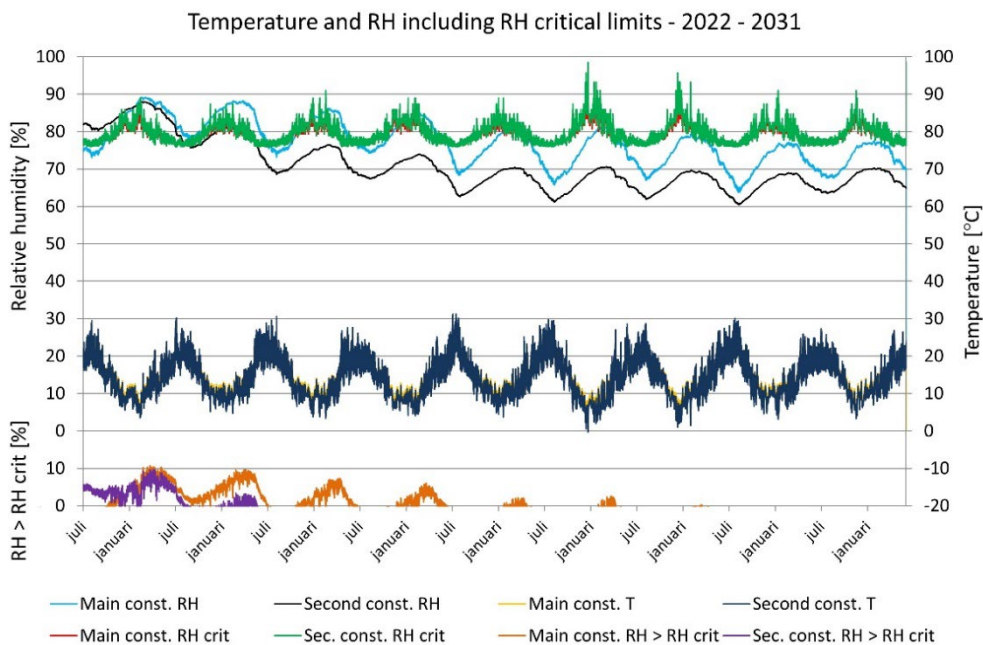
Main construction: Trägrund 1.11.1

Second construction: Trägrund 1.13.2

Trägrund 1.14.1 – Ändrat material på KL-träplatta i referensmodell



Figur 116 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.14.1 (WUFI 2D 4, 2022).

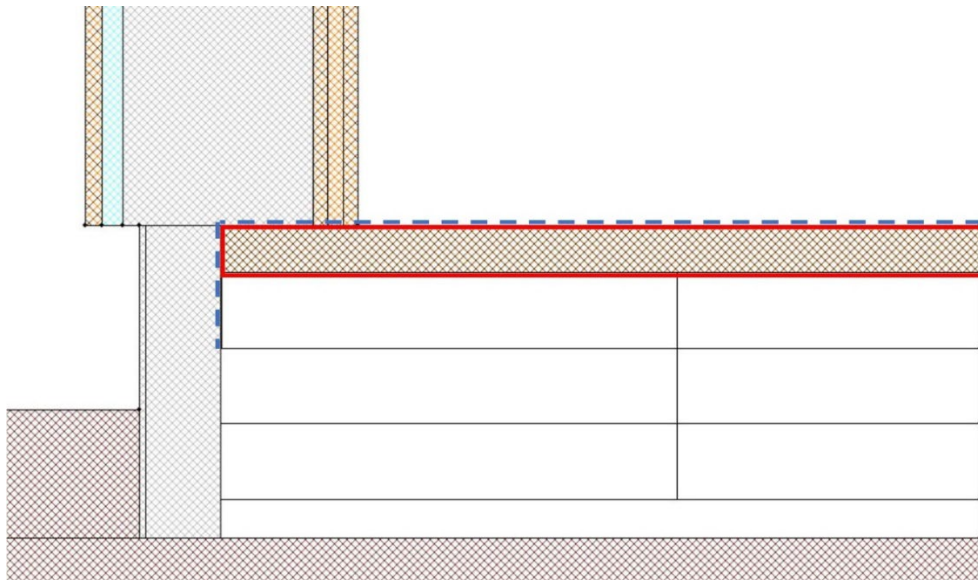


Figur 117 – Folos-diagram för Trägrund 1.0 och 1.14.1.

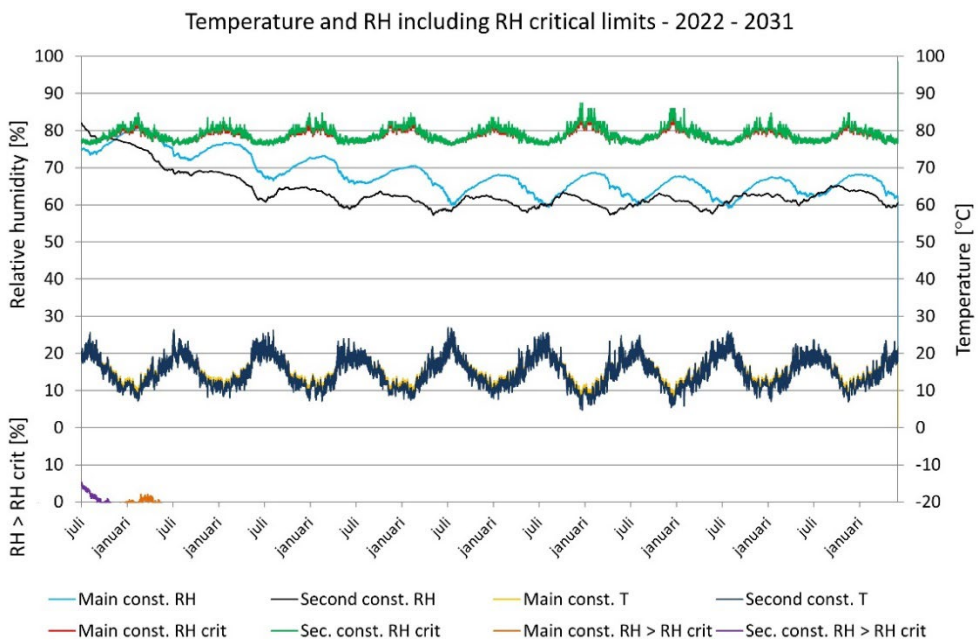
Main construction: Trägrund 1.0

Second construction: Trägrund 1.14.1

Trägrund 1.14.2 – Ändrat material på KL-träplatta i optimerad modell



Figur 118 - Beräkningsmodell för Trägrund 1.14.2 (WUFI 2D 4, 2022).

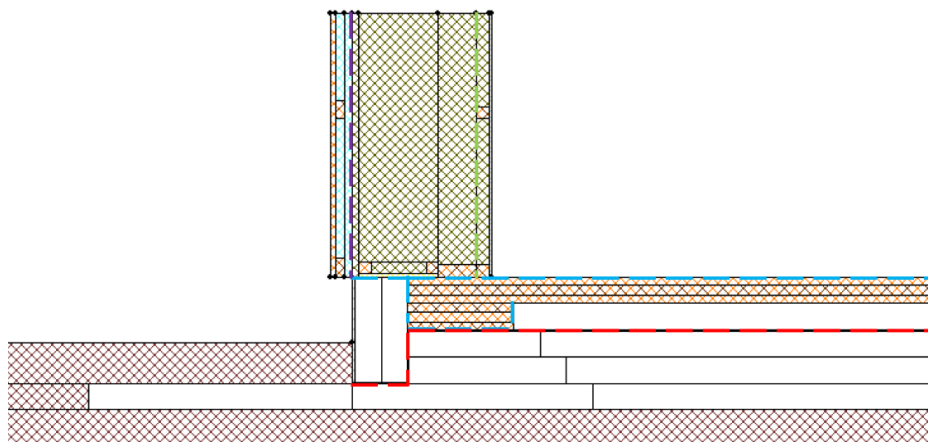


Figur 119 – Folios-diagram för Trägrund 1.11.1 och 1.14.2.

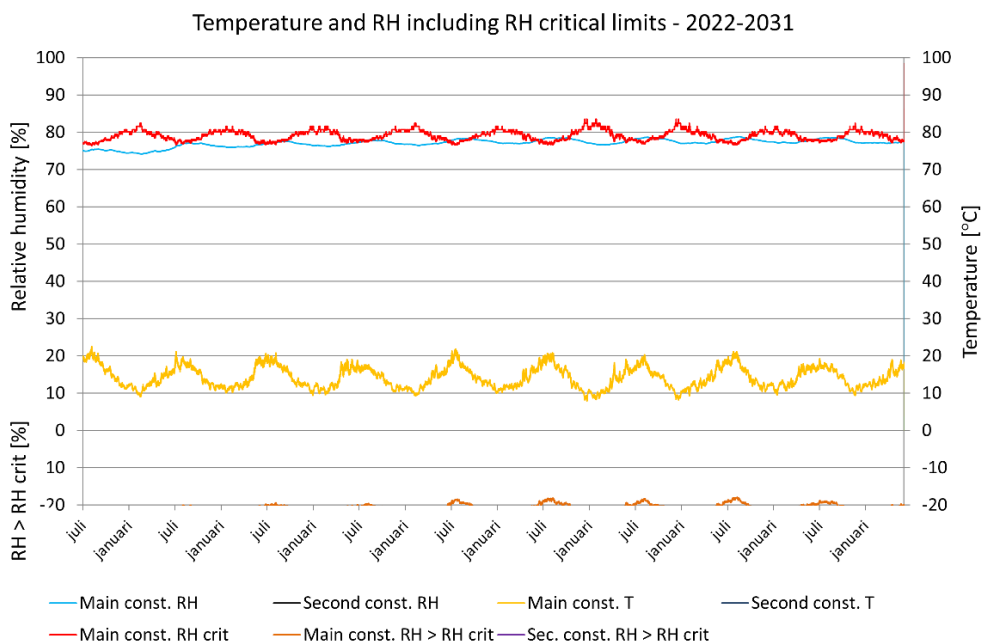
Main construction: Trägrund 1.11.1
Second construction: Trägrund 1.14.2

Bilaga 2 – Beräkningsmodeller och Folos-diagram för Trägrund 2

Trägrund 2.0 – Referensmodell



Figur 120 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.0 (WUFI 2D 4 , 2022).

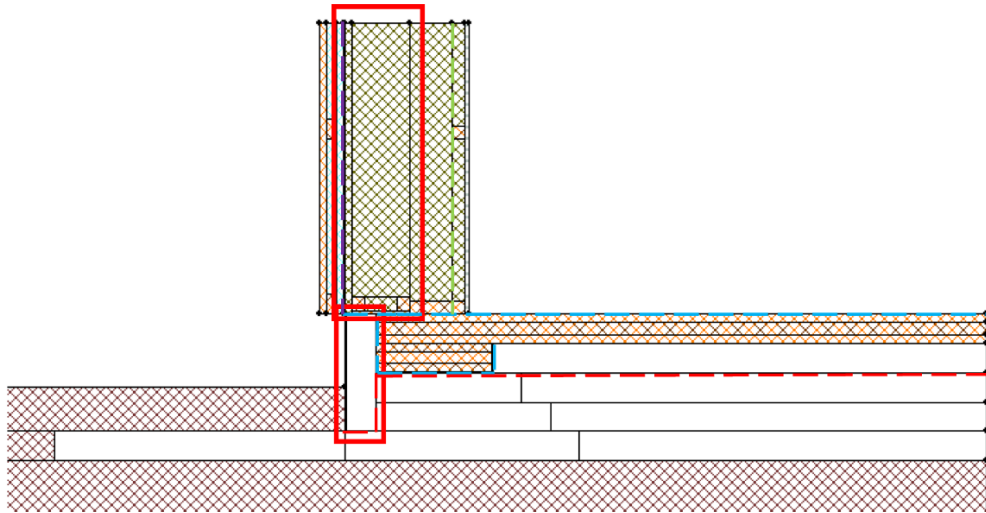


Figur 121 - Folos-diagram för Trägrund 2.0.

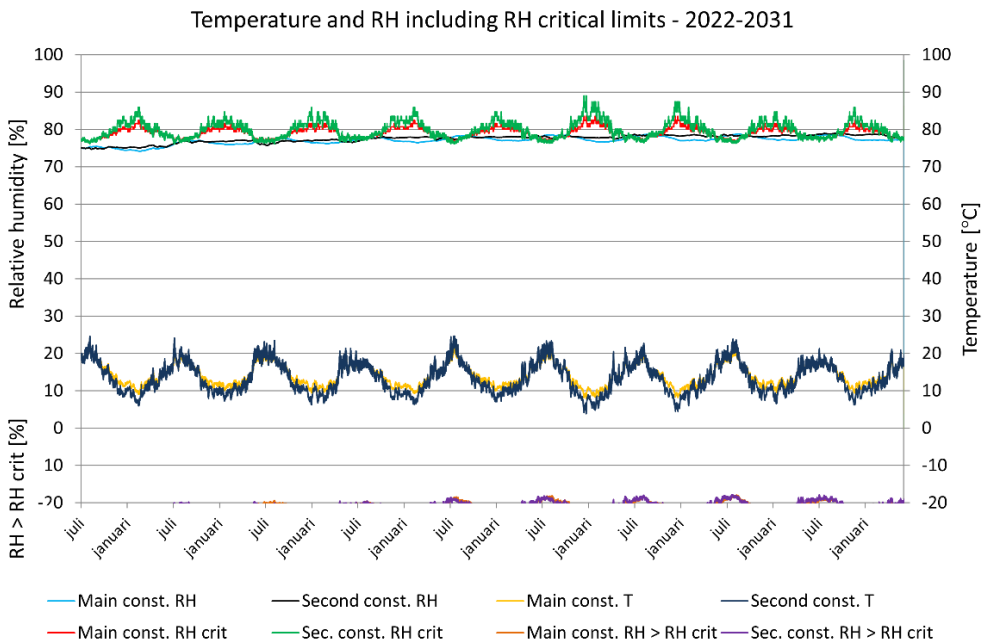
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: -

Trägrund 2.1.1 – Minskad sockelisolering 1



Figur 122 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.1.1 (WUFI 2D 4, 2022).

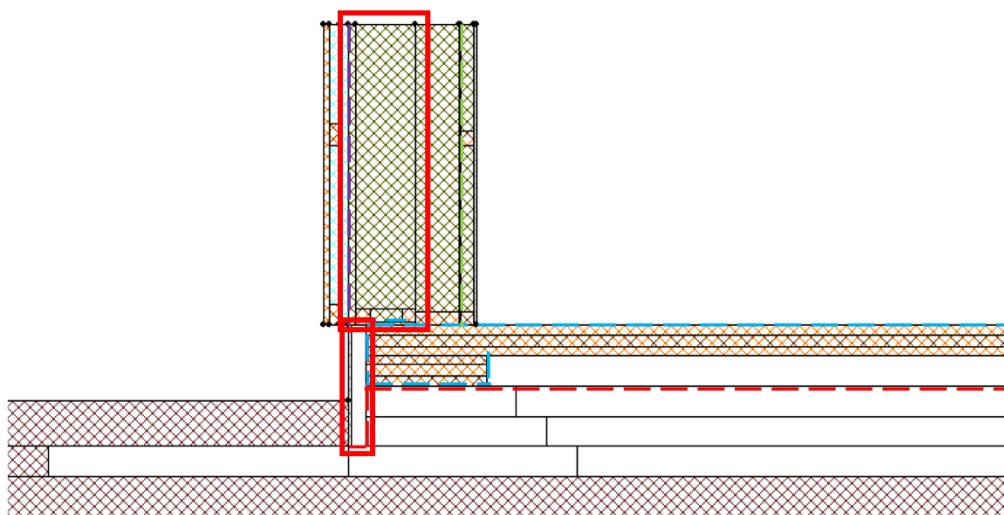


Figur 123 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.1.1.

