

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

- En teoretisk analys av temperatur- och
fuktpåverkan

Michaela Johansson
Jacob Johnsson



LUNDS
UNIVERSITET

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

En teoretisk analys av temperatur- och fuktpåverkan

Michaela Johansson
Jacob Johnsson

Examensarbete

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

© Michaela Johansson och Jacob Johnsson

ISRN LUTVDG/TVBH—25/5144—SE(148)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Klimatförändringarna medför att svenska byggnader i allt högre grad utsätts för värmeböljor och höga inomhustemperaturer under sommaren. Det ökade behovet av kylning, särskilt i välisolerade och energieffektiva byggnader, har lett till att alternativa lösningar för kyla under varmare perioder börjat att efterfrågas. En relativt ny metod som väckt intresse i Sverige är golvkyla. Tekniken använder samma system som används för vattenburen golvvärme men där värmepumpen och slingorna i golvbjälklagen i stället används för att kyla byggnaden genom att cirkulera vatten med lägre temperatur än omgivningen i golvslingorna. Trots teknikens energieffektivitet och potential att integreras i redan befintliga system, är kunskapen om golvkylans effekter begränsad. Det finns särskilda risker kopplade till användningen av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner, där fuktpåverkan, mikrobiell tillväxt samt rörelser i materialet såsom sprick- och springbildning kan uppstå om temperatur- och fuktförhållanden inte är tillfredsställande.

Examensarbetets avser att undersöka möjligheter och risker vid användning av golvkyla i svenska byggnader med golv- och golvbjälklag av trä och andra organiska material. Målet var att identifiera framledningstemperaturer och andra systemparametrar som möjliggör en säker användning utan att orsaka fuktrelaterade skador. Studien syftar även till att bidra med ökad förståelse för hur klimatförhållanden och konstruktionsval påverkar risknivån för att skador ska uppstå, samt att identifiera kunskapsluckor som kräver vidare studier.

Arbetet utgår från beräkningar som kompletterats med litteraturstudie och platsbesök. Litteraturstudien innefattade bland annat undersökning kring golvkyla, termisk komfort och relevanta byggregler. Beräkningarna genomfördes därefter i programvaran WUFI Pro, där fukt- och värmetransport i konstruktioner modellerats. Tre typer av träbaserade golvkonstruktioner har studerats, platta på mark av betong med ovanpåliggande trägolv och två mellanbjälklag i trä. Vidare har geografiska skillnader i omgivande klimat beaktats genom att använda klimatdata från de tre svenska städerna Lund, Stockholm och Luleå. Parametrar som analyserats inkluderar relativ fuktighet, vatteninnehåll, ytemperatur, mögelindex samt risken för fuktbetingade rörelser. Därutöver har kontakt tagits med svenska tillverkare av värmepumpar och prefabricerade trähus för att förstå dagens tekniska lösningar och marknadens perspektiv.

Resultaten visar att en framledningstemperatur på cirka 19 °C generellt innebär en låg risk för kondensbildning och mögelpåväxt i träbaserade golv. Detta motsvarande ytemperaturen på ca 21 °C vilket också är förenlig med etablerade komfortkriterier enligt ISO 7730, där gränsen för obehag vid golvytor ofta anges till 19 °C. Beräkningarna visar att både mark- och mellanbjälklag vid denna temperaturnivå håller sig under BBR:s krav på högsta tillåtna relativa fuktighet, med reservation för den klimatdata som används i studien. Däremot föreligger osäkerhet kopplad till fuktbetingade rörelser i trämaterial, särskilt då dessa rörelser inte är linjära och varierar med fiberriktning, träslag och fuktkvot. Sprick- och springbildning identifieras som ett särskilt problem vid den

upprepade fuktbelastning och uttorkning som golvkyla skapar, särskilt i konstruktioner med massiva trägolv. Vidare visar resultaten att risken för mikrobiell påväxt är större i Stockholm och Lund jämfört med Luleå. Att sambandet mellan hög fukthalt i inomhusluften och låga ytemperaturer leder till risk för mögel blir tydligt där de lägre framledningstemperaturerna indikerar på en högre risk för mikrobiella skador i form av mögel.

Genom intervjuer med tillverkare av värmepumpar framgår att marknaden för golvkyla i Sverige är i ett tidigt skede. Få tillverkare erbjuder i dag anpassade lösningar för golvkyla i samband med träbaserade golv och information om fuktsäker dimensionering är bristfällig. Golvkyla är en teknik som främst marknadsförs som ett tillval till bergvärmepumpar. Även om det finns tekniska möjligheter att implementera tekniken i olika typer av byggnader krävs förbättrad vägledning och standardisering för att säkerställa korrekt användning.

Slutsatsen är att golvkyla kan vara en hållbar och energieffektiv lösning för kylbehov i svenska byggnader, även i kombination med träbaserade golvkonstruktioner, förutsatt att rätt temperaturer och konstruktiva åtgärder tillämpas. Det rekommenderas att framledningstemperaturen begränsas till lägst 19 °C samt att systemet kompletteras med styrning baserat på luftfuktighet. Studien betonar behovet av vidare forskning kring träs rörelser, en byggnads totala energisystem samt praktiska försök och mätningar. System med golvkyla bör inte införas slentrianmässigt, utan kräver helhetssyn där byggnadsfysik, komfort och klimatanpassning samverkar.

Titel:	Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner – en teoretisk analys av temperatur- och fuktpåverkan.
Författare:	Michaela Johansson och Jacob Johnsson.
Handledare:	Petter Wallentén. Lektor vid Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik.
Examinator:	S. Olof Mundt-Petersen. Adjungerad lektor vid Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik samt Chef Teknisk Utveckling Trä- och Möbelföretagen.
Bakgrund:	I takt med klimatförändringarna förväntas behovet av klimatanpassning för byggnader öka och under årets varmare månader kan ett ökat behov av kylning uppstå. Golvkyla är något som relativt nyligen har börjat marknadsföras av värmepumpstillverkare som en del av svenska byggnaders kylsystem. Teoretiskt kan det vara en bra lösning för att hantera en ökad värmebelastning i byggnader. Däremot finns behov för att undersöka dess långsiktiga funktion och eventuella risker.
Syfte:	Examensarbetets syftar till att undersöka möjligheter och risker förknippade med användningen av golvkyla i svenska byggnader. Arbetet ämnar bidra till ökad kunskap om hur golvkyla kan implementeras på ett säkert och effektivt sätt, med särskilt fokus på fuktrelaterade utmaningar i golvkonstruktioner med träbaserade ytskikt.
Metod(er):	Arbetet baseras huvudsakligen på litteraturstudie och numeriska värme- och fuktberäkningar i WUFI Pro.
Slutsatser:	Resultatet visar att en framledningstemperatur på cirka 19 °C, vilket resulterar i en ytemperatur på 21 °C, fungerar utan större risk för fukt- eller temperaturrelaterade skador. Det råder dock osäkerhet kring de fuktbetingade rörelserna, vilket leder till att en exakt godkänd framledningstemperatur inte går att fastställa. Utifrån litteraturstudien är golvtemperaturen godtycklig utifrån ett komfortperspektiv. Även geografiska skillnader med olika utomhusklimat skapar olika risk för skador på olika platser samt olika bjälklag och dess ingående material. Det behövs vidare forskning, framför allt på hur sprick- och springbildning i trä i kan påverkas av golvkyla.
Nyckelord:	Golvkyla, passiv kyla, klimatanpassade byggnader, fuktrelaterade skador, WUFI Pro

Abstract

Climate change has led to increasing indoor overheating risks in Swedish buildings, prompting demand for efficient cooling solutions. Floor cooling, i.e. using the same hydronic system as underfloor heating to circulate chilled water, is gaining attention as an energy-efficient and easily integrated method. However, its long-term effects, particularly in wooden floor structures, remain unclear. Moisture accumulation, microbial growth, and material deformation such as cracking and gapping are potential risks if hygrothermal conditions are not adequately controlled.

This thesis explores the feasibility and risks of implementing floor cooling in Swedish buildings with wood-based floors. The aim was to identify safe supply temperatures and system conditions that prevent damage while maintaining thermal comfort. Hygrothermal simulations were conducted in WUFI Pro for one ground floor and two intermediate floors, using climate data from Lund, Stockholm, and Luleå. Simulations were supported by a literature review and industry consultations.

Results show that a supply temperature of 19°C (surface temperature ~21°C) generally avoids critical moisture levels and meets ISO 7730 comfort criteria. However, wooden materials are sensitive to moisture-induced movements, and uncertainties remain regarding long-term dimensional stability. Mold growth was identified as a risk in warmer, more humid regions when surface temperatures dropped too low.

The Swedish market lacks standardized design guidelines for moisture-safe floor cooling in timber structures. Though technically viable, broader adoption requires careful design and regulation based on humidity control.

In conclusion, floor cooling can be a sustainable and comfortable solution if implemented with caution. A minimum supply temperature of 19°C and climate-responsive controls are recommended. Further research is needed on material behavior, system integration, and in-situ testing to ensure long-term durability and safety.

Förord

Detta examensarbete markerar avslutningen på vår femåriga utbildning vid *civilingenjörsprogrammet i Väg- och vattenbyggnad* på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts under vårterminen 2025 i samarbete med Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik samt Trä- och Möbelföretagen, och omfattar 30 högskolepoäng.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Petter Wallentén för hans engagemang och tekniska vägledning. Hans stöd har varit avgörande för arbetets framdrift och kvalitet, och hans breda kompetens inom byggnadsfysik har gett oss en djupare förståelse för ämnet.

Ett särskilt tack riktas även till vår examinator S. Olof Mundt-Petersen, som inte bara granskat arbetet i dess slutfas, utan också visat stort intresse och engagemang under projektets gång.

Vi vill även tacka de värmepumps- och hustillverkare som bidragit med sin tid och kunskap genom samtal och intervjuer. Deras erfarenheter har gett oss en bättre förståelse för praktiska tillämpningar och utmaningar i branschen.

Lund, maj 2025

Michaela Johansson & Jacob Johnsson

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	v
Förord	vii
Innehållsförteckning	ix
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och Mål	2
1.3 Problemformulering	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Övergripande metod.....	3
2 Teori.....	5
2.1 Golvvärmesystem.....	5
2.1.1 Värmepump.....	5
2.1.2 Systemets utformning.....	8
2.1.3 Kylning.....	8
2.1.4 Golvkyla enligt värmepumpstillverkare.....	8
2.2 Allmänt om fukt	10
2.2.1 Fukt inomhus och fukttillskott	10
2.2.2 Fukt i material	10
2.2.3 Adsorption	11
2.2.4 Kapillärkondensation	12
2.2.5 Fuktbetingade rörelser.....	12
2.2.6 Mögel	13
2.3 Riktvärden och byggregler.....	14
2.3.1 Temperatur	14
2.3.2 Fukttillstånd.....	14
2.4 Termiska komfortindex.....	15
2.5 WUFI.....	15
2.5.1 WUFI Mould Index VTT	16
3 Litteraturstudie	19
3.1 Kylproblematik.....	19
3.2 Golvkyla	21
3.2.1 Termisk komfort.....	21
3.2.2 Klimatanpassning	24
3.2.3 Material, design och konstruktion.....	24
3.2.4 Miljö och energieffektivisering.....	28
3.2.5 Av litteraturstudien identifierade behov för fortsatt forskning	29
4 Metod	31
4.1 Konstruktioner.....	31
4.1.1 Initial riskbedömning	33
4.2 Materialval	33
4.2.1 Grundläggande materialegenskaper	34
4.2.2 Hygrotermiska funktioner	34
4.3 Geografiska förutsättningar.....	34
4.4 Gitteruppbyggnad.....	34

4.5	Kyleffekt.....	35
4.5.1	Kyleffektsfall.....	36
4.6	Studerade positioner - Monitorpositioner	37
4.7	Beräkningsperiod	39
4.8	Indata platta på mark.....	39
4.8.1	Material	39
4.8.2	Utvändigt klimat.....	40
4.8.3	Invändigt klimat	41
4.9	Indata mellanbjälklag	41
4.9.1	Material	41
4.9.2	Utvändigt och invändigt klimat.....	44
4.10	Metod för utvärdering	44
4.10.1	WUFI Graph.....	44
4.10.2	Gränsvärden för temperatur och relativ fuktighet	44
4.10.3	Ytemperatur.....	45
4.10.4	Framledningstemperatur.....	45
4.10.5	Vatteninnehåll	45
4.10.6	Riskbedömning mögel.....	45
4.10.7	Riskbedömning fuktbetingade rörelser	46
4.11	Känslighetsanalys.....	48
4.11.1	Grafisk presentation av känslighetsanalys	49
4.11.2	Nyckelparametrar	49
4.11.3	Fuktbetingade rörelser.....	50
5	Resultat och Analys.....	51
5.1	Gränsvärden för relativ fuktighet.....	51
5.2	Yt- och framledningstemperatur	51
5.3	Vatteninnehåll	54
5.4	Riskbedömning mögel.....	55
5.4.1	Lund	56
5.4.2	Stockholm.....	57
5.4.3	Luleå.....	58
5.5	Riskbedömning fuktbetingade rörelser	58
5.5.1	Sprickbildning	58
5.5.2	Springbildning.....	61
5.6	Känslighetsanalys.....	63
5.6.1	Framledningstemperatur.....	63
5.6.2	Ytemperatur.....	65
5.6.3	Vatteninnehåll	66
5.6.4	Mögelindex.....	67
5.6.5	Sprickbildning	70
5.6.6	Springbildning.....	71
6	Diskussion	73
6.1	Vatteninnehåll	73
6.2	Temperatur	74
6.3	Mögel	74
6.4	Sprickbildning	76
6.5	Springbildning.....	77

6.6	Känslighetsanalys och osäkerhet.....	78
6.7	Alternativa lösningar för kylning.....	80
6.8	Framtida studier.....	81
7	Slutsatser	83
8	Referenser.....	85
9	Bilagor.....	89
	Bilaga 1 - Kyleffektsfall.....	89
	Bilaga 2 - Yt- och framledningstemperaturer	102
	Bilaga 3 - Riskbedömning mögel.....	106
	Bilaga 4 - Sprickbildning	111
	Bilaga 5 - Springbildning.....	129
	Bilaga 6 - Känslighetsanalys	131

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med klimatförändringarna ökar risken för övertemperaturer inomhus, vilket i sin tur ökar behovet av klimatanpassning av hus och byggnader. Klimatförändringarna orsakar en ökad medeltemperatur samt ökad risk för värmeböljor under sommarmånaderna, något som i sin tur har en långsiktig påverkan på våra byggnader. Det är därmed viktigt att ta hänsyn till en byggnads temperaturkänslighet (Boverket, 2024b). Under årets varmare månader kan ett behov av kylning uppstå, särskilt i välisolerade hus där risken för övertemperaturer kan vara högre. Då fler bygger energieffektivt ökar behovet av kyla under sommaren vilket resulterar i en ökad efterfrågan på lösningar för att sänka inomhustemperaturen (Abel and Elmroth, 2021). För att kyla byggnaden kan passiva lösningar användas, exempelvis solavskärmning. I de fall då passiv kyla inte räcker till kan kylsystem med olika typer av aktiv kyla bli nödvändiga (Boverket, 2024b).

Golvkyla är något som relativt nyligen har börjat marknadsföras av värmepumpstillverkare som en del av svenska byggnaders installationssystem. Metoden bygger på samma princip som vattenburen golvvärme, men med skillnaden att vätskan som cirkulerar i golvslingorna i stället kyls ned till en temperatur som är lägre än rumsluften. När temperaturen i luft med ett specifikt fuktinnehåll sänks kommer den relativa luftfuktigheten öka. Vid användning av golvkyla riskerar därav fukttillståndet i den omgivande inomhusluften att öka. Eftersom golvet, med stor sannolikhet, kommer ha en lägre temperatur än omgivande luft, finns även risk för ett ökat fukttillstånd i själva golvkonstruktionen. Om så är fallet ökar även risken att inomhusluften kan fälla ut kondens på den kallare ytan, dvs golvet, om temperaturen sänks tillräckligt mycket. Det kan i sin tur leda till bland annat mikrobiell påväxt samt rörelsebetingade skador såsom spring- och sprickbildning (Arfvidsson et al., 2017).

Golvkyla kan således vara en bra lösning för att hantera ökad värmebelastning i byggnader, särskilt då golvvärmesystem redan installeras i stor utsträckning. Samtidigt finns ett behov av att undersöka dess långsiktiga funktion och eventuella risker. För att säkerställa en hållbar och säker användning av golvkyla krävs en noggrann analys av fukttillstånd och temperaturförhållanden i byggnadens konstruktion. Examensarbetet syftar till att undersöka riskerna med golvkyla genom att bland annat identifiera kritiska gränsvärden för temperatur och luftfuktighet där risk för kondensbildning och skador kan uppstå. Genom följande analys är målet att bidra med kunskap om hur golvkyla kan implementeras på ett säkert och effektivt sätt i framtidens byggnader.

1.2 Syfte och Mål

Syftet med arbetet är att undersöka möjligheter och risker förknippade med användningen av golvkyla i svenska byggnader. Arbetet ämnar bidra till ökad kunskap om hur golvkyla kan implementeras på ett säkert och effektivt sätt, med fokus på fuktrelaterade utmaningar i golvkonstruktioner med träbaserade ytskikt, utan risk för skador.

Målet med arbetet är att identifiera kritiska gränsvärden för temperatur och relativ luftfuktighet i golvkonstruktioner vid användning av golvkyla, med hänsyn till aktuella byggregler i Sverige. Genom att genomföra beräkningar i WUFI Pro för olika golvkonstruktioner och under varierande klimatförhållanden är avsikten att utvärdera risken för kondensbildning samt mikrobiellpåväxt. Vidare avser studien att undersöka lämpliga framledningstemperaturer för systemet under sommaren och möjliga anpassningsåtgärder för att möjliggöra implementering av golvkyla på ett säkert sätt.

1.3 Problemformulering

För att uppnå målsättning och syfte med undersökningen samt konkretisera den övergripande frågan kring vilka risker som finns med golvkyla har följande problemformuleringar använts:

- Hur fungerar golvkyla med avseende på olika golvkonstruktioner och golvtyper där träbaserat material används?
- Hur påverkar geografiska förutsättningar samt olika omgivande utomhusklimat för hur väl golvkyla fungerar och hur skiljer det sig i olika delar av Sverige?
- Vilka konsekvenser uppstår om golvkyla resulterar i för högt fuktillstånd samt för hög relativ fuktighet respektive för låg temperatur i golvkonstruktionen?
- Vilken framledningstemperatur kan systemet ha utan att leda till skador som mikrobiell påväxt, sprick- och springbildning och samtidigt uppfylla gällande krav på komfort?

1.4 Avgränsningar

Studien inkluderar inte elektrisk golvvärme, då värmepumpsystem inte inkluderas i sådana installationer. Vidare fokuserar undersökningen på ett begränsat antal golvkonstruktioner för att möjliggöra en mer detaljerad analys. De golvkonstruktioner som analyseras har ett träbaserat material som ytskikt och andra ytskikt utesluts. Vid beräkningarna har lim och ytskiktets relativa täthet uteslutits ur beräkningarna för lamellgolv och i de fall furu använts har detta antagits vara obehandlat. Dessutom utgår studien från ett standardiserat inomhusklimat enligt ISO-standardEN 15026, vilket hålls konstant när andra parametrar ändras. Även ekonomiska aspekter utesluts ur analysen.

Vidare finns begränsningar i arbetet som påverkar undersökningens omfattning. På grund av tidsramen för examensarbetet är det inte möjligt att utföra omfattande beräkningar över längre tid eller genomföra praktiska tester på faktiska

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

golvkonstruktioner. Därav utgår beräkningarna från en endimensionell modell. En ytterligare begränsning i studien är att en analys av upplevelsen av användaren inte inkluderas då golvkyla är en relativt ny teknik som få har installerat samt att det är svårt att kartlägga brukarnas upplevelser. Däremot jämfört komforten mot resultat från litteraturstudien.

1.5 Övergripande metod

Inledningsvis genomförs en litteraturstudie för att öka den teoretiska förståelsen för ämnet och identifiera aktuell forskning och kunskap inom området. En central del av arbetet innefattar efterföljande modellering av golvbjälklag i beräkningsverktyget WUFI Pro 7 för att möjliggöra analys av fukt- och värmetransport i konstruktionerna. Vidare genomförs platsbesök samt samtal med trähusföretag och värmepumpstillverkare som levererar golvkyla för att skapa förståelse för tekniken samt implementeringen av golvkyla i svenska byggnader.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

2 Teori

2.1 Golvvärmesystem

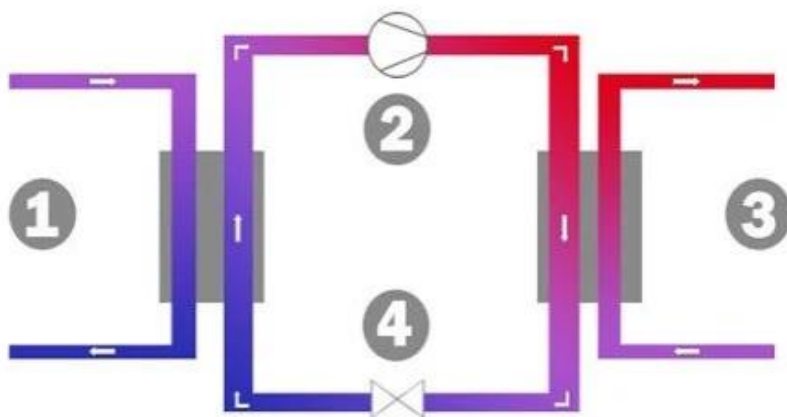
Golvvärme är en form av samlingsnamn som avser installationer i olika typer av golvkonstruktioner som kan värma ett golv. Systemet delas ofta upp i två huvudgrupper, vattenburen golvvärme samt eldriven golvvärme. Som tidigare nämnts inkluderar inte denna studie elektrisk golvvärme. Vattenburen golvvärme är beroende av en värmekälla som producerar värme och värmer upp en vätska, i regel vatten, som sedan distribueras genom golvvärmeslingorna. En allt mer förekommande värmekälla som används till detta är en värmepump (Vattenfall, u.å.).

2.1.1 Värmepump

En värmepump är en vanligt förekommande värmekälla i dagens villor. Grundprincipen i en värmepump är att flytta värme från en kallare plats till en redan varmare plats, genom att tillföra energi. Detta uppnås genom att låta ett köldmedium cirkulera i värmepumpen som komprimeras samtidigt som det förflyttas. Genom att ändra trycket i mediet kan kokpunkten och temperaturen ändras vilket leder till att energi, i form av värme, kan utvinnas från den kallare platsen. På så sätt kan mer energi än vad som krävs för att driva processen utvinnas. Slentrianmässig kan det sägas att värmepumpen utvinner energi ”gratis” från naturen (Polarpumpen, u.å.-d). Värmepumpen kopplas i sin tur i regel till ett distributionssystem som fördelar värmen vidare i byggnaden, exempelvis genom ett vattenburet uppvärmningssystem i form av golvvärme eller radiatorer.

Utöver vattenburna distributionssystem finns även vad som kallas luftburen uppvärmning. I det luftburna systemet används i stället luft för att distribuera värmen. Fördelen med det vattenburna systemet är att det går att kombinera med flera olika värmekällor samt att det uppvärmda vattnet har en högre värmekapacitet och håller värmen bättre jämfört med luft. Vidare har planlösningen i byggnaden mindre inverkan på hur värmen kan distribueras till olika rum med golvvärme jämfört med luftburen värme (Polarpumpen, u.å.-e). Används golvvärme som distributionssystem uppnås i regel en jämnare temperatur i byggnaden, då en större yta värms upp, samtidigt som framledningstemperaturen kan hållas nere. Nackdelen med ett golvvärmesystem jämfört med ett luftvärmesystem är att temperaturen reageras långsammare.

Nedan följer en schematisk teknisk beskrivning på hur en värmepump fungerar samt en tillhörande bild (Polarpumpen, u.å.-d) för att illustrera processen.



Figur 2.1: Schematisk bild över värmepumpens delar (Polarpumpen, u.å.-d).

1. I värmepumpens förångare värms köldmediet upp av värmen från energikällan, till exempel vätska från bergvärme. Om köldmediet har en låg kokpunkt sker en övergång till gasform.
2. I kompressorn sker en tryckökning vilket ytterligare bidrar till en temperaturökning. Kompressorn fungerar även som en pump som ser till att mediet cirkulerar i systemet.
3. När mediet flyttas vidare till kondensorn avger det värme till vätskan som cirkulerar i det vattenburna uppvärmningssystemet vilket leder till att en återgång till flytande form sker. Det är härifrån som värmen sedan distribueras vidare ut i byggnaden.
4. I processens sista steg passerar mediet en expansionsventil som minskar trycket samt temperaturen ytterligare. Därefter flyttas köldmediet vidare till förångaren och processen kan börja om på nytt.

En värmepump kan använda flera olika energikällor för att driva en ovan beskriven process.

2.1.1.1 Luft/vatten

Enkelt beskrivet består en luft/vattenvärmepump av en utomhusdel och en inomhusdel. Utomhusdelen hämtar energi, i form av värme, från omgivande utomhusluft med hjälp av en fläkt och för denna vidare in i inomhusdelen. Inomhusdelen fungerar enligt den tekniska beskrivningen ovan där det vattenburna systemet sedan distribuerar den producerade värmen i byggnaden och till dess tappvarmvatten (Polarpumpen, u.å.-b).

Jämfört med bergvärme är en luft/vattenvärmepump en billigare investering då denna inte kräver några ingrepp på tomten för att borra rör ner till berggrunden för att hämta värme (NIBE, u.å.-c).

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

2.1.1.2 Luft/luft

Den stora skillnaden med en luft/luftvärmepump jämfört med luft/vatten är att luft sprider värmen med hjälp av fläktar medan övriga typer av värmepumpar använder ett vattenburet system där vatten som avger värme cirkulerar. En luft/luftvärmepump kan alltså inte användas för att producera varmvatten som sedan kan cirkulera i radiatorer eller golvvärmeslingor. I stället används ofta detta system som ett komplement till en annan uppvärmningskälla samt för att leverera kyla under de varmare månaderna, under förutsättning att det går att ändra riktning på värmepumpen. Pumpen fungerar genom att låta en utomhusdel, med tillhörande fläkt, hämta energi från utomhusluften vilket sedan tillförs byggnaden genom fläkten i inomhusdelen (Polarpumpen, u.å.-c).

2.1.1.3 Frånluftsvärmepump

En frånluftsvärmepump utvinner energi ur en byggnads frånluftsventilation genom frånluftsaggregatet som finns i värmepumpen, den återvinner alltså värmen ur luften som är på väg ut från byggnaden. Den återvunna värmen kan sedan användas för att värma upp det vattenburna systemet och tappvattnet. Till skillnad från en luft/vattenvärmepump där energi i utomhusluften hämtas för att värma upp köldmediet så används alltså varm frånluft inifrån byggnaden i frånluftsvärmepumpen. Fördelen är att det krävs mindre energi för uppvärmning då inomhusluften i regel är varmare än utomhusluften vilket gör att värmepumpen behöver arbeta mindre för att nå önskad temperatur på mediet (Polarpumpen, u.å.-f).

En förutsättning för detta system är att pumpen är kopplad till ett ventilationssystem med mekanisk frånluft samt att byggnaden har vattenburen värme. Detta gör att användningsområdet för detta system ibland blir begränsat till nybyggnation eller vid renovering av hus med existerande mekanisk frånluft (Polarpumpen, u.å.-f).

2.1.1.4 Bergvärmepump

En bergvärmepump utnyttjar värme som finns lagrad i berggrunden och grundvattnet genom att ett hål borraras där en kollektorslang sedan förs ner. Djupet på hålet som borraras beror på energibehovet som behöver utvinnas men varierar vanligtvis mellan 70–200 meter. Kollektorslangen innehåller så kallad brinevätska som värms upp av marken och sedan förs tillbaka till värmepumpen där köldmediet värms upp och processen som nämns ovan kan påbörjas. Precis som i en luft/vattenvärmepump använder en bergvärmepump ett vattenburet system för att distribuera den producerade värmen samt att den kan förse byggnaden med varmvatten (Polarpumpen, u.å.-g).

En tydlig fördel med en bergvärmepump är att det är en pålitlig uppvärmningsmetod då berggrunden håller en relativt konstant temperatur året om. Detta gör att metoden inte är beroende av exempelvis sol, vind och utomhustemperatur vilket i sin tur leder till att det krävs väldigt lite energi i relation till energin som kan utvinnas för att driva processen (Polarpumpen, u.å.-g).

2.1.2 Systemets utformning

Som ovan nämnts kan värmen som produceras i värmepumpen distribueras vidare in i byggnaden genom golvvärme. Vid vattenburen golvvärme gjuts ofta slingor, gjorda av plast, in i betongplattan. Genom slingorna får sedan vatten som värmts upp av den producerade värmen från värmepumpen cirkulera vilket värmer upp betongplattan och vidare hela byggnaden. Då systemet verkar över en stor area kan framledningstemperaturen vara betydligt lägre jämfört vad den är i exempelvis radiatorer, vilket i regel är positivt ur ett energiperspektiv. Samtidigt bidrar det till att en jämn temperatur kan uppnås i hela byggnaden. Däremot kräver systemet att byggnadens klimatskal är välisolerat, i synnerhet grundplattan, för att minimera risken att värme läcker ut till den omgivande marken (Abel and Elmroth, 2021).

Utöver ingjutning av golvvärmeslingor i betongplattan förekommer även olika typer av spårade skivor som golvvärmeslingorna kan placeras i. Vilken metod som används beror bland annat på vilken konstruktionsdel som golvvärmen installeras i samt om det är nyproduktion eller inte. Diametern på slingorna varierar beroende på vilken lösning som används men standard är 12, 16 eller 20 mm (Golvvärmebutiken, u.å.).

2.1.3 Kylning

Genom att ”vända” på systemet kan distributionssystemet för golvvärme utnyttjas för att kyla en byggnad. Detta fungerar på samma sätt med skillnaden att vattnet som cirkulerar i slingorna har en lägre temperatur än omgivningen. Målet med golvkyla är att utnyttja det som kallas strålningskyla, det vill säga låta golvytan ha en lägre temperatur än inomhusluften och omgivande ytor i rummet. Eftersom nettostrålningen mot det kallare golvet kyler alla andra ytor i rummet och luften som är närmast golvet så sänks temperaturen i inomhusluften. Eftersom golvets area täcker en stor yta krävs ingen större temperaturskillnad mellan ytemperaturen i golvet och temperaturen i inomhusluften (Zhang et al., 2021).

2.1.4 Golvkyla enligt värmepumpstillverkare

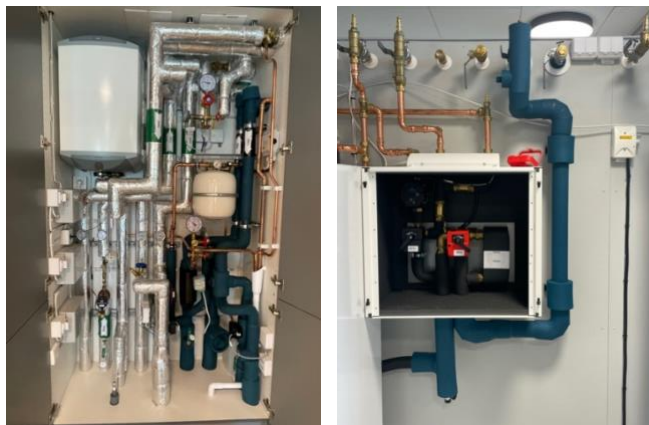
2.1.4.1 NIBE

Enligt NIBE kan golvkyla uppnås med deras bergvärmepumpar i S-serien där passiv kyla från borrhålet utvinns. Med passiv kyla avses den kyla som redan finns lagrad i berggrunden, det vill säga ingen energi krävs för att producera kyla. Om effekten avtar då marken värms upp under sommaren kan även kompressorn i värmepumpen producera aktiv kyla. Aktiv kyla är, till skillnad från passiv kyla, något som måste produceras i värmepumpen vilket kräver energi. För att genomföra detta krävs tillbehör som kopplas till värmepumpen för att leverera kyla i stället för värme. Beroende på vilken typ i S-serien som används finns olika tillbehör att välja (NIBE, u.å.-b).

I NIBEs produktbeskrivningar för S-serien förekommer kylmodulerna PCM S40 samt PCM S42. Dessa är så kallade kompletta tillbehör, vilka bland annat innehåller en cirkulationspump och mellanväxlare. Med dessa tillbehör tillåts brukaren styra systemet genom displayen på värmepumpen där det även är möjligt att övervaka processen samt

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

göra enklare inställningar. Båda tilläggen finns i två varianter för att tillgodose värmepumpar med olika effektstorlek (NIBE, u.å.-a). Till samtliga pumpar i serien förekommer även tillbehöret PCS 44 vilket är ett "shuntgruppspaket" med liknande egenskaper som PCM S40 och PCM S42. Den stora skillnaden med PCS 44 är att det inte kopplas på samma system som eventuell golvvärme utan nya slingor dras till det området i byggnaden där golvkyla vill uppnås (NIBE, u.å.-a).



Figur 2.2: Exempel på hur kylmoduler kan installeras, bilder tagna hos NIBE. Modul till höger PCM S40 och modul till vänster PCS 44. Bild tagen av Michaela Johansson

2.1.4.2 Thermia

Värmepumpstillverkaren Thermia kan likt NIBE leverera passiv kyla. Den stora skillnaden är att Thermia enbart gör detta genom fläktkonvektorer och inte med en modifiering av golvvärmesystemet. Precis som i NIBEs värmepumpar krävs en kylmodul för att pumpen ska kunna producera kyla. Enligt Thermias webbplats har vissa värmepumpar redan denna inbyggd medan det går att lägga till som tillbehör i andra (Thermia, u.å.-b). Då kylmodulen adderas som tillbehör finns två varianter, passiv och passiv/aktiv, där passiv/aktiv låter kompressorn i värmepumpen producera kyla medan den passiva modulen använder lagrad kyla från exempelvis borrhålet. Då Thermia inte modifierar systemet för golvvärme behövs värmepumpen även kompletteras med fläktkonvektorer, vilket fungerar som ett element som blåser ut kall luft vid behov (Thermia, u.å.-a).

2.1.4.3 LK Systems

Enligt LK Systems är golvkyla en möjlighet om slingorna till golvvärmesystemet är ingjutna i betong eller flytspackel, alternativt förlagda i LKs spårade skivor. Till skillnad från NIBE och Thermia levererar LK Systems inte värmepumpar utan rörsystem som kopplas till värmepumpen. Vidare presenterar LK Systems enbart generella rekommendationer kring hur golvkyla bör användas samt vilka varor ur deras sortiment som är lämpliga för detta (LK Systems, u.å.).

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

2.1.4.4 Uponor

Likt LK Systems presenterar Uponor ingen djupgående information om golvkyla utan mer vilka produkter ur deras sortiment som kan tänkas fungera i ett golvvärmesystem med kyla. Den produkt som beskrivs är systemet “Uponor Klett” vilket utgörs av syrediffusionstätta slingor som fästs på en isoleringsskiva med kardborretejp (Uponor, u.å.).

2.2 Allmänt om fukt

Fukt i form av vattenånga finns alltid i luften. I byggnadsfysikaliska sammanhang anges ofta mängden vattenånga som finns tillgänglig som ånghalt, v [kg/m^3]. Luften kan endast bära en viss mängd fukt, vattenånga, vilket benämns mättnadsånghalt, v_s [kg/m^3]. Mättnadsånghalten är temperaturberoende och ju högre temperaturen är i luften desto mer fukt kan den bära (Sandin, 2010).

Relativ fuktighet (RF) är ett mått på hur mycket vattenånga som finns i luften i relation till mättnadsånghalten, vilket anges i procent. Ånghalten i luften kan inte vara större än mättnadsånghalten för en given temperatur vilket innebär att den relativa fuktigheten inte kan överstiga 100 %. Skulle ånghalten öka eller luften kylas så att mättnadsånghalten sjunker bildas överskottsfukt, förutsatt att den relativa fuktigheten är tillräckligt nära 100 %. Överskottsfukt kommer i sin tur kondensera på en yta eller falla ut som vatten vilket innebär att vattenångan övergår till vätskefas i form av vattendroppar (Sandin, 2010).

2.2.1 Fukt inomhus och fukttillskott

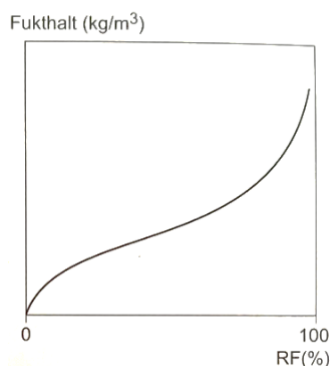
Den relativa fuktigheten inomhus beror på det utvändiga klimatet, ventilation samt värme- och fuktlaster inne i byggnaden. Som tidigare nämnts varierar ånghalten utomhus med temperaturen. Genom byggnadens ventilation tas denna uteluft, med specifik ånghalt, in i byggnaden där sedan fukttillskott adderas (Arfvidsson et al., 2017). Fukttillskottet anger hur mycket högre ånghalten är i inomhusluften jämfört med luften utomhus. För bostäder ligger siffran normalt mellan 2–4 g/m^3 (Sandin, 2010).