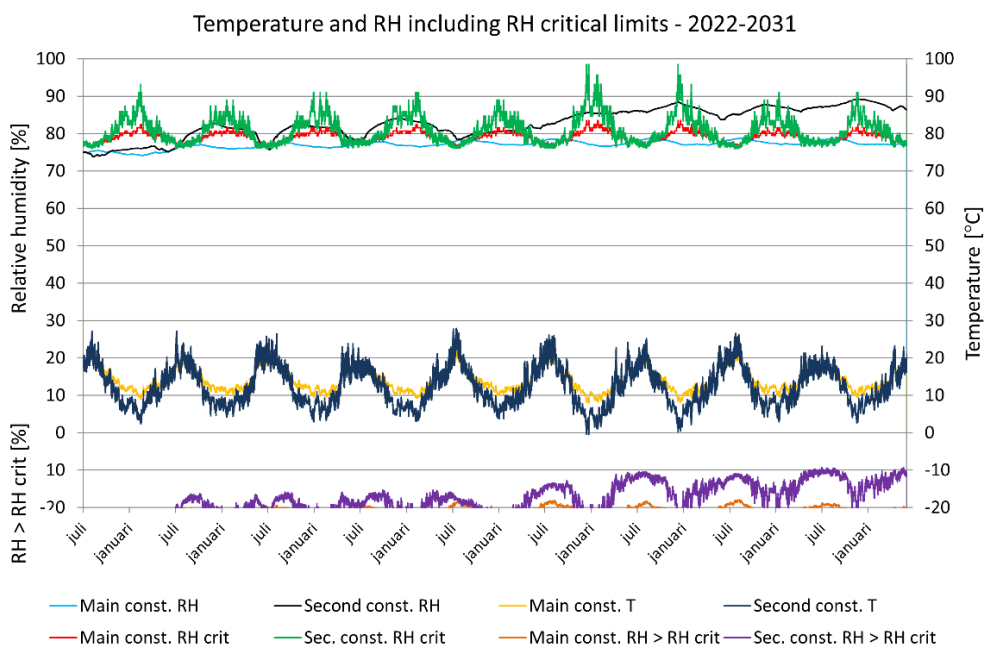
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.1.1

Trägerund 2.1.2 – Minskad sockelisolering 2



Figur 124 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.1.2 (WUFI 2D 4, 2022).

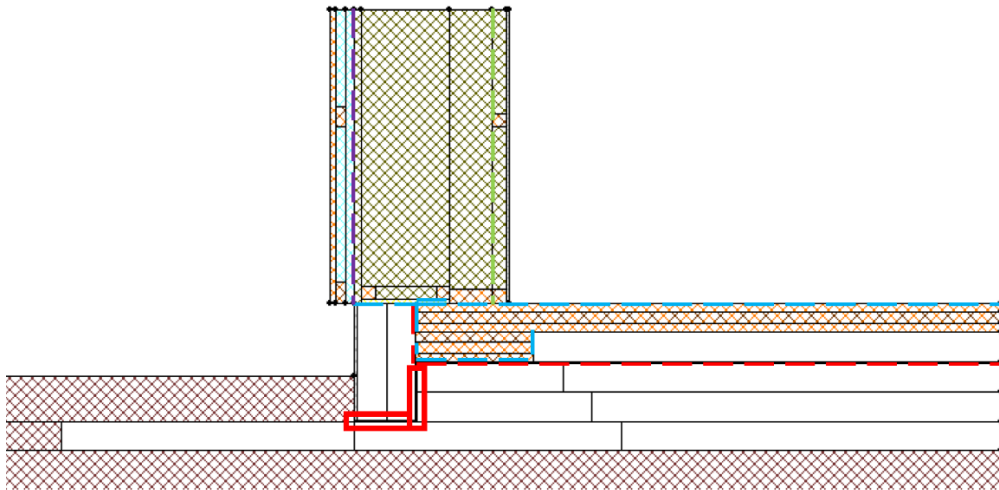


Figur 125 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.1.2.

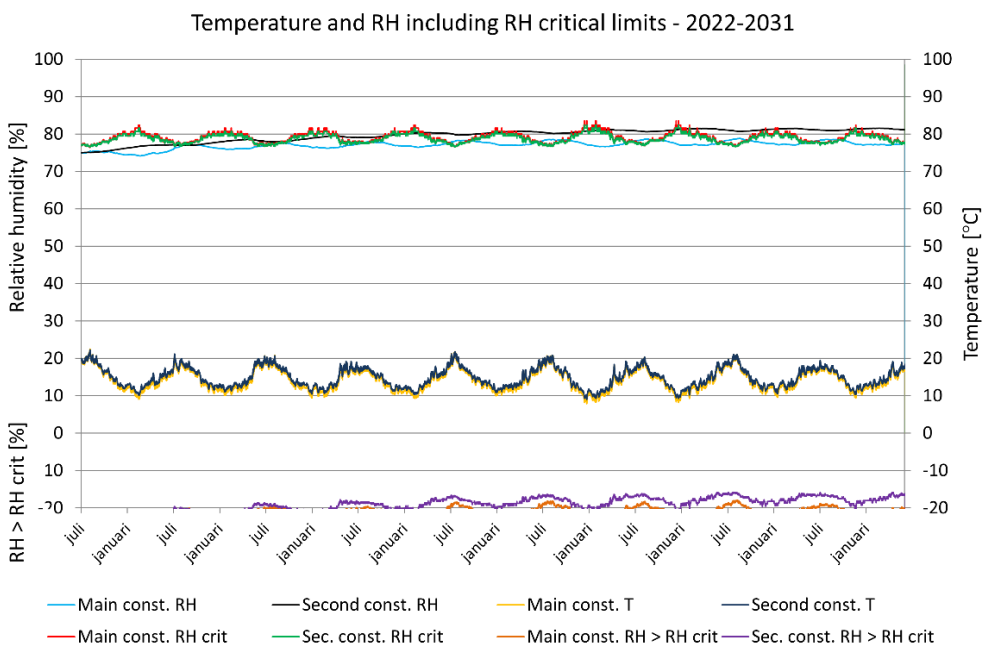
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.1.2

Trägrund 2.2 – Omplacering av PE-folie



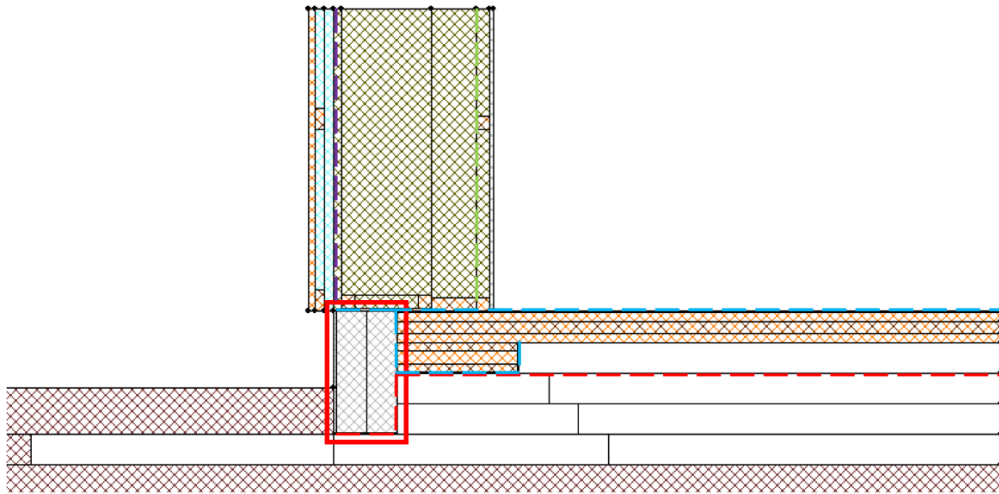
Figur 126 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.2 (WUFI 2D 4 , 2022).



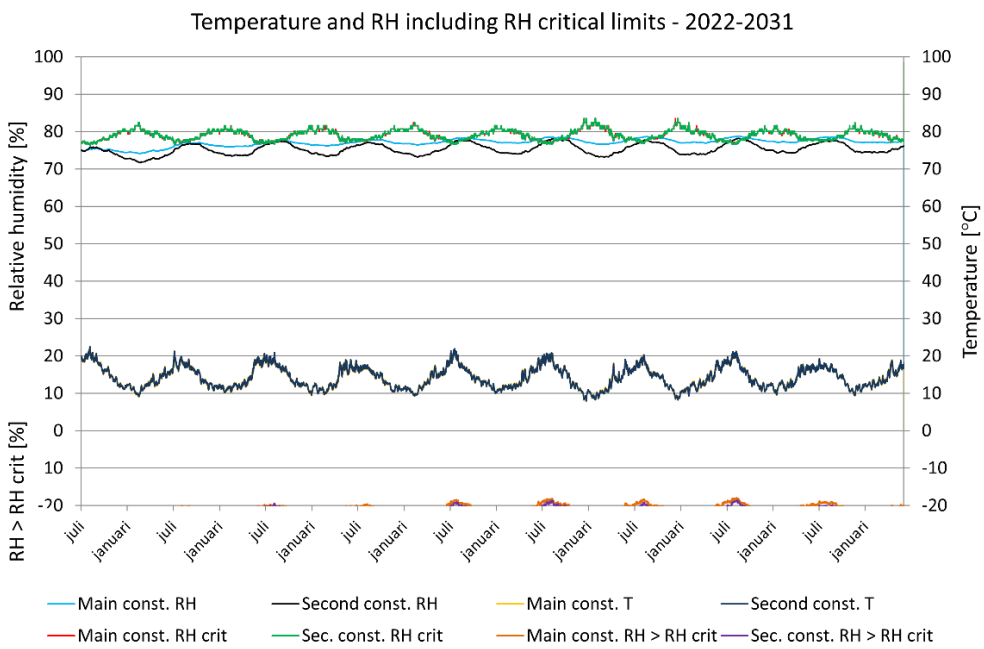
Figur 127 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.2.

Main construction: Trägrund 2.0
Second construction: Trägrund 2.2

Trägrund 2.3 – Materialutbyte av sockelisolering



Figur 128 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.3 (WUFI 2D 4 , 2022).

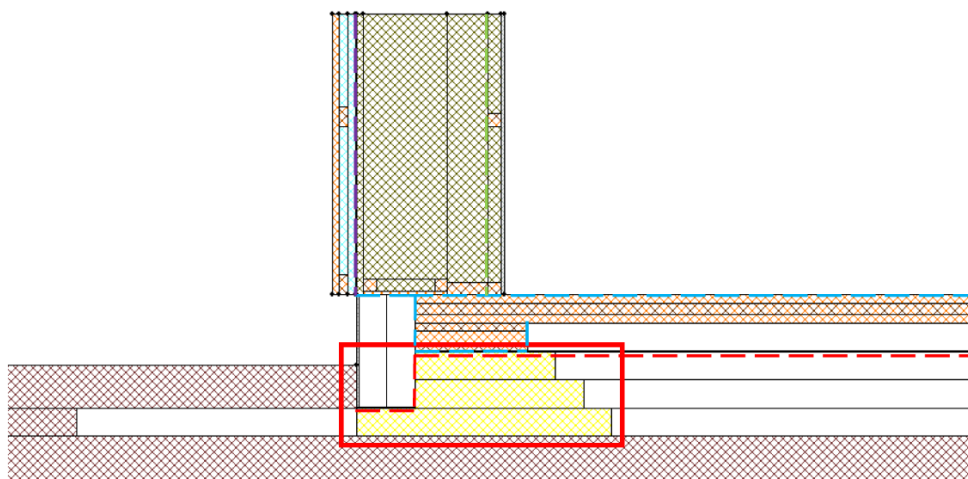


Figur 129 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.3.

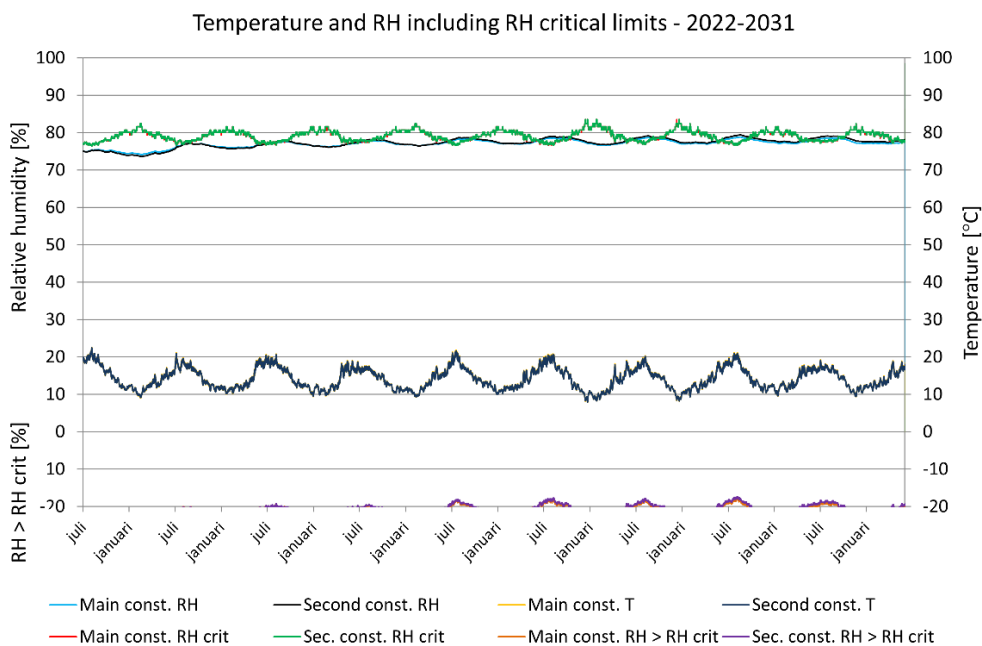
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.3

Trägrund 2.4 – Materialutbyte av votisolering



Figur 130 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.4 (WUFI 2D 4 , 2022).

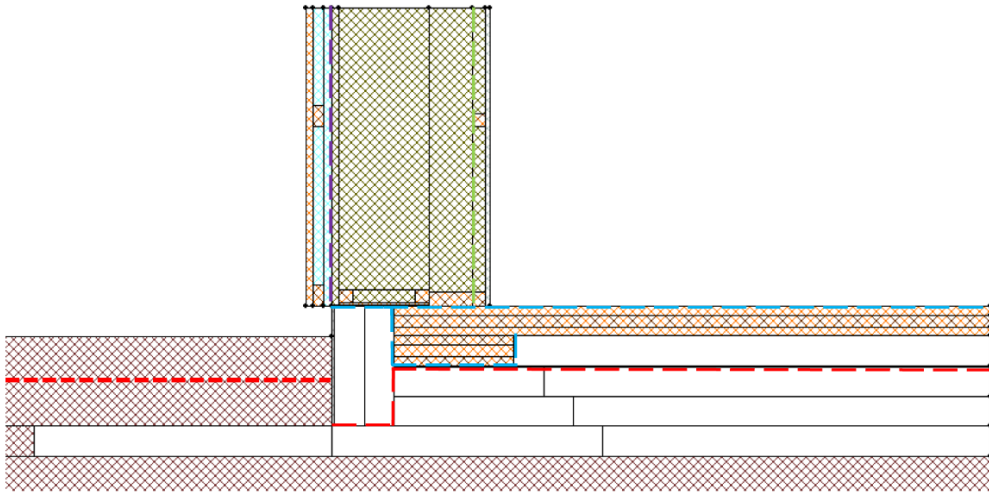


Figur 131 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.4.

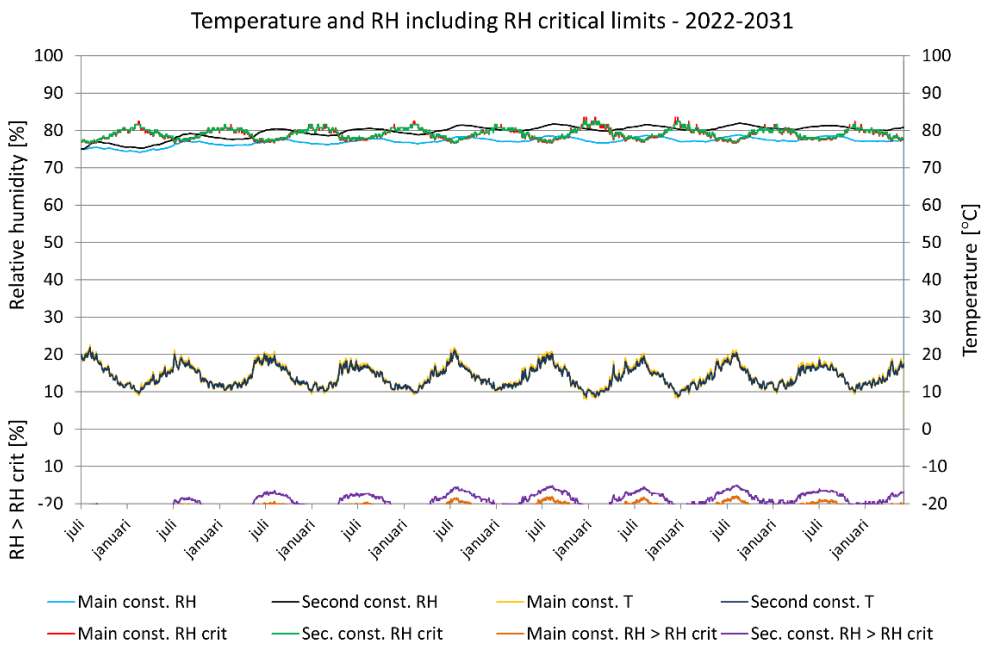
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.4

Trägerund 2.5 – Höjd marknivå



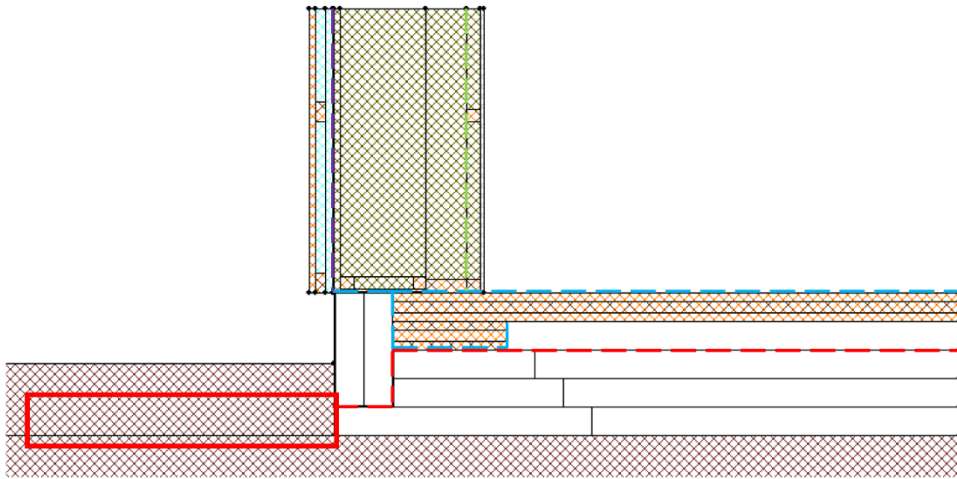
Figur 132 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.5 (WUFI 2D 4 , 2022).



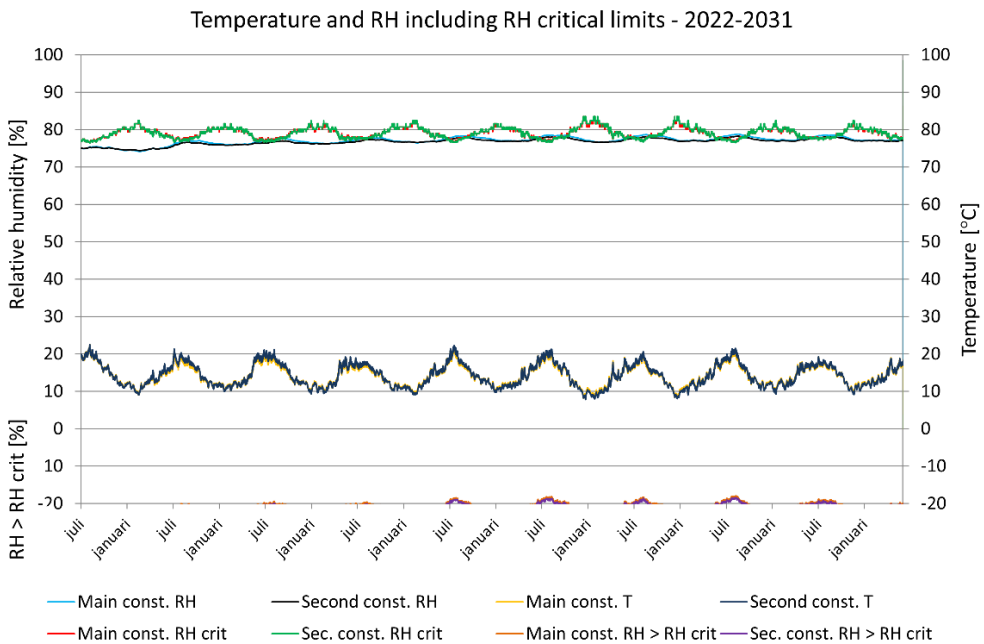
Figur 133 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.5.

Main construction: Trägrund 2.0
Second construction: Trägrund 2.5

Trägrund 2.6 – Borttagning av tjälisolering



Figur 134 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.6 (WUFI 2D 4 , 2022).

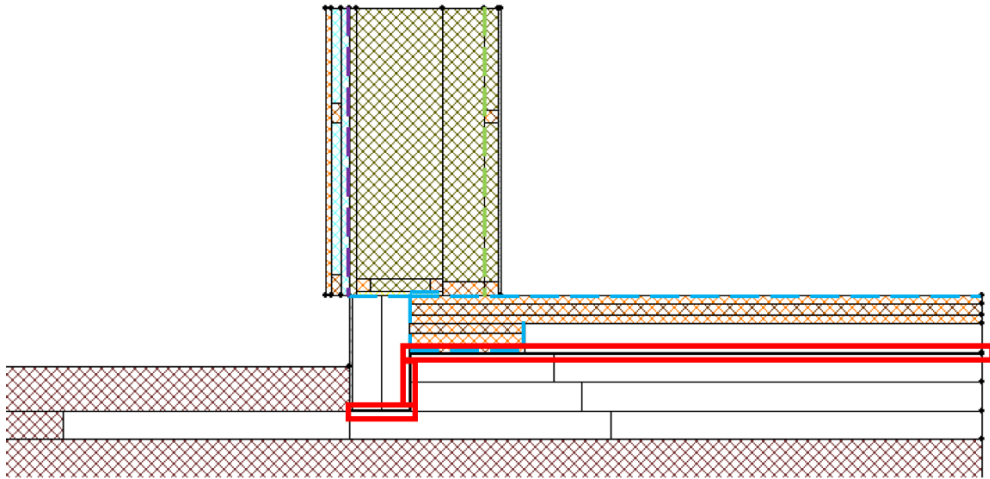


Figur 135 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.6.

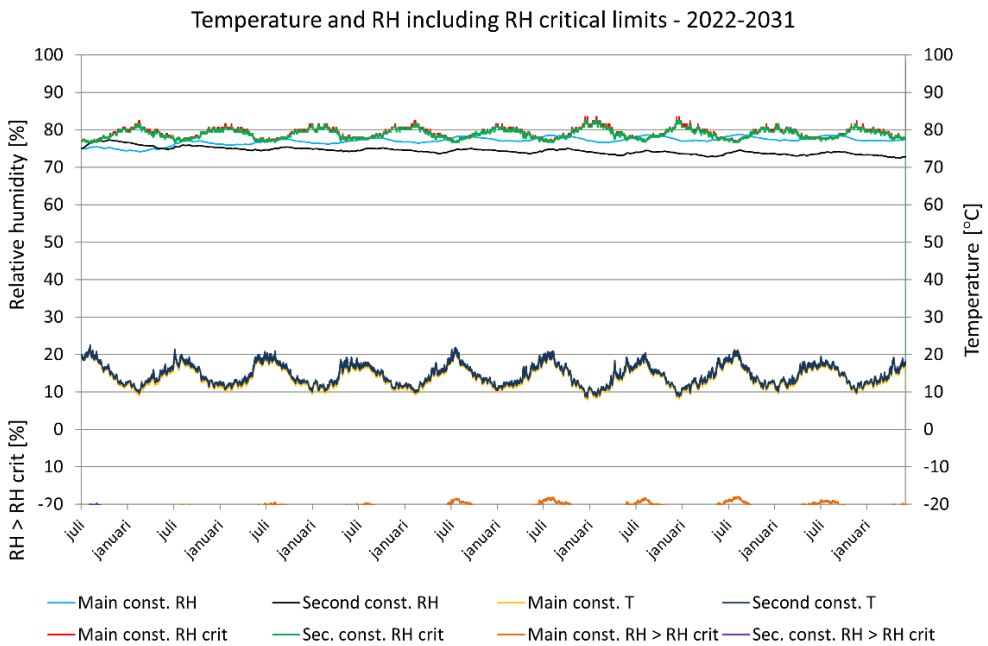
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.6

Trägrund 2.7 – Borttagning av PE-folie



Figur 136 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.7 (WUFI 2D 4 , 2022).

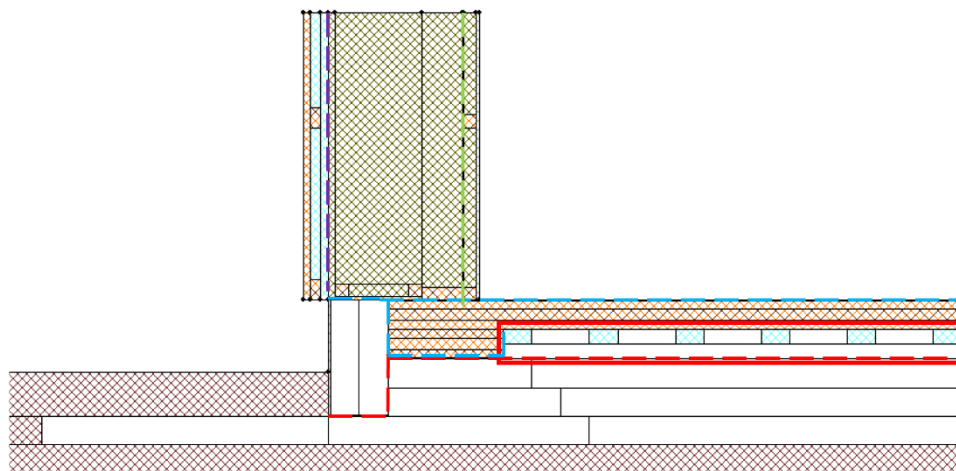


Figur 137 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.7.

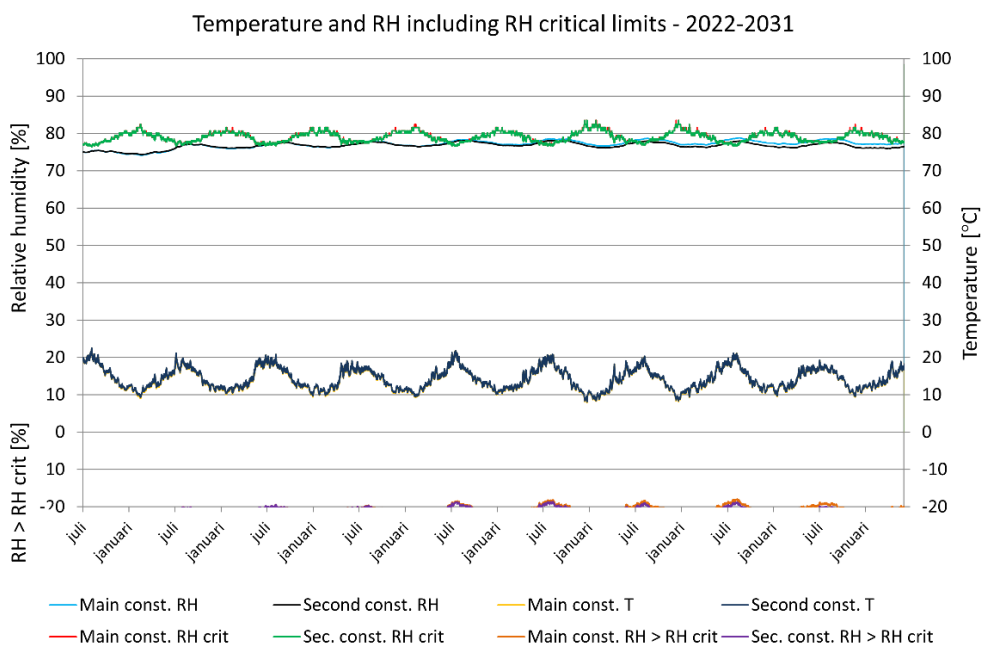
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.7

Trägrund 2.8 – Ventilerat skikt under KL-träplatta



Figur 138 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.8 (WUFI 2D 4 , 2022).

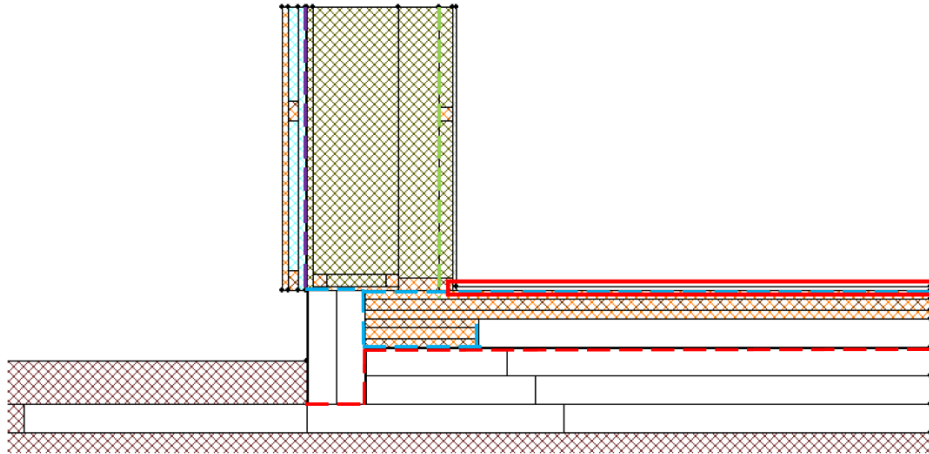


Figur 139 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.8.