2.2.2 Fukt i material

I alla byggnadsmaterial finns det fukt, vilken antingen kan vara kemiskt eller fysikaliskt bunden. Kemiskt bundet vatten beaktas normalt inte då detta är kraftigt fixerat i materialet. Detta innebär att när det pratas om fukt i material är det fysikaliskt bundet vatten man syftar på. Det fysikaliskt bundna vattnet kan delas upp i adsorberat och kapillärt (kondenserat) vatten. Vid en låg relativ fuktighet finns nästan bara adsorberade vattenmolekyler på materialets porytor. Vid höga relativa fuktigheter samt om materialet utsatts för flytande vatten bildas kondenserat flytande vatten i porerna i materialet. Vattnet som finns bundet i ett material kan dessutom delas in i förångningsbart och icke-förångningsbart vatten. Det förångningsbara vattnet, som utgörs av det fysikaliskt bundna vattnet, är det vatten som förångas då materialet hettas upp till en temperatur på 105 °C. Som tidigare nämnts är det kemiskt bundna vattnet kraftigt fixerat i materialet vilket gör att det inte förångas då materialet hettas upp, således utgör detta det icke-förångningsbara vattnet (Arfvidsson et al., 2017).

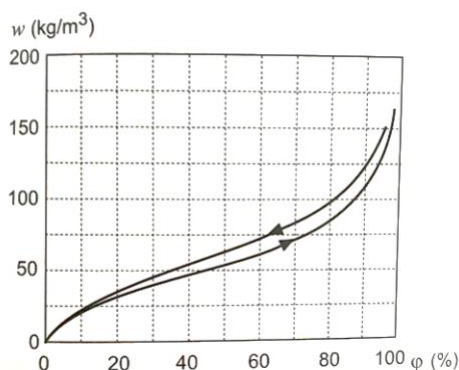
2.2.3 Adsorption

Vid adsorption binder vattenmolekyler till ytan inne i porer i ett material. Dessa bildar ett skikt då tillräckligt många molekyler har bundits. Ju högre relativ fuktighet som råder i omgivningen, desto fler skikt av vattenmolekyler bildas. Mängden fukt som kan bindas beror dock inte bara av den relativa fuktigheten i omgivningen, utan också av materialets specifika yta. Ett finporöst material har en större specifik yta än ett material med mindre utvecklad porstruktur, således kan det finporösa materialet binda större mängder vatten i porsystemet (Arfvidsson et al., 2017). Hur mycket fukt ett material kan ta upp beror på hur hygroskopiskt det är. Att ett material är hygroskopiskt innebär att det både kan ta upp fukt från omgivningen under fuktiga förhållanden samt avge fukt då omgivande relativ fuktighet är lägre än i materialet. Denna process pågår fram till att materialet och omgivningen befinner sig i jämvikt, vilket innebär att den relativa fuktigheten i omgivande luft kommer att motsvara fuktmängden i materialet (Sandin, 2010). I detta tillstånd har materialet uppnått det som benämns jämviktsfuktkvot (Svenskt Trä, u.å.). Detta jämviktstillstånd illustreras ofta av en jämviktsfuktkurva, se Figur 2.3 nedan.



Figur 2.3: Principiell jämviktskurva, hämtad från *Praktisk Byggnadsfysik* (Sandin, 2010).

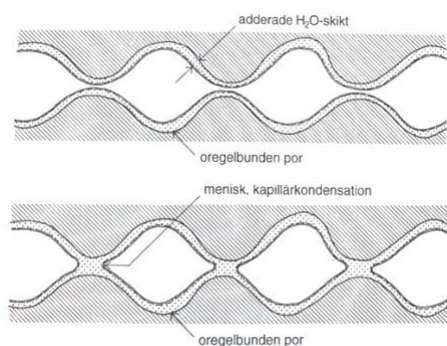
Utseendet på kurvan, så kallad sorptionsisoterm eller sorptionskurva, varierar mellan olika material men har i regel ganska likartad form även om det specifika vatteninnehållet vid olika relativ fuktighet kan variera kraftigt. För hygroskopiska material som trä leder en ökad relativ fuktighet i omslutande luft till en ökad fukthalt medan exempelvis mineralull knappt påverkas av en förändring i den relativa fuktigheten vid normala klimatförhållanden. Ett materials jämviktsfuktkurva delas ofta in i en del för uppfuktning (absorption) och en del för uttorkning (desorption). Dessa skiljs åt då kurvan för ett vattenmättat material som torkar ligger något högre än kurvan för uppfuktning på grund av en effekt som kallas hysteres. Om kurvorna för absorption och desorption kombineras till en kurva erhålls det som kallas sorptionskurva vilket beskriver sambandet mellan uppfuktning och uttorkning vid olika nivåer för relativ fuktighet (Sandin, 2010). Se Figur 2.4 nedan för illustration av sorptionskurvan för furu.



Figur 2.4: Sorptionskurva för furu, hämtad från Fukthandbok (Arfvidsson et al., 2017).

2.2.4 Kapillärkondensation

Ett fenomen som är ett resultat av adsorption och ett specifikt materials porsystem är kapillärkondensation. Bakgrunden till kapillärkondensation grundas i att det bildas en konkav menisk när vatten stiger i en kapillär. Den konkava menisken attraherar vattenmolekyler starkare jämfört med exempelvis en plan vattenyta. Detta innebär att menisken kan fånga in vattenmolekyler som dessutom kan kondensera vid relativa fuktigheter lägre än 100% (Arfvidsson et al., 2017). Figur 2.5 nedan visar hur kapillärkondensation i ett porsystem går till.



Figur 2.5: Kapillärkondensation i porsystem, hämtad från Fukthandbok (Arfvidsson et al., 2017).

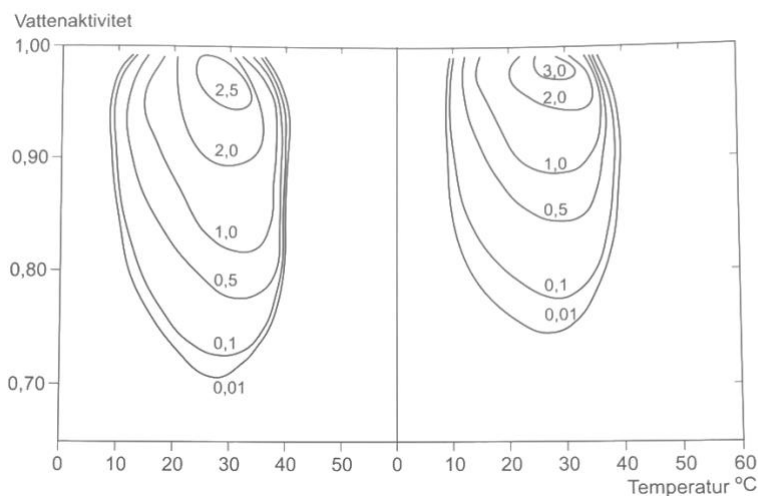
2.2.5 Fuktetingade rörelser

Fuktbetingade rörelser i ett material kan ske i två former, svällning (längd- och volymökning) samt krympning (längd- och volymminskning). Då fukthalten ökar, det vill säga materialet fuktas upp, så sväller det medan en minskning av fukthalten torkar materialet vilket leder till en krympning. Detta fenomen är viktigt att beakta då trä används i en konstruktion då det kan ge upphov till sprick- och springbildning. Eftersom trä är ett anisotropt material är egenskaperna olika i olika riktningar, vilket innebär att rörelserna i materialet beror på vilken riktning som studeras. Ett vanligt förekommande

förhållande, sett till både uttorkning och krympning, mellan fiberriktning, radiell riktning och tangentiell riktning är 10:2:1. Detta innebär alltså att fukttransporten i trä lättast sker i fiberriktningen medan det i radiell och tangentiell riktning är trögare (Arfvidsson et al., 2017).

2.2.6 Mögel

Mögel på en materialyta kan kort beskrivas som ett resultat av samspelet mellan fukt, temperatur samt materialets och mögelsvamparnas egenskaper. För att mögel ska kunna börja växa krävs det att den relativa fuktigheten vid materialets yta uppnår en viss nivå eftersom det är i regel är på ytan tillväxten sker. Temperaturen har också en inverkan i den mån att vid lägre temperaturer krävs ett högre fuktillstånd för att mikrobiell tillväxt ska kunna ske samt att det vid minusgrader oftast inte kan ske någon tillväxt alls. Tiden är även en viktig aspekt att beakta då det krävs gynnsamma förhållanden under tillräckligt lång tid för att mögel ska kunna börja växa. Innan mögel börja växa krävs en initieringsprocess där sporer tar upp vatten och börjar svälla vilket i längden leder till tillväxt. Skulle de gynnsamma förhållandena avbrytas i detta stadie kan tillväxten stoppas vilket innebär att kortvarig exponering i gynnsamma förhållanden för mikrobiell tillväxt inte behöver ge upphov till någon skada. Den tid som krävs innan tillväxt kan påbörjas beror främst på svampart, tillgång på näring samt omgivande fukt- och temperaturtillstånd. En generell regel gällande mögel är att ju fuktigare och varmare miljön är, desto snabbare är tillväxten förutsatt att det finns tillräckligt med näring i materialet (Johansson et al., 2022). Figur 2.6 nedan ger en schematisk överblick av detta.



Figur 2.6: Effekt av temperatur och vattenaktivitet på tillväxt på två mikrosvampar. Siffrorna på isopleterna är tillväxttakten i mm/dygn (Arfvidsson et al., 2017).

2.3 Riktvärden och byggregler

Vid genomförandet av examensarbetet har gällande svenska byggregler och riktvärden beaktats. Gränsvärden är hämtade från Boverket eller källor hänvisade till i Boverkets byggregler (BBR). Från och med första juli 2025 kommer nya byggregler att träda i kraft (Boverket, 2025) i de fall som byggregler aktuella för arbetet påverkas av de nya bestämmelserna har föreskrivet i de nya reglerna antagits gälla.

2.3.1 Temperatur

Temperaturen är kopplad till den termiska komforten och kraven på termiskt klimat gäller i hela byggnaden. Den termiska komforten ska uppfyllas i rum samt delar av rum där människor vistas mer än tillfälligt. Enligt avsnitt 6:42 i Boverkets byggregler får golvet ytemperatur i vistelsezonen inte understiga 16 °C och inte överstiga 26 °C. Vidare anges begränsningen för lägsta ytemperatur till 18 °C för hygienrum samt 20 °C i lokaler avsedda för barn. Utformning ska säkerställa att värdena gäller vid byggnadens dimensionerande vinterutomhustemperatur, DVUT. För kylanläggningar ställs krav på att de ska utformas så att besvärande strålningsasymmetri, drag eller kallras undviks (Boverket, 2014). Riktvärden för den högst tillåtna inomhustemperaturen enligt Folkhälsomyndigheten (2024) är 26 °C under sommartid. Under höst, vinter och vår är den högsta tillåtna operativa temperaturen 24 °C.

2.3.2 Fukttillstånd

Utifrån BBR 21, 6:51 (Boverket, 2014) framgår att byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa. Det ställs även krav på fukttillståndet i en byggnad. Med fukttillstånd menas nivån av fukt i ett material, vilket bland annat kan mätas som fukthalt, fuktkvot eller relativ fuktighet. Det kritiska fukttillståndet avser den nivån vid vilken ett materials egenskaper och funktion inte längre uppfylls. För mikrobiell påverkan är kritiskt fukttillstånd då tillväxt av mögel sker. Faktorer med betydelse för den biologiska tillväxten, till exempel temperatur och varaktighet samt deras samverkan kan ingå i bestämningen av det kritiska fukttillståndet.

Det högsta tillåtna fukttillståndet är enligt BBR 21, 6:52 (Boverket, 2014) den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa. Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas och hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar eller mätmetoder. För material och produkter där mögel och bakterier kan växa ska man använda kritiska fukttillstånd som är väl undersökta och dokumenterade. Vid bestämning av kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet eller produkten.

Av kapitel 7, Fuktsäkerhet, i Boverkets föreskrifter (Boverket, 2024a) framgår att i de fall då det saknas ett väl undersökt och dokumenterat värde för högsta tillåtna fukttillstånd för ett material eller en produkt ska en relativ fuktighet på 75 % användas som gränsvärde. Detta är i princip ett omöjligt krav för en yttervägg som kommer ha högre relativ fuktighet vintertid. Det innebär att en noggrann analys i de flesta fall måste göras där även aktuell temperatur inkluderas vid en relativ fuktighet över 75 %. Ytterligare relevanta bestämmelser är att byggnadsdelar inte får bestå av material eller

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

produkter som under utförandet överskridit högsta tillåtna fukttillstånd i de fall då det kan innebära fuktskador i drift och ge oacceptabla hälsorisker. Även det faktum att ytor inomhus som kan förväntas utsättas för vatten i vätskefas ska ha ett vattentätt skikt. De vattentäta skikten ska vara åldersbeständiga, det vill säga särskild hänsyn ska tas till materials rörelser, beständighet mot kemisk och biologisk nedbrytning samt vibrationer. Ytor inomhus, som kan förväntas utsättas för vattenstänk, våtrengöring eller kondensvatten, ska ha ett vattenavvisande ytskikt.

Vad gäller fukttillstånd i en byggnad ska det inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet för något av materialen i en viss byggnadsdel, med undantag för då det inte har någon betydelse för hygien och hälsa. Vid bestämning av fukttillståndet ska fuktbelastningar som förväntas påverka byggnaden under ogynnsamma förhållanden användas (Boverket, 2019).

2.4 Termiska komfortindex

De termiska komfortindexen Predicted Mean Vote (PMV) och Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) används för att beskriva en grupp människors förväntade upplevelse av den termiska miljön. ISO-standarderna ISO 7730:2005 som handlar om ergonomin för den termiska miljön beskriver hur en analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort kan genomföras med hjälp av PMV och PPD (Svenska Institutet för Standarder, u.å.).

PMV är ett index som förutspår hur en större grupp människor i genomsnitt kommer att uppleva ett rums temperatur genom en sjugradig skala från kallt (-3) till varmt (+3). Skattningen utgår från kroppens värmebalans där en människa upplever termisk neutralitet när PMV är noll. Vid beräkning av PMV tas hänsyn till sex huvudfaktorer, vilka är metabolism, klädselns isoleringsvärde, lufttemperatur, strålningstemperatur, luftfuktighet och luftfuktighet (Svenska Institutet för Standarder, u.å.).

PPD fungerar som ett komplement till PMV och anger hur stor andel av en grupp som förväntas vara missnöjda med den termiska miljön, även om genomsnittet förväntas uppfatta klimatet som acceptabelt. Olika individer har alltid haft olika preferenser, vilket gör att det vid ett PMV-värde på noll ändå förväntas vara minst 5% av människorna i gruppen som känner obehag. PPD beräknas utifrån PMV med hjälp av en empirisk formel (Svenska Institutet för Standarder, u.å.).

2.5 WUFI

WUFI, Wärme Und Feuchte Instationär, är ett beräkningsverktyg som utvecklats vid Fraunhofer Institute for Building Physics i Tyskland. Beräkningsverktyget kan användas för att göra beräkningar av icke-stationär värme- och fukttransport i fasta material. Att beräkningarna är icke-stationära innebär att både fuktförhållanden och temperaturförhållanden varierar i konstruktionen med tiden. Programvaran bygger alltså på att temperatur- och fukttillstånd är sammankopplade, vilket speglar vad som händer för transporten av värme och fukt i enskilda byggnadsdelar samt hela byggnader. Det är allmänt känt att höga fuktnivåer bidrar till högre värmeförluster samt att

temperaturtillståndet i enskilda byggnadsdelar påverkar fukttransporten. Detta samband mellan värme och fukt kallas hygrotermik (Fraunhofer IBP, 2025a).

Till skillnad från Glaser-metoden, som traditionellt sett har varit metoden som använts för att bedöma fuktillstånd, tar WUFI hänsyn till både ång- och kapillärtransport, samt sorptionskurvor för olika material, medan stationära beräkningar enligt Glaser-metoden enbart beaktar ångdiffusion i "steady-state" förhållanden under förenklade gränsvillkor. Detta resulterar i att Glaser-metoden indikerar en minskad risk för skador orsakade av kondensation. Vidare går det inte att beakta regn samt solinstrålning eller skapa individuella momentana förhållanden enligt Glaser-metoden. Detta innebär att metoden enbart lämpar sig för att skapa en översiktlig bedömning över den hygrotermiska kapaciteten hos en komponent i en byggnad. WUFI är däremot utvecklat för att möjliggöra avancerade och mer realistiska hygrotermiska analyser då programvaran baseras på den senaste kunskapen inom vätsketransport och ångdiffusion i byggnadsmaterial (Fraunhofer IBP, 2025a).

Som tidigare nämnts bygger WUFI på en koppling mellan värme- och fukttransport. De matematiska ekvationerna bakom består av en för värmetransport samt en för fukttransport. Programvaran löser dessa numeriskt genom att diskretisera i tid och rum. Detta innebär att materialen i modellen delas upp i celler och tiden i så kallade tidssteg. Ekvationerna kan lösas antingen genom en explicit metod eller implicit metod. I WUFI löses ekvationerna genom en implicit metod, vilket både minskar antalet steg samt försäkrar att lösningen alltid kan anses fysikaliskt rimlig. Nackdelen med den implicita metoden är att den redan i första steget tar hänsyn till att båda ekvationerna uppfylls för det framtida tidssteget, vilket innebär att resultatet är beroende av medelvärdet av både det tidigare och nuvarande tidssteget. Med andra ord måste ett ekvationssystem lösas för varje tidssteg vilket kan vara tidskrävande. Samtidigt ger den implicita metoden möjligheten att fritt välja tidsstegen samtidigt som lösningen, som tidigare nämnt, alltid kan anses vara fysikaliskt rimlig. Däremot går det inte att avgöra om lösningen är korrekt, med andra ord kommer lösningen alltid vara "sund" men kan, jämfört med en noggrannare beräkning, vara felaktig. För att öka noggrannheten i beräkningen kan kortare tidssteg användas, vilket å andra sidan ökar tidsåtgången. En av anledningarna bakom tidsåtgången är att ekvationerna för värme- och fukttransporten måste lösas samtidigt, för varje tidssteg. Denna process upprepas iterativt fram tills att skillnaden mellan två iterationer är tillräckligt liten (Wallentén, 2018).

2.5.1 WUFI Mould Index VTT

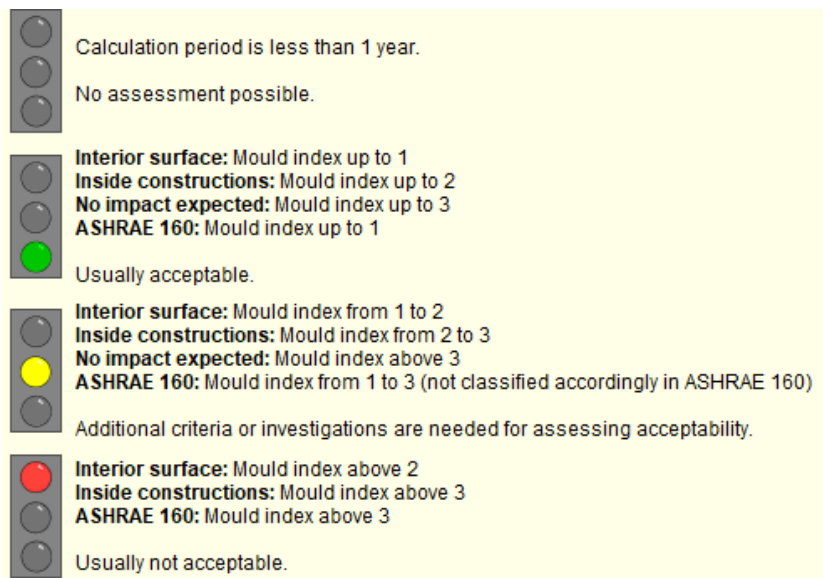
Mögel är ett resultat av gynnsamma fukt- och värmeförhållanden över tid. För att kunna analysera risken för mögel i konstruktioner mer djupgående har det tagits fram ett tillägg till huvudprogrammet WUFI, som heter WUFI Mould Index VTT. WUFI Mould Index VTT ger ett index på hur utsatta enskilda punkter i en konstruktion är under rådande omständigheter (Tampere University, u.å.). Detta är möjligt eftersom det går att överföra data från beräkningar gjorda i huvudprogrammet in i mögelmodellen. En komplikation med Mould Index är att det inte har samma breda materialdatabas som huvudprogrammet, vilket innebär att vissa material behöver ersättas med material som har liknande egenskaper. För just detta använder Mould Index en fyrgradig skala på hur mögelkänsligt materialet i fråga är. Denna skala består av de fyra klasserna mycket

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

känsligt, känsligt, beständigt och väldigt beständigt. Vidare tillämpas också en slags materialklass där materialets nedbrytbarhet för mögel definieras. Precis som för mögelkänsligheten finns det fyra olika materialklasser som varierar från betydande nedbrytning till nästan ingen nedbrytning. Resultatet från mögelmodellen ges, som ovan nämnt, i ett index. Detta index varierar mellan 0–6, där 0 innebär ingen mögelpåväxt och 6 innebär tät påväxt som täcker ungefär 100% av materialets yta. Hela indexet presenteras i Tabell 2.1 nedan. För att underlätta analyser av resultaten och resulterande index används ett trafikljus som indikerar om påväxten är acceptabel eller inte. Figur 2.7 nedan presenterar en sammanfattning över hur trafikljuset fungerar (Fraunhofer IBP, 2025b).

Tabell 2.1: Förklaring av mögelindex.

Mould index	Description of the growth rate
0	No growth
1	Small amounts of mould on surface (microscope), initial stages of local growth
2	Several local mould growth colonies on surface (microscope)
3	Visual findings of mould on surface, <10% coverage, or, <50% coverage of mould (microscope)
4	Visual findings of mould on surface, 10-50% coverage, or, >50% coverage of mould (microscope)
5	Plenty of growth on surface, >50% coverage (visual)
6	Heavy and tight growth, coverage about 100%



Figur 2.7: Förklaring av trafikljussystemet för mögelindex, hämtat från WUFI VTT.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

3 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes av ämnet golvkyla för att skapa en uppfattning om nuläget samt om möjligt identifiera forsknings- och kunskapsluckor. Sökningar utfördes i Google Scholar och Lubsearch med nyckelord som "golvkyla", "floor cooling systems" och "radiant cooling". Urvalsprocessen inleddes med genomgång av titlar och sammanfattningar för att identifiera relevanta publikationer. Prioritet gavs till europeiska studier publicerade efter år 2020 för att säkerställa aktualitet och regional relevans. På grund av begränsat tillgängligt material inom ämnet inkluderades även ett flertal bredare och äldre studier då de bedömdes bidra med tekniska eller praktiska insikter. Litteraturstudien fokuserade på kvalitetsgranskade artiklar med empiriskt underlag och exkluderade publikationer med oklar metodik eller bristfällig transparens.

3.1 Kylproblematik

Att kyla ett rum kan göras på olika sätt. Vanligt förekommande metoder är antingen luftburen eller vattenburen kyla. Den vattenburna kylan brukar delas in i våt och torr kyla, där torr kyla innebär att temperaturen på vattnet som cirkulerar i systemet regleras så att den aldrig understiger daggpunkten för att minimera risken för kondens. Det omvända gäller för våt kyla där temperaturen på vattnet understiger daggpunkten vilket innebär att kondensen som bildas måste tas om hand. Dock kan en större kyleffekt uppnås med våt kyla eftersom den lägre temperaturen i vattnet resulterar i en högre temperaturdifferens. Luftburen kyla bygger på principen att värme transporteras bort genom att luften som tillförs i ett rum är kallare än aktuell rumsluft (Swegon, u.å.).

I studien *Resilient cooling strategies - A critical review and qualitative assessment* (Zhang et al., 2021) diskuterar författarna flera olika typer av tekniker för att kyla en byggnad samt hur eventuella klimatförändringar kan komma att påverka dessa. Vattenburen kyla med värmepump som använder exempelvis berggrunden som källa fungerar i nuläget väldigt bra enligt författarna, då temperaturen under ungefär 10 meters markdjup håller sig relativt konstant året om. Detta innebär att marken har en kylande effekt på mediet som transporteras in i byggnaden vilket används för att kyla byggnaden. Vidare menar författarna att system som använder markkyla fungerar som bäst då värmebelastningen är som störst, vilket beror på att värmeövergången ökar eftersom temperaturdifferensen mellan det cirkulerande mediet och marken är större. Denna effekt kan dock komma att ändras av ett varmare klimat. I en studie gjord av Chiesa och Zajch (2020) undersöktes känsligheten för kylning med marken som källa, där hänsyn togs till både historiskt och framtida klimatvillkor i 9 olika städer i Nordamerika. Resultaten visade att för kallare klimat blir potentialen för denna metod relativt oförändrad medan metoden inte blir lika effektiv i ett varmare klimat där kylbehovet är större. Vidare visar resultatet att marktemperaturen har en stor inverkan på effekten då kallare marktemperaturer, som förväntat, har en större kyleffekt.

En möjlighet som lyfts i studien *Resilient cooling strategies - A critical review and qualitative assessment* (Zhang et al., 2021) är att förkyla byggnader under natten då värmebelastningen är lägre. Enligt författarna skulle torr kyla kunna uppnå detta eftersom omgivande lufttemperatur i dessa situationer är lägre, vilket också kan ge en

minskad risk för kondens om daggpunkten inte underskrids. En annan möjlighet som diskuteras är att reducera tiden under maximal värmebelastning genom att använda sig av en större kyleffekt, vilket dock kan ha en negativ inverkan på den termiska komforten samt ökad risk för kondens. Artikeln lyfter även frågan kring hur värmepumpsystemet återställer sig efter hög värmeavgivning. Författarna hävdar att kapaciteten i systemet återhämtar sig snabbt, även under hög värmebelastning, då värmen som avges till marken snabbt sprider sig till omgivande jord. Jordens termiska diffusivitet har stor inverkan på hur snabbt återhämtningen sker, vilket enligt författarna kan dröja allt från några timmar till flera dagar.

Zhang et al. (2021) diskuterar även hur vattenburna system kan utnyttjas för att uppnå strålningskyla. Fördelen med strålningskyla är att mediets framledningstemperatur kan vara nära rumstemperaturen då stora ytor, såsom golv eller tak, utnyttjas för att uppnå en kylande effekt. Vidare anger författarna att system som utnyttjar strålningskyla i stort sett kan appliceras i alla klimat samt byggnadstyper. Likt användningen av stor kyleffekt från en värmepump är den stora utmaningen, för denna typ av system, hur systemet ska utformas för att undvika uppkomsten av kondens. Vidare lyfter artikeln problematiken med att dessa system bara tar hänsyn till kyl- och värmebehov vilket innebär att systemet behöver kompletteras med ett ventilationssystem, för att kontrollera fuktigheten och ventilera luften i byggnaden. Artikeln *A review of integrated radiant heating/cooling with ventilation systems- Thermal comfort and indoor air quality* (Zhang et al., 2020) belyser detta område mer djupgående och diskuterar även hur komforten upplevs när strålningskyla kombineras med ventilationssystem. Resultaten visar att det är en stor utmaning att designa integrerade system som uppfyller både god termisk komfort och luftkvalitet då interaktionen mellan systemen beror på många olika faktorer. En av de större utmaningarna ligger i att undvika en för stor vertikal temperaturgradient, då denna faktor har stor inverkan på både termisk komfort samt luftkvaliteten i vistelsezonen beroende på vilket ventilationssystem som strålningskylan kombineras med. Trots att termisk komfort och luftkvalitet är viktiga aspekter att beakta menar författarna att risken för kondensbildning är den mest kritiska, då detta är den begränsande faktorn för kylkapaciteten i det integrerade systemet.

Utmaningarna för luftburen kyla ser annorlunda ut jämfört med den vattenburna. I studien *Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser* (Hajidavalloo and Eghtedari, 2010) diskuteras hur omgivande klimat påverkar kapaciteten för luftburen kyla. Författarna hävdar bland annat att en ökad utomhustemperatur leder till en minskad kapacitet och verkningsgrad för system som består av en utomhusdel och en, eller flera, inomhusdelar. Vidare utmaningar diskuteras i *A qualitative assessment of integrated active cooling systems: A review with a focus on system flexibility and climate resilience* (Elnagar et al., 2023). I artikeln diskuteras författarna problematiken med att dessa system ofta drivs av elektricitet, och är därför känsliga för värmeböljor vid störningar i elnätet. Dock tar författarna även upp trenden att integrera luftburen kyla till förnybara energikällor såsom värmepumpar, vilket kan vara en lösning på problem kopplat till tillgången på elektricitet.

3.2 Golvkyla

3.2.1 Termisk komfort

Det finns få studier genomförda på termisk komfort i relation till golvkyla, framför allt i Europa. I bostadsmiljöer har människor direkt kontakt med golvet och därmed kommer golvtemperaturen vara en viktig faktor för komfortnivån. Golvets temperatur påverkar även strålningssymmetrin i ett rum och påverkar därmed komforten av den anledningen. Vid jämförelse mellan strålnings- och luftsystem finns indikationer på att strålningssystem, vilket kan inkludera golvkyla, kan vara likvärdigt eller bättre än ett luftburet system med avseende på den termiska komforten (Karmann et al., 2017).

3.2.1.1 Gränsvärden

Vid användning av golvkyla i bostäder är det av vikt att beakta termisk komfort hos de boende, vilket kan styrkas genom gränsvärden i etablerade standarder. Enligt den internationella standarden ISO 7730 bör golvytans temperatur generellt inte understiga 19 °C för att undvika termiskt obehag. Zang et al. (2020) menar dock att temperaturgränsvärdet kan vara otillräckligt i bostadsmiljöer, där brukare ofta har direktkontakt med golvet, till skillnad från i kontors- eller kommersiella byggnader där användarna i regel bär skor. För att säkerställa termisk komfort bör även temperaturskillnaden mellan golvytan och rummets operativa temperatur inte överstiga 4 °C, då större skillnader kan leda till obehag orsakade av strålningsasymmetri. Det är även viktigt att understryka att komfortnivåerna förväntas variera beroende på användarbeteenden (Zhang et al., 2020). Även artikeln skriven av Karmann et al. (2020) belyser att strålningen från kalla golv kan påverka den termiska komforten negativt och att temperaturskillnaden mellan golv och rummets andra ytor bör vara så liten som möjligt för att undvika obehag.

3.2.1.2 Kondens och komfort

De två ovannämnda artiklarna belyser även kondensproblematiken vid kalla golvytor. Även om kondens i första hand betraktas som ett tekniskt begränsande problem för kylsystemets kapacitet, har den även betydande implikationer för den termiska och hygieniska komforten. Kondens kan leda till fuktproblem och i förlängningen tillväxt av mikroorganismer såsom mögel. En sådan miljö bedöms som oacceptabel enligt etablerade komfortkriterier (Zhang et al., 2020). Utöver risken för byggnadstekniska skador innebär förekomsten av kondens även att golvet upplevs som obehagligt att beträda, särskilt i bostadsmiljöer där direktkontakt med golvet är vanlig. Det är av stor vikt att kontrollera luftfuktighet för att undvika kondensbildning (Karmann et al., 2017).

3.2.1.3 Studie kring termisk komfort vid golvkyla

Vid undersökning av komfort, som handlar om människors subjektiva upplevelser, bidrar praktiska försök till en djupare förståelse av den faktiska komforten. En av få experimentella studier som specifikt behandlar effekterna av golvkyla på termisk komfort under realistiska exponeringstider är en praktisk studie som undersökte hur olika typer av asymmetrisk strålningsvärme påverkar människors upplevelse av termisk komfort (Zhou et al., 2019). Genom kontrollerade experiment undersöktes hur faktorer

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

som kalla golv, varma tak och exponeringstid påverkar både den övergripande och lokala termiska känslan hos individer.

Studien genomfördes i en klimatkammare och fokuserade på människors upplevelse av termisk komfort vid asymmetrisk strålning, där majoriteten av testuppställningarna innebar kyla från golvet. Golvunderlaget som användes bestod av metallradiatorplattor och ovanliggande vitt papper med bestämd emissivitet på 0,9. Försöken genomfördes i två olika faser där olika exponeringstider användes. Under testerna hade deltagarna lätt klädsel och utförde stillasittande aktiviteter. I den första fasen varade testerna under två timmar där försökspersonerna utsattes för olika strålningsasymmetrier och den andra fasen innefattade åtta timmar långa tester där exponeringstidens påverkan utreddes. Nedan presenteras uppställningen för fallen i respektive fas (Zhou et al., 2019).

Table 3
Test conditions.

Test case	Description	Air temperature T_a (°C)	Relative humidity RH (%)	Mean radiant temperature T_r (°C)	Operative temperature T_{op} (°C)	Ceiling temperature $T_{ceiling}$ (°C)	Floor temperature T_{floor} (°C)	Asymmetric radiant temperature Δt_{pr} (°C)
2 h test	1 Cold floor and hot ceiling	25.5 ± 0.5	50 ± 5	25.5 ± 0.5	25.5 ± 0.5	38	12 (note)	19.7
	2 Cool floor and warm ceiling					32	18	10.4
	3 (Ref.) Uniform surface temperature					25.5	25.5	0
	4 Warm floor and cool ceiling					18	32	-10.5 (note)
	5 Hot floor and cold ceiling					14	36	-16.6 (note)
8 h test	Description	Air temperature T_a (°C)	Relative humidity RH (%)	Mean radiant temperature T_r (°C)	Operative temperature T_{op} (°C)	Other wall temperatures T_{wall} (°C)	Floor temperature T_{floor} (°C)	Asymmetric radiant temperature Δt_{pr} (°C)
	1 Floor cooling	25.5 ± 0.5	50 ± 5	25.5 ± 0.5	25.5 ± 0.5	27.0	12 (note)	13.7
	2 Floor cooling					26.5	16	9.6
	3 Floor cooling					26.0	19	6.4
	4 (Ref.) Uniform surface temperature					25.5	25.5	0.0

(Note: the negative sign of the asymmetric radiant temperature describes only the direction. The asymmetric radiant temperatures were calculated based on room geometry and view factors. A more detailed description has been attached in [Appendix A](#). In case 1 of the 2 h exposure, the floor temperature of 12 °C was lower than the dew point temperature; therefore, condensation occurred during the test. We asked the subjects to ignore the condensation and accelerated its evaporation after the test.).

Figur 3.1: Försökuppställning i studien "Thermal comfort under radiant asymmetries of floor cooling system in 2 h and 8 h exposure durations" (Zhou et al., 2019).

Vidare fick de 48 deltagarna, varav hälften var kvinnor och hälften var män, fylla i ett frågeformulär om sin upplevelse kring den termiska komforten samtidigt som deras hudtemperatur mättes på nio olika kroppsdelar. För att säkerställa ett tillförlitligt resultat utfördes även en resultatbearbetning där statistiska analyser användes för att jämföra olika grupper och testfall. Även en variansanalys genomfördes för att fastställa den tid det tog för deltagarna att nå stabila komfortnivåer (Zhou et al., 2019).

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Resultatet av studiens första fas, det vill säga tester genomförda under två timmar, visade på en mycket sämre komfortnivå för fall 1 där golvtemperaturen var 12 °C och taktemperaturen 38 °C jämfört med referensfallet. Samtidigt var övriga fall likvärdiga med referensfallet, vilket innebär att en golvtemperatur på 18 °C vid en taktemperatur på 32 °C inte leder till en komfortnivå som orsakar obehag enligt studien. Vidare visade resultatet från fas ett att deltagarna upplevde en kallare lokal känsla i nedre kroppsdelar jämfört med referensfallet. Gällande fas två, där åtta timmars exponering undersökts, visade resultatet att deltagarna gradvis anpassade sig till den kalla golvtemperaturen över tid. Det var även så att komfortnivåerna var generellt stabila efter anpassningsperioden i början av försöken, dock upplevdes en sämre komfort i nedre kroppsdelar vid kallare golvtemperatur (Zhou et al., 2019).

De slutsatser som gjorts i studien kopplade till golvkyla är att den asymmetriska termiska miljön som skapas påverkar de nedre delarna av kroppen som exponeras för den svalare ytan, det vill säga fötter vader och lår i studien. En lokal kylning kan leda till obehag även om den termiska miljön anses behaglig, med en Predictive Mean Vote (PMV) runt 0, och det är därmed av stor vikt att beakta den lokala upplevelsen och inte endast den genomsnittliga termiska komforten i ett utrymme vid användning av golvkyla. PMV är enligt ISO 7730 ett standardiserat komfortindex där värdet 0 indikerar neutral komfort. Vid en kortvarig exponering för kalla golv är det viktigt att golvtemperaturen inte blir för låg och att den inte avviker alltför mycket från rumstemperaturen. En mer långvarig exponering visar på att en viss anpassning till svala golv sker, men att obehaget i de nedre kroppsdelarna inte försvinner helt vid för kalla temperaturer. För att möjliggöra implementering av golvkyla bör golvtemperaturen kontrolleras noggrant för att undvika för kalla golv. Även olika typer av golvbeläggning eller mattor kan minska den direkta exponeringen för kalla golv och därmed förbättra den lokala termiska komforten. Det kan även vara nödvändigt att komplettera med andra kylsystem för att säkerställa ett jämnare termiskt klimat i rummet. Utifrån ett komfortperspektiv kan även möjlighet av individuell anpassning vara eftersträvansvärt då olika personer har olika preferenser (Zhou et al., 2019).

3.2.1.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis är termisk komfort i samband med golvkyla en komplex fråga som påverkas av flera faktorer, inklusive strålningsasymmetri och exponeringstid. Befintliga standarder som ISO 7730 rekommenderar en golvyta över 19 °C, men studier visar att det kan vara en för låg temperatur i bostadsmiljöer. Studien från Tongji University visar att anpassning sker över tid, men lokalt obehag kvarstår vid för kalla golv. Där framkommer även en indikation på att golvtemperatur på 18 °C skulle kunna vara accepterad under vissa omständigheter, i studien var taktemperaturen 32 °C då golvytan var 18 °C.

För att optimera komforten rekommenderas en kombination av tekniska lösningar, exempelvis golvbeläggningar och adaptiva system (Zhou et al., 2019, Zhang et al., 2020). Framtida forskning bör fokusera på europeiska bostäder, där energieffektivitet och komfort bör balanseras (Cui et al., 2024).

3.2.2 Klimatanpassning

Hur golvkylsystem kan implementeras beror på förutsättningar för den aktuella byggnaden och platsens klimatförhållanden. Kontrollstrategier kan därav skilja sig från fall till fall för att möjliggöra optimering av både termisk komfort, fuktnrelaterade risker och energieffektivitet. En simuleringsbaserad studie genomförd i Kina undersökte, med hjälp av Transient System Simulation Program, hur golvkyla kan anpassas till olika klimatzoner och deras respektive utmaningar för att uppnå ett system med maximal potential. Studien utgick från ett flervåningsbostadshus som placerades i elva olika städer. Kina har ett varierat klimat från sträng kyla i norr till varma somrar och vintrar i söder. För simuleringarna delades landet in i fem olika klimatzoner. Tre olika strategier för golvkylstyrning utvärderades, variabel vattentemperatur, variabelt luftflöde och direkt markkylning. Under simuleringarna användes en framledningstemperatur som varierade mellan 16 °C och 19 °C. Prestandan utvärderades baserat på termisk komfort, risk för kondens, energianvändning och koldioxidutsläpp för att identifiera optimala strategier per zon. Resultaten betonar vikten av klimatanpassning genom variabla komponenter och integrering med andra tekniker (Cui et al., 2024).

För att koppla resultaten till implementering av golvkyla i Sverige är det mest relevant att beakta de klimatzoner som bäst överensstämmer med det svenska klimatet, nämligen tempererade och kalla klimat. För dessa klimat framstår variabelt luftflöde som den mest effektiva kontrollstrategin, där andelen timmar då termisk komfort underskrids understeg 3 % av den totala tiden i beräkningarna. Samtidigt indikerar resultaten att valet av kontrollstrategi hade en begränsad inverkan på risken för kondens, vilken var mer framträdande i andra klimatzoner. Emellertid bör det noteras att Sveriges somrar genomgår en gradvis uppvärmning, vilket i enlighet med artikelns resultat kan implicera en framtida ökning av risken för kondens vid användning av golvkyla. Slutligen belyser studien behovet av ytterligare forskning för att validera resultaten i verkliga byggnader (Cui et al., 2024).

3.2.3 Material, design och konstruktion

Vid användning av golvkyla är det viktigt att göra välgrundade material- och designval för att optimera systemets prestanda, energieffektivitet och komfort. Flera faktorer, såsom materialegenskaper, konstruktion och driftförhållanden, spelar en avgörande roll. Nedan presenteras en sammanställning av dessa faktorer under övergripande teman med utgångspunkt ur ett antal vetenskapliga artiklar och studier.

3.2.3.1 Golvmaterialval

Vid val av golvmaterial för golvkylsystem är hög värmeledningsförmåga och stor termisk massa centrala egenskaper för att säkerställa effektiv kylning och stabil temperaturfördelning. Material med högre värmemotstånd i golvbeläggningen leder till högre yttemperatur och minskar värmeflödet (Werner-Juszczuk, 2019). Träkonstruktioner reagerar snabbare på interna värmetillskott, men deras lägre termiska massa resulterar i sämre energilagringsförmåga och ökad fuktkänslighet jämfört med exempelvis betong. Detta gör material med högre termisk massa mer lämpliga för golvkyla jämfört med trämaterial (Johnsson and Westerlund, 2012).

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

3.2.3.2 Isolering

Ett isoleringsskikt i golvkonstruktionen är essentiellt för att optimera funktionen hos golvkylsystem. Utan tillräcklig isolering riskerar systemet att bete sig delvis som ett termiskt aktivt byggnadssystem, vilket kräver särskild designhänsyn då material i golvkonstruktionen används som medium för att lagra och avge kyla gradvis till andra delar av byggnaden än det önskvärda. Generellt sett är ökad isolering under slingorna fördelaktigt då det minskar värmeförluster nedåt och därmed förbättrar systemets energieffektivitet. Faktorer som marktemperatur, byggnadens användningsområde och önskad inomhustemperatur bör också beaktas vid dimensioneringen av isoleringen (Johnsson and Westerlund, 2012).

3.2.3.3 Avstånd mellan slingorna

Avståndet mellan kylslingorna, är en dimensionerande faktor för systemets kyleffekt. Studier indikerar att kortare avstånd mellan slingorna i storleksordningen 150 mm bör övervägas i golvkylsystem då temperaturskillnaden mellan tilllopps- och returledning är mindre jämfört med golvvärmesystem. För att optimera kyleffekten rekommenderas ett avstånd på under 160 mm (Johnsson and Westerlund, 2012). Experimentella resultat bekräftar att minskat avstånd mellan slingorna leder till lägre ytemperaturer och ökat värmeflöde från golvet (Werner-Juszczuk, 2019).

3.2.3.4 Materialtjocklek

Även golvbeläggningens tjocklek påverkar värmeflödet och ytemperaturen. Ett högre termiskt motstånd leder till högre ytemperaturer och lägre kylkapacitet. För att maximera systemets effektivitet är det därför viktigt att välja tunna golvbeläggningar med lågt termiskt motstånd (Werner-Juszczuk, 2019).

3.2.3.5 Framledningstemperaturer

Framledningstemperaturen utgör en kritisk parameter för funktionen och kyleffekten hos golvkylsystem. För att förhindra kondensbildning på golvytan behöver köldmediets temperatur regleras med hänsyn till daggpunktstemperaturen i rummet. En framledningstemperatur rekommenderas som överstiger daggpunktstemperaturen med minst 2 °C, och den bör inte understiga daggpunktstemperaturen med mer än 1 °C (Johnsson and Westerlund, 2012). Notera att påväxt av mögel kan börja redan vid 75 % relativ fuktighet vilket inte är samma sak som daggpunktstemperaturen vilken motsvarar 100 % relativ fuktighet. Den lägsta tillåtna vattentemperaturen är även beroende av systemets konstruktion, såsom avståndet mellan slingorna och golvbeläggning, samt den lägsta tillåtna golvtemperaturen. En individuell anpassning av systemet med beaktande av dessa faktorer är därför av stor vikt. Ur ett komfortperspektiv bör framledningstemperaturen inte understiga 10 °C (Werner-Juszczuk, 2019). Experimentella studier har dock indikerat att kondens kan uppstå på golvytan vid framledningstemperaturer under 16 °C (Yang et al., 2024).

Det är viktigt att notera att försöken som indikerar en gränstemperatur vid 16 °C genomfördes under specifika förhållanden med en utomhustemperatur över 31 °C och en relativ luftfuktighet över 70 % (Chiesa and Zajch, 2020). De komfortstudier som

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

fastställde en nedre gräns på 10 °C utfördes under andra förhållanden, med temperaturer som varierade mellan 24 och 30 °C (Werner-Juszczuk, 2019).

Sammanfattningsvis indikerar resultaten att valet av framledningstemperatur för golvkylsystem kräver en noggrann avvägning mellan kyleffekt, risk för kondens och termisk komfort. En individuell systemanpassning baserad på rummets förhållanden, systemets konstruktion och de specifika driftförhållandena är avgörande.

3.2.3.6 Styrsystem

För att säkerställa optimal drift av golvkylsystem är det viktigt att styrsystemet är utrustat med en inprogrammerad fördröjning vid växling mellan värme- och kylläge. Eftersom systemet ofta regleras baserat på utomhustemperaturen kan snabba temperaturväxlingar, exempelvis under klara sommarnätter, leda till oönskade byten till värmeläge. Det blir särskilt problematiskt om det följs av en dag med hög solinstrålning eftersom systemet har en ”inneboende” tröghet. Av den anledningen är kontinuerlig kylning under natten att föredra. Utformningen och balanseringen av systemet är av stor vikt för att uppnå en effektiv och jämn kylning (Johnsson and Westerlund, 2012). Vid användning av temperatursensorer för övervakning och reglering av golvtemperaturen är det viktigt att de placeras korrekt. Vid en felaktig placering går det inte att säkerställa att de krav som systemet är utformat efter uppfylls (Pantelic et al., 2018).

3.2.3.7 Kondensationsrisker och avfuktning

Trots en potentiellt hög teoretisk kyleffekt med en godkänd termisk komfort är det möjligt att golvkylsystemets prestanda begränsas av risken för kondens vid för kalla yttemperaturer (Werner-Juszczuk, 2019). Som ovan nämnts är det viktigt att förhålla sig till daggpunkten för att undvika kondens, framledningstemperaturen bör alltså inte understiga 1 °C över daggpunktstemperaturen. En strategi för att öka systemets kyleffekt utan att riskera kondens är att sänka den relativa fuktigheten genom avfuktning av tilluften, vilket minskar daggpunktstemperaturen (Johnsson and Westerlund, 2012). Hög luftfuktighet ökar risken för kondens och begränsar den minsta möjliga yttemperaturen (Werner-Juszczuk, 2019). Studier i miljöer med relativ luftfuktighet över 70 % har visat att ett luftbehandlingssystem, som kyler och avfuktar tilluften, effektivt reducerar risken för kondens (Chiesa and Zajch, 2020).

3.2.3.8 Takfläktar

Enligt Pantelic et al. (2018) ökar kylkapaciteten vid användning av golvkyla i kombination med takfläktar. Det beror på den ökade konvektionen som uppstår vid golvytan och som därefter leder till en förbättrad värmeöverföring från golvet till luften. I en experimentell studie ökade kylkapaciteten med cirka 16 % när takfläkten användes vid en operativ temperatur på 24 °C. Vid en operativ temperatur på 26 °C ökade kylkapaciteten med cirka 26 %. Golvtemperaturen påverkades dock marginellt då den ökade med mindre än 0,3 °C i studien när takfläkten var påslagen vid en operativ temperatur på 24 °C, vilket tyder på att takfläktar främst påverkar värmeöverföringen vid ytan snarare än golvets temperaturprofil.

3.2.3.9 Rummets utformning och funktion

Vid dimensionering av golvkylsystem är det viktigt att beakta rummets specifika förutsättningar för att optimera systemets prestanda, energieffektivitet och termisk komfort. Stora fönsterytor kräver integrerade solskyddsåtgärder för att minimera solinstrålningens påverkan, vilket bör adresseras tidigt i byggprocessen (Johnsson and Westerlund, 2012). Solinstrålningens direkta och indirekta effekter på golvytan utvärderas i följande underavsnitt. Kompletterande åtgärder för att förbättra kyleffekten kan inkludera vädringsfönster, ökat tilluftflöde eller sänkt tillufttemperatur. Vidare är det viktigt att anpassa systemet efter rummets funktion, exempelvis utrymmen där personer sitter stilla och eventuellt barfota kräver en noggrannare reglering av golvtemperaturen för att säkerställa komfort. Om golvytan är liten i förhållande till övriga ytor i rummet, bör man utvärdera om ett golvkylsystem är det mest effektiva alternativet. I rum där komfortkraven är mindre strikta kan en lägre golvtemperatur på runt 16 – 18 °C nyttjas för att optimera kyleffekten, men då krävs noggrann kontroll av risken för kondens (Johnsson and Westerlund, 2012). Vidare visar Pantelic et al. (2018) att tunna mattor kan reducera golvets kylkapacitet med cirka 5 %, vilket indikerar att användarbeteenden kan påverka systemets prestanda. Reduktionen kan vara relevant även vid en enkel åtgärd som placering av en matta på vardagsrumsgolvet.

3.2.3.10 Solinstrålningens påverkan

Effekten av solinstrålning på golvkyla är betydande och bör därmed beaktas vid systemdesign. En laboratorieundersökning har visat att ett kylt golv uppvisar en långsammare temperaturökning vid exponering för direkt solinstrålning, jämfört med ett golv utan aktiv kylning. Resultaten indikerar att kylkapaciteten, vilket i studien definieras som mängden värme som golvet kan avleda per ytenhet, ökar vid direkt solinstrålning. Den effekt som solinstrålningen har är dock lokal, med en temperaturgradient över golvytan där de exponerade områdena uppnår temperaturer runt 26 °C samtidigt som övriga områden på golvet ligger mellan 20 – 21 °C. Variationer i solens bana och intensitet under året kan därmed leda till ett behov av zonindelning av golvytor som exponeras för direkt solinstrålning i byggnader med stora glasytor. Vidare har studien visat att en ökning av kylvattentemperaturen från 12 °C till 18 °C minskar kylkapaciteten från cirka 110 W/m² till 95 W/m², vilket indikerar att systemets prestanda är känslig för kylvattentemperaturen där lägre temperaturer potentiellt kan ge högre kylkapacitet. Det är dock viktigt att beakta risken för kondens vid lägre temperaturer, vilket kräver noggrann fuktkontroll (Pantelic et al., 2018).

3.2.3.11 Rekommendationer för design, material och konstruktion

Utifrån informationen som presenteras ovan har följande rekommendationer sammanställts.

- Välj golvmaterial med hög värmeledningsförmåga och stor termisk massa. Undvik material med högt värmemotstånd för att maximera värmeflödet respektive kylförmåga.
- Isolera golvkonstruktionen väl från övriga delar av byggnaden. Prioritera isolering under slingorna för att minska värmeförluster nedåt.
- Använd kortare avstånd mellan slingorna (ca 150 mm) för högre kyleffekter.
- Reglera temperaturen med hänsyn till dagpunkten för att undvika kondens. Rekommenderad temperatur: dagpunkt + minst 2 °C, men inte under dagpunkt + 1 °C.
- Undvik framledningstemperaturer under 10 °C för att säkerställa termisk komfort.
- Programmera in en fördröjning i styrsystemet för att undvika snabba oönskade växlingar mellan värme och kyla.
- Placera eventuella temperaturmätare korrekt.
- Vidta åtgärder mot kondens, särskilt i fuktiga miljöer. Ett alternativ är att överväga avfuktning av tilluften.
- Installera solskydd vid stora fönsterytor.
- Anpassa systemet efter rummets funktion och förväntade användningsområde.

3.2.4 Miljö och energieffektivisering

Energieffektivitet utgör en central drivkraft bakom implementeringen av golvkyla, särskilt mot bakgrund av att klimatförändringarna förväntas öka kylbehovet i Sverige. Resultaten från en fallstudie där ett direkt kopplat golvkylsystem jämfördes med ett värmeväxlarsystem med jord/luft som källa (Yang et al., 2025) indikerar att golvkylningssystem är mer energieffektiva jämfört med traditionella luftkonditioneringssystem. Genom utnyttjandet av förnybar geotermisk energi, likt golvvärme, minskar även beroendet av fossila bränslen och en minskning av koldioxidutsläpp möjliggörs. Även en kombination av systemen visar sig uppnå en lägre energiförbrukning i förhållande till traditionella kylsystem, vilket kan vara en bra lösning med avseende på fuktrelaterade problem. Jord-luftvärmeväxlaren har en högre avfuktningsskapacitet som skulle kunna förlänga systemets livslängd då fuktrelaterade skador med större sannolikhet kan undvikas, något som även skulle minska materialavfall i längden (Yang et al., 2025). Även Mengying et al. (2023) antyder att samspel mellan ventilationssystem och golvkylsystem kan förbättra effektiviteten och ytterligare minska energibehovet för en byggnad.

Som nämnts under avsnitt 3.2.3.10 kan solens energi också påverka hur kylsystemet fungerar. Direkt solstrålning på golvet leder till ökad kylkapacitet. Det tyder på att systemet kan ta hand om större värmebelastning utan ett ökat behov av energitillförsel, vilket kan vara energieffektivt om systemet är korrekt dimensionerat. Det visar sig även vara relativt liten skillnad i kyleffekt mellan 12 °C till 18 °C framledningstemperatur

och systemet kan därmed, enligt Pantelic et al. (2018), köras med högre temperatur vilket kan spara energi. Det gör att system med vattenburen golvvärme kan användas i stället för andra system som drivs med direktverkande el (Pantelic et al., 2018). Golvkyla, där vatten används som köldbärare, har stor potential att reglera inomhusklimatet energieffektivt. Vatten möjliggör effektiv värmeöverföring även vid små temperaturdifferenser, vilket är fördelaktigt ur ett energiperspektiv. Dock kan antikondensstrategier leda till ökad energianvändning, varför det är avgörande med smart styrning och systemdesign för att optimera både energieffektivitet och inomhuskomfort (Mengying et al., 2023).

3.2.5 Av litteraturstudien identifierade behov för fortsatt forskning

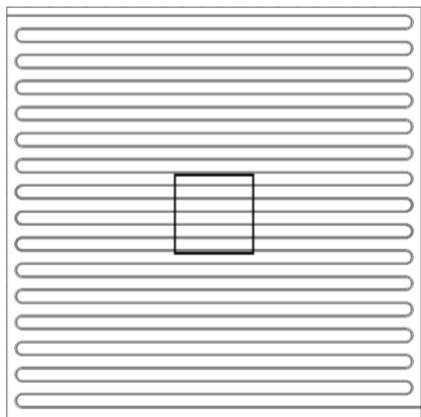
Samtliga granskade studier och rapporter understryker behovet av fortsatt forskning inom området golvkyla, särskilt med avseende på dess påverkan på termisk komfort och energieffektivitet. Ett flertal faktorer behöver undersökas närmare, såsom betydelsen av golvmaterial, klädstil, aktivitetsnivåer och individuella skillnader i köldkänslighet. Det finns också behov av att studera effekten av olika flödes hastigheter i golvslingorna samt möjligheten att kombinera golvkyla med andra kylsystem för att optimera både komfort och teknik.

Vidare behövs mer kunskap om hur golvkylsystem samverkar med ventilationssystem och hur designparametrar som värmekällors placering, rummets geometri och kondensrisk påverkar prestandan. Forskning kring optimal isolering, materialval, styrsystem och hantering av kondensationsrisker i olika klimat är också viktig. Dessutom saknas empiriska data om långtidseffekter, påverkan av direkt solinstrålning och systemens funktion i olika byggnadstyper och klimat. Slutligen efterfrågas fler platsanpassade fallstudier och livscykelanalyser för att bättre förstå golvkylningssystemens verkliga miljöpåverkan och effektivitet.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

4 Metod

Metoden utgick från beräkningar genomförda i WUFI Pro, vilket innebär att en endimensionell transient analys har genomförts av fukt- och värmetransporten i studerade konstruktioner. Vid samtliga beräkningar är det ett geometriskt medelvärde på systemet som beräknas då modellerna representerar en medelpunkt mitt på rummets golv.

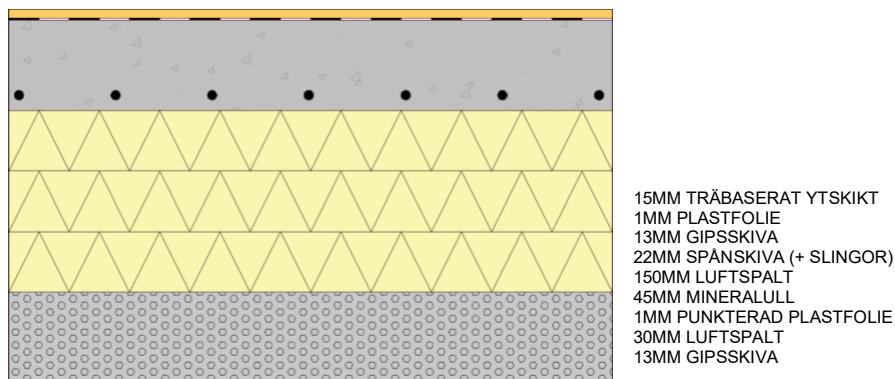


Figur 4.1: Illustration av systemet med en markerad godtycklig mittpunkt för endimensionell analys av systemet.

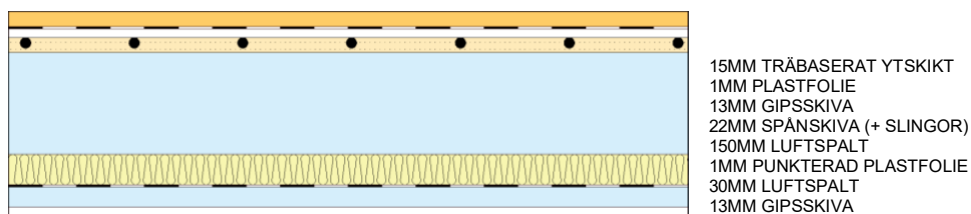
4.1 Konstruktioner

De konstruktioner som studerats vid beräkningarna baserades på ritningar tillhandahållna av en ledande svensk hustillverkare och omfattade både platta på mark och mellanbjälklag avsedda för golvkyla. Följande konstruktionsritningar togs fram över tvärsnittet mitt i konstruktionerna, vilka sedermera utgjorde grunden för de bjälklag som användes vid beräkningarna, se Figur 4.2, Figur 4.3 och Figur 4.4 för sektionsritningar. Studerade konstruktioner bedöms vara representativa för merparten av de enbostadshus som uppförs med golvvärmesystem i dag. Då modellerna är endimensionella försumrades golvbjälkarna samt kottlingar i mellanbjälklagen. Förenklingen bedömdes ha försumbar påverkan på utfallet i beräkningarna.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

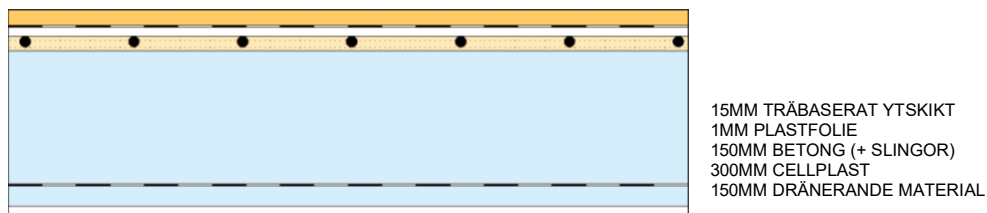


Figur 4.2: Konstruktionsritning/sektion för platta på mark.



Figur 4.3: Konstruktionsritning/sektion för mellanbjälklag med isolering.

För mellanbjälklaget utan isolering var det en luftspalt mellan spånskiva och den gipsskiva som utgjorde innertaket på våningen under. I konstruktionsritningen, Figur 4.4, finns även en plastfolie med på ritningen. Plastfolien användes vid beräkningarna i WUFI Pro för att separera de olika luftspalterna och för att göra skillnaden mellan mellanbjälklaget med respektive utan isolering så liten som möjligt.



Figur 4.4: Konstruktionsritning/sektion för mellanbjälklag utan isolering.

4.1.1 Initial riskbedömning

En riskbedömning av konstruktionerna genomfördes för att identifiera de mest kritiska delarna där hygrotermiska förhållanden kan resultera i potentiella problem, såsom fuktansamling, mögelbildning och kondens. Med hänsyn till materialegenskaper och exponering för potentiella risker genomfördes en okulär granskning av ritningarna för att identifiera riskområden redovisat i Tabell 4.1 nedan.

Tabell 4.1: Riskbedömning av konstruktionerna.

Position	Förväntad risk	Konstruktion
Ytskikt (trägolv)	Utgör gränssnittet mellan inomhusluft och konstruktion vilket gör det utsatt för temperatur- och fuktvariationer, organiskt material, kondensrisk.	Samtliga konstruktioner
Golvskiktets undersida, ovanför plastfolie	Utsatt för temperatur- och fuktvariationer, i anslutning till tätskikt, organiskt material, mögel- och kondensrisk.	Samtliga konstruktioner
Mellan betong och plastfolie	Risk för inbyggt smuts i form av organiskt material, mögelrisk.	Platta på mark
Gipsskivans ovansida, under plastfolie	Risk för inbyggt smuts i form av organiskt material, gipsskivor innehåller även organiskt material i skivans ytor, mögelrisk.	Mellanbjälklag med och utan isolering
Spårade delar i spånskivan	Organiskt material i nära anslutning till slingorna innehållande köldmediet	Mellanbjälklag med och utan isolering
Spånskivans undersida	Organiskt material, i nära anslutning till slingorna innehållande köldmediet, kyla nedåt i konstruktionen.	Mellanbjälklag med och utan isolering
Ytskiktet i mellanbjälklagets botten, dvs. nedanvåningens tak	Utgör gränssnittet mellan inre och yttre klimat, om varm fuktig luft stiger upp och möter en svalare yta, kondensrisk.	Mellanbjälklag med och utan isolering

4.2 Materialval

WUFI Pro innehåller en omfattande materialdatabas som kan användas för beräkningar kopplade till värme- och fukttransport. Databasen integrerar data från flera källor, där Fraunhofer IBP:s experimentellt framtagna materialdata och den svenska databasen från Lunds Tekniska Högskola i huvudsak användes i denna studie. Då materialdatabaserna inte innehöll furu i radiell riktning, vilket användes i beräkningarna för fuktbetingade rörelser samt känslighetsanalysen, användes även den norska databasen från NTNU för detta material.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

4.2.1 Grundläggande materialegenskaper

För varje material i materialdatabasen specificeras följande egenskaper:

- Skrymdensitet [kg/m^3]
- Porositet [m^3/m^3]
- Värmekapacitet [J/kgK]
- Värmeledningsförmåga [W/mK]
- Dimensionslöst ångmotstånd (diffusionsmotstånd) μ [-]

4.2.2 Hygrotermiska funktioner

För en mer detaljerad analys krävs även hygrotermiska funktioner för materialen, de som presenteras för respektive material i WUFI är:

- Fuktlagringsfunktion
- Transportkoefficient för vatten, suction
- Transportkoefficient för vatten, omfördelning
- Dimensionslöst ångmotstånd (diffusionsmotstånd) μ , fuktberoende
- Värmeledningsförmåga, fuktberoende
- Värmeledningsförmåga, temperaturberoende
- Entalpi, temperaturberoende

Vilka materialval som gjorts för respektive konstruktion presenteras under rubrikerna 4.8 Indata för platta på mark och 4.9 Indata för mellanbjälklag.

4.3 Geografiska förutsättningar

Eftersom Sverige är ett relativt stort land till ytan och har en stor variation från norr till söder (Landguiden, 2022) utfördes beräkningarna på tre olika svenska orter med geografisk spridning, Lund, Stockholm och Luleå. För respektive ort undersöktes varje konstruktion, det vill säga tre konstruktioner per ort.

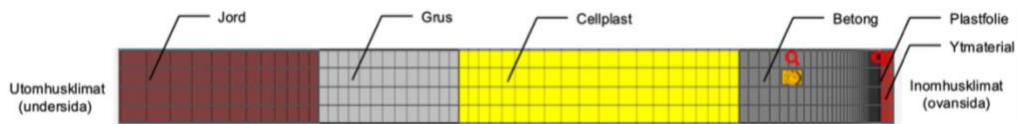
Klimatfilerna som finns i WUFI Pro motsvarar en typ av normalår, vilket innebär att de inte innehåller år med extremvärden som till exempel ovanligt mycket regn. Syftet är att skapa ett representativt år för platsen baserat på en längre period, ofta omkring 30 år. Genom att använda ett normalår ges ett underlag som speglar de genomsnittliga klimatförhållandena snarare än enskilda extrema perioder som ger mer tillförlitliga och jämförbara resultat vid värme- och fuktberäkningar i byggnadsdelar (Wallentén, 2018).

4.4 Gitteruppbyggnad

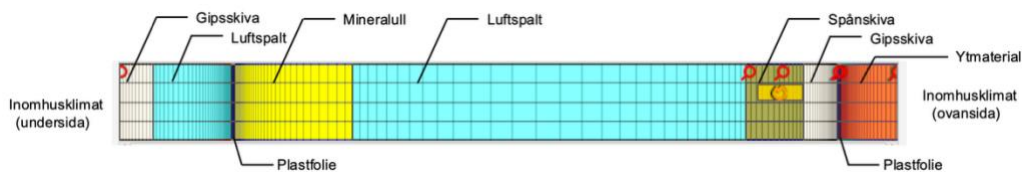
Vid samtliga beräkningar användes en automatisk anpassning av rutnätet, där automatisk (II) valdes som inställning. Vidare användes inställningen fint rutnät, vilket resulterade i att 200 rutnätselement genererades över konstruktionen.

4.5 Kyleffekt

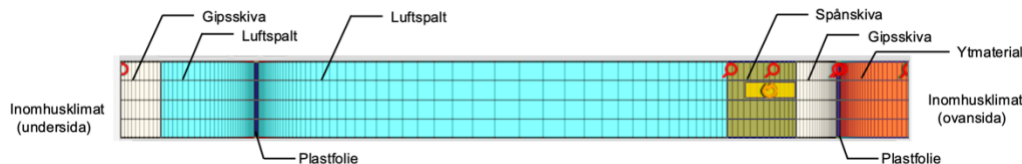
För att möjliggöra beräkning med golvkyla lades en värmekälla in i konstruktionen. Värmekällan placerades över den yta som slingorna i det vattenburna golvvärmesystemet antas uppta, med en diameter på 16 mm enligt standard. Se följande figurer för värmekällans placering i konstruktionerna, som representeras av den gula markeringen. Förstoringsglasen är valda monitorpositioner.



Figur 4.5: Placering av värmekälla i konstruktionen i WUFI Pro, platta på mark.



Figur 4.6: Placering av värmekälla i konstruktionen i WUFI Pro, mellanbjälklag med isolering.



Figur 4.7: Placering av värmekälla i konstruktionen i WUFI Pro, mellanbjälklag utan isolering.

För respektive ort beräknades den kyleffekt som motsvarar den aktuella inomhustemperaturen med ett intervall på tolv timmar under ett års tid. Temperaturen för respektive intervall avläses för varje ort från klimatdata i WUFI, EN 15026 användes i hela studien för inomhusklimat. Vid beräkning av kyleffekten användes ekvation (5.1) där värmeövergångsmotståndet för inre ytor, R_{si} sattes till 0,17 m²K/W för platta på mark och 0,13 m²K/W för mellanbjälklag enligt Sandin (2010).

$$Kyleffekt = \frac{T_{inne} - T_{golvyta}}{R_{si}} \quad (4.1)$$

Där Kyleffekt är effekten som genereras av golvkylningssystemet [W/m²]

T_{inne} är inomhustemperaturen för platsen [°C]

$T_{golvyta}$ är den förväntade temperaturen på golvytan vid en viss kyleffekt [°C]

R_{si} är värmeövergångsmotståndet [m²K/W]

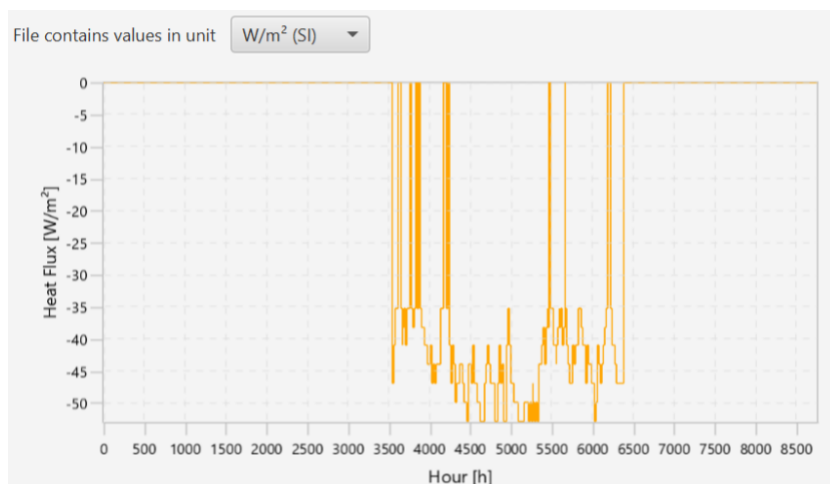
Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Vidare användes Excel för att generera filer för varje kyleffektsfall. Golvets yttemperatur fastställdes till fasta värden mellan 16 °C och 24 °C i steg om tolv timmar och den erforderliga effekten för att uppnå respektive yttemperatur beräknades över en ettårsperiod. Kylsystemet antogs aktiveras när inomhustemperaturen översteg 24 °C och förblev i drift tills temperaturen sjönk under 22 °C. Under tidsperioder med en inomhustemperatur lika med eller över 22 °C beräknades kyleffekten, medan den för övriga perioder antogs vara noll. För att undvika oönskad värmetillförsel till golvet nollställdes de positiva värmeeffekterna vid golvtemperaturer på 23 °C och 24 °C då systemet inte skulle värma golvet.

Det är en förenkling som gjorts i beräkningarna genom att inkludera alla tidsperioder med en förväntad inomhustemperatur lika med eller över 22 °C och inte endast starta systemet då temperaturen överstiger 24 °C efter att golvkylsystemet varit avstängt.

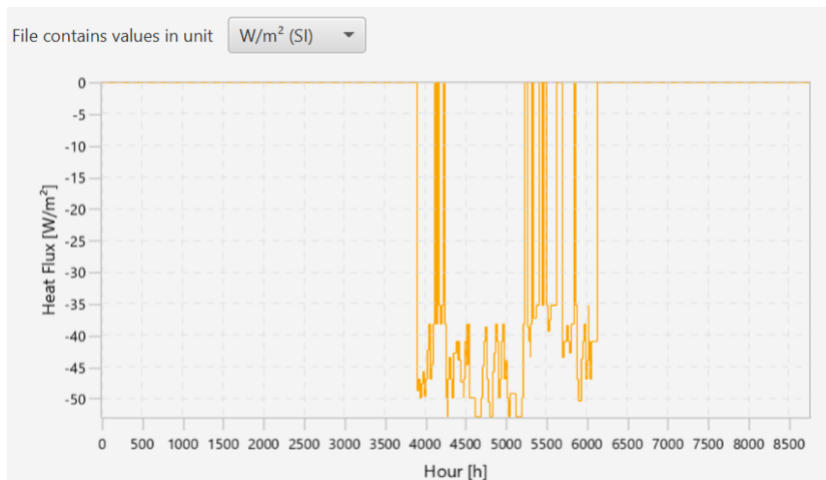
4.5.1 Kyleffektsfall

Nedan presenteras de kyleffektsfall som tagits fram för att uppnå en ungefärlig yttemperatur på 16 °C, en för respektive ort. Övriga kyleffektsfall återfinns i Bilaga 1.

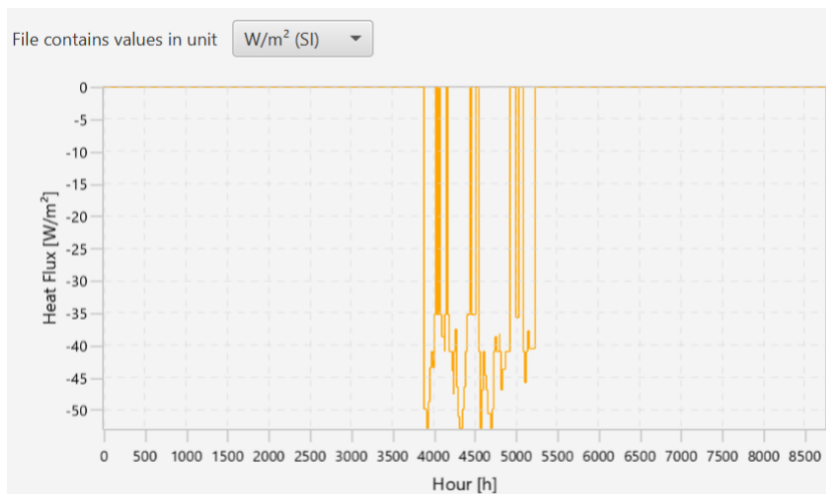


Figur 4.8: Kyleffektsfall vid 16 °C yttemperatur, Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 4.9: Kyleffektsfall 16 °C ytemperatur, Stockholm.