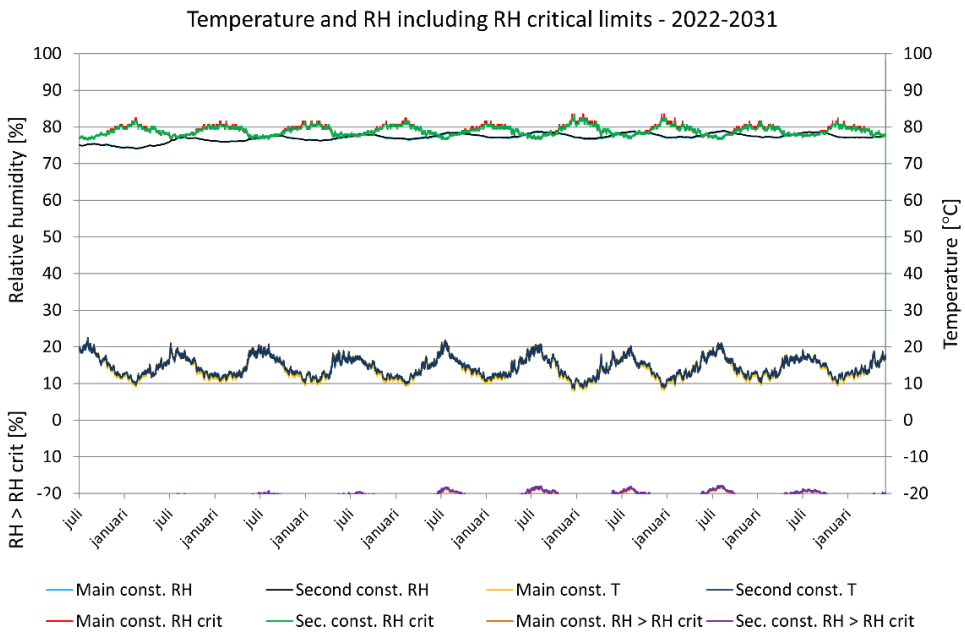
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.8

Trägrund 2.9 – Golvvärme ovanpå KL-träplatta



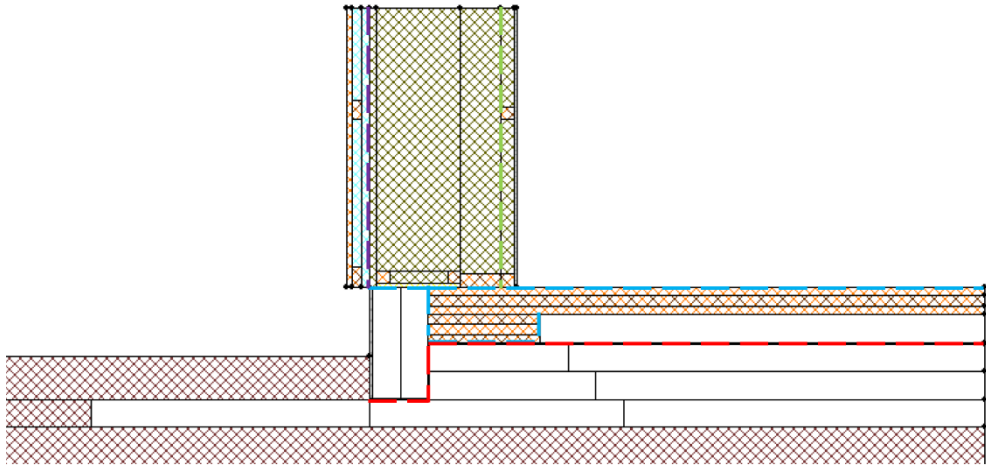
Figur 140 – Beräkningsmodell för Trägrund 2.9 (WUFI 2D 4, 2022).



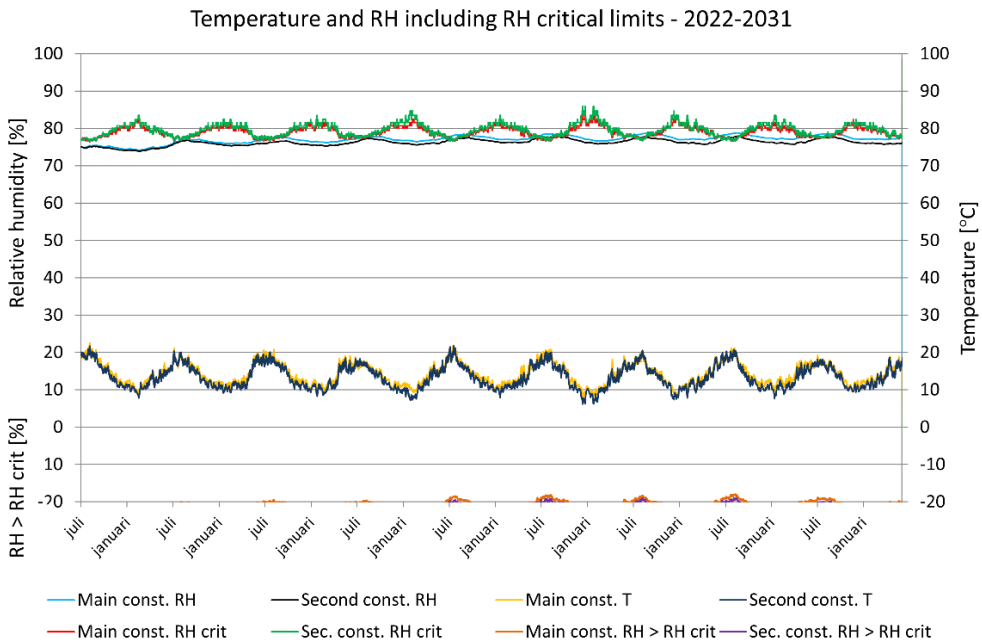
Figur 141 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.9.

Main construction: Trägrund 2.0
Second construction: Trägrund 2.9

Trägrund 2.10.1 – Referensmodell i Stockholm



Figur 142 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.10.1 (WUFI 2D 4 , 2022).

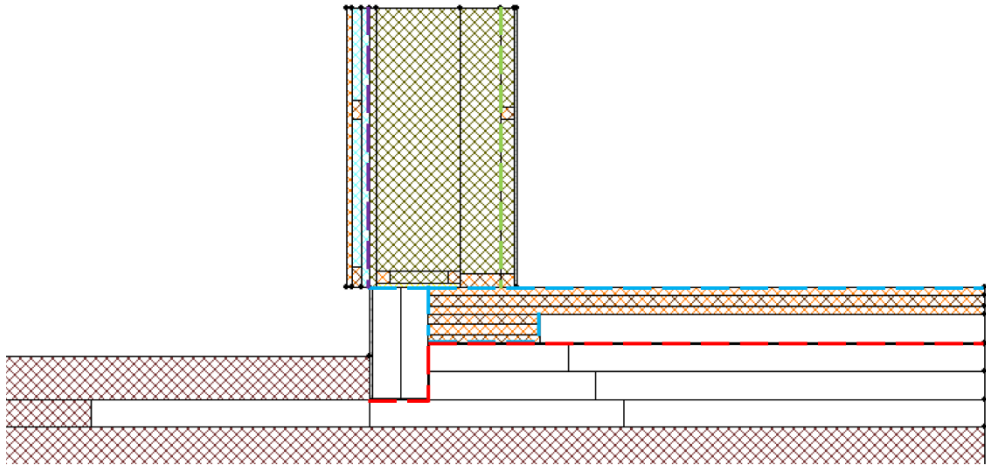


Figur 143 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.10.1.

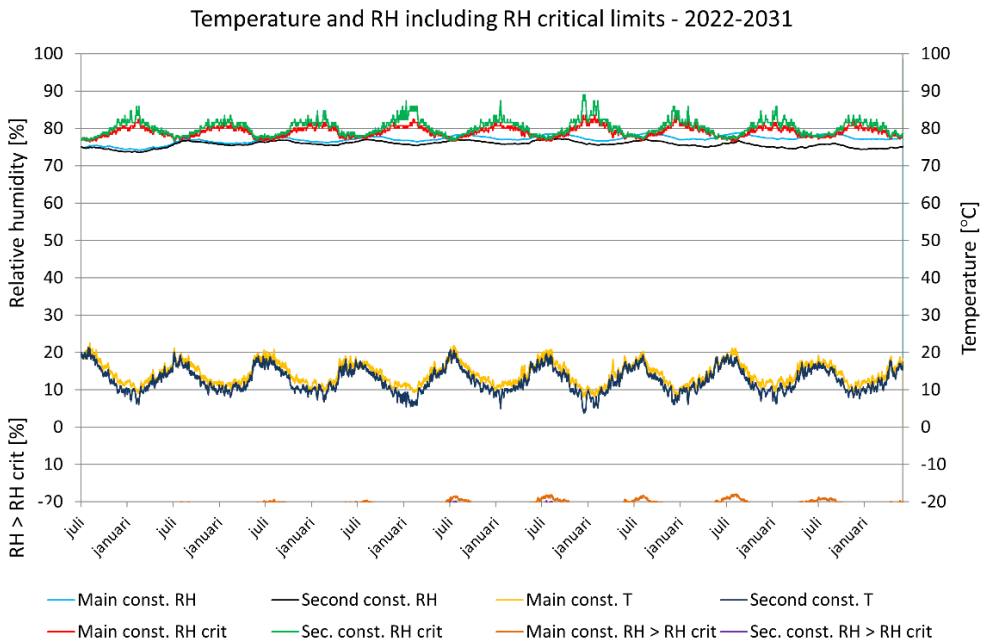
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.10.1

Trägrund 2.10.2 – Referensmodell i Borlänge



Figur 144 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.10.2 (WUFI 2D 4 , 2022).

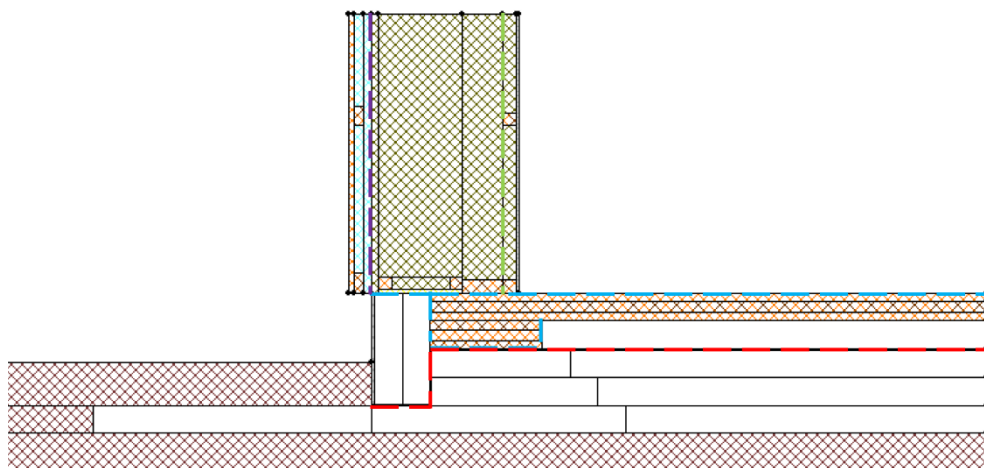


Figur 145 - Folios-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.10.2.

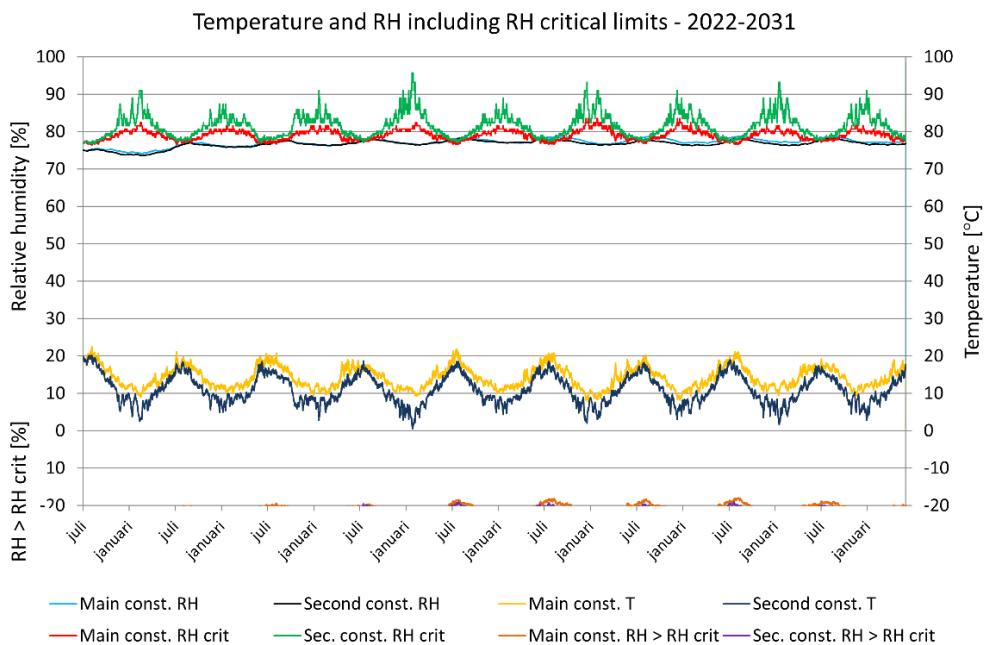
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.10.2

Trägrund 2.10.3 – Referensmodell i Luleå



Figur 146 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.10.3 (WUFI 2D 4 , 2022).

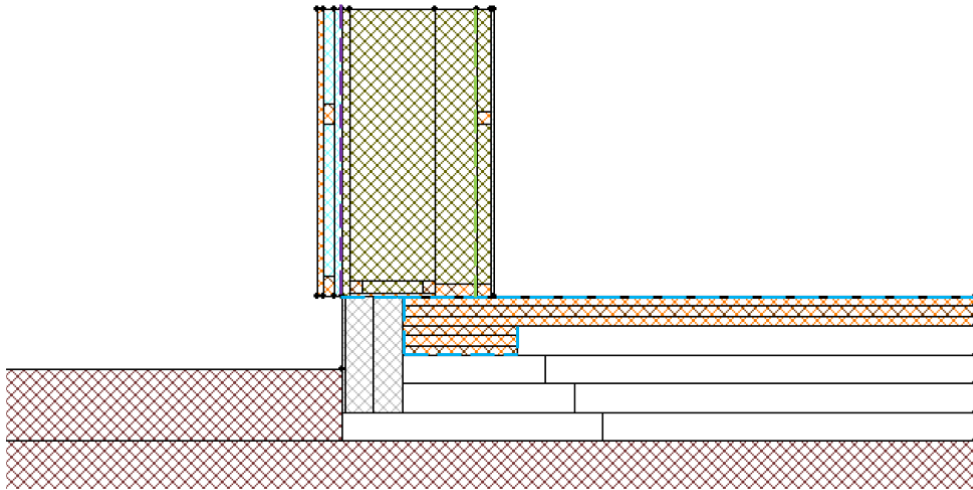


Figur 147 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.10.3.

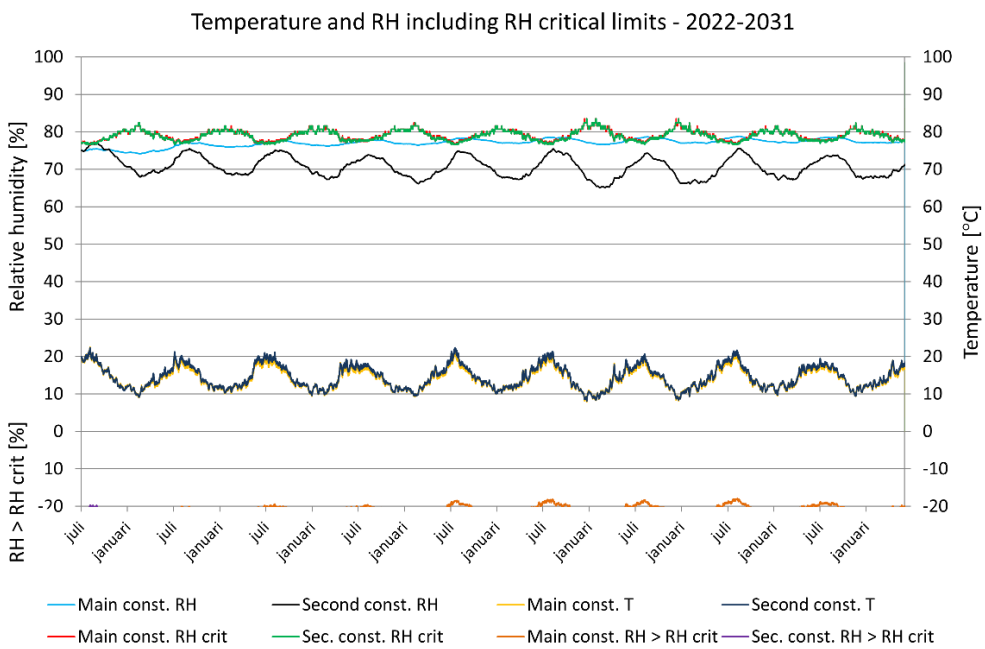
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.10.3

Trägrund 2.11.1 – Optimerad modell



Figur 148 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.11.1 (WUFI 2D 4 , 2022).

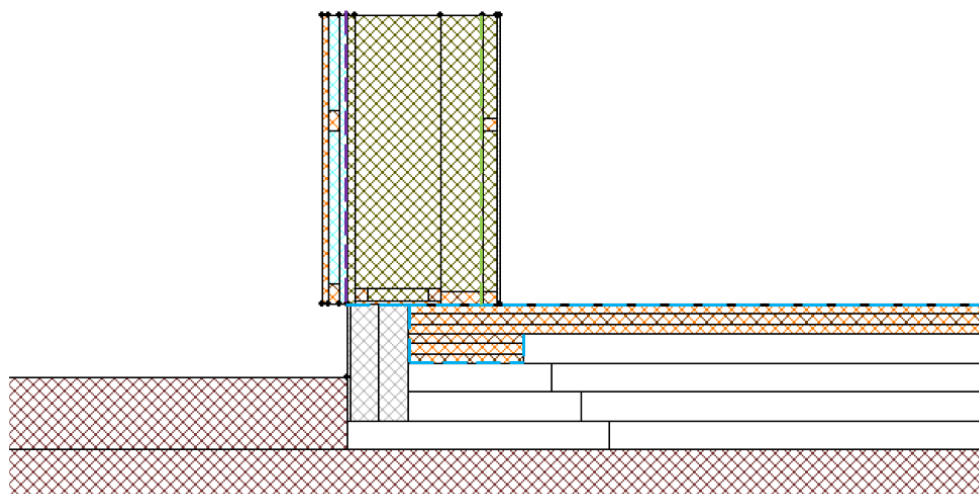


Figur 149 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.11.1.

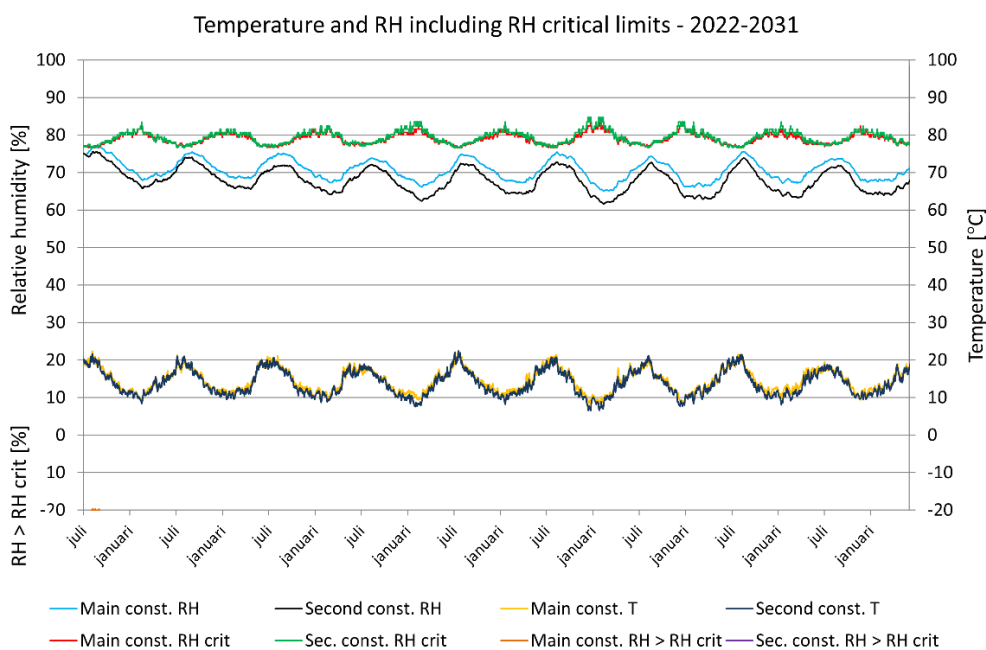
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.11.1

Trägrund 2.11.2 – Optimerad modell i Stockholm



Figur 150 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.11.2 (WUFI 2D 4, 2022).



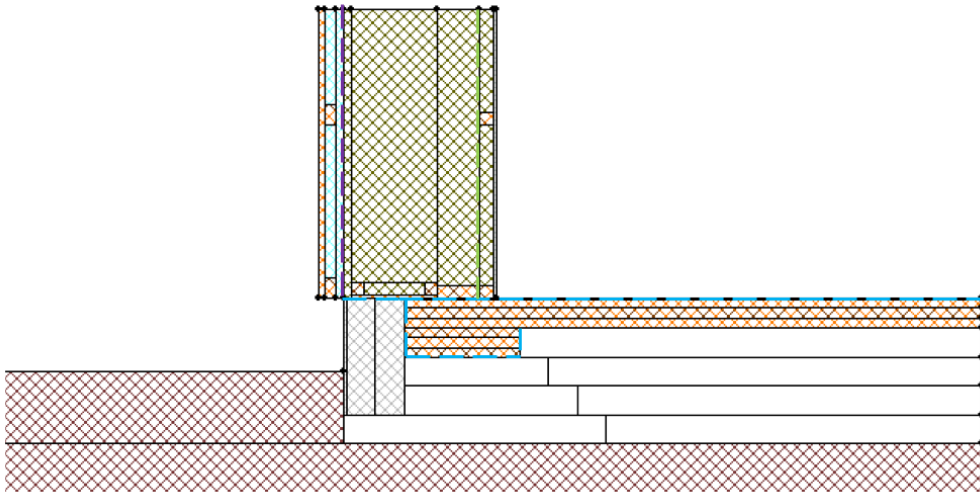
Figur 151 - Folos-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.11.2.

Main construction: Trägrund 2.11.1

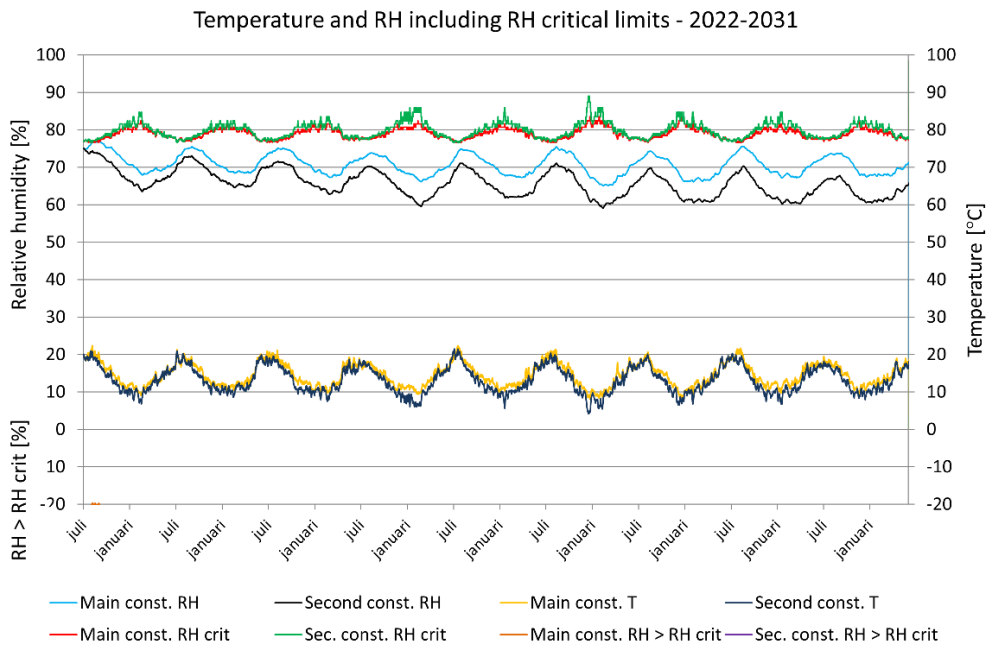
Second construction: Trägrund 2.11.2

(Jämförelse för Trägrund 1 har i stället utförts mot referensmodell i Stockholm)

Trägrund 2.11.3 – Optimerad modell i Borlänge



Figur 152 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.11.3 (WUFI 2D 4 , 2022).



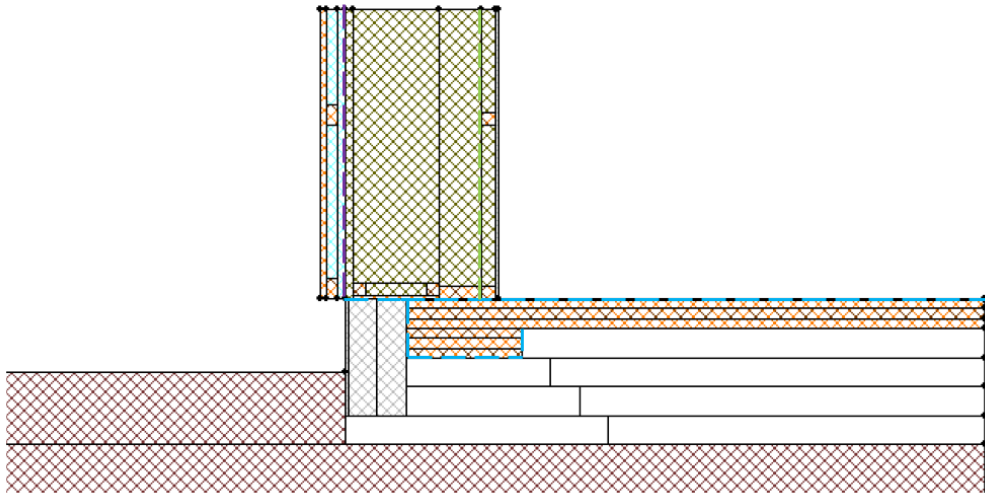
Figur 153 - Folios-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.11.3.

Main construction: Trägrund 2.11.1

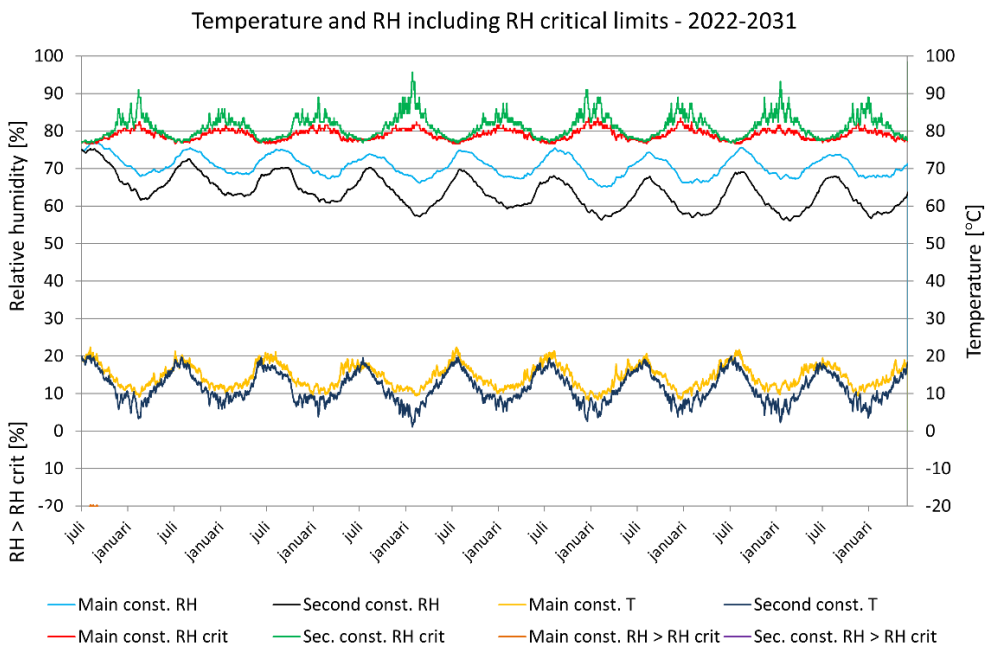
Second construction: Trägrund 2.11.3

(Jämförelse för Trägrund 1 har i stället utförts mot referensmodell i Borlänge)

Trägrund 2.11.4 – Optimerad modell i Luleå



Figur 154 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.11.4 (WUFI 2D 4, 2022).



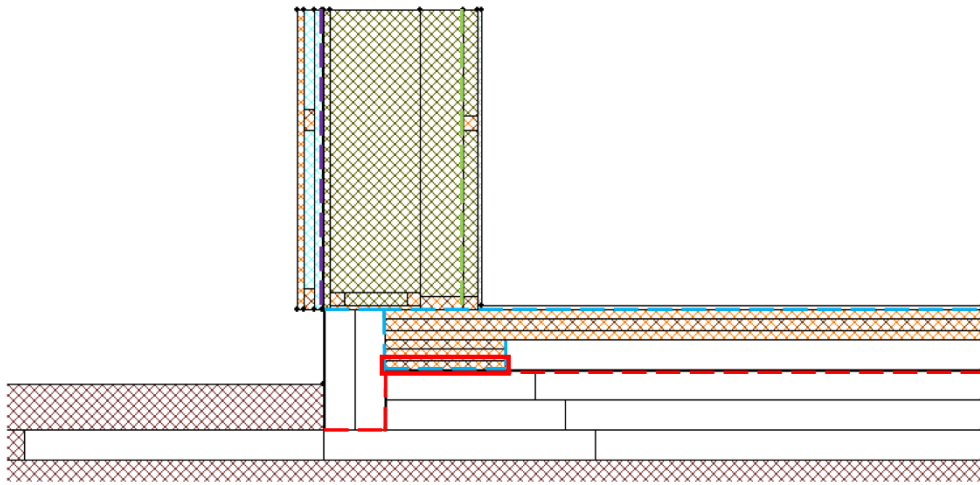
Figur 155 - Folios-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.11.4.