Figur 4.10: Kyleffektsfall 16 °C ytemperatur, Luleå.

4.6 Studerade positioner - Monitorpositioner

Monitorpositioner, innebär de positioner som övervakas vid beräkningen i WUFI. Dessa är placerade utifrån ovan redovisad riskbedömning, se Tabell 4.1, av respektive konstruktion för att möjliggöra en detaljerad analys av de hygrotermiska förhållandena. I samtliga beräkningar valdes ytskikten som övervakningspunkter, samtliga studerade punkter återfinns i Tabell 44.22 och Tabell 44.33. En monitor placerades även över slingornas position för att utifrån resultatet kunna approximera framledningstemperaturer.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 44.22: Monitorpositioner i WUFI Pro, platta på mark.

Trägolvet ytskikt
Mellan plastfolie och trägolv
Mellan betongplatta och plastfolie
Över slingornas position i plattan
Bottenskikt jord

Tabell 44.33: Monitorpositioner i WUFI Pro, mellanbjälklag.

Trägolvet ytskikt
Mellan trägolv och plastfolie
Mellan plastfolie och golvgipsskiva
Över slingornas position i spånskivan
Spånskivans underkant
Gipsskivans ytskikt (nedervåningens tak)

4.7 Beräkningsperiod

Samtliga beräkningar genomfördes över en tioårsperiod med start den första januari 2026. För att säkerställa en god noggrannhet i beräkningarna samt att inga initiala effekter skulle inverka på resultatet användes ett tidssteg på en timme. För varje år är det samma klimat som används, det vill säga klimatdatan upprepas tio gånger.

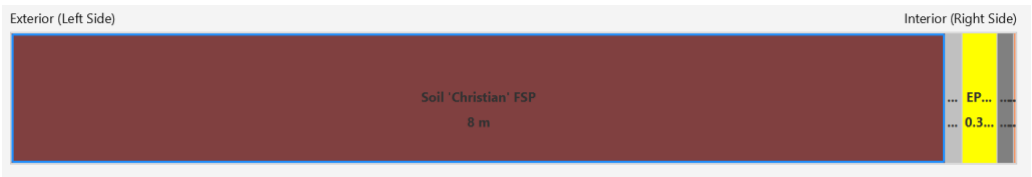
4.8 Indata platta på mark

4.8.1 Material

Nedan presenteras en tabell som sammanfattar de material som använts i studien samt de initiala förutsättningar som definierats för respektive material. Även en figur som visar hur konstruktionen såg ut i WUFI presenteras i Figur 4.11.

Tabell 44.44: Indata material och initiala förutsättningar WUFI Pro, platta på mark.

Konstruktion		Initiala förutsättningar				
Material	Materialdata	Tjocklek [m]	Initial temperatur [°C]	Relativ fuktighet [-]	Vatteninnehåll [kg/m³]	Byggfukt [kg/m³]
Jord	Soil 'Christian' FSP	8	Varierar	0,8	9,2	15
Grus	Generic gravel	0,15	Varierar	0,225	0,4	0,4
Cellplast	EPS (heat cond.: 0.04W/mK - density 15 kg/m3)	0,3	20	0,8	1,787	1,787
Betong	Concrete C35/45 cracked, aged	0,15	20	0,8	75	116,29
Plastfolie	vapor retarder (sd=100m)	0,001	20	0	0	0,001881
Lamellgolv	Laminate flooring	0,015	20	0,02692	5	5



Figur 4.11: Konstruktion i WUFI Pro, platta på mark.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Den initiala temperaturen för jord och grus varierade beroende på ort och utgick från årsmedeltemperaturen, se

Tabell 5 för den initiala temperaturen för respektive ort. För samtliga material användes det typiska värdet för byggfukt som begynnelsevillkor gällande vatteninnehåll och byggfukt genererar i WUFI. Gällande temperatur och relativ fuktighet gjordes enstaka manuella justeringar enligt nedan. I modellen användes ett tjockt jordlager för att efterlikna verkliga markförhållanden där temperatur och fukt avtar med djupet. Genom att inkludera ett tillräckligt djupt lager säkerställdes att de undre randvillkoren inte påverkade resultaten i den del av modellen som analyserades. Det tjocka lagret fungerade som en buffertzona för värme- och fukttransport, vilket bidrog till mer stabila och realistiska resultat under längre beräkningstider.

4.8.1.1 Initial temperatur

Jordens temperatur vid beräkningsstart bestämdes till 12 °C, vilket motsvarar en ökning med 3 °C jämfört med det omgivande utomhusklimatet som motsvarar förhållandena längre ner i jorden och normalårstemperaturen för platsen. Justeringen gjordes för att återspegla den lokala uppvärmningen av marken som förväntas ske under plattan (Golvbranschen, 2022). Samma temperatur antogs för det ovanliggande gruset. Övriga material antogs ha en initial temperatur på 20 °C för att representera typiska inomhusförhållanden.

4.8.1.2 Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten i de olika materialen var det typiska värdet för byggfukt, genererat via WUFI:s standardmodeller, med undantag för jorden och plastfolien. Plastfolien antogs ha en relativ fuktighet på 0 % då materialet fungerar som en idealiserad ångspärr utan kapacitet att absorbera eller transportera fukt. Jordens relativa fuktighet sattes till 80 % för att representera en fuktig men inte mättad jord. Målet var att beräkna med realistiska fuktförhållanden samtidigt som numerisk stabilitet upprätthölls i beräkningen.

4.8.2 Utvändigt klimat

Det utvändiga klimatet i beräkningarna för platta på mark modellerades för att motsvara förhållandena längre ner i jorden under konstruktionen. En sinuskurva skapades med ett medelvärde motsvarande årsmedeltemperaturen för den aktuella orten, baserad på normalvärden från den senaste normalperioden, 1991 – 2020, enligt SMHI. Amplituden sattes till 1 °C och dagen för förväntad maximal temperatur definierades som 3 juni, vilket är standardinställningen i WUFI. Årsmedeltemperaturerna som användes hämtades från SMHI:s dataserier (SMHI, 2024) och återfinns i nedanstående tabell.

Tabell 4.5: Årsmedeltemperatur och initial temperatur för jord och grus i platta på mark för Lund, Stockholm och Luleå-Bergnäset.

Plats	Årsmedeltemperatur [°C]	Initial temperatur för jord och grus [°C]
Lund	9,0	12
Stockholm	7,9	11

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Luleå-Bergnäset	2,8	6
-----------------	-----	---

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Vidare antogs den relativa fuktigheten vara 100 % eftersom jorden antogs vara vattenmättad långt ner i marken. Konstruktionens orientering sattes till 0° eftersom golvet är en horisontell konstruktion. Orienteringen bedömdes vara irrelevant då konstruktionen inte direkt exponeras för yttre faktorer såsom solstrålning, slagregn eller vind. Slutligen ansattes jordens övergångsmotstånd till 0,04 m²K/W (Sandin, 2010).

4.8.3 Invändigt klimat

Det invändiga klimatet representerade klimatet i rummet ovanför golvkonstruktionen. För att säkerställa en realistisk modellering användes ISO-standardEN 15026, vilken är tillgänglig i WUFI, för respektive ort. Vidare sattes fukttillskott (v_{FT}) till normalt med ett tillägg på 5 % för att representera ett designvärde, vilket innebar en något högre nivå än det förväntade fukttillskottet. Eftersom fukttillskottet är starkt beroende av brukarbeteenden och därmed kan variera relativt mycket gjordes bedömningen att inkludera en säkerhetsmarginal i beräkningarna. Övergångsmotståndet för platta på mark användes, vilket är 0,17 m²K/W (Sandin, 2010).

4.9 Indata mellanbjälklag

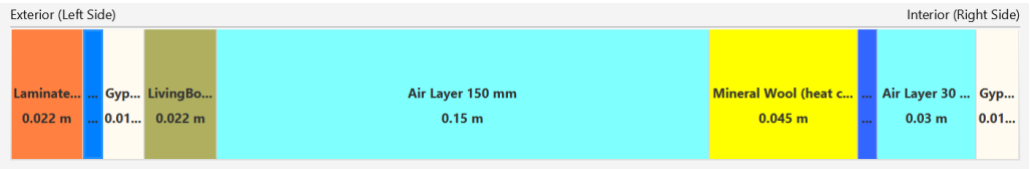
4.9.1 Material

För mellanbjälklagets två olika fall användes följande material ur materialdatabasen i WUFI, se Tabell 4.6 och Tabell 4.7. Konstruktionernas utformningar illustreras även i Figur 4.12 och Figur 4.13.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 4.6: Indata material och initiala förutsättningar WUFI Pro, mellanbjälklag med isolering.

Konstruktion		Initiala förutsättningar				
Material	Materialdata	Tjocklek [m]	Initial temperatur [°C]	Relativ fuktighet [-]	Vatteninnehåll [kg/m³]	Byggfukt [kg/m³]
Lamellgolv	Laminate flooring	0,022	20	0,02692	5	5
Plastfolie	vapor retarder (sd=100m)	0,001	20	0	0	0,001881
Gipsskiva	Gypsum board	0,013	20	0,8	6,3	6,3
Spånskiva	LivingBoard face contiprotect P5 (22mm)	0,022	20	0,8	74,4	74,4
Luftspalt	Air layer 150 mm	0,150	20	0,02003	0,01	0,01
Mineralull	Mineral wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	0,045	20	0,8	1,787	1,787
Punkterad plastfolie	TRASPIR 150	0,001	20	0	0	0,001881
Luftspalt	Air layer 30 mm	0,030	20	0,8	1,88	1,88
Gipsskiva	Gypsum board	0,013	20	0,8	6,3	6,3

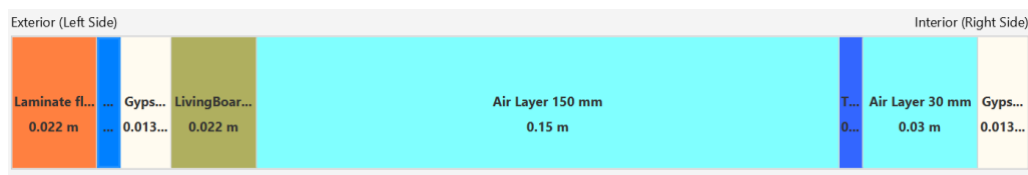


Figur 4.12: Konstruktion i WUFI Pro, mellanbjälklag med isolering.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 4.7: Indata material och initiala förutsättningar WUFI Pro, mellanbjälklag utan isolering.

Konstruktion		Initiala förutsättningar				
Material	Materialdata	Tjocklek [m]	Initial temperatur [°C]	Relativ fuktighet [-]	Vatteninnehåll [kg/m³]	Byggfukt [kg/m³]
Lamellgolv	Laminate flooring	0,022	20	0,02692	5	5
Plastfolie	vapor retarder (sd=100m)	0,001	20	0	0	0,001881
Gipsskiva	Gypsum board	0,013	20	0,8	6,3	6,3
Spånskiva	LivingBoard face contiprootect P5 (22mm)	0,022	20	0,8	74,4	74,4
Luftspalt	Air layer 150 mm	0,150	20	0,02003	0,01	0,01
Punkterad plastfolie	TRASPIR 150	0,001	20	0	0	0,001881
Luftspalt	Air layer 30 mm	0,030	20	0,8	1,88	1,88
Gipsskiva	Gypsum board	0,013	20	0,8	6,3	6,3



Figur 4.13: Konstruktion i WUFI Pro, mellanbjälklag utan isolering.

Samtliga begynnelsevillkor för mellanbjälklagen utgick från de typiska värdena för byggfukt genererade i WUFI.

Luftspalter

Vid beräkningarna av mellanbjälklagen användes luftspalter i modellerna. I WUFI finns två typer av luftspalter, en med lägre fuktkapacitet som motsvarar verkliga förhållanden och en med högre fuktkapacitet som främst används i anslutning till materialtyper (Wallentén, 2018). Enligt materialdatabasen bör luftspaltens storlek inte ändras. Här användes den vanliga luften med den tjocklek som var närmst konstruktionens verkliga luftspalts tjocklek.

4.9.2 Utvändigt och invändigt klimat

För mellanbjälklaget antogs det utvändiga och invändiga klimatet vara identiska eftersom konstruktionen på båda sidor om bjälklaget befinner sig i ett inomhusklimat. Likt fallet med platta på mark användes ISO-standarden EN 15026 och ett normalt fuktillskott med 5 % för att uppnå ett designvärde för klimatförhållandena. För mellanbjälklaget är värmemotståndet 0,13 m²K/W (Sandin, 2010).

4.10 Metod för utvärdering

I resultatanalysen undersöktes relationen mellan approximerad framledningstemperatur och yttemperatur för att skapa en förståelse av systemets verkan. Samtidigt noterades den relativa fuktigheten och om den översteg 75 % under en längre period ansågs det vara en indikation på för hög kyleffekt, även om det inte sågs som en absolut gräns. Både temperatur och relativ fuktighet undersöktes genom analys av grafer och isopleter hämtade från WUFI. Vidare beräkningar och undersökningar av mögel gjordes med hjälp av WUFI Mould Index VTT. Även konstruktionselementens vatteninnehåll undersöktes för att säkerställa att en ständig ökning av fuktinnehåll inte sker. I de fall där fuktinnehållet fortsätter öka kommer konstruktionen till slut få fuktrelaterade problem. Utifrån fuktinnehållet i ytskikten genomfördes även en bedömning av riskerna för sprick- och springbildning. Analys och presentation av resultat återfinns i kapitel 5.

4.10.1 WUFI Graph

För att möjliggöra en tydlig visualisering och analys av de tvärsnitt i konstruktionerna som var av särskilt intresse, det vill säga de områden där monitorer hade placerats, användes analysverktyget WUFI Graph. WUFI Graph underlättade avläsningen och tolkningen av de hygrotermiska parametrarna genom att presentera resultaten i form av lättöverskådliga grafer. Graferna bidrog till att identifiera och analysera relevanta fukt- och temperaturförhållanden i konstruktionerna, vilket var avgörande för den fortsatta resultatanalysen. Vidare gör WUFI Graph det möjligt att kombinera resultat från olika beräkningar i samma graf vilket underlättar jämförelse mellan de olika fallen. Ifrån WUFI Graph exporterades även data till Excel för vidare bearbetning.

4.10.2 Gränsvärden för temperatur och relativ fuktighet

Den beräknade kyleffekten baserades, som tidigare nämnts, på antaganden om golvets yttemperatur inom intervallet 16 °C till 24 °C. Efter genomförda beräkningar kunde en mer realistisk yttemperatur fastställas för respektive kyleffekt. Enligt BBR fick yttemperaturen inte understiga 16 °C, vilket baserat på litteraturstudien skulle kunna upplevas som för kallt ur ett komfortperspektiv. Den övre gränsen sattes till 24 °C, då en högre yttemperatur inte antogs bidra till någon märkbar kylande eller svalkande effekt.

De ingående materialens nivå för högsta tillåtna fuktillstånd är varierande, men utifrån BBR ansågs en relativ fuktighet på över 75 % vara det initiala gränsvärdet i samtliga konstruktionsdelar. Gränsvärdet kunde dock överskridas under korta och begränsade tidsperioder utan att det anses kritiskt. För att bedöma potentiella risker genomfördes ytterligare analyser, inklusive riskbedömningar av mögelbildning samt sprick- och springbildning, då flera faktorer påverkar fuktrelaterade risker. En relativ fuktighet över

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

75 % kan således betraktas som acceptabel under vissa förhållanden, men gränsvärdet användes främst för att identifiera nivåer där fuktförhållandena började bli relevanta snarare än att fungera som en absolut gräns.

I WUFI Pro presenterades även förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet i form av isopleter. Varje punkt i diagrammet motsvarade en kombination av temperatur på x-axeln och relativ fuktighet på y-axeln som baserades på timvisa beräkningsvärden under den simulerade perioden. I isopletdiagrammet markerades även en gränslinje för fuktighet kopplat till temperatur, om gränsvärdet överstegs kunde det finnas eventuell risk för mögeltillväxt. Isopletdiagrammen gav därmed möjlighet till en initial visuell bedömning kring de olika konstruktionsdelarnas risk för mikrobiell aktivitet. (Fraunhofer IBP, 2021)

4.10.3 Ytemperatur

Vid genomförandet av beräkningarna i WUFI Pro togs även ytemperaturen fram. Kyleffekterna som användes utgick från en tänkt, konstant ytemperatur på golvet under de timmar då systemet är aktivt. Genom att konstatera ytemperaturerna för golvet i WUFI kunde en uppfattning om systemets verkliga effekt möjliggöras och även större misstag kring förståelsen av hur systemet fungerar upptäckas. För ytemperaturen jämfördes alltså den tänkta temperaturen med den temperatur som programmet genererade för respektive kyleffektsfall och konstruktion.

4.10.4 Framledningstemperatur

Utifrån de grafer som genererades genom beräkningarna kunde temperaturförändringarna i samtliga delar av konstruktionen under den aktuella tidsperioden analyseras. För att bestämma framledningstemperaturen i slingorna för respektive fall användes en monitor, placerad vid slingornas position och där kyleffekten var inlagd i WUFI-modellen, för att möjliggöra en analys av temperaturvariationerna vid positionen över tid. Temperaturen ovanför sänkan antogs representera köldmediets temperatur i slingorna. Eftersom temperaturerna förväntades variera under den period då kylsystemet var aktivt, beräknades ett approximativt medelvärde och dess variation baserat på de lägsta temperaturvärdena i grafen för framledningstemperaturen.

4.10.5 Vatteninnehåll

De resulterande graferna möjliggör även avläsning av varje materials vatteninnehåll över tid. Vid analys av vatteninnehållet i konstruktionsdelarna studerades grafernas trend. Om vatteninnehållet visade en kontinuerlig ökning, vilket resulterade i en uppåtgående kurva över tid, antogs konstruktionen vara otillräcklig då det indikerar en hög sannolikhet för fuktelaterade problem. I sådana fall bedömdes det inte nödvändigt att genomföra ytterligare undersökningar för det aktuella scenariot eftersom det redan kunde fastställas att lösningen inte var hållbar.

4.10.6 Riskbedömning mögel

En kvantitativ riskbedömning med avseende på mögeltillväxt i de undersökta konstruktionerna genomfördes med hjälp av WUFI Mould Index VTT. Som beskrivet i teoriavsnittet bygger funktionen på framtagnings av ett mögelindex som presenteras i grafer för vald position. Mögelindexet indikerar den förväntade risken för mikrobiell

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

tillväxt. För att underlätta en översiktlig bedömning av risknivån finns som nämnts även ett ”trafikljussystem”, där grönt ljus indikerar en acceptabel risknivå. Som tidigare nämnts i avsnitt 2.5.1 återfinns inte alla material från huvudprogrammet i mögelmodellen vilket gör att vissa material behöver ersättas. De undersökta punkterna samt materialen i dessa punkter för varje konstruktion återfinns i Tabell 4.5 och Tabell 4.6 nedan. Notera att identiska punkter och material som utvärderades valdes för de båda mellanbjälklagen.

Tabell 4.5: Undersökta punkter för mögelpåväxt i WUFI VTT, platta på mark.

Position	Material i mögelmodellen
Golvets ytskikt	Spruce board
Golvskiktets undersida, ovanför plastfolie	Spruce board
Mellan betong och plastfolie	Concrete (ASHRAE) (smuts på ytan antas)

Tabell 4.6: Undersökta punkter för mögelpåväxt i WUFI VTT, mellanbjälklag.

Position	Material i mögelmodellen
Golvets ytskikt	Spruce board
Golvskiktets undersida, ovanför plastfolie	Spruce board
Gipsskivans översida, under plastfolien	Spruce board
Övre delen av spånskivan	Spruce board
Spånskivans undersida	Spruce board
Ytskiktet i mellanbjälklagets underkant	Spruce board

Beräkningarna genomfördes i systematisk ordning från fallet med störst kyleffekt och gradvis minskade. En konstruktion ansågs ha en godkänd förväntad nivå av mögel då graferna för samtliga positioner i konstruktionen visade på ett mögelindex under eller lika med ett, det vill säga grönt ljus. Med antagandet att en lägre kyleffekt innebär en minskad risk för mögelpåväxt klassificerades de efterföljande scenarierna med lägre kyleffekt än det första godkända scenariot som godkända.

4.10.7 Riskbedömning fuktbetingade rörelser

Som fortsättning på riskbedömningen för mögel gjordes även en riskbedömning för både sprick- och springbildning. Denna riskbedömning avgränsades till de fall där mögel inte ansågs vara en risk, dvs där alla punkter för en kyleffekt visar ett grönt trafikljus i mögelmodellen. Även här frångicks Fraunhofer IBP:s och LTH:s databaser av samma anledning som beskrivs i avsnitt 0.

4.10.7.1 Riskbedömning sprickbildning

För att analysera risken för sprickbildning modellerades konstruktionerna i WUFI som tidigare med skillnaden att golv materialet byttes ut till ett furugolv. Vidare kompletterades filerna för kyleffekter med effekt för golvvärme under uppvärmningssäsong. Uppvärmningssäsongen antogs vara mellan november och mars med en effekt på 100 W/m^2 vilket valdes då det efter sökning verkar vara en vanlig effekt i ett vattenburet golvvärmesystem (Värmegolv, u.å.). För att kvantifiera materialets

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

fuktkvot användes WUFI Graph vilket möjliggjorde en separation av vattenhalten i golvets övre skikt samt undre skikt. Fuktkvoten beräknades sedan enligt ekvation (4.2) för respektive skikt.

$$Fuktkvot = \frac{Vatteninnehåll}{Densitet} \quad (4.2)$$

Där

Fuktkvot är ett mått på hur mycket vatten som materialet innehåller i förhållande till dess torra volym [%]

Vatteninnehåll är det framräknade vatteninnehållet i en byggnadsdel eller del av byggnadsdel hämtat från beräkningarna [kg/m³]

Densitet är det aktuella materialets skrymdensitet enligt databasen i WUFI [kg/m³]

Därefter visualiserades fuktkvoterna för det övre och undre skiktet i ett gemensamt diagram för att utvärdera eventuella skillnader i fuktfördelningen. Visualiseringen utfördes baserat på beräkningsresultaten från år 10 i huvudprogrammet. Genom att jämföra kurvorna kunde skillnader i fuktdynamik mellan skikten identifieras, vilket indikerar potentiell materialspänning samt ge en bild av hur golvet skulle kunna deformeras. Slutligen analyserades graferna för att bedöma golvets dimensionella rörelser i förhållande till de observerade fuktkvoterna. Kopplingen mellan fuktvariationer och strukturell deformation utgör en kritisk del av riskbedömningen för sprickbildning.

För att skapa en förståelse för hur golvkylan påverkar risken för sprickbildning jämfördes differensen mellan övre och undre fuktkvot vid beräkning med golvkyla och golvvärme med motsvarande differens vid beräkning utan golvslingor. Här var alltså referensfallet utan någon adderad värme- eller kyleffekt under året. Därefter visualiserades de två olika fallen i en graf för att illustrera hur stor skillnad som installationen av ett golvvärmesystem kombinerat med golvkyla resulterade i.

4.10.7.2 Riskbedömning springbildning

För bedömning av springbildningen användes de beräkningar som även använts vid riskbedömning för sprickbildning. Även här användes furu som golvmaterial i modellen. Den stora skillnaden jämfört med riskbedömningen för sprickbildning var att en minsta och en högsta fuktkvot för hela golv materialet beräknades i stället för ett övre och ett undre skikt. Vidare behövdes även träets fibermättnadspunkt samt den maximala fuktrörelsen i aktuell riktning, vilket i detta fall var radiell riktning, vilka hämtades från Burström, 2021. Från samma källa hämtades även följande ekvationer som användes för att beräkna springbildningen i golvet.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

$$\Delta\alpha = \frac{u_2 - u_1}{u_f} \cdot \alpha_f \quad (4.3)$$

$$\Delta L = \Delta\alpha \cdot L \quad (4.4)$$

Där

$\Delta\alpha$ är fuktrörelsen vid aktuell ändring av fuktkvoten

u_2 är den högsta fuktkvoten i golvmaterialiet under ett år

u_1 är den lägsta fuktkvoten i golvmaterialiet under ett år

α_f är maximal fuktrörelse i aktuell riktning

u_f är fibermättnadspunkten

ΔL är ändringen i bredd, längd eller tjocklek [m]

L är den ursprungliga dimensionen (bredd, längd eller tjocklek) [m]

Vid beräkning av ändring i golvplankornas bredd ansattes två olika bredder för plankorna i golvet, en för ett tänkt massivt golv på 145 mm samt en för ett tänkt parkettgolv på 70 mm. De framräknade ändringarna i plankornas bredd jämfördes sedan med ett gränsvärde för högsta tillåtna ändring i en plankas bredd. Det finns inget specifikt krav för massivt trägolv gällande springbredd, men ett riktvärde som kan användas är 1 % av ursprunglig bredd, vilket är gränsen för massiva parkettbrädor inomhus enligt AMA Hus 24 (Svensk Byggtjänst, 2024). De framräknade resultaten jämfördes sedan med ett referensfall vilket inte innehöll någon golvkyla eller golvvärme samt ett fall som endast innehöll golvvärme. Även den totala ändringen av golvets bredd togs fram och rummet antogs då vara 5,4 meter brett utifrån ritningarna tillhandahållna av en ledande svensk hustillverkare.

4.11 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomfördes i syfte att identifiera de parametrar med störst påverkan på beräkningsresultaten och för att möjliggöra en bedömning av modellens känslighet för variationer i indata. Samtliga konstruktioner med tillhörande kyleffekt för att uppnå 20 °C ytemperatur på golvet i orten Lund valdes som utgångspunkt för känslighetsanalysens första del. Genom systematisk variation av en parameter åt gången och efterföljande jämförelse av resultaten genomfördes sedan känslighetsanalyser på samtliga konstruktioner.

Känslighetsanalysen utgår från metodiken i Räkna F (Wallentén, 2018). Först bestämdes utparametrar som var relevanta för modellen. De utparametrar som analysen utgår från är vatteninnehåll i golvets övre och undre skikt, ytemperatur på golvet, systemets framledningstemperatur och mögelindex. Därefter identifierades nyckelparametrar som skulle kunna påverka resultaten. De nyckelparametrar som användes var fuktbelastningar i klimatdata, ökning av maximal inomhustemperatur i klimatdata, vilket material som användes för ytskikt samt addering av golvvärme. För respektive konstruktion varierades varje nyckelparameter där sedan en analys av varje utparameter gjordes.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

För vatteninnehållet i golvets övre och undre skikt gjordes en vidare analys av risken för fuktbetingade rörelser kopplat till sprickbildning. Gällande springbildning analyseras, som nämnts i avsnitt 4.10.7.2, vatteninnehållet i hela golvmaterialiet utan att delas upp i skikt. Vid analysen av sprick- och springbildningen användes samma nyckelparametrar som för de andra utparametrarna, med undantag att endast ett ytmaterial varierades. Beräkningarna för sprick- och springbildningen utgår från konstruktioner med furu och därmed var ändringen i känslighetsanalysen användning av ekgolv. Vidare bortses fallet som enbart innefattar golvvärme då huvudberäkningarna kopplat till fuktbetingade rörelser redan inkluderar detta. För denna känslighetsanalys undersöktes samtliga konstruktioner med en önskad yttemperatur på 20 °C i orten Lund.

4.11.1 Grafisk presentation av känslighetsanalys

För att möjliggöra bedömning av icke-linjära samband för mögelindex samt springbildning skalades varje parameter dimensionslöst mot min- och maxvärdet enligt ekvation (4.5). Vidare presenteras resultatet grafiskt genom användning av en dimensionslös x-axel för att olika parametrar skulle kunna samlas för samma utparameter. Det är viktigt att minimivärdet och maximumvärdet som väljs representerar realistiska och relevanta värden för att undvika en missvisande jämförelse.

$$x_b = \frac{b - b_{min}}{b_{max} - b_{min}} \quad (4.5)$$

Där

x_b är det dimensionslösa x-värdet

b är skalningen på en viss parameter

b_{min} är minimivärdet på parametern

b_{max} är maximivärdet på parametern

4.11.2 Nyckelparametrar

4.11.2.1 Fukttillskott

Den första parametern som ingick i känslighetsanalysen var ändring av fuktbelastningen i form av inomhusklimatets fukttillskott. Som tidigare beskrivet i metoden användes normal fuktbelastning med ett tillägg på 5 % i huvudberäkningarna, vilket i känslighetsanalysen ändrades till högsta möjliga fuktbelastning.

4.11.2.2 Ytskiktets material

En annan parameter som ändrades i känslighetsanalysen var golvmaterialiet i de olika konstruktionerna. Här undersöktes två olika golvmaterial i form av furu och ek, där radiell riktning valdes för båda. Densiteten för träslagen erhöles från WUFI där densiteten för furu är 510 kg/m³ och densiteten för ek är 685 kg/m³. Som tidigare nämnts under avsnitt 0 frångicks Fraunhofer IBP:s och LTH:s databaser då furu användes som golvmaterial då furu i radiell riktning inte återfanns i dessa. För känslighetsanalysen som gjordes på sprick- och springbildningen var det endast ek som ändrades eftersom huvudberäkningarna redan utgick från furu som ytmaterial.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

4.11.2.3 Ökning av maximal inomhustemperatur

Ytterligare en parameter som ingick i känslighetsanalysen var ändring av maximal temperatur för det invändiga klimatet, där utgångspunkten var samma som beskrivs i avsnitt 4.8.3. Då inomhustemperaturen enligt ISO-standarden EN 15026 i WUFI varierar med utomhustemperaturen gjordes en modifiering av klimatfilen för Lund för att uppnå en ökad maximal inomhustemperatur på 35 °C.

4.11.2.4 Golvvärme

Den sista parametern som ingick i känslighetsanalysen var att använda golvvärme under tänkt uppvärmningssäsong, som antogs vara mellan november och mars. Detta gjordes genom att komplettera relevanta filer för kyleffekt med en värmeeffekt som antogs vara 100 W/m². För känslighetsanalysen av resultaten för sprick- och springbildning gjordes ytterligare modifikationer av filerna där kyleffekten togs bort helt och endast golvvärme användes som nyckelparameter.

4.11.3 Fuktbetingade rörelser

Till skillnad från övriga analyser i arbetet baserades beräkningarna av fuktbetingade rörelser på ett golvmaterial av furu. Därmed genomfördes endast ett materialbyte i känslighetsanalysen, vilket innebär att referensfallet avviker från övriga delar av analysen. En ytterligare justering var att golvvärme inte lades till i kyleffekten, eftersom den redan ingick i referensfallet. De nyckelparametrar som varierades för att studera sprick- och springbildning var ökning av fukttillskott, byte av golvmaterial till ek samt ökning av maximal inomhustemperatur.

5 Resultat och Analys

Vid analys av resultaten tillämpades en systematisk uteslutningsmetod, där de kyleffektsfall som inte uppfyllde de specificerade kriterierna för respektive undersökt aspekt exkluderades successivt inför efterföljande analyssteg.

5.1 Gränsvärden för relativ fuktighet

Även om den relativa fuktigheten i många fall översteg kritiska gränsvärden är det svårt att bedöma hur stor skada som kan förväntas på konstruktionen baserat endast på detta. Genom en kvalitativ bedömning av de grafer som presenteras i WUFI konstaterades att den högsta relativa fuktigheten förväntas uppkomma i fallen med störst kyleffekter, det vill säga vid de fall som har lägst framledningstemperatur och ytemperatur. Det fanns fall med 100 % relativ fuktighet, vilket indikerar att kondens bildas och därmed förväntas fuktrelaterade problem. Ett av de fall som ständigt hade en relativ fuktighet som översteg gränsvärdet på 75 % var golvytan för platta på mark i Lund för kyleffekten som eftersträvar 16 °C ytemperatur, vilket indikerade att den inte skulle klara av gränsen förberäknat mögelindex. I många fall var dock den relativa fuktigheten hög under en kortare period, vilket gjorde att risken för mögel svårbedömd varför samtliga fall analyserades vidare genom att mögelindex beräknades. Även de fall där risken förväntades vara stor undersöktes vidare då det endast var ett fåtal.

5.2 Yt- och framledningstemperatur

Resultaten för yt- och framledningstemperaturer för plattan på mark på de olika orterna presenteras nedan. Tabellerna åskådliggör en enkel koppling mellan vad respektive framledningstemperatur resulterar i för ytemperatur enligt beräkningarna i WUFI. För samtliga konstruktioner på de olika orterna kunde det konstateras att BBR:s krav på en högsta ytemperatur på 26 °C aldrig överstegs. Värt att poängtera är att beräkningarna genomfördes med ett tidssteg på en timme, vilket innebär att den största beräknade temperaturen kan vara något missvisande då det är ett trögt system och det därmed krävs en viss tid innan systemet stabiliseras. Vidare diskussioner bör också föras kring lägsta temperaturen för varje konstruktion då problematik kopplat till komfort kan antas uppstå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.1: Yt- och framledningstemperaturer, Platta på mark Lund.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Ytemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C ytemperatur	6,1	8,2	13,9	17,5	14,6
17 °C ytemperatur	10,3	11,6	16,1	20,9	17,2
18 °C ytemperatur	11,9	13,3	17,3	21,2	18,1
19 °C ytemperatur	13,7	15,1	18,3	21,5	19,0
20 °C ytemperatur	15,5	16,8	19,3	21,8	19,9
21 °C ytemperatur	17,3	18,6	20,3	22,1	20,9
22 °C ytemperatur	19,1	20,1	21,3	22,4	21,8
23 °C ytemperatur	20,9	21,5	22,4	23,1	22,8
24 °C ytemperatur	22,4	22,8	22,4	23,9	23,7

Tabell 5.2: Yt- och framledningstemperaturer, Platta på mark Stockholm.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Ytemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde
16 °C ytemperatur	8,9	10,1	15,3	20,7	16,6
17 °C ytemperatur	10,5	11,7	16,2	21,0	17,3
18 °C ytemperatur	11,9	13,3	17,5	21,3	18,2
19 °C ytemperatur	13,7	15,0	18,4	21,6	19,1
20 °C ytemperatur	15,5	16,7	19,3	21,9	20,0
21 °C ytemperatur	17,3	18,5	20,1	22,2	20,9
22 °C ytemperatur	19,1	20,1	20,7	22,5	21,8
23 °C ytemperatur	20,9	21,4	22,1	23,2	22,8
24 °C ytemperatur	21,7	22,8	22,9	23,9	23,7

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

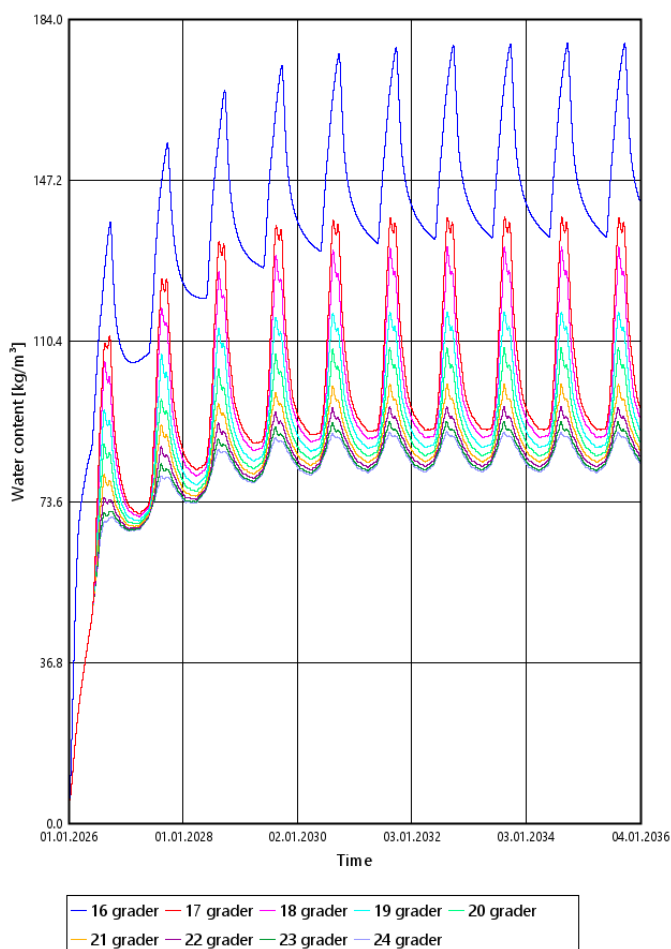
Tabell 5.3: Yt- och framledningstemperaturer, Platta på mark Luleå.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde
16 °C yttemperatur	8,9	10,5	15,5	19,3	16,7
17 °C yttemperatur	10,4	12,0	16,3	19,8	17,4
18 °C yttemperatur	11,9	13,7	17,5	20,3	18,3
19 °C yttemperatur	13,7	15,3	18,5	20,8	19,1
20 °C yttemperatur	15,5	17,0	19,5	21,3	20,0
21 °C yttemperatur	17,3	18,6	20,5	21,9	20,9
22 °C yttemperatur	19,1	20,1	21,2	22,4	21,7
23 °C yttemperatur	20,7	21,4	22,4	23,0	22,7
24 °C yttemperatur	22,1	22,6	23,2	23,8	23,6

5.3 Vatteninnehåll

Resultaten kopplade till golvmaterialets vatteninnehåll visualiseras med hjälp av analysverktyget WUFI Graph. Figur 5.1 nedan visar resultatet för plattan på mark placerad i Lund där den angivna temperaturen i legenden hänvisar till vilken kyleffekt som använts i huvudberäkningen, det vill säga vilken ytemperatur på golvet som eftersträfvats. Resterande grafer, för samtliga undersökta konstruktioner och konstruktionsdelar, uppvisade liknande tendenser. Vatteninnehållet stabiliserades i de flesta fall efter några års beräkning eller inleddes på en låg nivå och ökade därefter endast marginellt. I och med att resultaten inte visade ett systematiskt ökat vatteninnehåll i något fall kunde ingen av konstruktionerna eller kyleffekterna uteslutas med hänsyn till att vatteninnehållet fortsatte att öka kontinuerligt.

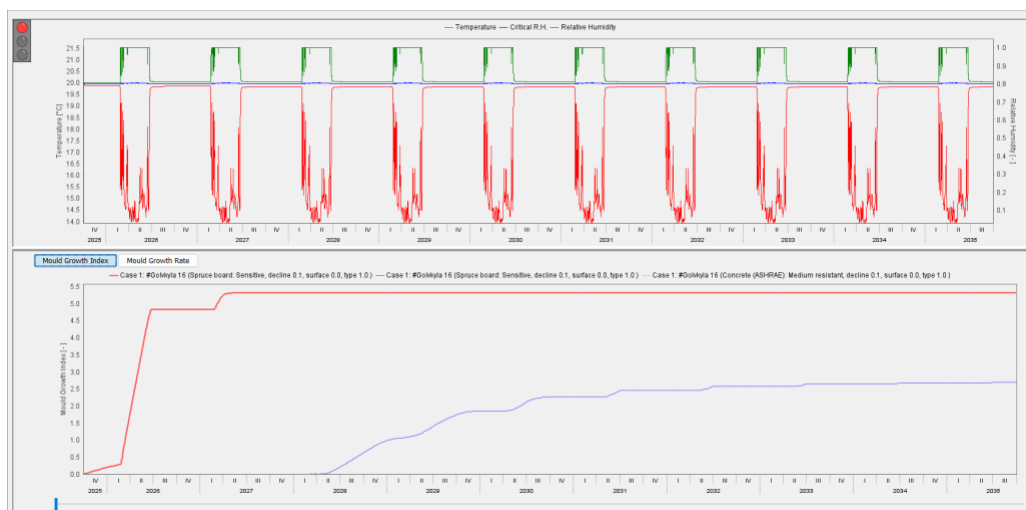
Water Content



Figur 5.1: Ytmaterialets vatteninnehåll för samtliga kyleffektsfall, Platta på mark Lund. Hämtat från WUFI Graph.

5.4 Riskbedömning mögel

En sammanställning av resultaten för riskbedömning av mögelpåväxt presenteras i efterföljande avsnitt med tillhörande tabeller. För att förenkla presentationen av resultaten anges färgen på trafikljuset i varje position samt beräknat mögelindex för respektive fall enligt mögelmodellen. De beräkningar som gjorts utan golvkyla i de olika konstruktionerna benämns som referensfall. Figur 5.2 visar hur resultatet presenterades i VTT för platta på mark i Lund med en köldeffekt beräknad för 16 °C yttemperatur. Den översta grafen i figuren (grön) visar relativ fuktighet, gränsvärdet för relativ fuktighet (lila) och temperatur (röd) över de tio beräkningsåren för aktuellt skikt, vilket här är plattans ytskikt. Den nedre grafen visar mögelindex för ytskiktet (röd) samt mögelindex för undersidan av golvmaterial, i anslutning till underliggande plastfolie (blå).



Figur 5.2: Resultat i VTT för Platta på mark Lund, 16 °C yttemperatur.

5.4.1 Lund

Utifrån tabellen nedan för mellanbjälklaget med isolering framgår att den första kyleffekten som kan anses vara helt godkänd är den som eftersträvar en ytemperatur på 21 °C. Värt att notera är att för både plattan på mark och mellanbjälklaget utan isolering kan konstruktionerna anses vara godkända vid en kyleffekt som eftersträvar 20 °C ytemperatur, tabeller för dessa återfinns i Bilaga 3.

Tabell 5.4: Mögelindex för undersökta punkter, Mellanbjälklag med isolering Lund.

Kyleffektsfall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0,001	0,001	0	0
16 °C ytemperatur	4,77	0,482	4,71	5,08	5,25	0
17 °C ytemperatur	2,51	0	4,32	4,76	5,22	0
18 °C ytemperatur	0,669	0	3,37	3,81	5,1	0
19 °C ytemperatur	0,179	0	1,25	1,68	4,68	0
20 °C ytemperatur	0,048	0	0,254	0,366	3,55	0
21 °C ytemperatur	0	0	0,012	0,058	0,811	0
22 °C ytemperatur	0	0	0,001	0,001	0,06	0
23 °C ytemperatur	0	0	0,001	0,001	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0,001	0,001	0	0

5.4.2 Stockholm

Precis som för Lund är den kyleffekt som kan anses vara helt godkänd för Stockholm även den som eftersträvar 21 °C yttemperatur. Även här är det mellanbjälklaget med isolering som är den konstruktion som är den mest kritiska. För plattan på mark och mellanbjälklaget utan isolering, som återfinns i Bilaga 3, går den kritiska gränsen vid den kyleffekt som eftersträvar 19 °C yttemperatur.

Tabell 5.5: Mögelindex för undersökta punkter, Mellanbjälklag med isolering Stockholm.

Kyleffektsfall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0,001	0,001	0	0
16 °C yttemperatur	4,49	0,125	3,01	3,47	5	0
17 °C yttemperatur	1,61	0	1,29	1,61	4,77	0
18 °C yttemperatur	0,369	0	0,369	0,497	4,35	0
19 °C yttemperatur	0,143	0	0,162	0,234	3,39	0
20 °C yttemperatur	0,04	0	0,001	0,038	1,21	0
21 °C yttemperatur	0	0	0,001	0,001	0,221	0
22 °C yttemperatur	0	0	0,001	0,001	0,013	0
23 °C yttemperatur	0	0	0,001	0,001	0	0
24 °C yttemperatur	0	0	0,001	0,001	0	0

5.4.3 Luleå

Tabellen nedan visar resultatet för beräknat mögelindex i platta på mark i Luleå, där det framgår att den kritiska gränsen går vid kyleffekten som har en önskad ytemperatur på 17 °C. Alltså är kyleffekten som eftersträvar 18 °C ytemperatur den som först kan anses vara godkänd. Samma resultat gäller för mellanbjälklaget med isolering medan mellanbjälklaget utan isolering kan anses vara godkänt vid en kyleffekt för 17 °C ytemperatur. Tabeller för de två sistnämnda återfinns i Bilaga 3.

Tabell 5.6: Mögelindex för undersökta punkter, Platta på mark Luleå.

Kyleffektsfall	Position		
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Mellan betong och plastfolie
Referensfall	0	0	0
16 °C ytemperatur	4,11	0	0
17 °C ytemperatur	1,74	0	0
18 °C ytemperatur	0,449	0	0
19 °C ytemperatur	0,168	0	0
20 °C ytemperatur	0,05	0	0
21 °C ytemperatur	0,009	0	0
22 °C ytemperatur	0	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0

För vidare undersökningar relaterade till fuktbetingade rörelser, baserade på resultaten gällande mögelindex, var det alltså kyleffekterna från och med 21 °C ytemperatur och uppåt som användes för både Lund och Stockholm. För konstruktionerna placerade i Luleå undersöktes fallen redan vid kyleffekten som uppnår 18 °C ytemperatur och uppåt.

5.5 Riskbedömning fuktbetingade rörelser

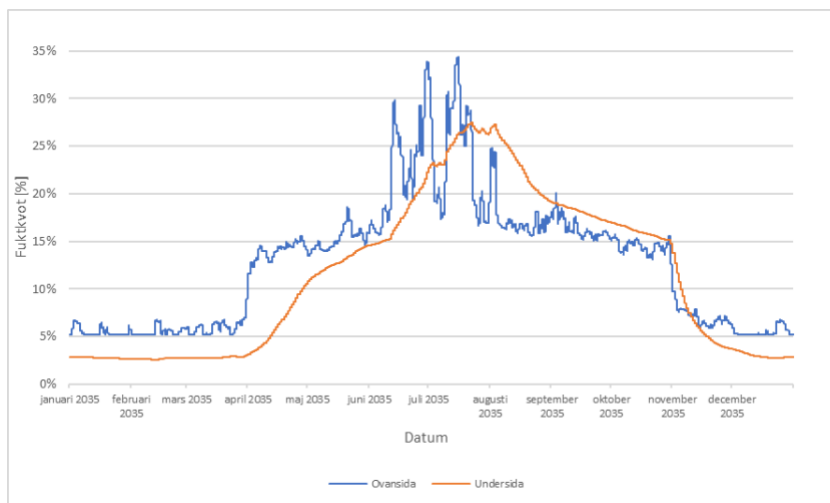
I riskbedömningen för fuktbetingade rörelser undersöktes de olika bjälklagen med de kyleffekter som ansågs vara godkända från avsnitt 5.4 för respektive ort. I båda fallen, det vill säga både sprick- och springbildning, var det skillnaden mellan olika kyleffekter som var av intresse snarare än att undersöka om de olika scenariona överstiger en absolut gräns. Undersökningen genomfördes alltså för att möjliggöra resonemang kring hur installation av golvkyla påverkar konstruktionerna.

5.5.1 Sprickbildning

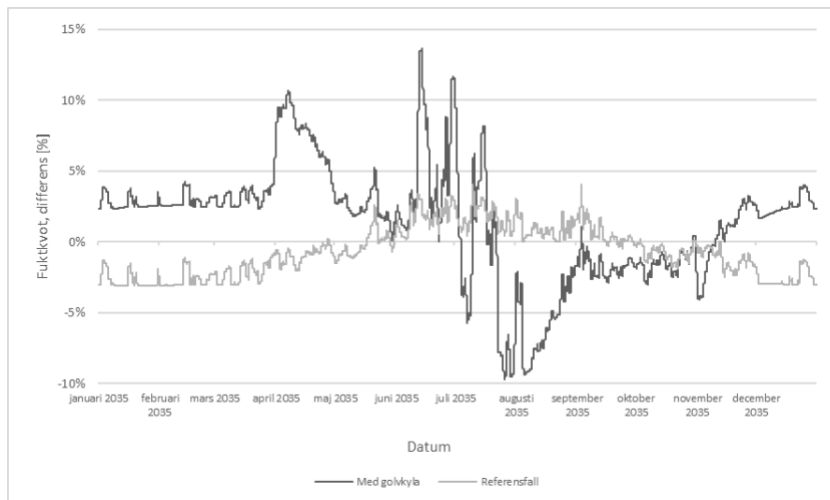
Resultatet för beräkningarna av sprickbildningen visade en skillnad i fuktkvot mellan övre och undre skiktet i golvmaterialiet. Det framkom även att det för majoriteten av

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

fallen, med undantag för mellanbjälklagen i Stockholm, var större differens mellan fuktkvoterna vid användning av golvkyla och golvvärme jämfört med referensfallet. Vidare resulterade en ökning i framledningstemperatur att differensen blev mer och mer lik den för referensfallet för samtliga konstruktioner. Nedan presenteras platta på mark Luleå med en golvkyla på 18 °C ytttemperatur som ett exempel på det värsta fallet och för att visa diagrammens utformning, se Figur 5.4 och Figur 5.3. Diagram för varje plats största respektive minsta kyleffektsfall som togs fram under beräkningarna för sprickbildning återfinns i Bilaga 4.



Figur 5.3: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, 18 °C ytttemperatur, Platta på mark Luleå.



Figur 5.4: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och med 18 °C ytttemperatur, Platta på mark Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Samtliga resultat visade att användning av golvvärme och golvkyla är något som påverkar skillnaden i fuktkvot mellan ovansida och undersida av golvmaterialen. I referensfallet, då varken uppvärmning eller kylning sker, var fuktkvoten generellt högre i underkant under de kalla månaderna och högre i ovankant under de varma månaderna, vilket återspeglar naturliga fuktgradienter. I fallen med aktiv golvvärme och golvkyla var detta mönster omvänt, det vill säga fuktkvoten var högre på ovansidan under vintern då värmen var aktiv och högre på undersidan under sommaren då golvkyla användes.

Det var skillnad i hur fuktkvoten varierar mellan de olika städerna. Mellanbjälklagen i Stockholm, både med och utan isolering, stack ut då differensen var markant större jämfört med övriga fall. Det observerades dock även i referensfallet, vilket tyder på att skillnaden inte primärt beror på själva uppvärmningen eller kylningen. Referensfallet för de konstruktionerna hade även en större differens i fuktkvot jämfört med golvvärme och golvkyla, vilket indikerar att golvkylan i just de konstruktionerna kan ha en utjämnande effekt på fuktkvotsskillnaderna och därmed minska risken för sprickbildning. Ytterligare en observation som gjordes var att det för fuktkvoten för ovansidan av konstruktionen var en kurva med större variation under årets gång jämfört med fuktkvoten i ytmaterialets underkant.

Det går inte att säga en absolut gräns för golvkyla med avseende på risken för sprickbildning och det finns behov av fortsatta studier i frågan. Vidare resonemang förs i diskussionen nedan, se avsnitt **Error! Reference source not found..**

5.5.2 Springbildning

Tabell 5.7, Tabell 5.8 och Tabell 5.9 innehåller resultatet från beräkningen av springbildning för ett massivt furugolv. Bredden på golvplankorna antogs vara 145 mm, vilket innebar en uppskattad maximal springbredd på 1,45 mm per golvplanka som riktvärde. I tabellerna står ΔL förändringen i plankbredd och ΔL_{tot} för den totala ändringen av golvets bredd där rummet antogs vara 5,4 meter brett. Referensfallet avser det fall där varken golvkyla eller golvvärme används.

Tabell 5.7: Resultat springbildning för ett massivt furugolv, förändring i plankbredd och total förändring i ett rum, Platta på mark.

Kyleffektsfall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C yttemperatur	-	-	-	-	4,35	6,31
19 °C yttemperatur	-	-	-	-	3,97	5,75
20 °C yttemperatur	-	-	-	-	3,65	5,29
21 °C yttemperatur	3,92	5,68	3,88	5,62	3,39	4,92
22 °C yttemperatur	3,43	4,98	3,45	5,00	3,16	4,58
23 °C yttemperatur	3,12	4,52	3,16	4,59	2,99	4,34
24 °C yttemperatur	2,88	4,18	2,96	4,29	2,87	4,16
Referens	0,93	1,35	1,13	1,64	1,25	1,81
Golvvärme	2,72	3,96	2,82	4,09	2,81	4,07

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.8: Resultat springbildning för ett massivt furugolv, förändring i plankbredd och total förändring i ett rum, Mellanbjälklag med isolering.

Kyleffektsfall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C yttemperatur	-	-	-	-	3,32	4,82
19 °C yttemperatur	-	-	-	-	3,14	4,55
20 °C yttemperatur	-	-	-	-	2,97	4,31
21 °C yttemperatur	2,96	4,30	3,03	4,40	2,83	4,10
22 °C yttemperatur	2,75	3,99	2,84	4,11	2,69	3,90
23 °C yttemperatur	2,56	3,71	2,66	3,85	2,57	3,73
24 °C yttemperatur	2,40	3,47	2,52	3,65	2,48	3,60
Referens	0,89	1,29	1,08	1,57	1,17	1,70
Golvvärme	2,29	3,31	2,42	3,51	2,44	3,53

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.9: Resultat springbildning för ett massivt furugolv, förändring i plankbredd och total förändring i ett rum, Mellanbjälklag utan isolering.

Kyl-effektsfall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C yttemperatur	-	-	-	-	2,85	4,13
19 °C yttemperatur	-	-	-	-	2,72	3,95
20 °C yttemperatur	-	-	-	-	2,61	3,78
21 °C yttemperatur	2,49	3,61	2,61	3,78	2,50	3,62
22 °C yttemperatur	2,34	3,39	2,46	3,57	2,39	3,47
23 °C yttemperatur	2,20	3,18	2,33	3,38	2,30	3,34
24 °C yttemperatur	2,07	3,00	2,22	3,22	2,23	3,24
Referens	0,89	1,29	1,08	1,57	1,18	1,70
Golvvärme	1,99	2,88	2,14	3,11	2,20	3,18

Tabellerna visar att antagen maximala längdförändring överstegs i samtliga fall, bortsett från referensfallet, i samtliga orter och konstruktioner med massivt furugolv. Eftersom riktvärdet på maximal förändrad bredd på 1 % utgår från massivt parkettgolv har även resultat för ett golv av furuparkett tagits fram, där plankornas bredd skiljer sig från det massiva trägolvs. För parkettgolvet antogs en plankbredd på 70 mm och därmed en gräns på 0,7 mm för springorna. Resultatet från beräkningen med plankbredd för parkettgolv redovisas i Bilaga 5.

5.6 Känslighetsanalys

Resultatet från känslighetsanalysen indikerar att beräkningarna är relativt okänsliga i förhållande till de nyckelparametrar som varierats i beräkningsmodellen i WUFI. Nedanstående underavsnitt presenterar resultaten från känslighetsanalysen med avseende på de olika utparametrar som analysen genomförts på. I känslighetsanalysen avser referensfallen de kyleffekter som eftersträvar 20 °C yttemperatur i respektive konstruktion från huvudberäkningarna. De förändringar som görs för respektive nyckelparameter återfinns i avsnitt 4.11.2.

5.6.1 Framledningstemperatur

Känslighetsanalysen visade ett resultat där framledningstemperaturerna i platta på mark hade en relativt liten förändring för varje nyckelparameter. I plattan ändrades den lägsta temperaturen endast med 0,6 °C som mest och medelvärde 0,3 °C som mest. Värt att

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

notera är att nyckelparametrarna resulterade i en ökning av framledningstemperaturen för samtliga fall där analysen resulterade i en förändring. Gällande mellanbjälklagen var det en större variation i resultatet. Det som utmärkte sig var för båda konstruktionerna den ökade maximala inomhustemperaturen där resultatet visade en större förändring i förhållande till referensfallet. Även användning av golvvärme vintertid har en något större påverkan på resultatet än övriga nyckelparameterar. För mellanbjälklagen innebar känslighetsanalysen både en ökning och minskning i temperatur, även om det i majoriteten av fallen konstaterades en ökad temperatur. Se Tabell 5.10, Tabell 5.11 och

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.12.

Tabell 5.10: Känslighetsanalys av framledningstemperatur, 20 °C ytemperatur, Platta på mark Lund.

Fall	Framledningstemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	15,5	16,8
Ökat fuktillskott	15,5	16,8
Golvvärme	15,9	16,8
Furugolv	16,1	17,1
Ekgolv	15,6	16,9
Ökad maximal inomhustemperatur	15,6	17,1

Tabell 5.11: Känslighetsanalys av framledningstemperatur, 20 °C ytemperatur, Mellanbjälklag med isolering Lund.

Fall	Framledningstemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	13,1	15,4
Ökat fuktillskott	13,2	15,4
Golvvärme	15,6	17,3
Furugolv	13,6	15,8
Ekgolv	13,2	15,4
Ökad maximal inomhustemperatur	16,4	18,7

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.12: Känslighetsanalys av framledningstemperatur, 20 °C ytemperatur, Mellanbjälklag utan isolering Lund.

Fall	Framledningstemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	15,6	17,4
Ökat fuktillskott	15,7	17,5
Golvvärme	17,5	18,9
Furugolv	15,9	17,6
Ekgolv	15,7	17,5
Ökad maximal inomhustemperatur	14,7	23,9

5.6.2 Ytemperatur

Känslighetsanalysen för ytemperaturerna visade en liknande tendens som för framledningstemperaturerna, se avsnitt 5.6.1. Även här visade sig den maximala inomhustemperaturens ökning ha störst påverkan på resultatet för mellanbjälklagen medan förändringen i plattan på mark är relativt liten. Resultatet från känslighetsanalysen med avseende på ytemperatur presenteras i Tabell 5.13,

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.14 och Tabell 5.15.

Tabell 5.13: Känslighetsanalys av yttemperatur, 20 °C yttemperatur, Platta på mark Lund.

Fall	Yttemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	19,3	19,9
Ökat fuktillskott	19,3	20,0
Golvvärme	19,4	20,0
Furugolv	19,3	20,0
Ekgolv	19,3	20,0
Ökad maximal inomhustemperatur	18,2	20,3

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 5.14: Känslighetsanalys av ytemperatur, 20 °C ytemperatur, Mellanbjälklag med isolering Lund.

Fall	Ytemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	20,1	20,7
Ökat fuktillskott	20,1	20,7
Golvvärme	20,5	21,4
Furugolv	20,0	20,7
Ekgolv	20,1	20,7
Ökad maximal inomhustemperatur	18,4	22,3

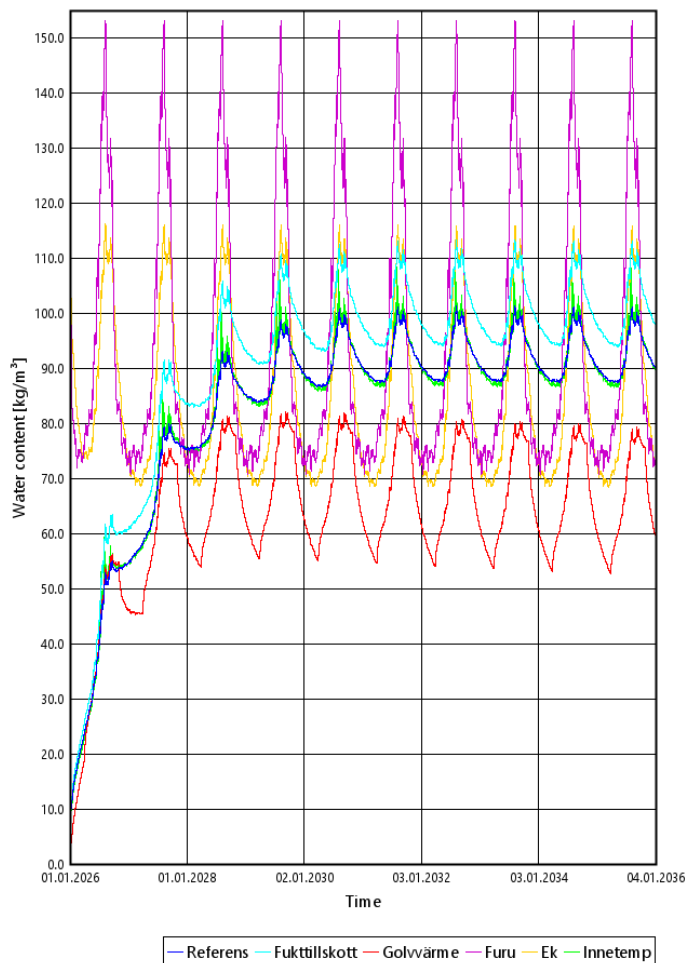
Tabell 5.15: Känslighetsanalys av ytemperatur, 20 °C ytemperatur, Mellanbjälklag utan isolering Lund.

Fall	Ytemperatur [°C]	
	Minimivärde	Medelvärde
Referens	20,5	21,4
Ökat fuktillskott	20,5	21,4
Golvvärme	20,8	21,9
Furugolv	20,4	21,4
Ekgolv	20,5	21,4
Ökad maximal inomhustemperatur	19,0	27,8

5.6.3 Vatteninnehåll

Figur 5.5 nedan presenterar vatteninnehållet i golvmaterialen för plattan på mark utifrån ändrade nyckelparametrar i känslighetsanalysen. Både nedan presenterad graf och övriga grafer för vatteninnehållet i golvmaterialen beter sig på liknande sätt som resultaten i huvudberäkningarna, det vill säga resultaten visade fortsatt ett vatteninnehåll som stabiliseras med tiden. Oaktat de ändrade parametrarna visade resultaten på en fortsatt stabilisering av vatteninnehållet. Trots att vatteninnehållet ökar eller minskar jämfört med referensfallet för de olika nyckelparametrarna innebär stabiliseringen att vidare undersökning för mögelrisk var nödvändigt. Även om nyckelparametrarna hade ändrats var det fortsatt svårt att avgöra om förhållandena var tillräckligt gynnsamma för mögelpåväxt, vilket indikerar ett robust system med avseende på utparametern vatteninnehåll.

Water Content



Figur 5.5: Ytmaterialets vatteninnehåll för respektive nyckelparameter i känslighetsanalysen, 20 °C ytemperatur, Platta på mark Lund.

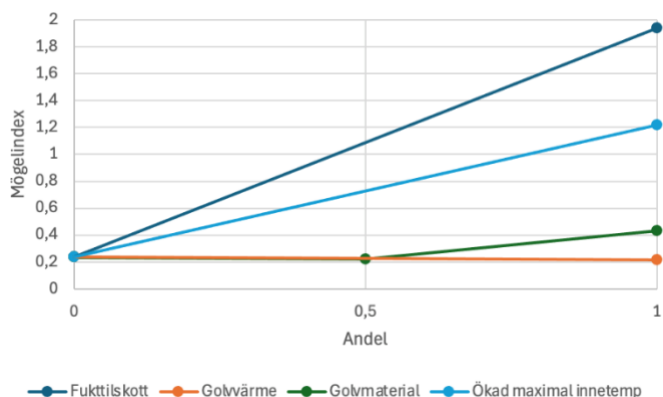
5.6.4 Mögelindex

Graferna som skapats utifrån den beskrivna metoden i avsnitt 4.11.1 presenteras nedan. I samtliga grafer har referensfallet skalats till 0 och nyckelparametrarna till 1, bortsett från då golvmaterialet har ändrats där ek har skalats till 0.5 och furu till 1. Graferna visualiserar skillnaden mellan mögelindex för referensfallet och nyckelparametrarna i de undersökta punkterna. De punkter som undersökts är samma punkter som undersöktes i huvudberäkningarna. I Bilaga 6 återfinns en sammanställning i tabellform av beräknat mögelindex samt färgen på trafikljuset för undersökta punkter i respektive konstruktion.

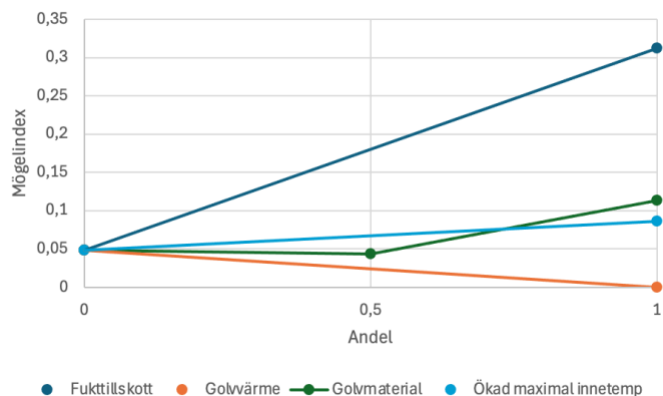
Utifrån resultatet drogs en slutsats om ett relativt okänslig beräkningsmodell med avseende på mögelindex. Det som hade störst påverkan i majoriteten av de presenterade fallen var det ökade fukttillskottet som resulterade i ett högre mögelindex jämfört med

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

huvudberäkningarna för samtliga fall. Som mest ökade indexet från cirka 0,5 till 2,8 i fallet med spånskivans underkant för mellanbjälklaget utan isolering. Även golvvärmen stack ut något i förhållande till övriga nyckelparametrar gällande spånskivans underkant för mellanbjälklaget med isolering då den minskar med 2,5 i mögelindex i förhållande till referensfallet. Eftersom det är en minskning indikerar det dock att resultatet blir till det bättre då det resulterar i ett mögelindex under 1, alltså grönt ljus. I Figur 5.8 syns bara 3 linjer då linjen för golvvärme sammanfaller med linjen för ändrat ytmaterial och hamnar där med under denna.

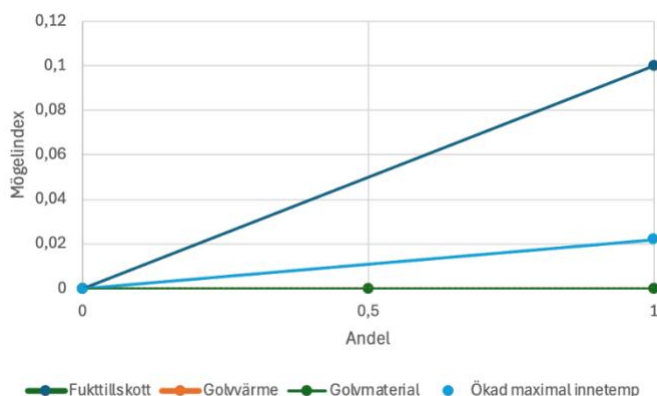


Figur 5.6: Känslighetsanalys av mögelindex med dimensionslös x-axel för konstruktionens ytskikt, Platta på mark Lund.

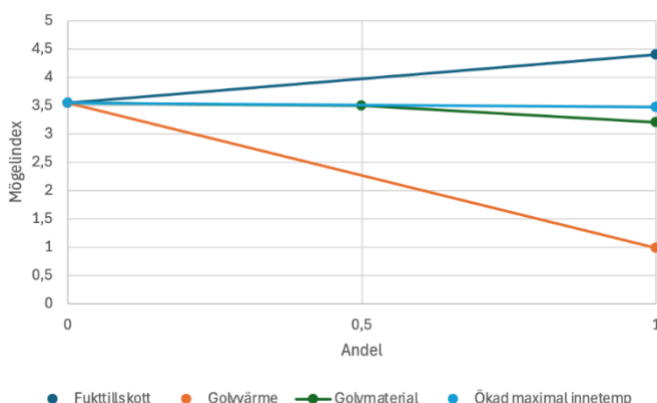


Figur 5.7: Känslighetsanalys av mögelindex med dimensionslös x-axel för konstruktionens ytskikt, Mellanbjälklag med isolering Lund.

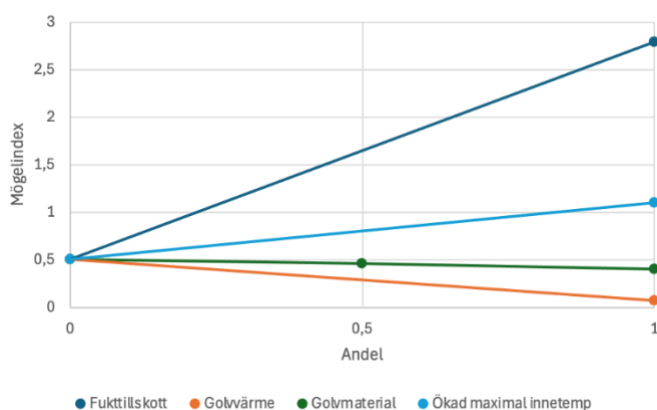
Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 5.8: Känslighetsanalys av mögelindex med dimensionslös x-axel för konstruktionens ytskikt, Mellanbjälklag utan isolering Lund.



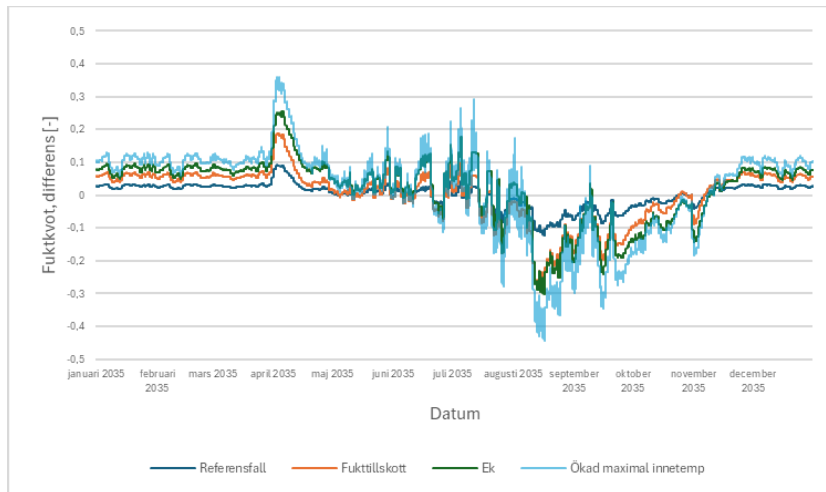
Figur 5.9: Känslighetsanalys av mögelindex med dimensionslös x-axel för spånskivans underkant, Mellanbjälklag med isolering Lund.



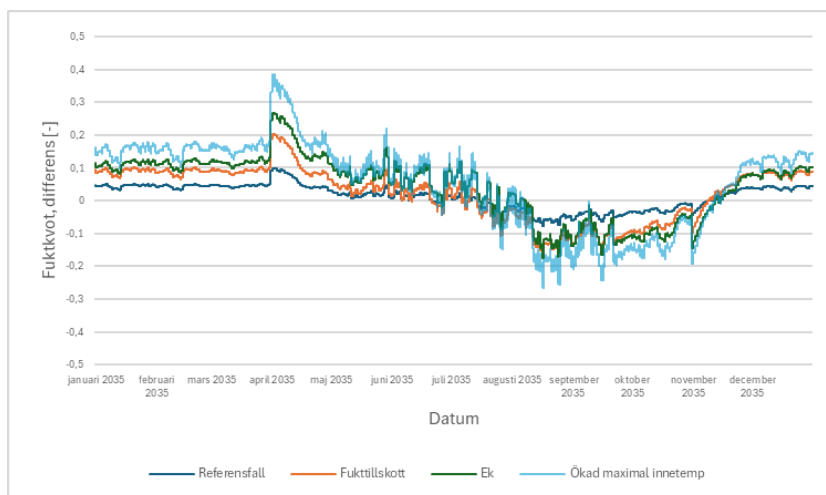
Figur 5.10: Känslighetsanalys av mögelindex med dimensionslös x-axel för spånskivans underkant, Mellanbjälklag utan isolering Lund.

5.6.5 Sprickbildning

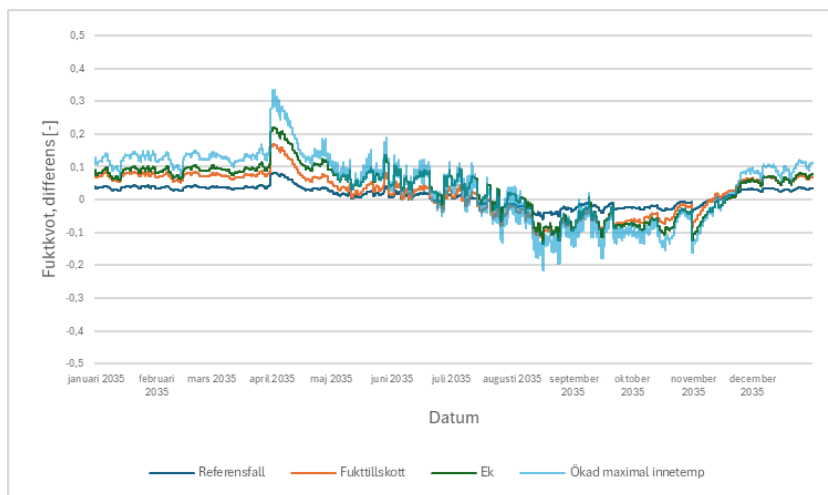
Referensfallet i beräkningarna utgår från Lund och kyleffekt för 20 °C med golvvärme under de kallare månaderna. Resultatet från känslighetsanalysen på sprickbildningen (se Figur 5.11, Figur 5.12 och Figur 5.13) var för samtliga konstruktioner och nyckelparametrar att differensen mellan ovansida och undersida av golvmaterialiet ökade. I samtliga fall var den ökade maximala inomhustemperaturen den mest avvikande från referensfallet och framför allt gällande plattan på mark som framstod känsligt för en ändring i inomhustemperatur med avseende på sprickbildning i golvet.



Figur 5.11: Känslighetsanalys med avseende på sprickbildning, 20 °C ytttemperatur, Platta på mark Lund.



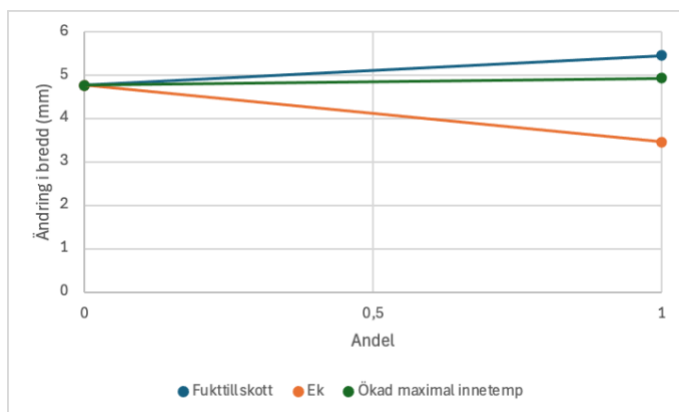
Figur 5.12: Känslighetsanalys med avseende på sprickbildning, 20 °C ytttemperatur, Mellanbjälklag med isolering Lund.