Main construction: Trägrund 2.11.1

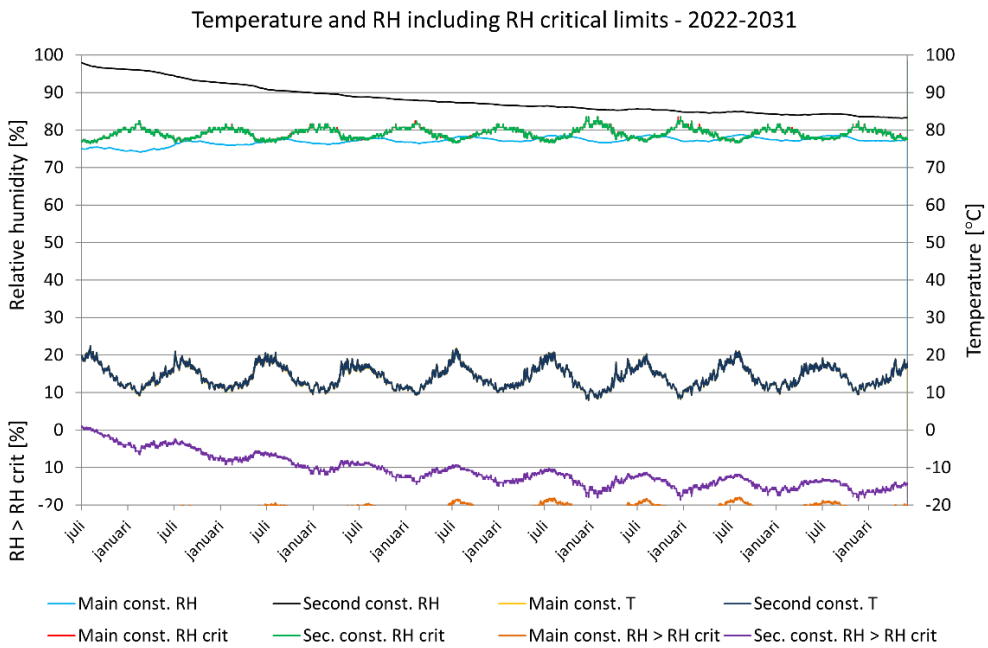
Second construction: Trägrund 2.11.4

(Jämförelse för Trägrund 1 har i stället utförts mot referensmodell i Luleå)

Trägrund 2.12.1 - Höjd fuktkvot i referensmodell



Figur 156 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.12.1 (WUFI 2D 4, 2022).

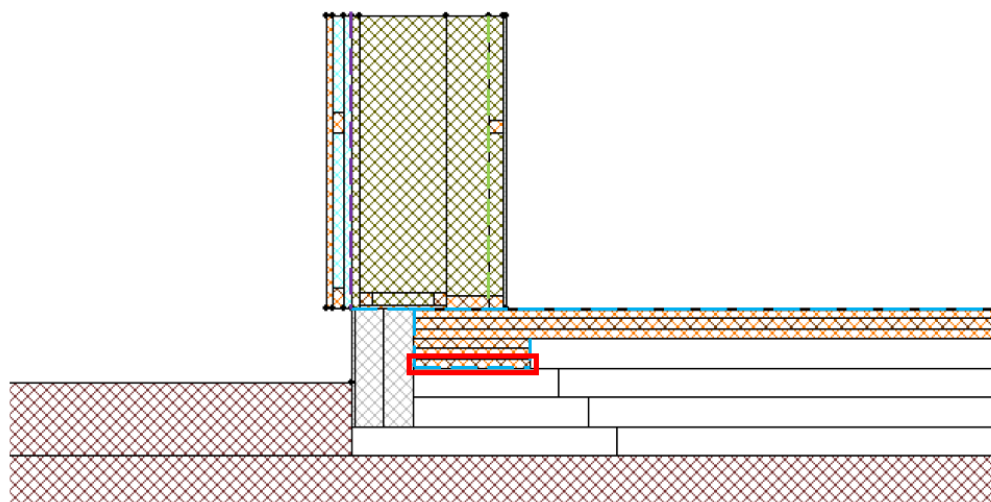


Figur 157 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.12.1.

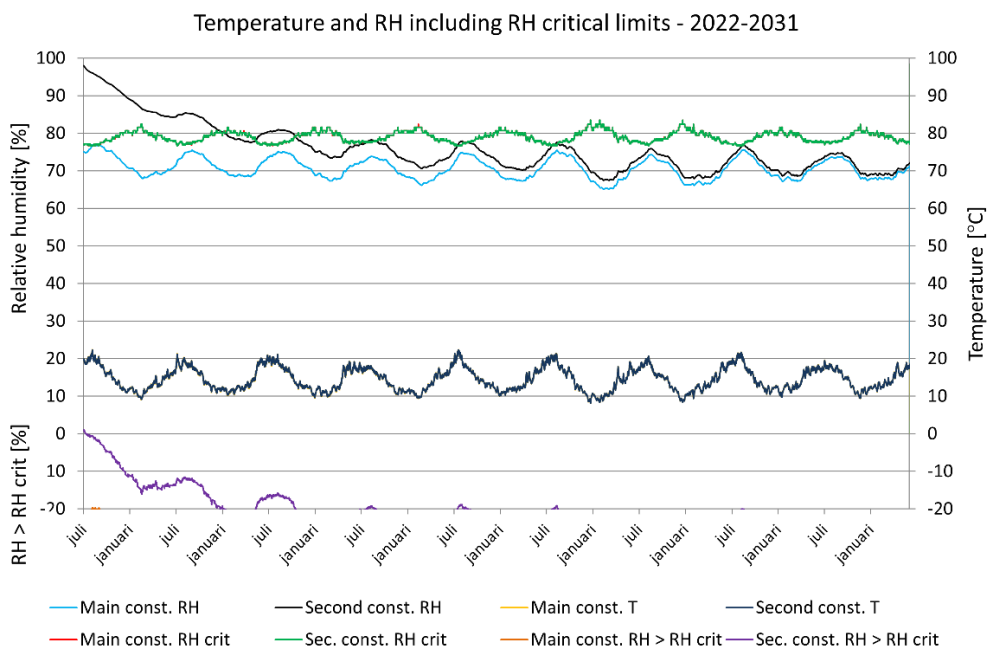
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.12.1

Trägrund 2.12.2 - Höjd fuktkvot i optimerad modell



Figur 158 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.12.2 (WUFI 2D 4, 2022).

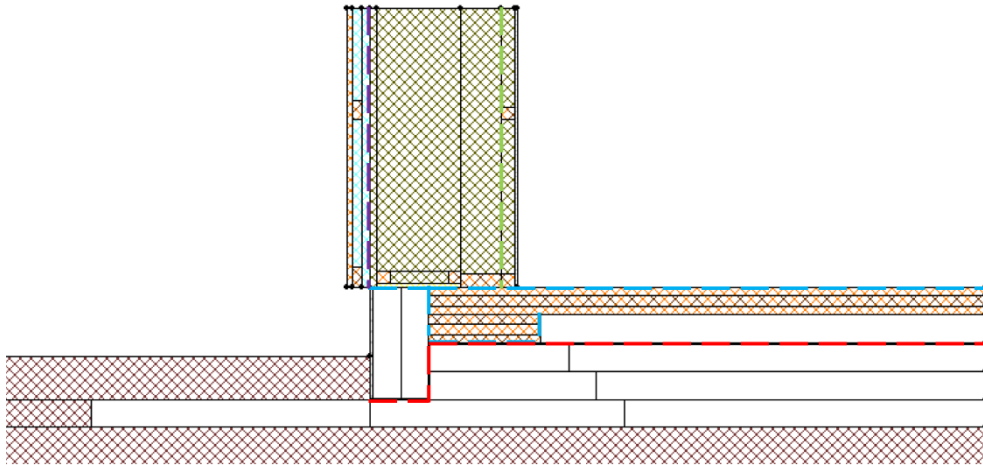


Figur 159 - Folos-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.12.2.

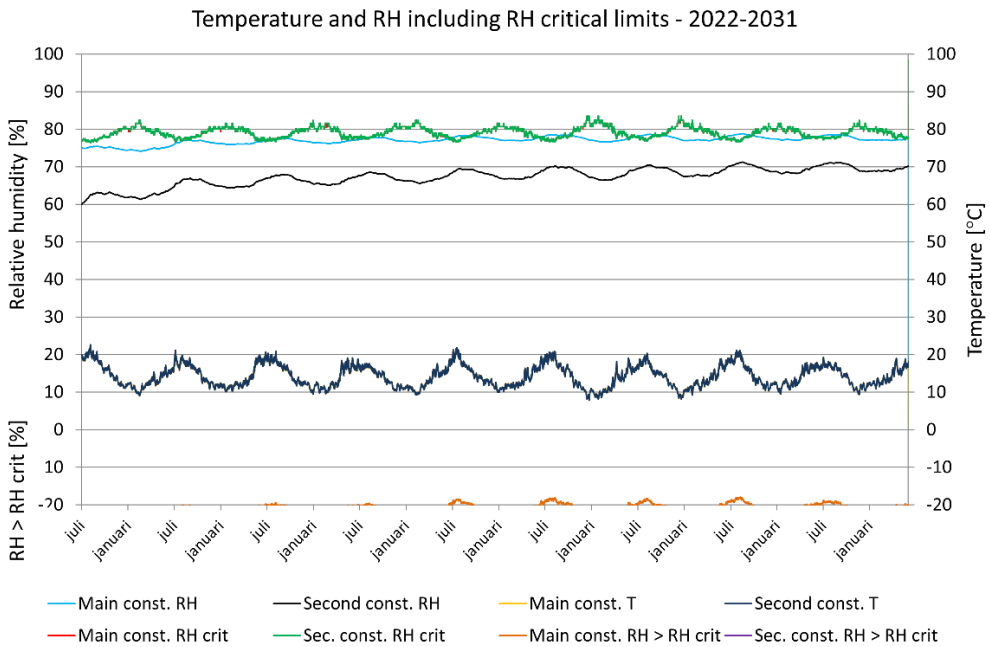
Main construction: Trägrund 2.11.1

Second construction: Trägrund 2.12.2

Trägrund 2.13.1 - Sänkt fuktkvot i referensmodell



Figur 160 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.13.1 (WUFI 2D 4, 2022).

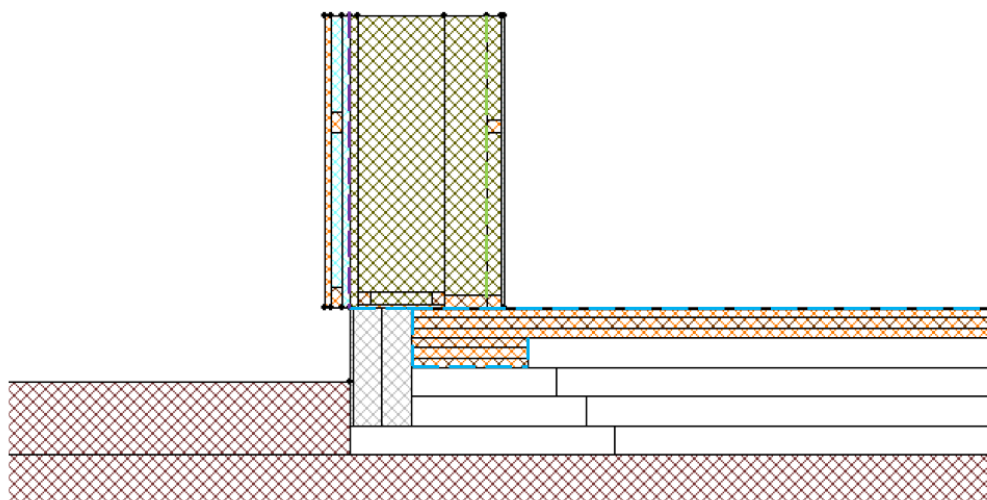


Figur 161 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.13.1.

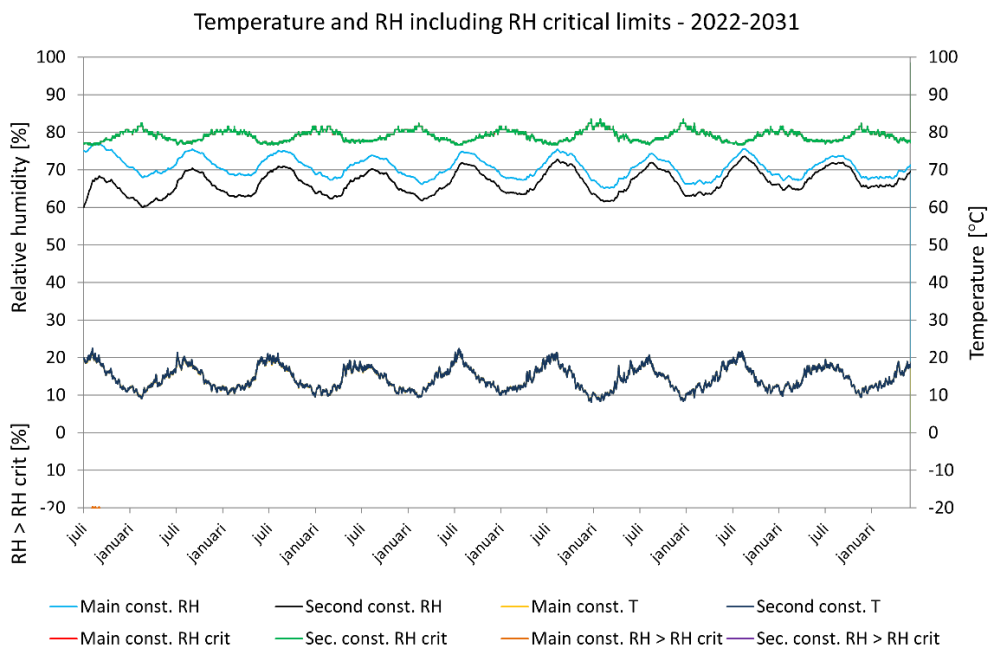
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.13.1

Trägrund 2.13.2 - Sänkt fuktkvot i optimerad modell



Figur 162 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.13.2 (WUFI 2D 4 , 2022).

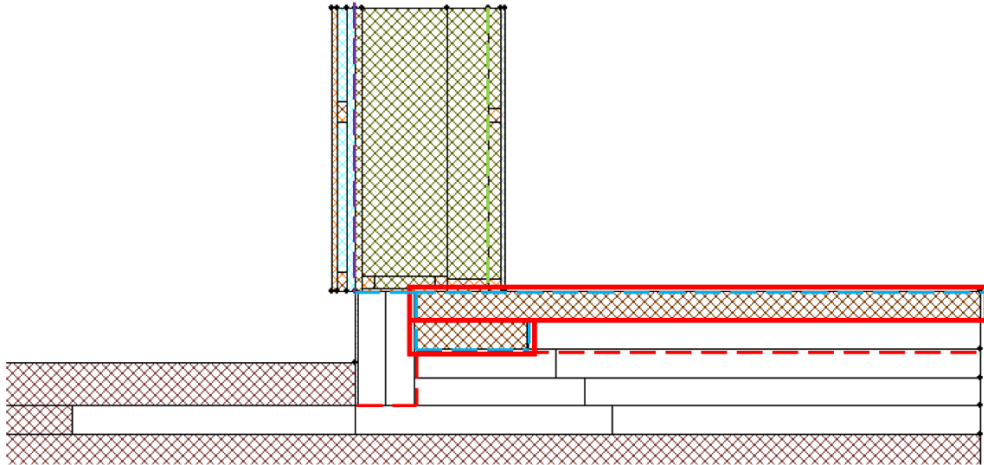


Figur 163 - Folos-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.13.2.