Figur 5.13: Känslighetsanalys med avseende på sprickbildning, 20 °C ytemperatur, Mellanbjälklag utan isolering Lund.

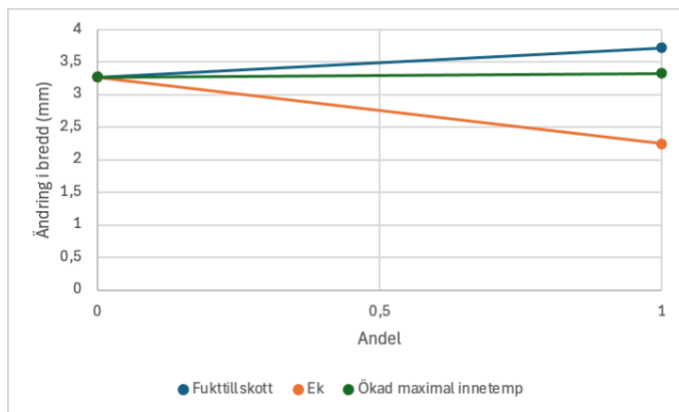
5.6.6 Springbildning

Känslighetsanalysen för springbildning innefattar enbart beräkning av ändringen i en enskild plankas bredd i ett massivt golv. Likt sprickbildningen i ovanstående avsnitt 5.6.5 utgår referensfallet här från Lund och en kyleffekt som eftersträvar 20 °C ytemperatur med golvvärme under de kallare månaderna. Resultaten för springbildningen visar en relativt liten ändring i en enskild plankas bredd oavsett vilken nyckelparameter som ändras. Intressant är att varje bjälklag följer samma mönster, dvs ett ökat fukttillskott och ökad maximal inomhustemperatur leder till en större ändring i bredd medan ett byte till ekgolv leder till en minskad ändring i bredd jämfört med referensfallet. Gällande riktvärden för maximal accepterad springbredd följer samma resonemang som lyfts i avsnitt 0.

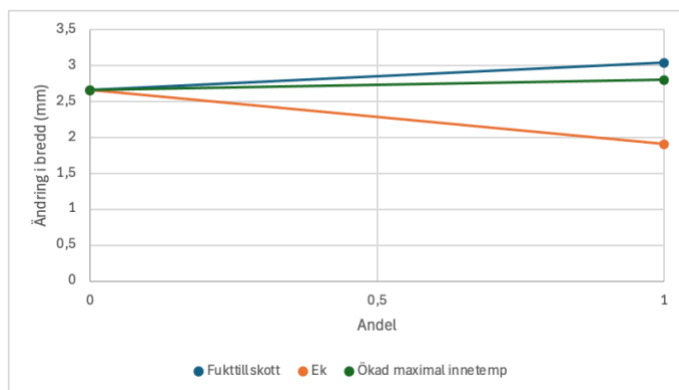


Figur 5.14: Känslighetsanalys av springbildning med dimensionslös x-axel, Platta på mark Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 5.15: Känslighetsanalys av springbildning med dimensionslös x-axel, Mellanbjälklag med isolering Lund



Figur 5.16: Känslighetsanalys av springbildning med dimensionslös x-axel, Mellanbjälklag utan isolering Lund

6 Diskussion

Vid analys av resultaten är det viktigt att förstå hur systemet för golvkyla utvärderas och att beakta att beräkningarna genomförts i en dimension. Som beskrivet i kapitel 0 bygger beräkningen på ett genomsnittsvärde som antas representera en punkt mitt på ett bjälklag. Den framledningstemperatur som redovisas i resultatet bör därför inte tolkas som en exakt temperatur genom hela distributionssystemet, utan snarare som en idealiserad representation för en specifik del av slingorna. I verkligheten varierar temperaturen i vätskan beroende på dess position i systemet, temperaturen är som lägst nära värmepumpens utlopp och stiger gradvis ju längre vätskan rör sig genom slingorna. Den första metern i systemet kommer alltid vara den som är mest kritisk eftersom den är kallast.

6.1 Vatteninnehåll

Som resultatet i avsnitt 0 visar stabiliseras vatteninnehållet i golvmaterialet med tiden. Däremot framgår det att vatteninnehållet för kyleffekten som eftersträvar en yttemperatur på 16 °C är väldigt högt, märkbart högre än för övriga kyleffekter. Regressionen i vatteninnehåll för efterföljande kyleffekter är betydligt jämnare samt att dalarna vänder på ett mjukare sätt vilket tyder på ett stabilt tillstånd. Liknande beteende gäller för vatteninnehållet i de båda mellanbjälklagen för samtliga studerade orter. Ur fuktsynpunkt kan detta anses vara positivt då ett ständigt ökande vatteninnehåll hade inneburit att något i konstruktionen troligtvis inte är konstruerat på rätt sätt. Det tyder även på att modellerna i WUFI är skapade på ett relevant sätt då vatteninnehållet inte skenar i väg till följd av ett stort antal konvergensfel, vilket kan inträffa om något i modellen eller randvillkoren är fel. Det är även svårt att avgöra om topparna, främst för 16 °C kyleffekt, innehåller en tillräckligt hög vattenhalt samt sammanfaller med gynnsamma förhållanden för att processen för mögelpåväxt ska initieras. Viktigt att poängtera är också att det presenterade vatteninnehållet gäller för golvmaterialet och inte övriga delar av konstruktionen. Detta innebär att den genomförda studien gällande mögelpåväxt har varit nödvändig för att kunna dra konkreta slutsatser kring vatteninnehållet för varje studerat fall med olika kyleffekt.

6.2 Temperatur

Vid jämförelse av beräknade yttemperaturer och lägsta accepterad golvtemperatur i vistelsezonen enligt BBR framgår att problem kopplat till komfort främst uppstår i platta på mark, för samtliga studerade orter. En jämförelse med den europeiska ISO-standard, ISO 7730 indikerar att bristfällig komfort även kommer uppstå i mellanbjälklagen då rekommendationen för lägsta golvtemperatur ligger på 19 °C. Både för Lund och Stockholm blir dock de kyleffekter som kan leda till bristande komfort irrelevanta eftersom undersökningen visar att dessa resulterar i mögelpåväxt. Däremot kan det fortfarande uppstå problematik gällande komfort i Luleå då resulterande mögelindex visar att en större kyleffekt är godkänd och därmed kan lägre golvtemperaturer uppnås.

Sett till vilka yttemperaturer som kan ge upphov till bristfällig komfort kan en koppling göras med vilka framledningstemperaturer som blir för låga, och bör därför bortses från. Utifrån undersökningen kopplat till risken för mögel kan ytterligare framledningstemperaturer strykas från vad som är möjligt att använda i systemet. Ska en generell gräns dras utifrån dessa två faktorer är det risken för mögelpåväxt som är den mest kritiska, med undantag för Luleå. Däremot är det intressant att argumentera kring huruvida värmepumpstillverkare ska variera sina rekommendationer för framledningstemperaturer beroende på var i landet systemet ska användas. Om detta inte är fallet, skulle en generell gräns kunna dras vid en framledningstemperatur på ca 18 – 19 °C vilket, utifrån genomförda beräkningar, resulterar i en golvtemperatur på ungefär 21 °C. Denna golvtemperatur underskrider varken BBR:s krav på lägsta accepterad yttemperatur i vistelsezonen eller den generella rekommendationen i ISO-standard. Vidare resulterar det i en potentiellt acceptabel risk för mögelpåväxt enligt studien. I sammanhanget bör det dock noteras att använd klimatdata inte innehåller någon form av extremvärden.

6.3 Mögel

Gränsen för relativ fuktighet som enligt BBR är 75 % överstigs ett flertal gånger och vid enstaka fall är delar av konstruktionerna ständigt i ett fukttillstånd över gränsen. Det leder till att risken för bland annat mögelpåväxt väntas vara stor i dessa fall. Majoriteten av de scenarion där gränsvärdet överstigs är dock under en kortare period på en till sju veckor, vilket gör att mögelindex används för vidare utredning. Utifrån resultaten av undersökningen gjord i WUFI Mould Index VTT framgår att mellanbjälklaget med isolering är den konstruktion som är mest känslig för påväxt av mögel oavsett på vilken ort byggnaden är placerad. Resultatet åskådliggör även vilka delar i de olika konstruktionerna som är mest utsatta för mögelangrepp. I synnerhet är spånskivan där slingorna för golvkyla och golvvärme är placerade i mellanbjälklaget mest utsatt vilket bör väcka frågan om denna bör göras i ett mer mögelresistent material. Det materialval som tillverkare väljer att placera golvslingorna i vid användning av golvkyla bör alltså undersökas noggrant innan applicering av kylsystemet kan genomföras. Andra delar som visar på en större utsatthet är gipsskivan som är placerad ovanpå spånskivan i mellanbjälklagen samt ytmaterialet i golvet, vilket gäller för samtliga tre studerade bjälklag.

Resultatet visar också att det finns en spridning i hur väl systemet för golvkyla fungerar beroende på vilken ort som undersöks. Exempelvis så avtar risken för mögel i Luleå vid betydligt större kyleffekter, för samtliga bjälklag, jämfört med både Lund och Stockholm. Det beror sannolikt på att Lund och Stockholm har en längre sommarperiod med högre temperaturer och högre fukttinnehåll i luften, till skillnad från Luleå som har ett mer arktiskt klimat. Kylbehovet i norra Sverige är alltså inte lika stort som i de södra delarna av landet. En effekt av detta blir att det första kyleffektfalet som är godkänt i Luleå eftersträvar en ytemperatur på 18 °C medan den första kyleffekten som är godkänd i både Lund och Stockholm eftersträvar en ytemperatur på 21 °C.

En intressant del i resultatet är hur mögelindex för de två mellanbjälklagen skiljer sig åt, trots att den enda skillnaden mellan dem är att det ena har en tunn isolering under spånskivan. Exempelvis har mellanbjälklaget med isolering i Lund ett mögelindex i spånskivans underkant på 3,55 vid 20 °C ytemperatur vilket innebär en hög sannolikhet för påväxt av mögel. Mellanbjälklaget utan isolering har däremot ett mögelindex på 0,504 i spånskivans underkant vid 20 °C ytemperatur utan att risk för mögel föreligger. En tanke här kan vara att isoleringen bidrar till att kylan inte kan ta sig vidare nedåt i konstruktionen vilket gör att två olika klimat uppstår på vardera sida om isoleringen. Detta leder till att spånskivan blir mer utsatt i mellanbjälklaget med isolering eftersom kylan får en mer begränsad fördelning och därmed uppstår större skillnader i fuktfördelningen. Utan isolering kan en jämnare temperaturfördelning genom mellanbjälklaget uppstå vilket bidrar till en mer gynnsam fuktfördelning. För mellanbjälklaget med isolering bryts med andra ord denna fördelning av vilket, utifrån resultatet, leder till en ökad risk för mögelpåväxt.

En viktig faktor att förstå vikten av är att WUFI Mould Index VTT är begränsad jämfört med huvudprogrammet rörande tillgängliga materialdata. Resultaten kan därmed inte anses vara helt representativa då många material från huvudberäkningarna har behövt ersättas med ett material som antas ha liknande egenskaper gällande mögelresistens. Detta innebär att det finns en viss osäkerhet i resultaten och de bör därför enbart ses som en indikation på hur stor risken för mögelpåväxt är.

En annan osäkerhet som främst kan ha stor inverkan på resulterande mögelindex i golvmaterialen är fukttillskottet i inomhusluften som väljs i huvudprogrammet. Fukttillskott i det invändiga klimatet beror på brukarbeteende och är därför svårt bestämma. Antagandet som står som grund för valt fukttillskott i beräkningarna kan därför leda till en för låg eller för hög ånghalt i inomhusklimatet. Ett för högt antaget fukttillskott bidrar till en mer konservativ beräkning eftersom konstruktionen kommer vara mer resistent mot mögel om det verkliga fukttillskottet är lägre än det som antas i beräkningarna.

En annan viktig fråga att belysa är var gränsen för acceptabel mögelpåväxt faktiskt går. Enligt bedömningssystemet i VTT klassificeras resultaten i olika nivåer där kraven för att ingen risk för skador av mögel (grönt ljus) bedöms som relativt strikta. Det finns en möjlighet att en mycket liten mängd mögelpåväxt fortfarande accepteras inom ramen för systemet, men i praktiken kan det innebära att även marginell tillväxt klassas som

otillfredsställande. I en svensk kontext är toleransen generellt låg för alla former av mögel, men det är samtidigt inte självklart att en, för ögat, osynlig förekomst är mindre allvarlig än synlig sådan. Tvärtom kan osynligt mögel i vissa fall vara mer skadligt än det som syns, då det kan producera ämnen som påverkar inomhusmiljön negativt. Det handlar därför inte enbart om förekomsten i sig, utan också om var i konstruktionen möglet uppstår. En viss tillväxt i slutna, oventilerade delar av konstruktionen som inte exponeras för människor eller påverkar byggnadens hållfasthet kan i vissa fall vara acceptabel, medan motsvarande tillväxt på ytor i direkt kontakt med inomhusluften skulle kunna utgöra en betydligt större risk. Detta väcker frågor kring huruvida de gränsvärden som tillämpas verkligen är representativa i praktiken. Samtidigt erbjuder mögelindexet en tydlig indikation på vad som kan anses vara acceptabelt, och konkretiserar därmed problematiken på ett kvantitativt och användbart sätt.

6.4 Sprickbildning

Sprickbildning är ett av de mer svårtolkade resultaten i studien, då det saknas faktiska gränsvärden att jämföra med. Resultaten visar att både golvkyla och golvvärme påverkar fuktfördelningen i golv materialet jämfört med ett referensfall utan golvvärme och golvkyla. Påverkan är relevant ur både ett hållfasthets- och beständighetsperspektiv eftersom skillnader i fuktkvot mellan materialets övre och undre skikt kan orsaka spänningar som i sin tur kan leda till sprickbildning i träbaserade golv, det är även något som skulle kunna påverka springbildningen. En tydlig observation från beräkningarna är att fuktkvotsdifferensen generellt är större i de fall med aktiv temperaturreglering än i referensfallet, vilket innebär att värme och kyla ökar risken för inre spänningar i materialet.

Fallet med en ytemperatur på 18 °C i Luleå uppvisar den största differensen, både när fuktkvoten i ovankanten överstiger den i underkanten och vice versa. I takt med att temperaturen höjs blir graferna för kylfallen och referensfallet alltmer lika. Först vid en ytemperatur på 21 °C uppvisar graferna en någorlunda jämn fördelning, liknande de som tagits fram för Stockholm och Lund. Referensfallet för mellanbjälklagen i Stockholm avviker tydligt och är till och med sämre än de där golvvärme och golvkyla används, vilket tyder på att sprickbildning i dessa fall inte nödvändigtvis enbart beror på användning av golvkyla. Det framgår på så vis att klimatförhållandena har en inverkan på resultaten. Eftersom resultatet visar en stor skillnad jämfört med övriga referensfall skulle det kunna vara så att fel uppstått under beräkningsgången eller i indata, därmed bör ingen större vikt läggas i detta resultat. Om man utgår från att referensfallen för mellanbjälklagen i Stockholm bedöms som godkända, kan det argumenteras för att även majoriteten av de övriga undersökta fallen bör betraktas som godkända. Detta argument förutsätter dock att golv materialet är identiskt för samtliga konstruktioner och orter och att andra yttre faktorer hålls utanför bedömningen, vilket inte behöver stämma överens med verkligheten.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Det kommer krävas vidare utredning kring golvkyla och sprickbildning för att kunna ge ett faktiskt svar på var gränsen går med avseende på fuktbetingade rörelser. Däremot indikerar resultatet en stor skillnad i fuktfördelning mellan fall med och utan aktiv temperaturreglering, vilket stärker hypotesen att både golvkyla och golvvärme kan bidra till ökad risk för fuktrelaterade rörelser och därmed både sprick- och springbildning i träbaserade golv. Skillnaden bör inte underskattas, särskilt i byggnader där inomhusklimatet varierar kraftigt över året.

För att sprickor ska bildas i materialet finns ytterligare aspekter att ta hänsyn till utöver skillnad i fuktkvot för materialets över- och undersida. En intressant aspekt för trä, som beaktas som ett levande material, är riktningen och även kopplingen till årsringarna. Först och främst kan differensen i fuktkvot leda till både uppbuktning och nedböjning i golvbrädan, konvex respektive konkav form. Om ovansidan av plankan har en högre fuktkvot än undersidan kommer ovansidan att svälla mer eller krympa mindre, vilket gör att plankan får en konvex form. Omvänt, om undersidan har högre fuktkvot än ovansidan, sväller eller krymper undersidan mer och plankan får en konkav form. Hur mycket och på vilket sätt plankorna böjer sig beror även på hur årsringarna är orienterade i träet. Plankor med liggande årsringar, det vill säga tangentiell riktning, är betydligt mer benägna att kupa sig än plankor med stående årsringar, radiell riktning. Det beror på att trä sväller och krymper lättare i tangentiell än i radiell riktning (Träguiden, 2021). Aktuellt sågssnitt och hur plankorna är placerade i golvet är därmed något som får betydelse för hur golvet reagerar på fuktvariationer, vilket även kan kopplas till användning av golvkyla. I beräkningarna för sprick- och springbildningen användes furu i radiell längdriktning.

6.5 Springbildning

Resultaten visar att samtliga kyleffekter resulterar i en springbredd som överskrider rekommenderat gränsvärde på 1 % av plankans bredd för plattan på mark, oavsett ort. Faktum är att enbart referensfallet, det vill säga då varken golvkyla eller golvvärme används, håller sig under gränsvärdet. Här är det dock viktigt att också titta på hela golvet och hur stor den totala ändringen blir. En normal uppfattning är att en rörelsefog på 10 mm bör finnas mellan golvet kanter och väggarna, vilket skulle resultera i en accepterad ändring av golvet totala bredd på 2 cm. Storleken på rörelsefogen skulle kunna tänkas vara större för att tillåta större rörelser i golvet. Var denna gräns för största möjliga rörelsefog borde gå är dock något som ligger utanför denna studie, även om det är en intressant diskussion. Med detta resonemang är det därför svårt att avgöra huruvida den resulterande totala ändringen i golvet bredd kan ge upphov till problem. Däremot går det att säga att referensfallet för samtliga orter inte borde ge upphov till för stora rörelser då den totala bredden inte överskrider 2 cm. Vid användning av skruvade golv förväntas den strukturella belastningen på spånskivan vara större jämfört med ett flytande golv. Hur det påverkar resultatet kopplat till springbildning kan vara intressant att studera vidare.

De båda mellanbjälklagen följer samma mönster som plattan på mark, dvs samtliga kyleffekter och fallet med enbart golvvärme ligger över gränsvärdet för en enskild plank. Precis som för platta på mark förblir referensfallet dock oförändrat och ligger

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

under gränsen både för en enskild planka och sett över hela golvet i båda konstruktionerna. Resonemanget i stycket ovan gällande storleken på rörelsefogen gör att det även här är svårt att avgöra om de resulterande ändringarna i hela golvets bredd kommer ge upphov till problem. Något som kan vara värt att poängtera är dock att den totala ändringen i golvets bredd är mindre i de båda mellanbjälklagen jämfört med plattan på mark i samtliga orter. Det förekommer även en stor skillnad mellan de två mellanbjälklagen där golvplankor på mellanbjälklaget utan isolering har minst ändring i bredd.

Utvärderingen av parkettgolvet ter sig på liknande vis som det massiva trägolvet. Referensfallen i samtliga konstruktioner och orter ligger under gränsen för en enskild stav. Däremot är det svårare att avgöra om ändringen i bredd över hela golvet är problematisk utifrån resonemanget kring rörelsefogens storlek ovan. Vad som kan konstateras är åtminstone att samtliga totala ändringar i bredd överstiger 2 cm. Mer tydligt däremot är det för fallet med enbart golvvärme och de olika kyleffekterna. Här klarar inget av fallen gränsen för en enskild stav. Exempelvis leder en ytemperatur på 24 °C, för platta på mark i Lund, till en ändring på 1,39 mm medan fallet med golvvärme blir ändringen i en stavs bredd 1,32 mm, vilket överskrider gränsen på 0,7 mm. Dessutom är den totala ändringen över golvets bredd så pass stor att det med säkerhet går att säga att rörelserna i golvet är för stora, vilket gäller för samtliga orter och konstruktioner. För platta på mark i Lund blir den totala ändringen över golvets bredd 9,73 cm vid en ytemperatur på 24 °C och för fallet med golvvärme blir ändringen 9,22 cm. Samtliga framräknade ändringar återfinns i bilaga 5.

En annan viktig faktor att ta hänsyn till är förhållandet mellan träets krympning och svällning, vilket lyfts i avsnitt 2.2.5. För massiva trägolv kan det likt springbildning bli ett minskat avstånd mellan golvplankorna om fukthalten skulle öka då det leder till att träet sväller. Skulle träets svällning, i storleksordning, vara lik krympningen kan det vid för stora rörelser ge upphov till att ett tryck uppstår mellan golvet och väggarna. Detta skulle, i värsta fall, kunna skapa instabilitetsfenomen för hela byggnaden om trycket från golvet blir för stort.

6.6 Känslighetsanalys och osäkerhet

Utifrån genomförd känslighetsanalys är en generell uppfattning att varje nyckelparameter påverkar en utparameter extra mycket. Exempelvis så leder en ökad maximal inomhustemperatur till en större spridning i resulterande yt- och framledningstemperatur, medan övriga nyckelparametrar har en väldigt liten variation mellan varandra för dessa utparametrar. Nyckelparametern golvvärme frångår detta generella mönster för de båda mellanbjälklagen, dock inte i samma storleksordning som den ökade maximala inomhustemperaturen. Beräkningarna kan därför anses vara okänsliga för dessa utparametrar, vilket även konstateras i avsnitt 5.6.1 och 0.

För vatteninnehållet i ytmaterialet under beräkningsperioden konstaterades det i avsnitt 5.6.3 att det förekommer både en ökning och minskning jämfört med referensfallet, vilket tyder på en något känsligare utparameter. Som tidigare diskuterats analyseras dock denna parameter främst för att få en initial uppfattning om eventuella fuktrelaterade

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

risker kopplat till mögel. Därför har huvudmålet enbart varit att utvärdera hur vatteninnehållet ser sig över tid. Det konstaterades tidigare att resultatet visar på en stabilisering i vatteninnehåll för samtliga nyckelparametrar, vilket medförde att en vidare undersökning gällande mögel var nödvändig att genomföra.

Sett till förändring i mögelindex är spridningen i resultatet större jämfört med beräknade yt- och framledningstemperaturer. Den mest tydliga skillnaden är ökningen i mögelindex som det ökade fukttillskottet resulterar i, vilket råder i samtliga undersökta punkter dock med varierad storleksordning. Även den ökade maximala inomhustemperaturen ger ett generellt högre mögelindex, dock inte i samma skala som det ökade fukttillskottet. Vidare visar resultatet att en ändring av golvmaterial resulterar i små skillnader jämfört med referensfallet, vilket indikerar att golvmaterialiet inte är en känslig nyckelparameter. Däremot är det viktigt att komma ihåg att punkter som ligger innanför golvmaterialiet också har undersökts, vilka därav inte är direkt relaterade till en ändring av golvmaterialiet. Avslutningsvis resulterar nyckelparametern golvvärme till en förbättring, om fokus enbart ligger på resulterande mögelindex. Sett till känslighetsanalysen bidrar även nyckelparametern golvvärme till större spridningar, speciellt i spånskivans underkant i mellanbjälklaget med isolering. Generellt förekommer det således en större spridning i resultatet även om spridningen är relativt liten. Undantagen är det ökade fukttillskottet i plattan på marks ytskikt och under spånskivan i mellanbjälklaget utan isolering samt det tidigare nämnda fallet för golvvärme.

Utifrån känslighetsanalysen för sprickbildning kan det konstateras att beräkningarna är särskilt känsliga för en ökad inomhustemperatur. Det framkommer även att samtliga nyckelparametrar leder till en större differens i materialens fuktkvoter. Därmed skulle argumentet för att resultatet i studien visar på en lägre risk för skador jämfört förväntat verkliga förhållanden. Detta gäller särskilt om verkliga inomhusförhållanden innebär högre temperaturer och en högre ånghalt i luften än det inomhusklimat som använts i referensfallet. Med rådande klimatförändringar skulle just en sådan situation med högre inomhustemperaturer och högre ånghalt i luften kunna uppstå om några år. Den ökade känsligheten vid temperaturhöjning antyder att inomhusklimatet spelar en avgörande roll för fuktfördelningen i golvmaterialiet och därmed för risken att spänningar uppstår.

En utparameter som uppvisar ett mer stabilt beteende är springbildningen, framför allt då golvmaterialiet inte ändras. Här kan en diskussion föras kring hur resulterande springor kan anses vara för stora eller inte, vilket diskuteras mer djupgående i avsnitt 6.5. Med utgångspunkt i det resonemanget är det rimligt att anse att ett byte till ekgolv är ett bättre alternativ då ändringen i bredd för en planka blir mindre i jämförelse med referensfallet med ett furugolv. Som känslighetsanalysen visar resulterar denna ändring i en större spridning och därmed en större känslighet för utparametern.

En möjlig osäkerhetsfaktor är samspelet mellan golvkyla och vädring sommartid. Det skulle kunna antas att vädring, i syfte att förbättra inomhusluftens kvalitet, förekommer under perioder med höga utomhustemperaturer. I sådana fall släpps varm luft in, vilket kan leda till ökad temperatur för inomhusluften och därmed motverka golvkylans effekt. Det aktualiserar frågan om hur mycket kyleffekt som faktiskt krävs för att uppnå önskad

inomhustemperatur under sommaren. Det skulle även kunna kopplas till resultaten från känslighetsanalysen där en höjd inomhustemperatur visade sig ha en tydlig inverkan på fuktdynamiken. Det mänskliga beteendet, som exempelvis hur ofta en person vädrar, påverkar inomhusklimatet som i sin tur påverkar både kylbehov och fuktförhållanden i golvmaterialiet. Samtidigt är den mänskliga faktorn något som är svårt att beakta då den är relativt oförutsägbart.

6.7 Alternativa lösningar för kylning

Som nämnts i resultatet var den relativa fuktigheten på konstruktionernas yta över 100 % i vissa fall, vilket visar att kondens bildas och fuktrelaterade skador med stor sannolikhet riskerar att uppstå i golvet. För att återkoppla till litteraturstudien så indikerade flertalet studier och rapporter att kondensbildning är ett stort problem för svala golv där olika aktiva lösningar för att undvika motverka kondens i form av kombinerade system studerades. Arbetet är genomfört med frågeställning kring huruvida golvkyla går att applicera i Sverige utan att vara beroende av andra system även om påverkan från andra system i vissa byggnader med golvkyla skulle kunna beaktas. Eventuellt skulle svalare golv och en större kyleffekt vara möjlig om det finns ett system som samtidigt sänker luftens ånghalt och motverkar kondens. Frågan kring om det är eftersträvänsvärt och mer fördelaktigt än någon form av aktivt kylsystem som inte kombineras med golvkyla ligger utanför ramen för denna studie.

Något som däremot kan diskuteras är skillnaden i kyleffekt mellan golvkyla och aktiv kyla i form av en AC. Enligt Polarpumpen (u.å.-a) är ett vanligt riktvärde för kyleffekt vid luftkonditionering 75 W/m^2 . Om det jämförs med de kyleffekter som undersökts för golvkyla är den största kyleffekten som använts omkring 55 W/m^2 , dock för fallet med 16°C yttemperatur som i sin tur utesluts på grund av för stor mögelrisk. Med utgångspunkt för den kyleffekt som kan bli godkänd utifrån mögelindex för samtliga platser, det vill säga kyleffekten för yttemperatur på 21°C , är maximal effekt cirka 23 W/m^2 vilket är betydligt lägre än det riktvärde som ges för kyleffekt vid luftkonditionering. För mindre utrymmen med lägre kylbehov, exempelvis ett rum i en bostad för att motverka övertemperatur under sommartid, kan det uppstå problem med en AC som inte alltid kan leverera kyla med lägre effekt. Vid mindre kylbehov kan frekventa start- och stoppcykler uppstå, vilket kräver relativt mycket energi. Det finns dock luftkonditioneringssystem med låg lägsta kapacitet som motverkar problemet (Polarpumpen, u.å.-a). Det går inte att tydligt säga vad som är det bästa alternativet utan vidare studier och det varierar även mellan varje specifik byggnad. En ytterligare fördel med golvkyla är att det är ett passivt system som inte ger upphov till störande ljud. Dessutom kan golvkyla i många fall integreras med befintliga värmepumpssystem, vilket innebär att ett separat kylsystem inte behöver installeras.

6.8 Framtida studier

Utifrån aktuell frågeställning och angivna avgränsningar finns det några aspekter och områden som dykt upp under arbetets gång men där information saknats eller där ämnet låg utanför arbetets ramar. Dessa aspekter och områden hade kunnat ligga till grund för framtida studier och innefattar bland annat en vidare analys av hur olika fuktförhållanden påverkar sprick- och springbildning i trä. Vidare kan det studeras hur energisystemet i en byggnad påverkas som helhet om systemet för golvkyla implementeras, exempelvis med hjälp av programvaran IDA ICE. Praktiska försök och mätningar av golvkyla är också något som bör ligga till grund för framtida studier. Avslutningsvis bör även en undersökning som tar hänsyn till extremväder genomföras då använda klimatfiler i arbetet baseras på normalår vilket innebär en osäkerhet i resultaten.

7 Slutsatser

Utifrån resultatanalys och diskussion kan följande slutsatser konstateras. Först och främst är det av stor vikt att belysa skillnaden mellan de tre olika geografiska platserna som undersökts. Resultatet visar att Stockholm och Lund har liknande förutsättningar för användande av golvkyla medan Luleå är mer tolerant avseende risk för mögelpåväxt. Samtidigt kommer kylsystemet vara påslaget mer sällan längre norr ut eftersom utetemperaturen är lägre och därmed är även behovet av golvkyla mindre. Vidare är det skillnad i risken för mögelpåväxt för de olika bjälklag som undersökts. I flera avseenden föreligger en större risk för mögelpåväxt i mellanbjälklaget än golvet ovanpå en platta på mark.

Vid undersökning av samtliga konstruktioner och platser kan en generell lägsta acceptabel framledningstemperatur sättas till lägst 19 °C, vilket resulterar i en yttemperatur på ca 21 °C. Det är viktigt att beakta att frågan kring sprick- och springbildningen är relativt osäker och därmed är det inte säkert att 19 °C kommer fungera rörande risken för sprick- och springbildning. Enligt resultatet leder en framledningstemperatur med golvkyla på 19 °C sommartid samt golvvärme vintertid till en total rörelse i bredd på runt 6 cm för ett 5,4 m brett flytande massivt trägolv, vilket är relativt mycket. Motsvarande rörelse med bara golvvärme vintertid är ca 4 cm och för fallet med varken golvvärme eller golvkyla uppskattas rörelsen till ca 1,5 cm.

Vid undersökning av den relativa förändringen i plankornas bredd överstiger samtliga kyleffektsfall riktvärdet på 1 % på samtliga orter, vilket innebär att springbildningen inte kommer vara godkänd för något fall. Dock visar även fallet med endast golvvärme en större förändring än 1 % och därmed kan resultatet för springbildningen eventuellt vara godkänt. Även analysen av sprickbildning ger ett resultat som visar på en relativt stor differens i fuktkvot mellan ovan och undersidan av ett massivt trägolv i ett uppvärmt och kylt golv i förhållande till ett golv utan någon inbyggd värme eller kyla. Detta indikerar att det inte går att bortse från risken för sprickor orsakade av golvkyla. Trots att de fuktbetingade rörelserna väntas ha störst påverkan på konstruktionen går det inte att utesluta behovet av vidare studier i frågan för att vara säker på att konstruktionerna inte kommer fungera.

Flertalet värmepumpstillverkare rekommenderar idag 20 °C som den lägsta undre gränsen för framledningstemperaturen vid golvkyla. Ett system med den framledningstemperaturen skulle utifrån analysen innebära en yttemperatur på ungefär 22 °C, vilket uppfyller komfortkraven och är godkänt för flertalet risker som undersökts, med undantag för de fuktbetingade rörelser som kan resultera i ett hårdare ställt krav. För framledningstemperatur på 20 °C väntas den totala ändringen för ett massivt trägolv vara runt 5 cm. Frågan kring hur dessa förändringar i bredd fördelar sig i golvet är också av betydelse för huruvida det skulle kunna vara acceptabelt.

Sammanfattningsvis visar studien att golvkyla fungerar inom vissa ramar, men att förutsättningarna påverkas av både geografiskt läge, typ av bjälklag och valet av golvmaterial. Beräkningsmodellerna som använts indikerar betydande skillnader i fuktkvot och därmed en potentiell risk för sprick- och springbildning.

8 Referenser

- ABEL, E. & ELMROTH, A. 2021. *Byggnaden som system*, Studentlitteratur.
- ARFVIDSSON, J., HARDERUP, L.-E. & SAMUELSSON, I. 2017. *Fukthandbok*, Svensk Byggtjänst.
- BOVERKET 2014. Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler, BBR21. Boverket.
- BOVERKET 2019. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BBR 28. Boverket.
- BOVERKET 2024a. Boverkets föreskrifter om skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö samt hushållning med vatten och avfall. Boverket.
- BOVERKET. 2024b. *Klimatanpassning och energieffektivisering* [Online]. Available: https://www.boverket.se/sv/energiguiden/energirenovera-smahus/3.viktiga_hansyn/klimatanpassning/ [Accessed 18 februari 2025].
- BOVERKET. 2025. *Om Boverkets nya byggregler* [Online]. Available: <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/om-boverkets-nya-byggregler/> [Accessed 5 februari 2025].
- BURSTRÖM, P. G. 2021. *Byggnadsmaterial*, Studentlitteratur.
- CHIESA, G. & ZAJCH, A. 2020. Contrasting climate-based approaches and building simulations for the investigation of Earth-to-air heat exchanger (EAHE) cooling sensitivity to building dimensions and future climate scenarios in North America. *Energy and Buildings*, 227, 110410.
- CUI, M., SONG, Y., MAO, Y., YANG, K., LIU, J. & TIAN, Z. 2024. Potential application of radiant floor cooling systems for residential buildings in different climate zones. *Building Simulation*, 17, 543-560.
- ELNAGAR, E., ZEOLI, A., RAHIF, R., ATTIA, S. & LEMORT, V. 2023. A qualitative assessment of integrated active cooling systems: A review with a focus on system flexibility and climate resilience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 175, 113179.
- FOLKHÄLSOMYNDIGHETEN 2024. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus. Folkhälsomyndigheten.
- FRAUNHOFER IBP. 2021. *WUFI Graph Help* [Online]. Available: https://wufi.de/download/WUFIGraph_en.pdf [Accessed 30 maj 2025].
- FRAUNHOFER IBP. 2025a. *What is WUFI?* [Online]. Available: <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/> [Accessed 18 Februari 2025].
- FRAUNHOFER IBP 2025b. WUFI® Mould Index VTT. Holzkirchen: Fraunhofer Institute for Building Physics IBP.
- GOLVBRANSCHEN 2022. Trägol på golvvärme.
- GOLVVÄRMEBUTIKEN. u.å. *Hur fungerar vattenburen golvvärme?* [Online]. Available: <https://golvvvarmebutiken.se/faq/hur-fungerar-golvvarme/hur-fungerar-vattenburen-golvvarme> [Accessed 17 Februari 2025].
- HAJIDAVALLOO, E. & EGHTEDARI, H. 2010. Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser. *International Journal of Refrigeration*, 33, 982-988.
- JOHANSSON, P., BOK, G., LÅNG, L. & MJÖRNELL, K. 2022. Kritiskt fuktillstånd för mögelpåväxt på byggnadsmaterial. *RISE Rapport*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

- JOHNSSON, J. & WESTERLUND, L. 2012. Radiant floor cooling systems: A measurement and simulation study.
- KARMANN, C., SCHIAVON, S. & BAUMAN, F. 2017. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review. *Building and Environment*, 111, 123-131.
- LANDGUIDEN. 2022. *Sverige – Geografi och klimat* [Online]. [Accessed 2 april 2024].
- LK SYSTEMS. u.å. *Golvsvalka - en oväntad bonusfunktion med LK Golvvärme* [Online]. Available: <https://www.lksystems.se/sv/produktsystem/golvvarme/golvsvalka/> [Accessed Mars 25 2025].
- MENGYING, C., MOON KEUN, K., XIAOZHOU, W. & JIYING, L. 2023. A review of the control optimization and application potential of the radiant floor cooling system. *Proceedings of Building Simulation 2023: 18th Conference of IBPSA*. IBPSA.
- NIBE. u.å.-a. *Bergvärmepump S1256* [Online]. Available: <https://www.nibe.eu/sv-se/produkter/varmepumpar/bergvarmepumpar/s1256> [Accessed Mars 25 2025].
- NIBE. u.å.-b. *Kyla från värmepump* [Online]. Available: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/kyla> [Accessed Mars 25 2025].
- NIBE. u.å.-c. *Luft/vattenvärmepump - utvinn värme ur ingenting* [Online]. Available: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/sa-fungerar-det/luft-vattenvarmepump---utvinn-varme-ur-ingening> [Accessed 17 Februari 2025].
- PANTELIC, J., SCHIAVON, S., NING, B., BURDAKIS, E., RAFTERY, P. & BAUMAN, F. 2018. Full scale laboratory experiment on the cooling capacity of a radiant floor system. *Energy and Buildings*, 170, 134-144.
- POLARPUMPEN. u.å.-a. *Dimensionering av AC och luftkonditionering* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/ac-luftkonditionering-kunskapsbank/valja-ac/dimensionering/> [Accessed 15 maj 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-b. *Hur fungerar en luft-vattenvärmepump?* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/luft-vattenvarmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-luft-vattenvarmepump/hur-fungerar-en-luft-vattenvarmepump/> [Accessed 17 Februari 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-c. *Hur fungerar en luftvärmepump?* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/luftvarmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-en-luftvarmepump/hur-fungerar-en-luftvarmepump/> [Accessed 17 Februari 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-d. *Hur fungerar en värmepump?* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-varmepumpar/hur-fungerar-en-varmepump/> [Accessed 17 Februari 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-e. *Husets värmesystem och luft-vattenvärmepump* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/luft-vattenvarmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-luft-vattenvarmepump/husets-varmesystem/> [Accessed 17 Februari 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-f. *Så fungerar en frånluftsvärmepump* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump->

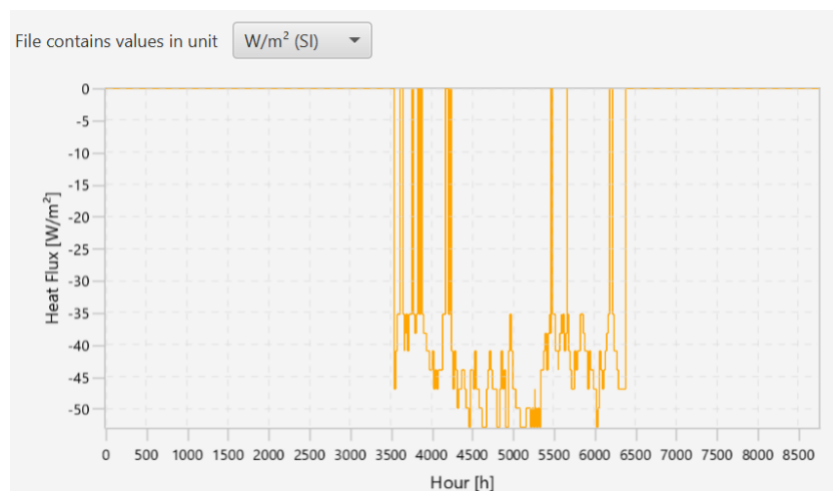
Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

- [kunskapsbank/franluftsvärmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-franluftsvärmepump/sa-fungerar-en-franluftsvärmepump/](#) [Accessed Februari 17 2025].
- POLARPUMPEN. u.å.-g. *Vad är bergvärme?* [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/bergvarmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-en-bergvarmepump/vad-ar-bergvarme/> [Accessed Februari 17 2025].
- SANDIN, K. 2010. *Praktisk Byggnadsfysik*, Studentlitteratur.
- SMHI. 2024. *Dataserier med normalvärden för perioden 1991-2020* [Online]. Available: <https://www.smhi.se/data/temperatur-och-vind/temperatur/dataserier-med-normalvarden-for-perioden-1991-2020> [Accessed 4 april 2025].
- SVENSK BYGGTJÄNST 2024. *AMA Hus 24: Allmän Material- och Arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten*, Stockholm, Svensk Byggtjänst.
- SVENSKA INSTITUTET FÖR STANDARDER. u.å. *Ergonomi för den termiska miljön - Analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD samt kriterier för lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)* [Online]. Available: <https://www.sis.se/produkter/ergonomi-fb23d4ad/ergonomi--termiskt-klimat/sseniso77302006/> [Accessed].
- SVENSKT TRÄ. u.å. *Trä och fukt* [Online]. Available: <https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-fukt/> [Accessed 20 Februari 2025].
- TAMPERE UNIVERSITY. u.å. *Finnish mould growth model* [Online]. Available: <https://research.tuni.fi/buildingphysics/finnish-mould-growth-model/> [Accessed 30 maj 2025].
- THERMIA. u.å.-a. *Komfortkyla - aktiv och passiv kyla* [Online]. Available: <https://www.thermia.se/varmepump-kunskap/hur-fungerar-en-varmepump/varmepump-teknik/komfortkyla/> [Accessed Mars 25 2025].
- THERMIA. u.å.-b. *Komfortkyla med värmepump* [Online]. Available: <https://www.thermia.se/varmepumpar/varmepump-extra-funktioner/komfortkyla-varmepump/> [Accessed Mars 25 2025].
- TRÄGUIDEN. 2021. *Formförändringar* [Online]. Available: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/formforandringar-och-atgarder/formforandringar/> [Accessed 16 maj 2025].
- UPONOR u.å. Uponor Klett golvvärmesystem/kylsystem.
- VATTENFALL. u.å. *Så fungerar golvvärme* [Online]. Available: <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/sa-fungerar-golvvärme/> [Accessed 30 Maj 2025].
- VÄRMEGOLV. u.å. *Hur fungerar vattenburen golvvärme?* [Online]. Available: <https://www.varmegolv.nu/vattenburen-golvvärme> [Accessed 10 april 2025].
- WALLENTÉN, P. 2018. *RäknaF 2018 - Stöd för kombinerade värme- och fuktberäkningar i byggnadsdelar*. Lund: Fuktcentrum, Lunds Tekniska Högskola.
- WERNER-JUSZCZUK, A. J. 2019. Analysis of the Use of Radiant Floor Heating as a Cooling System. *Proceedings*, 16, 23.

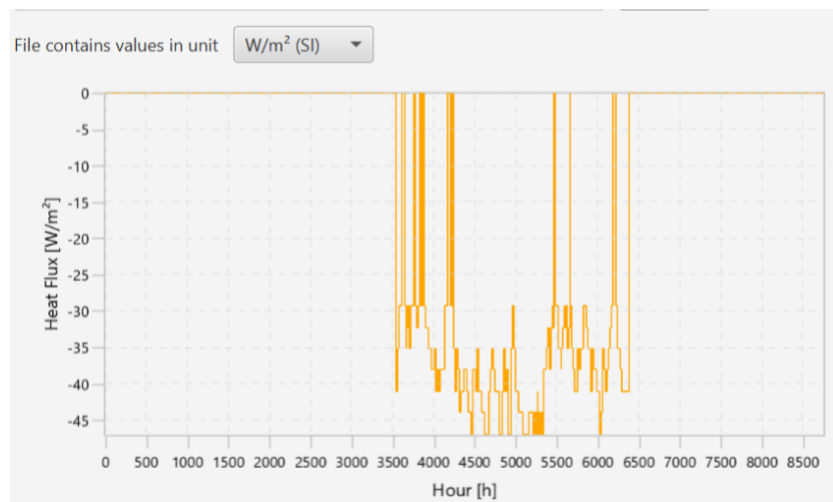
- YANG, J., CAO, H., WANG, Z., LIU, Y., SONG, W. & DONG, J. 2025. Direct-supply chilled-water radiant-floor cooling system coupled with an earth-air heat exchanger system: A case study in a building. *Case Studies in Thermal Engineering*, 65, 105586.
- YANG, J., SONG, W., WANG, Z., DONG, J. & ZHANG, H. 2024. Direct/indirect optimal use of shallow geothermal energy in floor radiant cooling system coupled with air-handling system. *Journal of Building Engineering*, 89, 109206.
- ZHANG, C., KAZANCI, O. B., LEVINSON, R., HEISELBERG, P., OLESEN, B. W., CHIESA, G., SODAGAR, B., AI, Z., SELKOWITZ, S., ZINZI, M., MAHDAVI, A., TEUFL, H., KOLOKOTRONI, M., SALVATI, A., BOZONNET, E., CHTIOUI, F., SALAGNAC, P., RAHIF, R., ATTIA, S., LEMORT, V., ELNAGAR, E., BREESCH, H., SENGUPTA, A., WANG, L. L., QI, D., STERN, P., YOON, N., BOGATU, D.-I., RUPP, R. F., ARGHAND, T., JAVED, S., AKANDER, J., HAYATI, A., CEHLIN, M., SAYADI, S., FORGHANI, S., ZHANG, H., ARENS, E. & ZHANG, G. 2021. Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment. *Energy and Buildings*, 251, 111312.
- ZHANG, C., POMIANOWSKI, M., HEISELBERG, P. K. & YU, T. 2020. A review of integrated radiant heating/cooling with ventilation systems- Thermal comfort and indoor air quality. *Energy and Buildings*, 223, 110094.
- ZHOU, X., LIU, Y., LUO, M., ZHANG, L., ZHANG, Q. & ZHANG, X. 2019. Thermal comfort under radiant asymmetries of floor cooling system in 2 h and 8 h exposure durations. *Energy and Buildings*, 188-189, 98-110.

9 Bilagor

Bilaga 1 - Kyleffektsfall



Figur 9.1: Kyleffektsfall vid 16 °C yttemperatur, Lund.

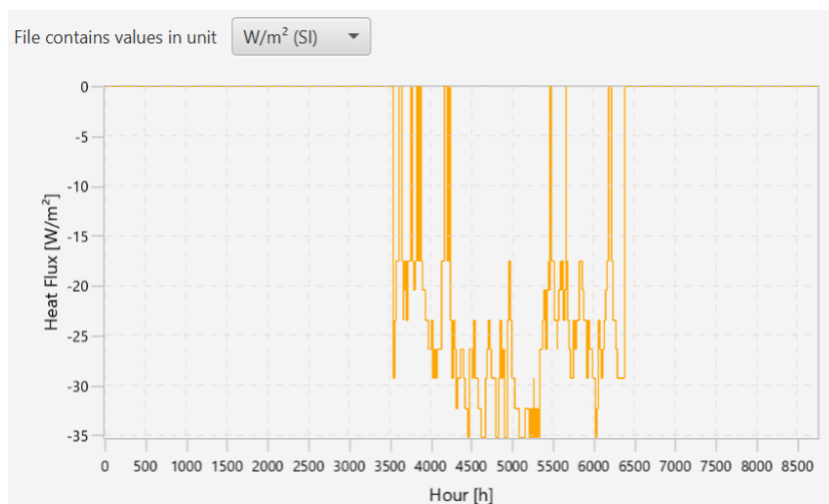


Figur 9.2: Kyleffektsfall vid 17 °C yttemperatur, Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



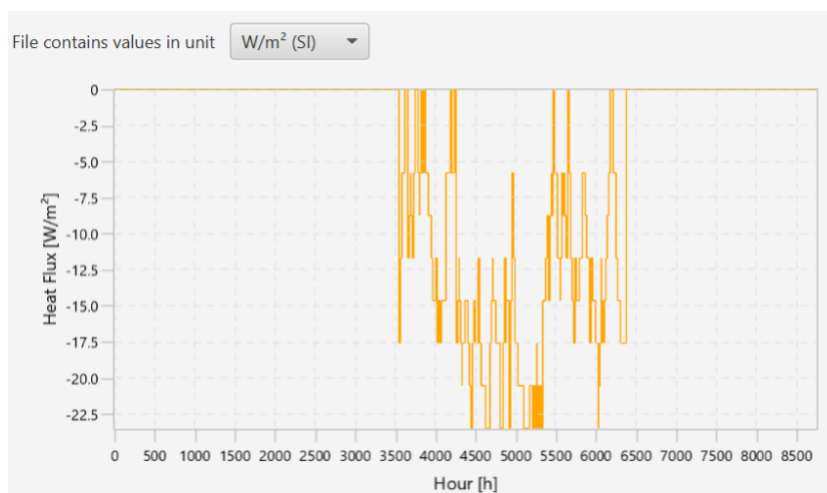
Figur 9.3: Kyleffektsfall vid 18 °C yttemperatur, Lund.



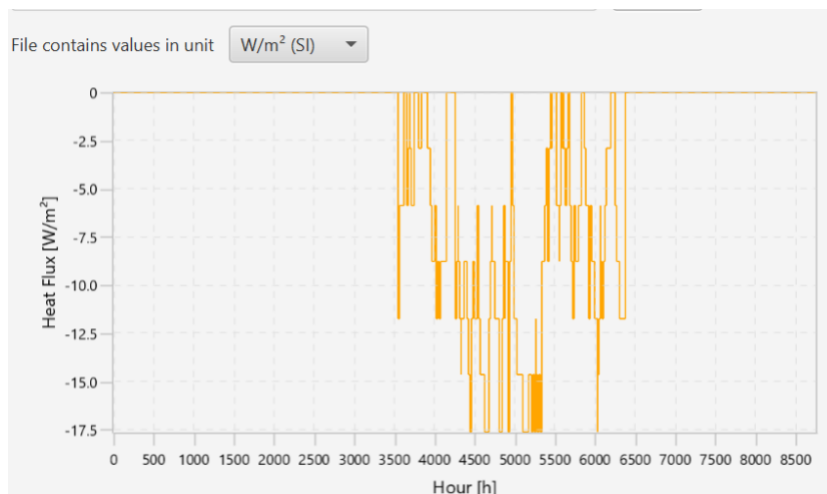
Figur 9.4: Kyleffektsfall 19 °C yttemperatur, Lund.

Figur 9.5: Kyleffektsfall 20 °C yttemperatur, Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

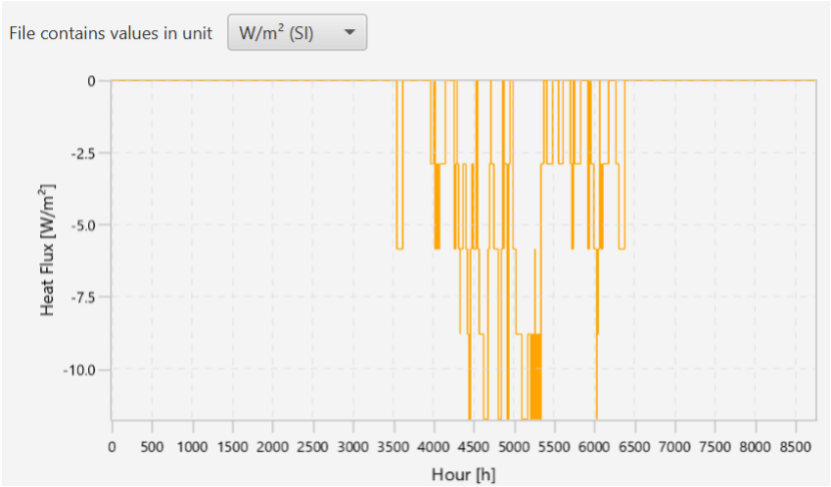


Figur 9.6: Kyleffektsfall 21 °C ytemperatur, Lund.

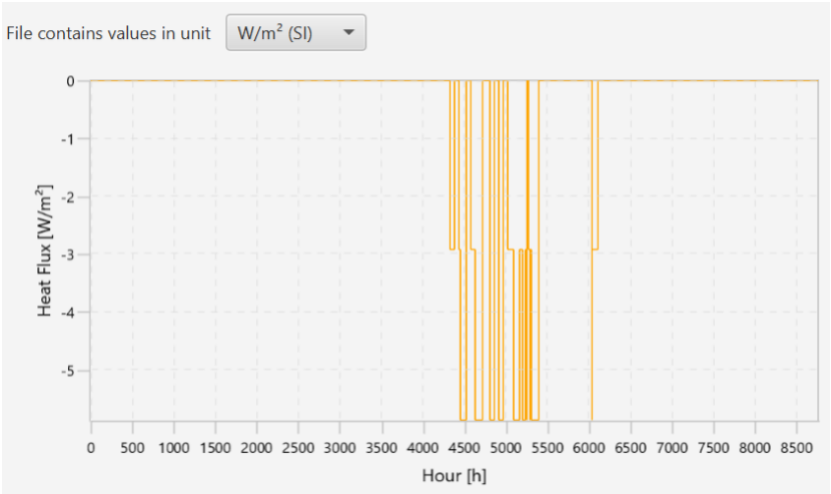


Figur 9.7: Kyleffektsfall 22 °C ytemperatur, Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

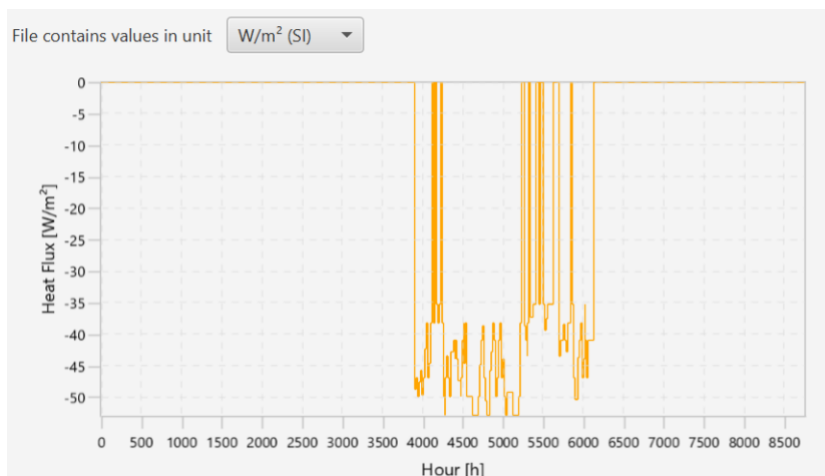


Figur 9.8: Kyleffektsfall 23 °C yttemperatur, Lund.



Figur 9.9: Kyleffektsfall 24 °C yttemperatur, Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

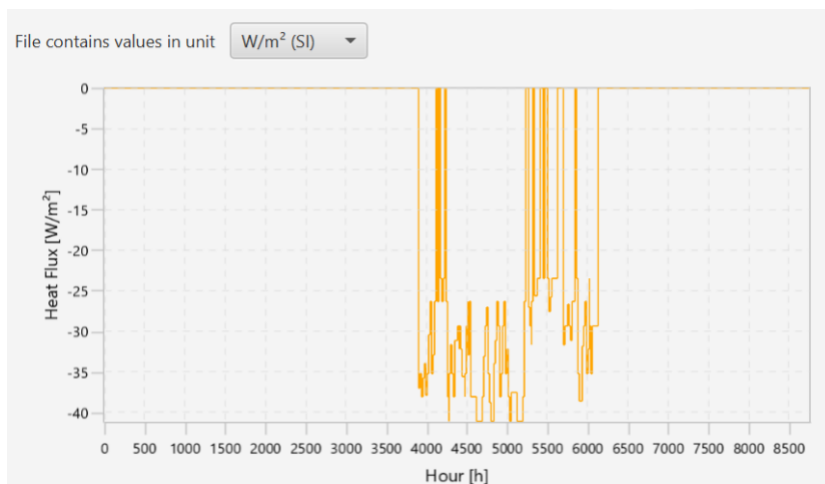


Figur 9.10: Kyleffektsfall 16 °C ytemperatur, Stockholm.

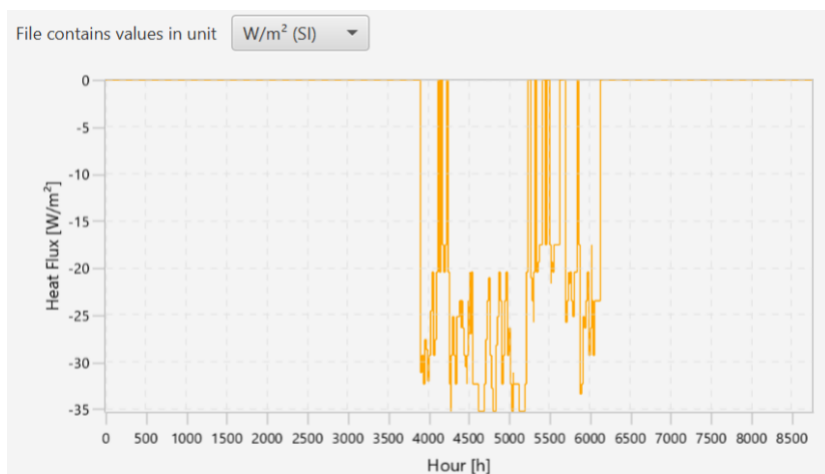


Figur 9.11: Kyleffektsfall 17 °C ytemperatur, Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

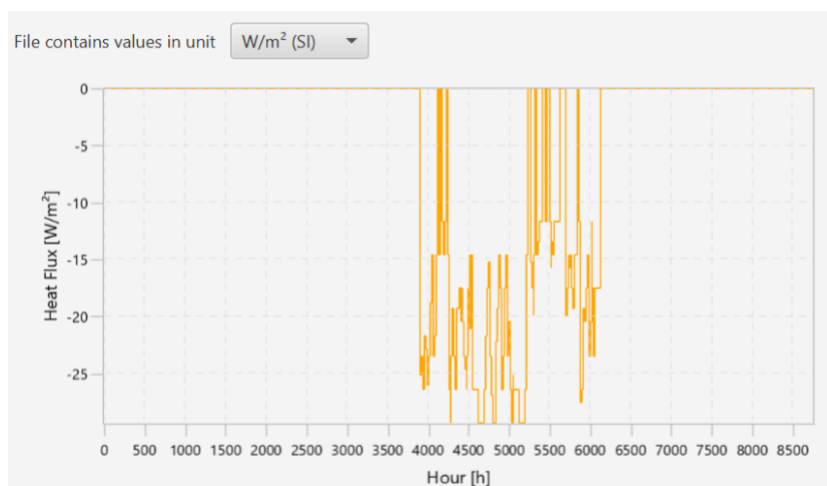


Figur 9.12: Kyleffektsfall 18 °C ytemperatur, Stockholm.



Figur 9.13: Kyleffektsfall 19 °C ytemperatur, Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.14: Kyleffektsfall 20 °C ytemperatur, Stockholm.

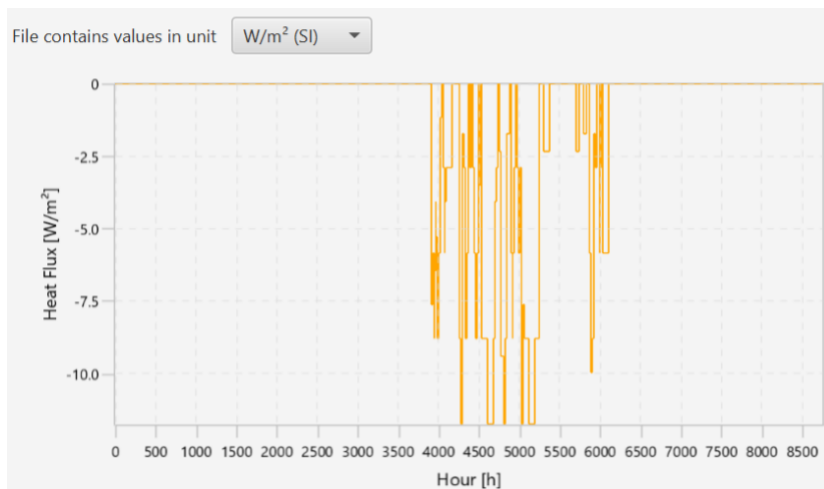


Figur 9.15: Kyleffektsfall 21 °C ytemperatur, Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.16: Kyleffektsfall 22 °C ytemperatur, Stockholm.

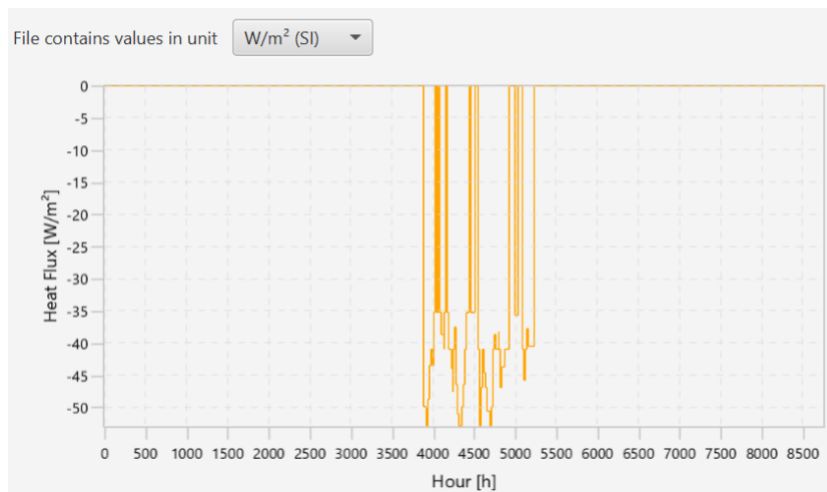


Figur 9.17: Kyleffektsfall 23 °C ytemperatur, Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.18: Kyleffektsfall 24 °C ytemperatur, Stockholm.



Figur 9.19: Kyleffektsfall 16 °C ytemperatur, Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.20: Kyleffektsfall 17 °C yttemperatur, Luleå.



Figur 9.21: Kyleffekt 18 °C yttemperatur, Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

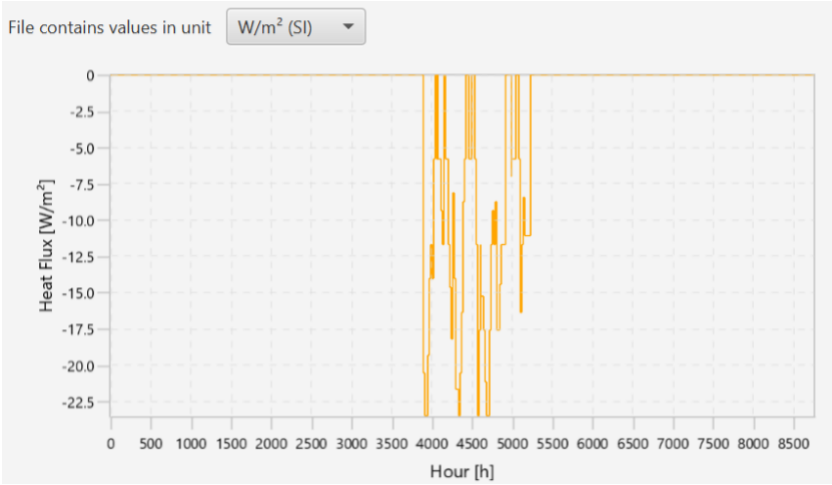


Figur 9.22: Kyleffekt 19 °C ytttemperatur, Luleå.

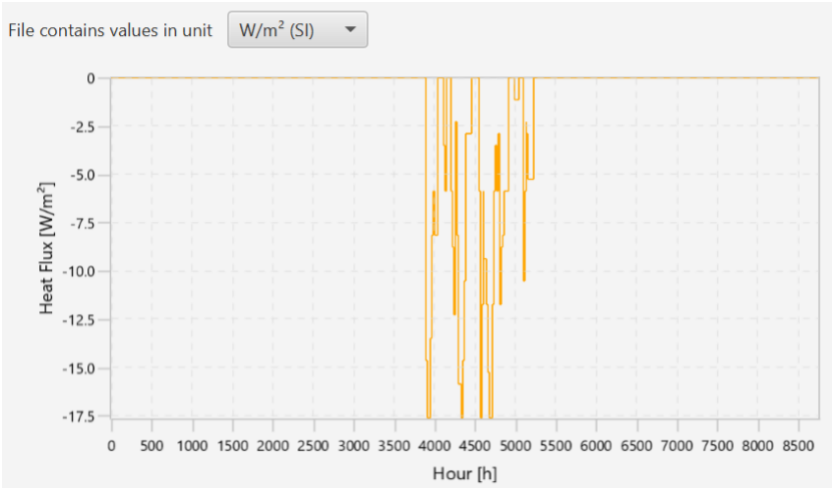


Figur 9.23: Kyleffekt 20 °C ytttemperatur, Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

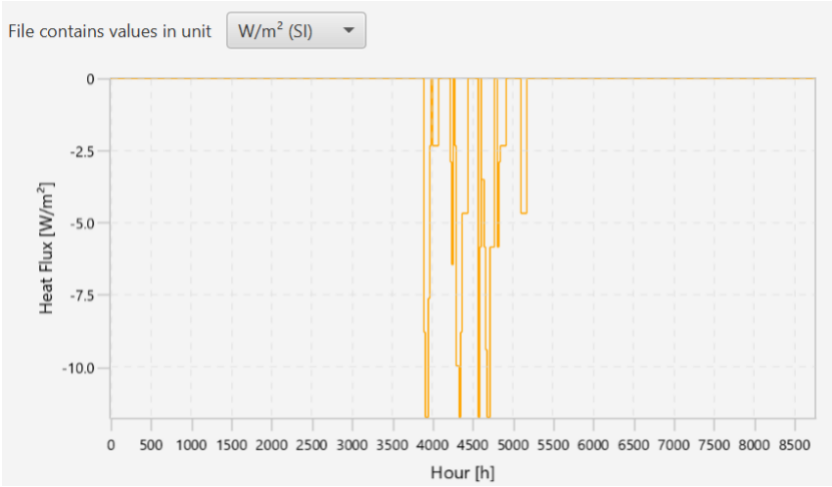


Figur 9.24: Kyleffekt 21 °C yttemperatur, Luleå.

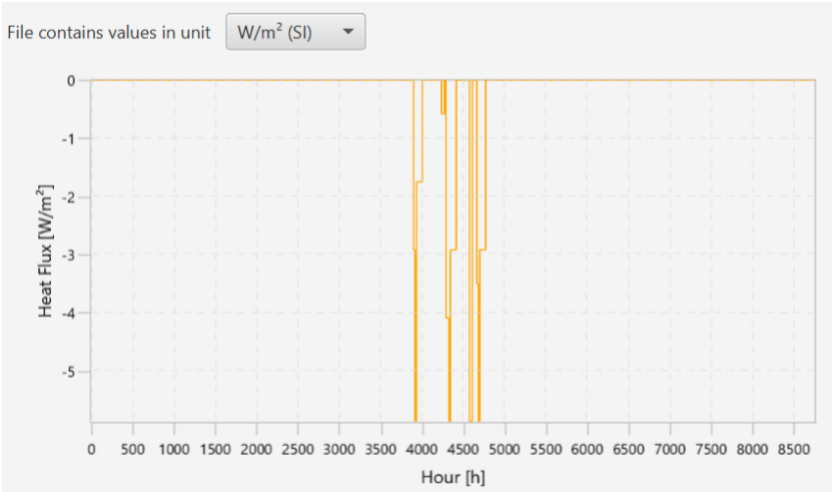


Figur 9.25: Kyleffekt 22 °C yttemperatur, Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.26: Kyleffekt 23 °C ytemperatur, Luleå.



Figur 9.27: Kyleffekt 24 °C ytemperatur, Luleå.

Bilaga 2 - Yt- och framledningstemperaturer

Tabell 9.1: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag med isolering Lund.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C yttemperatur	4,2	6,4	17,0	18,4	17,6
17 °C yttemperatur	6,4	8,6	17,8	19,0	18,4
18 °C yttemperatur	8,7	10,9	18,6	19,7	19,2
19 °C yttemperatur	10,9	13,1	19,4	20,6	19,9
20 °C yttemperatur	13,1	15,4	20,1	21,4	20,7
21 °C yttemperatur	15,3	17,6	20,9	22,2	21,5
22 °C yttemperatur	17,6	19,6	21,7	23,0	22,3
23 °C yttemperatur	19,8	21,4	22,6	23,7	23,2
24 °C yttemperatur	22,4	22,9	22,3	24,4	24,0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.1: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag utan isolering Lund.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Ytemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C ytemperatur	9,1	10,8	18,2	19,8	19,0
17 °C ytemperatur	10,7	12,4	18,7	20,4	19,6
18 °C ytemperatur	12,3	14,0	19,3	20,9	20,2
19 °C ytemperatur	14,0	15,7	19,9	21,5	20,8
20 °C ytemperatur	15,6	17,4	20,5	22,1	21,4
21 °C ytemperatur	17,3	19,1	21,2	22,7	22,0
22 °C ytemperatur	19,0	20,7	21,7	23,3	22,6
23 °C ytemperatur	20,7	22,2	22,7	23,9	23,5
24 °C ytemperatur	22,9	23,4	22,2	24,6	24,2

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.2: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag med isolering Stockholm.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C yttemperatur	4,6	6,6	16,8	20,6	17,7
17 °C yttemperatur	6,8	8,8	17,5	20,8	18,5
18 °C yttemperatur	9,1	11,0	18,3	20,9	19,3
19 °C yttemperatur	11,3	13,2	19,1	21,0	20,0
20 °C yttemperatur	13,5	15,4	19,8	21,3	20,8
21 °C yttemperatur	15,8	17,6	20,5	22,1	21,6
22 °C yttemperatur	18,1	19,8	20,6	22,9	22,3
23 °C yttemperatur	20,3	21,4	22,2	23,7	23,3
24 °C yttemperatur	22,5	23,2	23,3	24,5	24,2

Tabell 9.4: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C yttemperatur	9,2	11,0	18,0	21,0	19,2
17 °C yttemperatur	10,9	12,6	18,6	21,1	19,7
18 °C yttemperatur	12,6	14,2	19,1	21,1	20,3
19 °C yttemperatur	14,2	15,8	19,7	21,5	20,9
20 °C yttemperatur	15,9	17,5	20,3	22,2	21,5
21 °C yttemperatur	17,6	19,2	20,5	22,8	22,1
22 °C yttemperatur	19,3	20,8	20,6	23,4	22,7
23 °C yttemperatur	21,2	22,2	22,2	24,0	23,6
24 °C yttemperatur	22,9	23,6	23,3	24,6	24,3

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.5: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag med isolering Luleå.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C yttemperatur	4,3	7,0	17,0	21,0	17,8
17 °C yttemperatur	6,6	9,2	17,8	21,1	18,5
18 °C yttemperatur	8,8	11,4	18,6	21,2	19,3
19 °C yttemperatur	11,0	13,6	19,4	21,4	20,0
20 °C yttemperatur	15,7	17,6	20,6	22,3	21,4
21 °C yttemperatur	15,6	18,1	20,9	22,5	21,6
22 °C yttemperatur	17,8	20,0	21,7	23,3	22,3
23 °C yttemperatur	20,5	21,6	22,9	23,8	23,3
24 °C yttemperatur	22,8	23,3	23,7	24,4	24,2

Tabell 9.6: Yt- och framledningstemperaturer, mellanbjälklag utan isolering Luleå.

Kyl-effektsfall	Framledningstemperatur [°C]		Yttemperatur [°C]		
	Minimivärde	Medelvärde	Minimivärde	Maximivärde	Medelvärde
16 °C yttemperatur	9,0	11,2	18,3	21,4	19,1
17 °C yttemperatur	10,6	12,8	18,8	21,5	19,7
18 °C yttemperatur	12,3	14,4	19,4	21,5	20,3
19 °C yttemperatur	14,0	16,1	20,0	21,7	20,8
20 °C yttemperatur	17,5	19,1	20,9	23,0	21,9
21 °C yttemperatur	17,4	19,4	21,2	22,9	22,0
22 °C yttemperatur	19,1	20,9	21,7	23,5	22,6
23 °C yttemperatur	21,4	22,3	22,9	24,2	23,5
24 °C yttemperatur	23,1	23,6	23,7	24,6	24,3

Bilaga 3 - Riskbedömning mögel

Tabell 9.3: Mögelindex för undersökta punkter, platta på mark Lund.

Kyl-effektsfall	Position		
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Mellan betong och plastfolie
Referensfall	0	0	0
16 °C yttemperatur	5,3	2,68	0
17 °C yttemperatur	5,24	0	0
18 °C yttemperatur	4,37	0	0
19 °C yttemperatur	1,29	0	0
20 °C yttemperatur	0,235	0	0
21 °C yttemperatur	0,058	0	0
22 °C yttemperatur	0	0	0
23 °C yttemperatur	0	0	0
24 °C yttemperatur	0	0	0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.4: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag utan isolering Lund.

Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0	0,001	0	0
16 °C ytemperatur	0,684	0	4,33	4,78	5,23	0
17 °C ytemperatur	0,225	0	3,35	3,86	5,08	0
18 °C ytemperatur	0,093	0	0,975	1,58	4,52	0
19 °C ytemperatur	0,016	0	0,223	0,378	2,99	0
20 °C ytemperatur	0	0	0,045	0,113	0,504	0
21 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0,088	0
22 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0

Tabell 9.9: Mögelindex för undersökta punkter, platta på mark Stockholm.