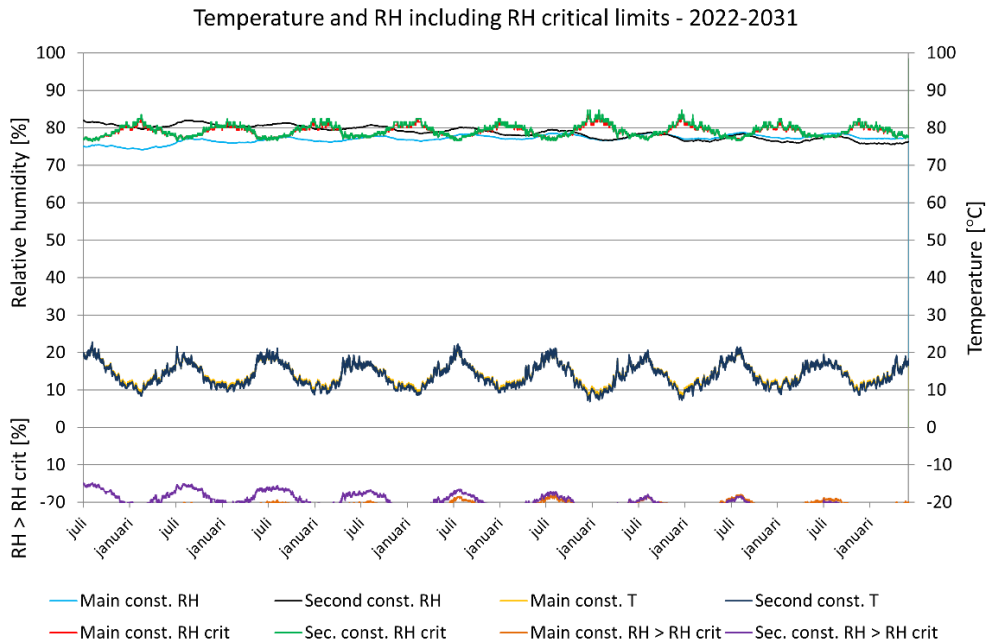
Main construction: Trägrund 2.11.1

Second construction: Trägrund 2.13.2

Trägrund 2.14.1 – Ändra material på KL-trä i referensmodell



Figur 164 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.14.1 (WUFI 2D 4, 2022).

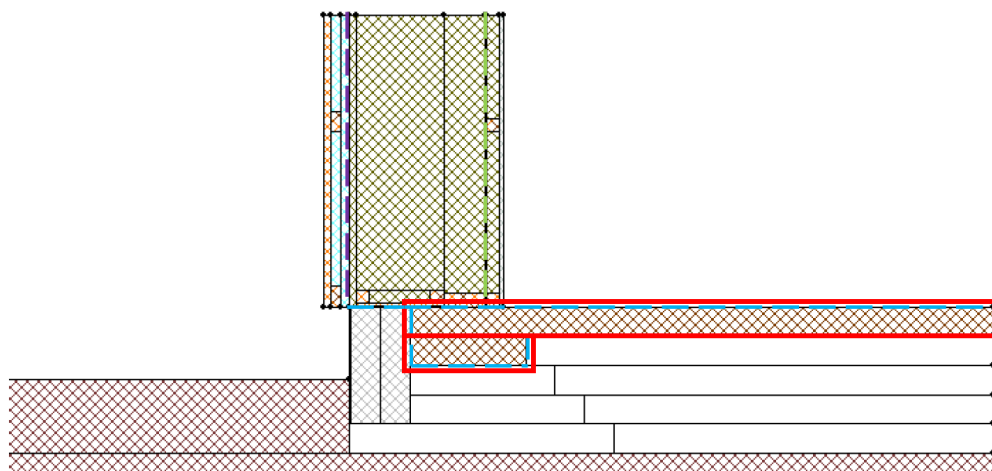


Figur 165 - Folos-diagram för Trägrund 2.0 och Trägrund 2.14.1.

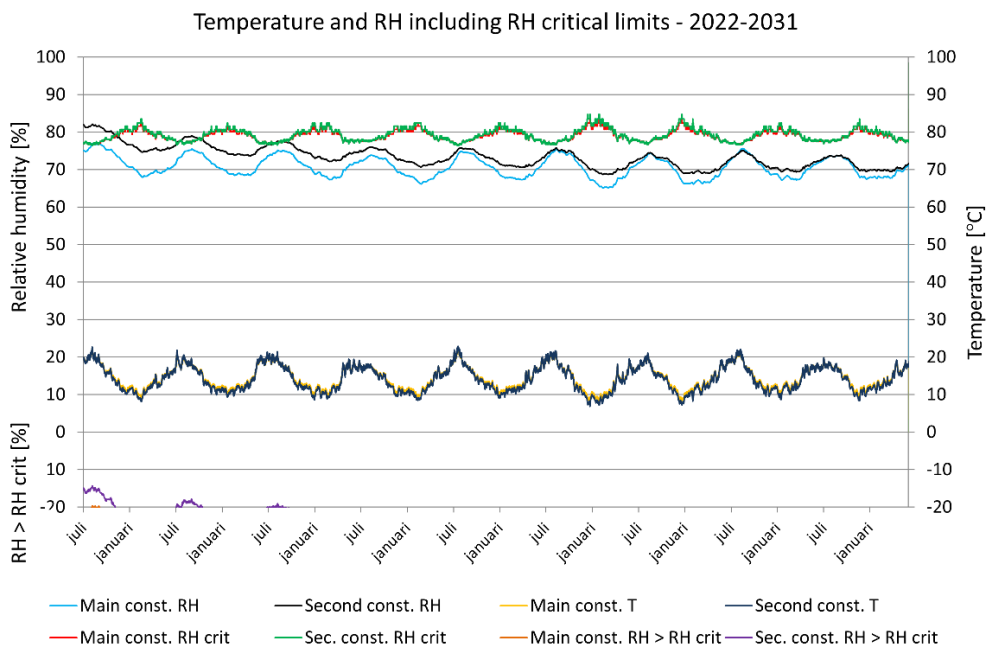
Main construction: Trägrund 2.0

Second construction: Trägrund 2.14.1

Trägrund 2.14.2 – Ändra material på KL-trä i optimerad modell



Figur 166 - Beräkningsmodell för Trägrund 2.14.2 (WUFI 2D 4, 2022).



Figur 167 - Folos-diagram för Trägrund 2.11.1 och Trägrund 2.14.2.

Main construction: Trägrund 2.11.1

Second construction: Trägrund 2.14.2

Bilaga 3 – Materialdata för Trägrund 1.0

Tabell 18 – Materialdata för Trägrund 1.0

| Komponent | Materialnamn | Skrymdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/kgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] | Källor, utöver WUFI |
|--|----------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|---------------------|
| Yttrevägg utifrån in | | | | | | | |
| Liggande panel, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Liggande panel, y-led | Gran, tagentiellt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| Luftspalt [Vertikala läkt] | Air Layer 30 mm | 1,3 | 0,999 | 1000 | 0,18 | 0,46 | |
| Stenulisolering | ROCKWOOL REDAir Batts* | 135 | 0,953 | 1030 | 0,033 | 1,1 | ROCKWOOL [2022] |
| KL-trä vägg yttre lager, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä vägg yttre lager, y-led | Spruce, longitudinal | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä vägg mittersta lager, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä vägg mittersta lager, y-led | Gran, tagentiellt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| KL-trä vägg inre lager, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä vägg inre lager, y-led | Spruce, longitudinal | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| Grundläggning inifrån ner | | | | | | | |
| Ångbroms | SIGA Wetguard 200 SA* | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 3500 | SIGA [2021] |
| KL-trä grund inre lager, x-led | Spruce, longitudinal | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä grund inre lager, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä grund mittersta lager, x-led | Gran, tagentiellt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| KL-trä grund mittersta lager, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä grund yttersta lager, x-led | Spruce, longitudinal | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä grund yttersta lager, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Isolering | Cellplast expanderad [EPS] | 20 | 0,98 | 1500 | 0,04 | 21,7 | |
| Isolering under vot | Cellplast extruderad [XPS] | 20 | 0,98 | 1500 | 0,04 | 125 | |
| PE-folie | TECCA T-tät Robust* | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 75000 | TECCA [2022] |
| Sockelisolering | Cellplast expanderad [EPS] | 20 | 0,98 | 1500 | 0,04 | 21,7 | |
| Sockelskiva | Fibercementskiva | 1610 | 0,16 | 850 | 0,13 | 83,3 | |
| Mark | | | | | | | |
| Mark | Soil 'Christian' FSP | 2500 | 0,5 | 1000 | 2 | 50 | |
| *Material från WUFI har blivit redigerat efter tillverkarens produktdatablad | | | | | | | |

Bilaga 4 – Materialdata för Trägrund 2.0

Tabell 19 - Materialdata för Trägrund 2.0.

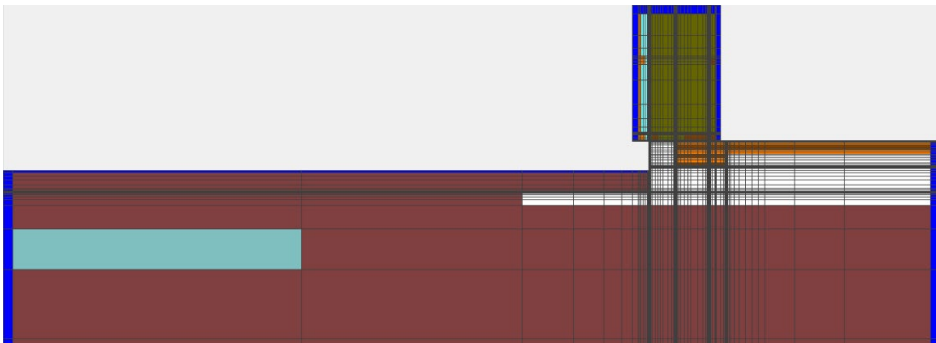
| Komponent | Materialnamn | Skrymsdensitet [kg/m ²] | Porositet [-] | Specifik värmekapacitet [J/kgK] | Värmeledningsförmåga [W/mK] | Diffusionsmotstånd för vattenånga [-] | Källor, utöver WUFI |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Yttrevägg utifrån in | | | | | | | |
| Stående panel, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Stående panel, y-led | Spruce, longitudinall | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| Luftspalt [Horisontella läkt] | Air Layer 60 mm | 1,3 | 0,999 | 1000 | 0,337 | 0,27 | |
| Läkt, x-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Läkt, y-led | Gran, tangentlikt | 480 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| Luftspalt [Vertikala läkt] | Air Layer 60 mm | 1,3 | 0,999 | 1000 | 0,337 | 0,27 | |
| Fuktmembran | SIGA Majcoat 150 SOB* | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 50 | SIGA [2020] |
| Vindtattska | Hunton Vindtät Plus* | 235 | 0,83 | 1400 | 0,045 | 16,8 | Hunton [2022] |
| Trafiberisolering, lösull | Hunton Nativo Trafiberisolering | 50 | 0,97 | 2100 | 0,038 | 2 | Hunton [2022] |
| "Flansar" i lätsyll, x-led | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | Masonite Beams [2022] |
| "Flansar" i lätsyll, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| "Ljv" i lätsyll | AGEPAN OSR/3 PUR | 616 | 0,52 | 2100 | 0,13 | 144 | |
| Trafiberisolering, lösull | Hunton Nativo Trafiberisolering | 50 | 0,97 | 2100 | 0,038 | 2 | Hunton [2022] |
| Syll, x-led | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| Syll, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Ångbroms | SIGA Majrex 200* | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 15000 | SIGA [2020] |
| Trafiberisolering, skivor | Hunton Nativo Trafiberisolering | 50 | 0,97 | 2100 | 0,038 | 2 | Hunton [2022] |
| Giespanel, x-led | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| Giespanel, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Fibergips | FERMACELL Gypsum-Fibreboard | 1153 | 0,52 | 1200 | 0,32 | 16 | |
| Grundläggning inifrån ner | | | | | | | |
| Ångbroms | SIGA Wetguard 200 SA* | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 3500 | SIGA [2020] |
| KL-trä - Lager 1, x-led | Spruce, longitudinall | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä - Lager 1, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä - Lager 2, x-led | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| KL-trä - Lager 2, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä - Lager 3, x-led | Spruce, longitudinall | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä - Lager 3, y-led | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä - Lager 4, x-led [kantförst] | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| KL-trä - Lager 4, y-led [kantförst] | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä - Lager 5, x-led [kantförst] | Spruce, longitudinall | 455 | 0,73 | 1400 | 0,23 | 4,3 | |
| KL-trä - Lager 5, y-led [kantförst] | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| KL-trä - Lager 6, x-led [kantförst] | Gran, tangentlikt | 430 | 0,73 | 1600 | 0,14 | 83,3 | |
| KL-trä - Lager 6, y-led [kantförst] | Spruce, radial | 455 | 0,73 | 1400 | 0,09 | 130 | |
| Cellplastisolering | Sundolitt EPS S100* | 20 | 0,98 | 1500 | 0,037 | 21,7 | Sundolitt [2021] |
| PE-folie | PE-Membrane | 130 | 0,001 | 2300 | 2,3 | 50000 | |
| Cellplastisolering under vot | Sundolitt EPS S300 MX* | 40 | 0,98 | 1500 | 0,033 | 21,7 | Sundolitt [2021] |
| Sockelisolering av cellplast | Sundolitt EPS S100* | 20 | 0,98 | 1500 | 0,037 | 21,7 | Sundolitt [2021] |
| Sockelskiva | Fibercementskiva | 1610 | 0,16 | 850 | 0,13 | 83,3 | |
| Tjallsolering av cellplast | Sundolitt EPS S100* | 20 | 0,98 | 1500 | 0,037 | 21,7 | Sundolitt [2021] |
| Mark | | | | | | | |
| Mark | Soil 'Christian' FSP | 2500 | 0,5 | 1000 | 2 | 50 | |

*Material har blivit redigerat efter tillverkarens produktdatablad

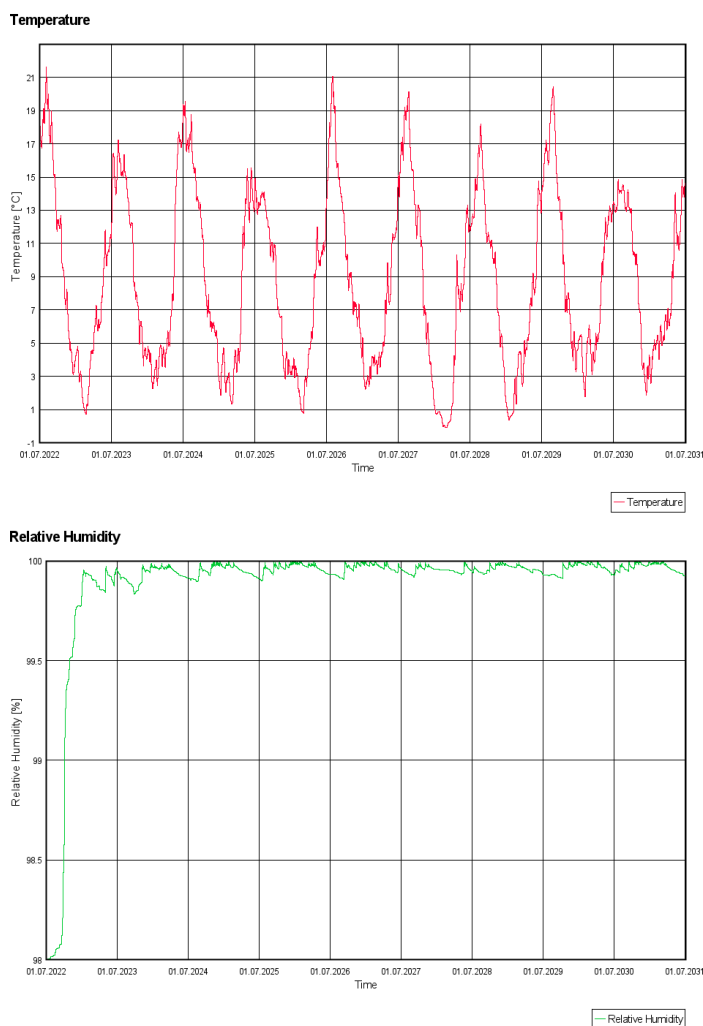
Bilaga 5 – Markförhållanden

Markförhållanden undersöktes både ”mitt under” grundläggningen och vid sidan om grundläggningen. Denna undersökning utfördes endast vid beräkning i Lund samt endast i beräkningsmodellen för Trägrund 2. I och med att de undersökta områdena befann sig relativt långt från konstruktionen antogs det vara liknande resultat i beräkningsmodellen för Trägrund 1. Undersökning utfördes med syftet att få en förståelse för hur markförhållanden allmänt varierar med denna typ av uppbyggnad av beräkningsmodell, därför ansågs det inte vara väsentligt att göra samma undersökningar i andra orter.

I Figur 169 visas hur relativ fuktighet och temperatur varierar i ett område enligt Figur 168, cirka en halv meter under markytan. Det kan observeras att temperaturen rör sig relativt lika med lufttemperaturen utomhus men inte till samma extrema temperaturer. Relativa fuktigheten, som har ett begynnelsevillkor på 98 % för marken, ökar efter ett halvår upp till en nivå på cirka 100 % och stabiliseras där.



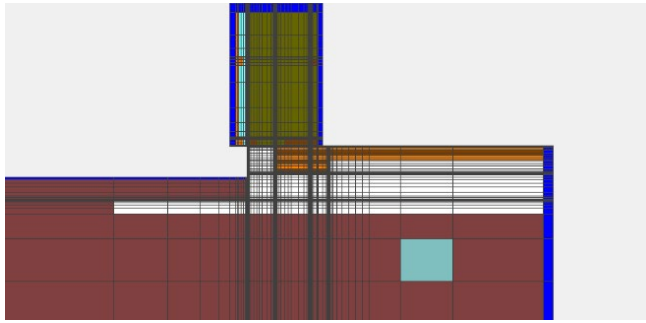
Figur 168 - Undersökt område (i turkos färg) i marken vid sidan om grundläggningen, cirka en halv meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).



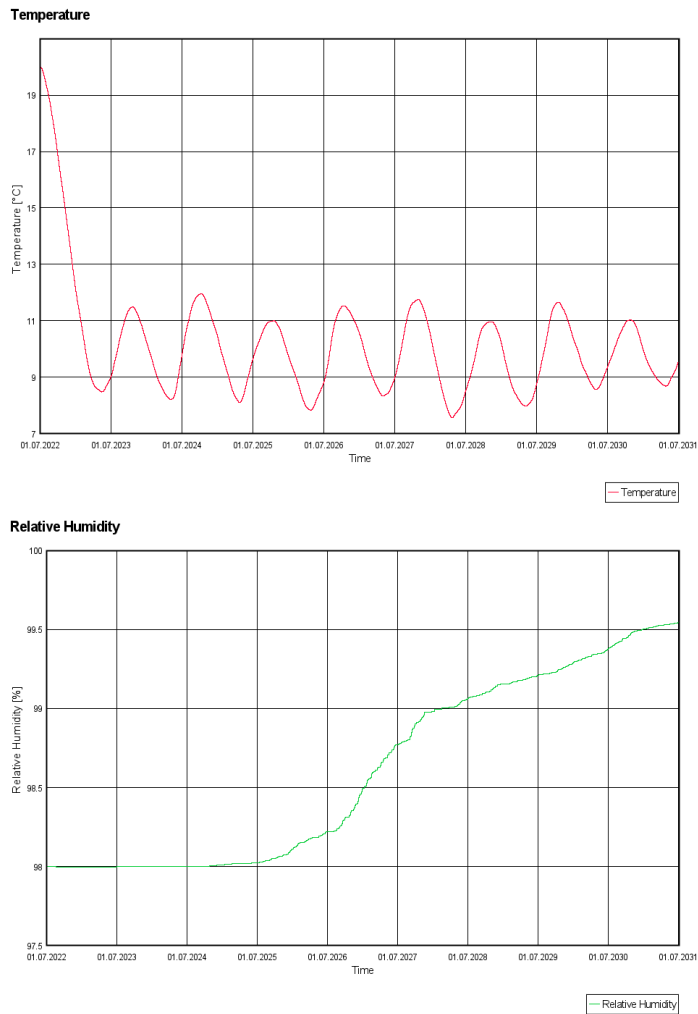
Figur 169 - Markförhållanden vid sidan om grundläggningen, cirka en halv meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).

Undersökning av markförhållanden på samma djup i området ”mitt under” grundläggningen, se Figur 170, resulterar i markförhållanden i Figur 171. Det kan observeras att temperaturen tar sig från begynnelsevillkoret på 20 °C till områdets jämvikt efter cirka ett halvår. Vid jämvikten varierar temperaturen med cirka 2–4 °C och temperaturens rörelse från varmest till kallast är delvis förskjuten i förhållande till lufttemperaturen utomhus, det blir alltså som varmest i marken lite efter sommaren snarare än mitt på sommaren. Den relativa fuktigheten håller sig stabil vid 98 % i ca två år. Därefter börjar den dock gradvis, enligt trenden, öka mot en relativ fuktighet på 100 %.

Grundläggning med platta på mark av KL-trä

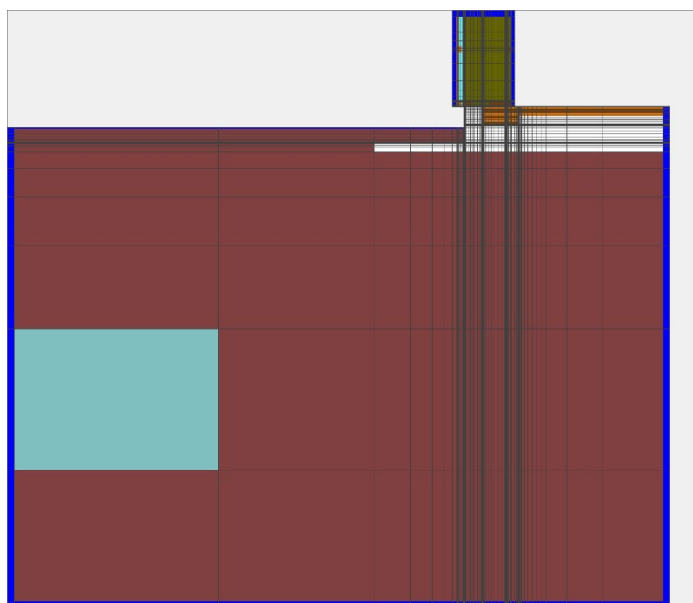


Figur 170 - Undersökt område (i turkos färg) i marken "mitt under" grundläggningen, cirka en halv meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).

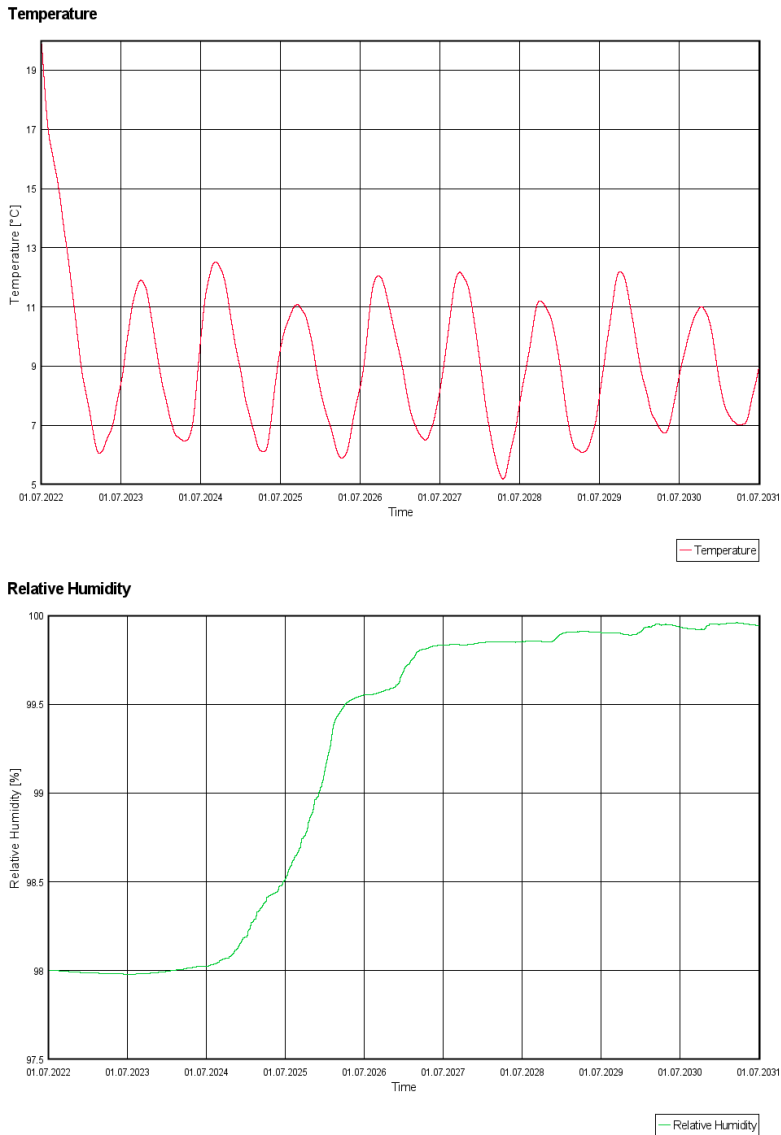


Figur 171 - Markförhållanden "mitt under" grundläggningen, cirka en halv meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).

Markförhållanden undersöktes även på ett större djup i beräkningsmodellen, alltså för motsvarande områden längre ned i beräkningsmodellen. I området vid sidan om grundläggningen, cirka 3–4 meter ned, se Figur 172, verkade markförhållanden som redovisas i Figur 173. Längre ned i marken kan det observeras hur temperaturen, efter att ha börjat på begynnelsevillkoret 20 °C, efter ett halvår stabiliserar sig med en medeltemperatur på cirka 9 °C, med viss förskjutning jämfört med temperaturvariationen utomhus. Detta kan jämföras med medeltemperaturen allra längst ned i modellen som i detta fall är 9,2 °C. Gällande relativ fuktighet sjunker den till en början med någon tiondels procent, från begynnelsevillkoret på 98 %, tills den sedan ökar och stabiliserar sig vid 100 %. Tillfälliga sjunkningen kan ha att göra med att relativa fuktigheten allra längst det i modellen har ett medelvärde på 96 % med en variation på +/- 3 %.

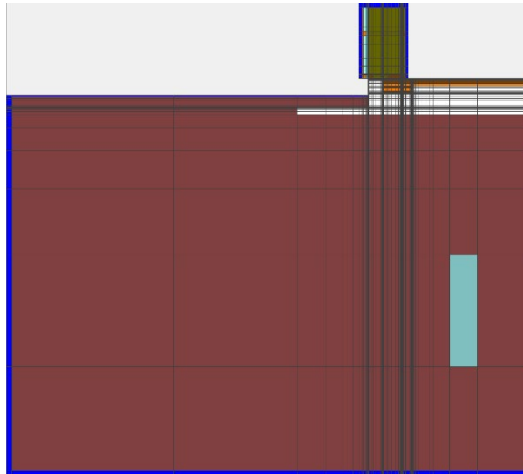


Figur 172 - Undersökt område (i turkos färg) i marken vid sidan om grundläggningen, cirka 3–4 meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).

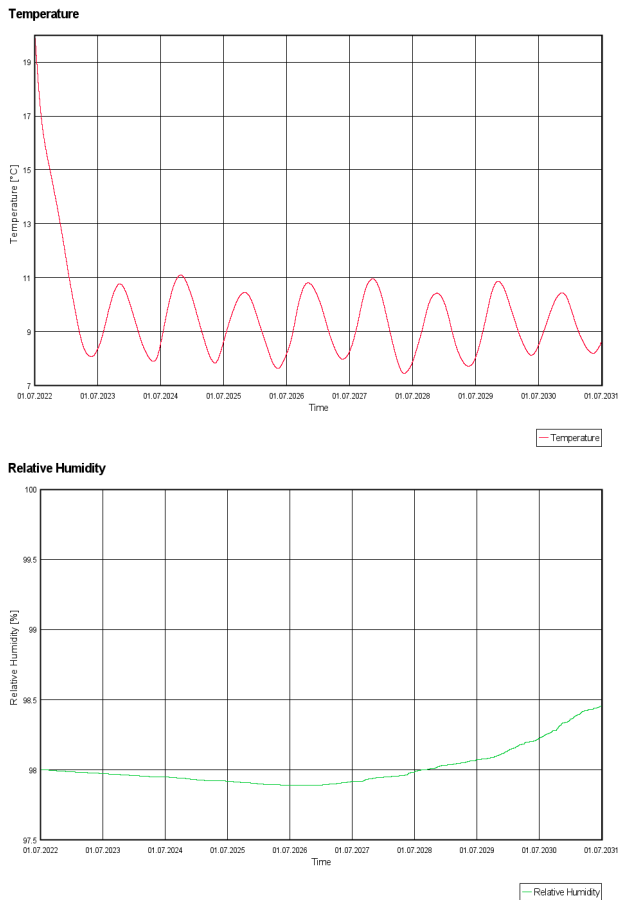


Figur 173 - Markförhållanden vid sidan om grundläggningen, cirka 3–4 meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).

Undersöks ett område på samma djup fast i stället ”mitt under” grundläggningen, se Figur 174, verkar de markförhållanden som redovisas i Figur 175. Även här stabiliserar sig temperaturen på cirka 9 °C, men med ännu mindre variation och större förskjutning. Den relativa fuktigheten håller sig förhållandevis låg vid jämförelse med föregående resultat, under sex år håller den sig under begynnelsevillkoret på 98 % tills den sedan ökar uppåt mot 98,5 % och förmodligen högre därefter.



Figur 174 - Undersökt område (i turkos färg) i marken "mitt under" grundläggningen, cirka 3–4 meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).



Figur 175 - Markförhållanden "mitt under" grundläggningen, cirka 3–4 meter under markytan (WUFI 2D 4, 2022).