Kyl-effektsfall	Position		
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Mellan betong och plastfolie
Referensfall	0	0	0
16 °C ytemperatur	5,26	0	0
17 °C ytemperatur	5,12	0	0
18 °C ytemperatur	3,51	0	0
19 °C ytemperatur	0,928	0	0
20 °C ytemperatur	0,186	0	0
21 °C ytemperatur	0,049	0	0
22 °C ytemperatur	0	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.5: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0	0,001	0	0
16 °C ytemperatur	0,368	0	1,35	2,18	4,96	0
17 °C ytemperatur	0,181	0	0,293	0,447	4,56	0
18 °C ytemperatur	0,074	0	0,113	0,209	2,93	0
19 °C ytemperatur	0,015	0	0	0,037	0,974	0
20 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0,223	0
21 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0,026	0
22 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.6: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag med isolering Luleå.

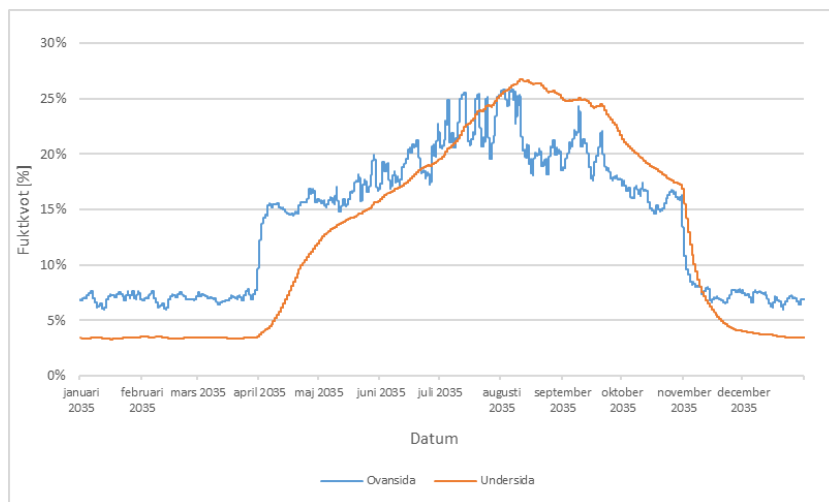
Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0	0,001	0	0
16 °C ytemperatur	0	0	0,001	0,001	0	0
17 °C ytemperatur	1,24	0,043	0,002	0,025	1,96	0
18 °C ytemperatur	0,318	0	0,001	0,001	1,28	0
19 °C ytemperatur	0,123	0	0,001	0,001	0,433	0
20 °C ytemperatur	0,035	0	0	0,001	0,213	0
21 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0,002	0
22 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0	0,001	0	0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

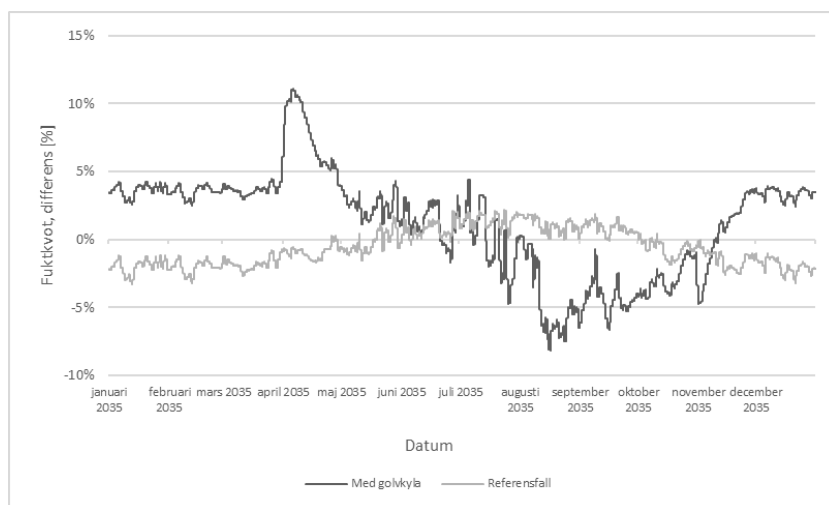
Tabell 9.7: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag utan isolering Luleå.

Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referensfall	0	0	0	0	0	0
16 °C ytemperatur	0,13	0	0	0	1,16	0
17 °C ytemperatur	0,051	0	0	0	0,353	0
18 °C ytemperatur	0,014	0	0	0	0,174	0
19 °C ytemperatur	0,004	0	0	0	0,062	0
20 °C ytemperatur	0	0	0	0	0	0
21 °C ytemperatur	0	0	0	0	0	0
22 °C ytemperatur	0	0	0	0	0	0
23 °C ytemperatur	0	0	0	0	0	0
24 °C ytemperatur	0	0	0	0	0	0

Bilaga 4 - Sprickbildning

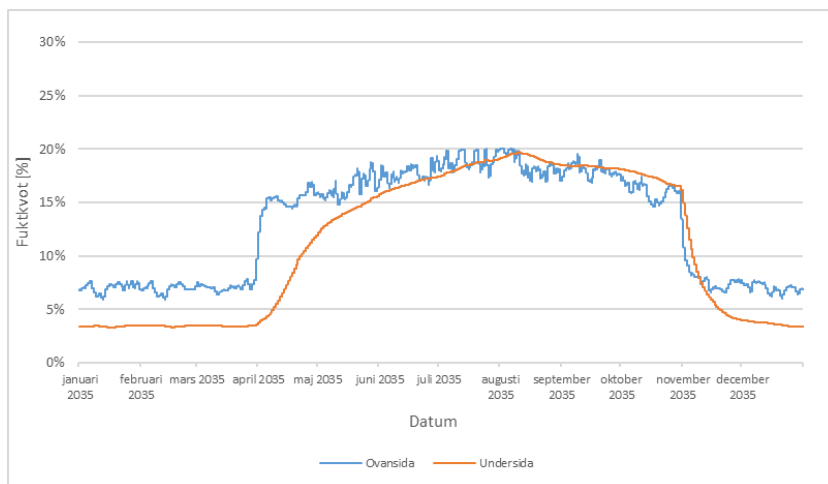


Figur 9.28: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, platta på mark Lund.

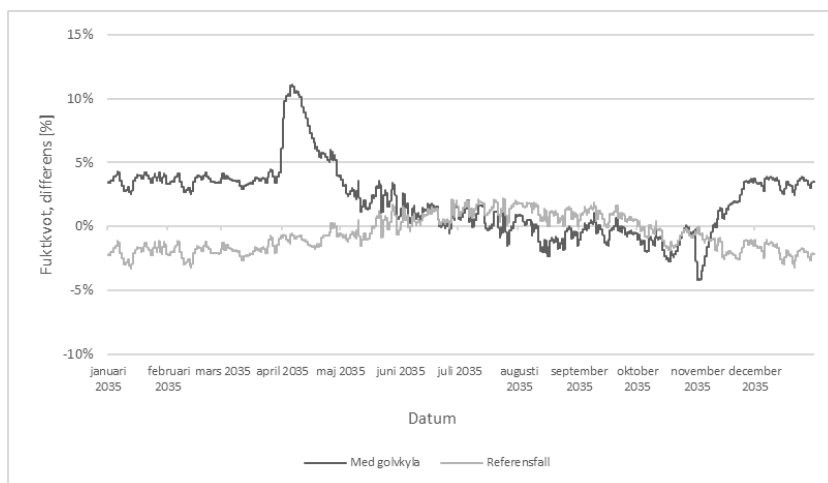


Figur 9.29: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, platta på mark Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

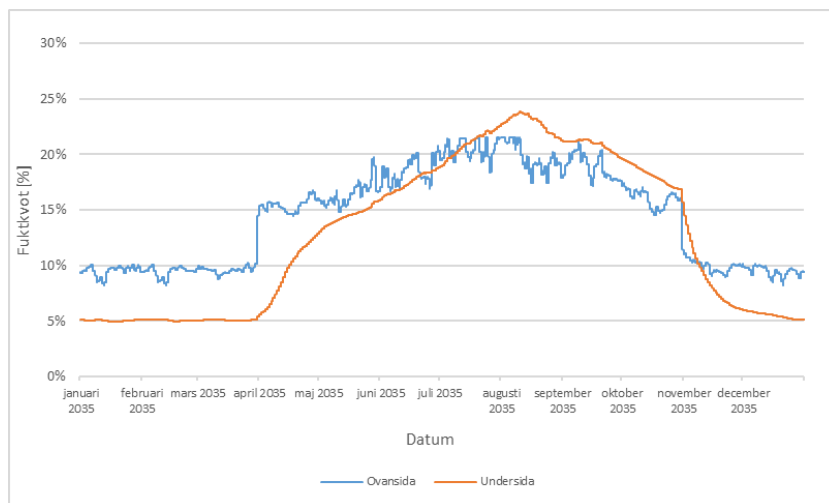


Figur 9.30: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Lund.

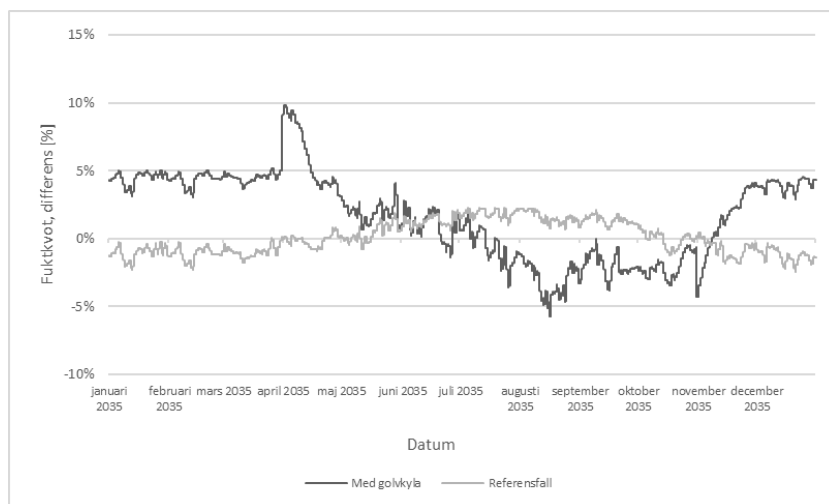


Figur 9.31: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

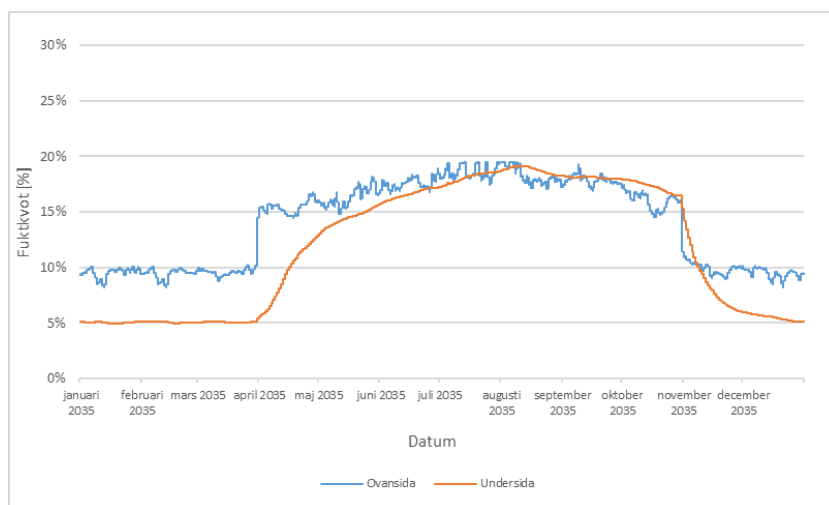


Figur 9.32: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Lund.

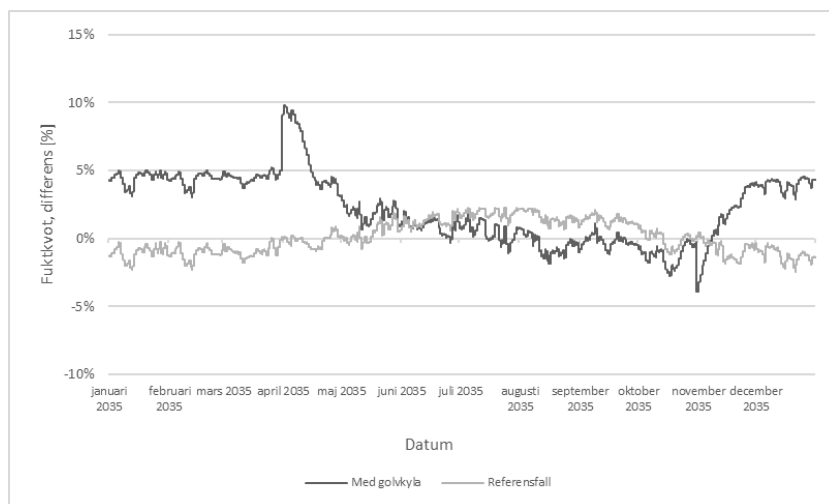


Figur 9.33: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

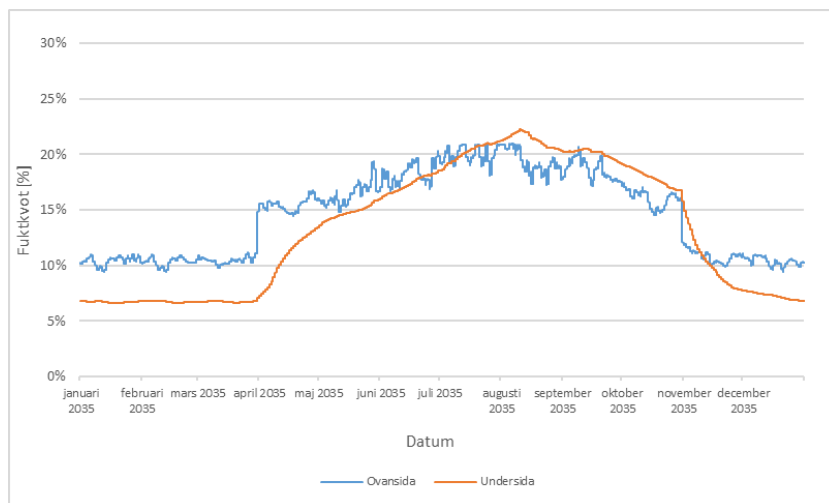


Figur 9.34: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering.

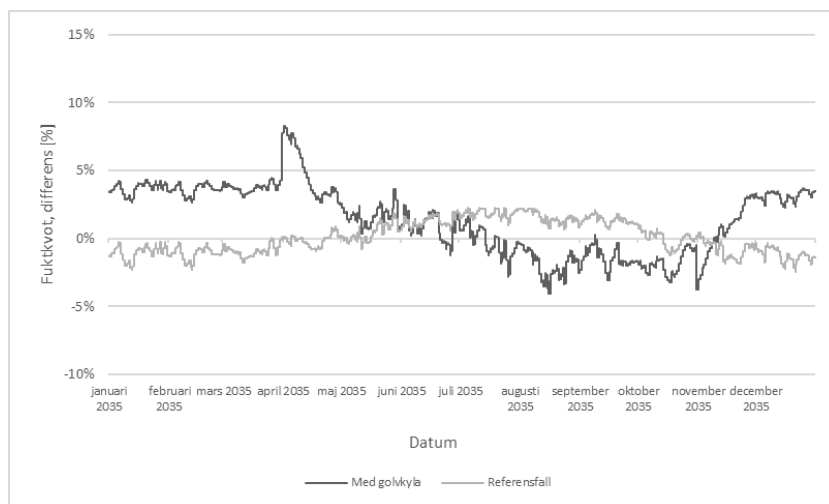


Figur 9.35: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

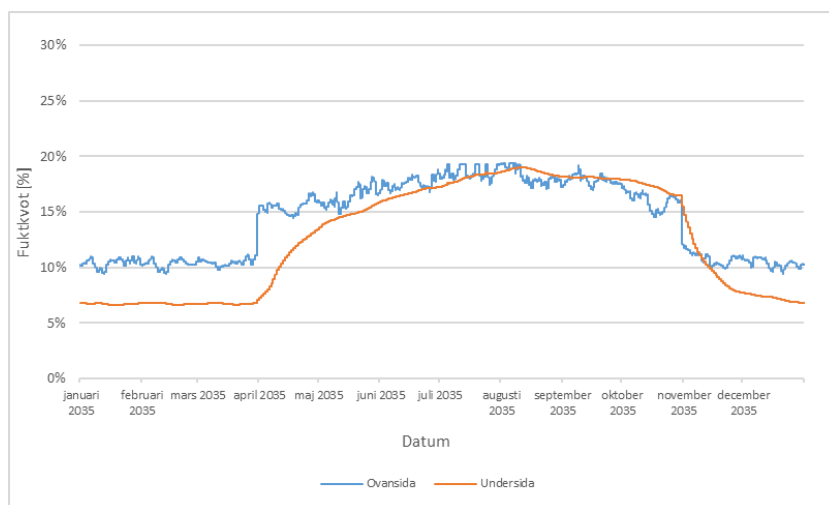


Figur 9.36: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Lund.

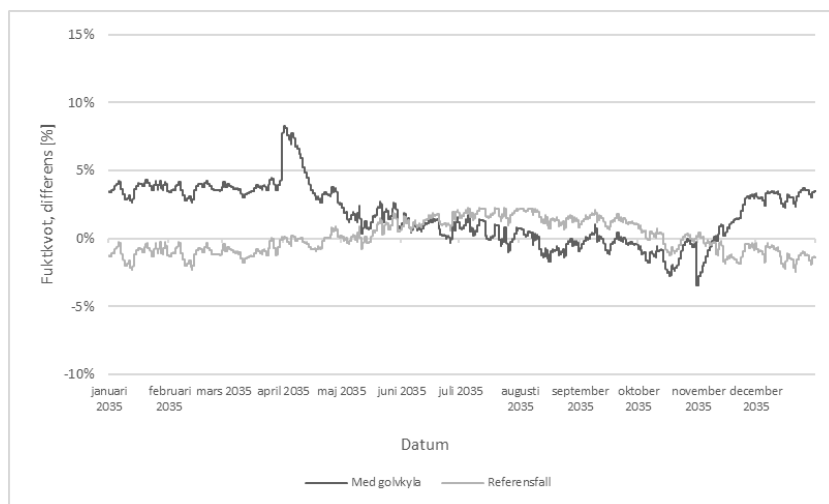


Figur 9.37: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Lund.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

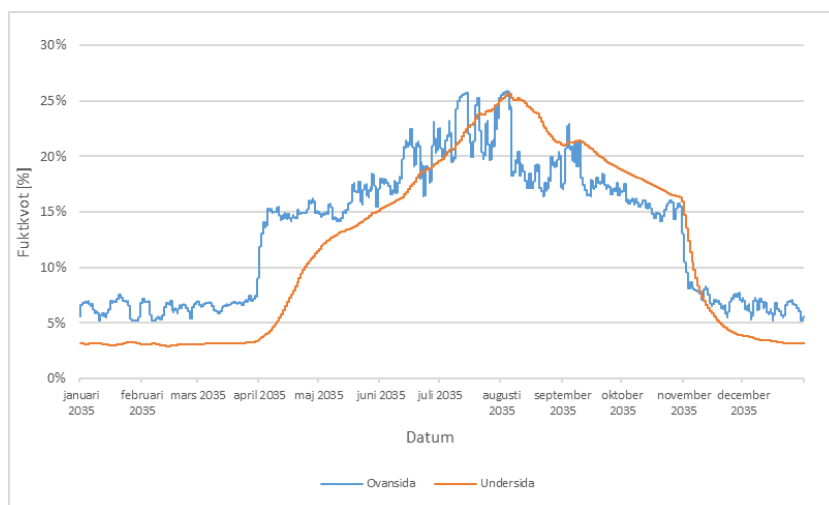


Figur 9.38: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Lund.

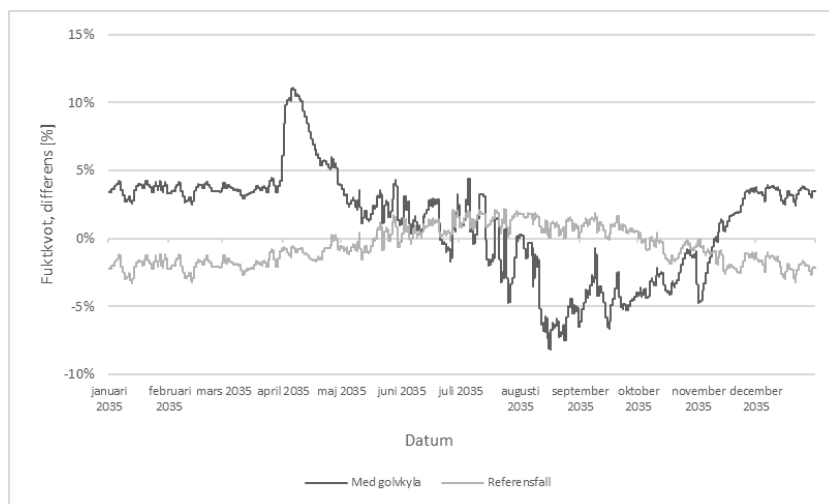


Figur 9.39: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

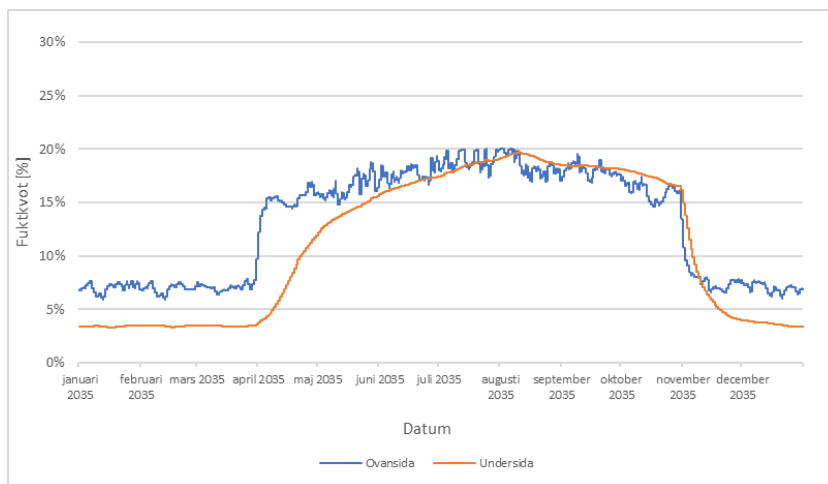


Figur 9.40: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, platta på mark Stockholm.

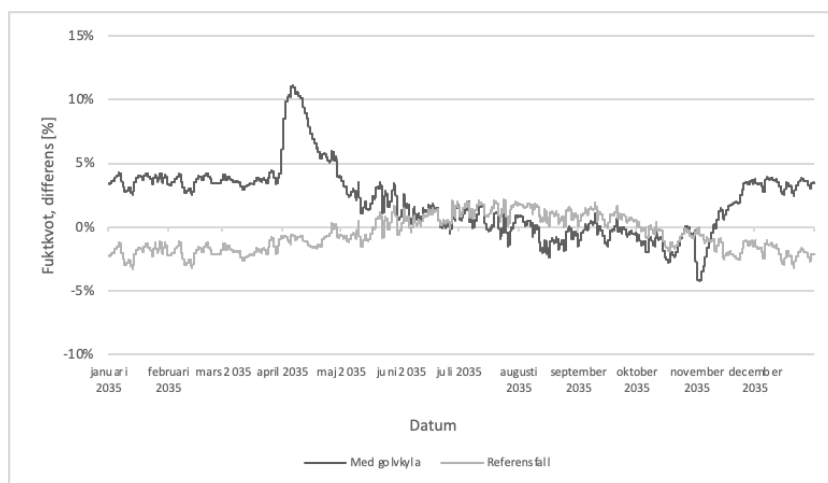


Figur 9.41: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, platta på mark Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

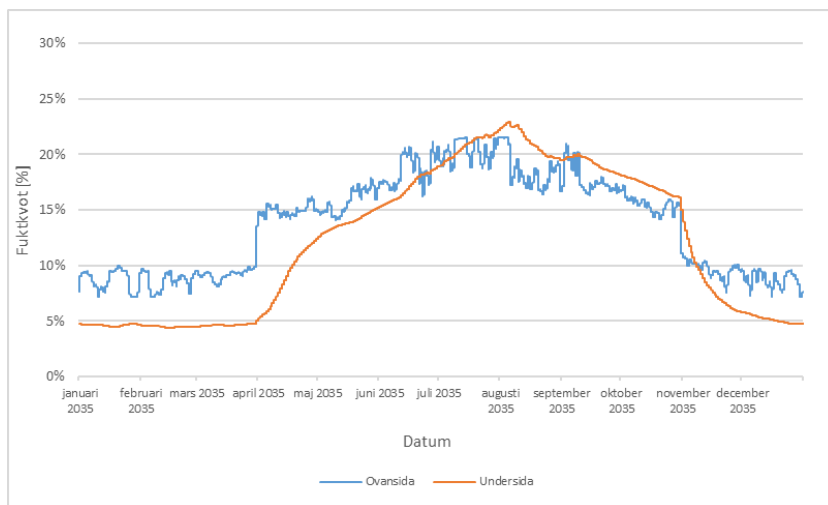


Figur 9.42: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Stockholm.

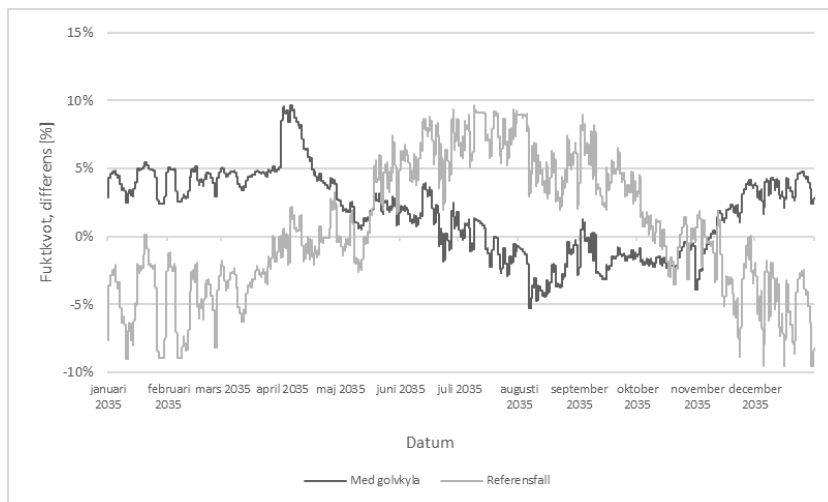


Figur 9.43: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

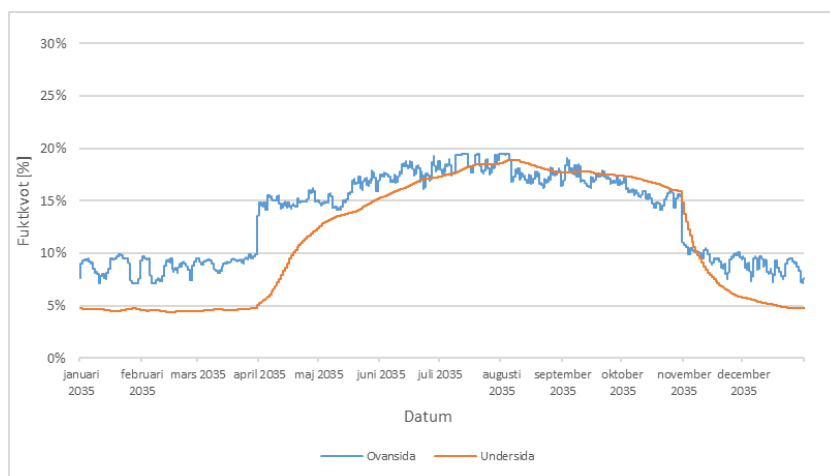


Figur 9.44: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Stockholm.

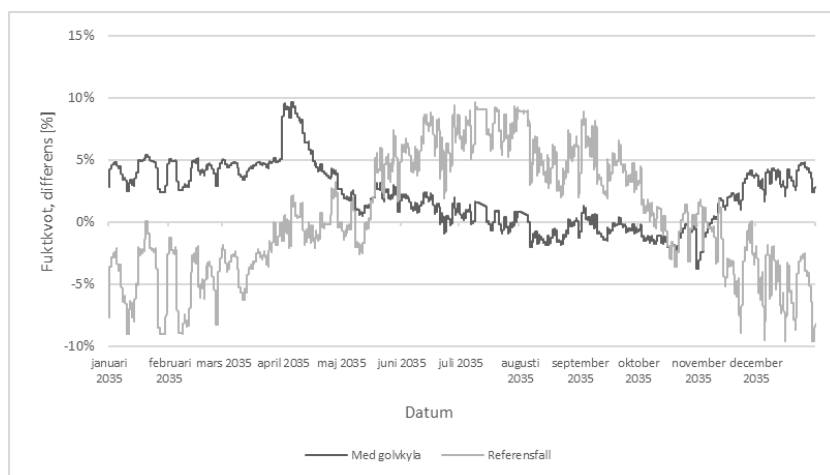


Figur 9.45: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.46: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C yttemperatur, mellanbjälklag med isolering Stockholm.

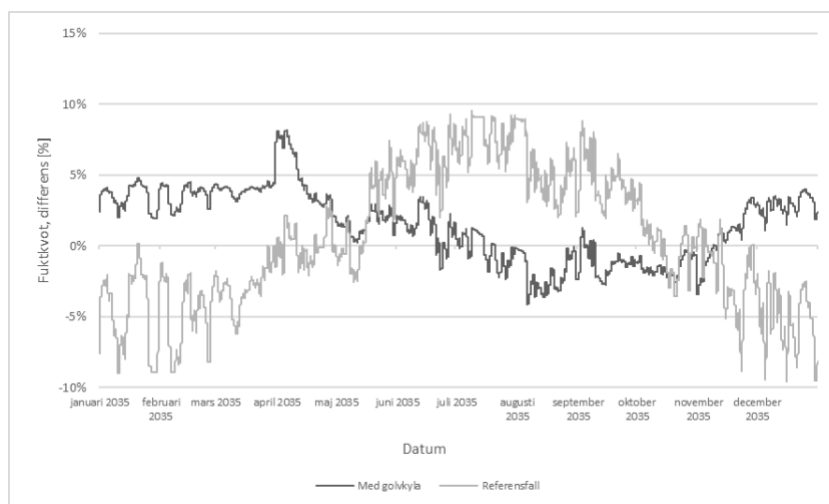


Figur 9.47: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C yttemperatur, mellanbjälklag med isolering Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.48: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

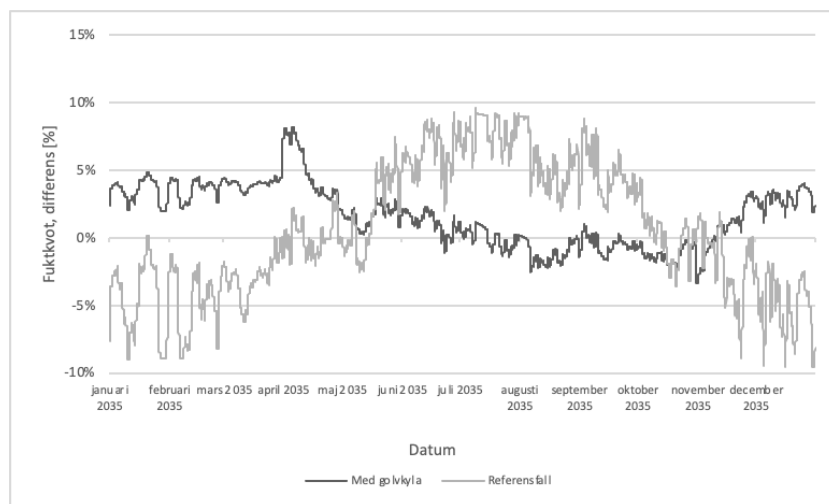


Figur 9.49: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 21 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

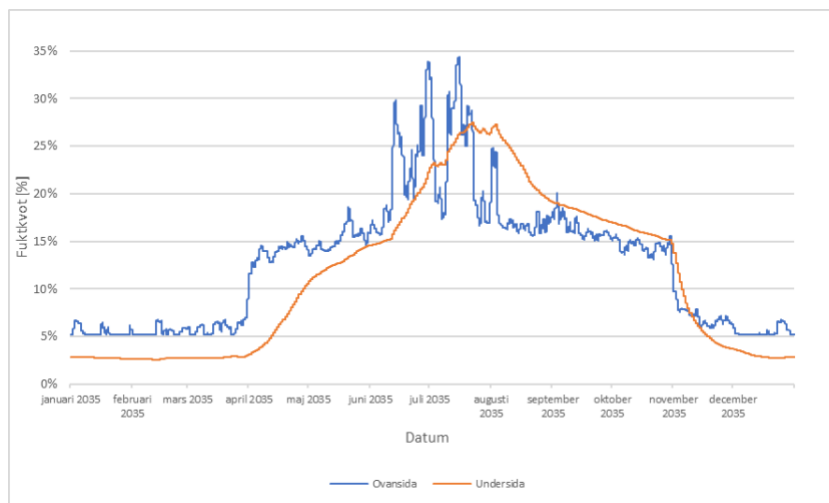


Figur 9.50: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

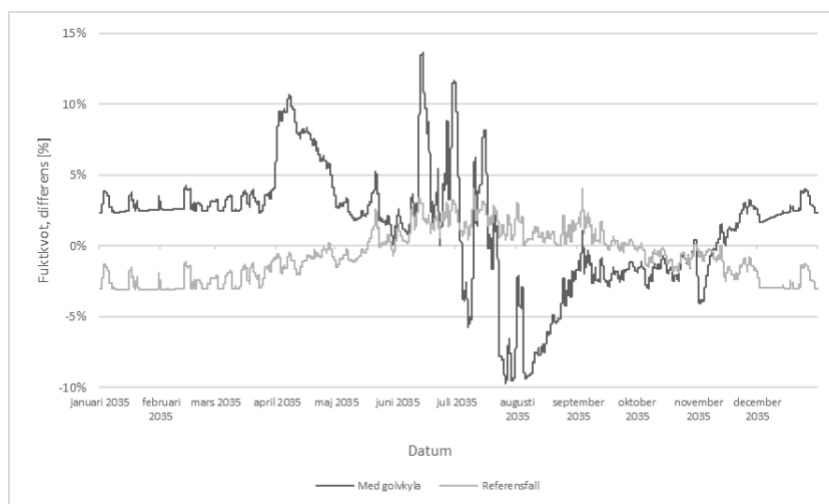


Figur 9.61: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Stockholm.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

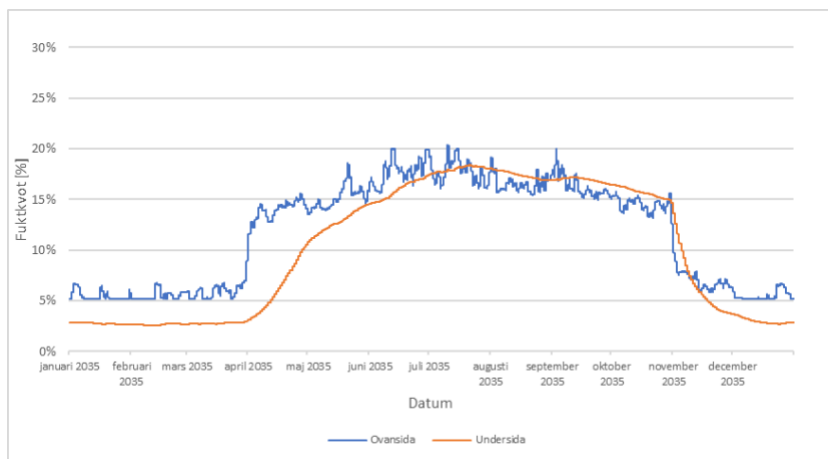


Figur 9.52: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 18 °C ytemperatur, platta på mark Luleå.

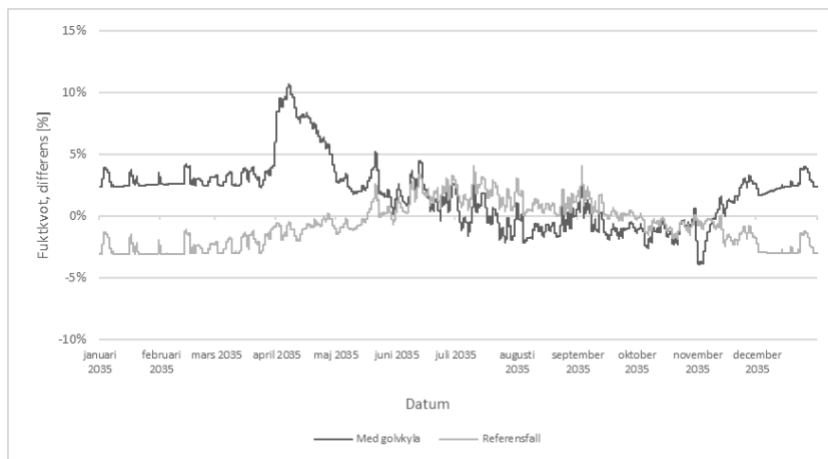


Figur 9.53: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 18 °C ytemperatur, platta på mark Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

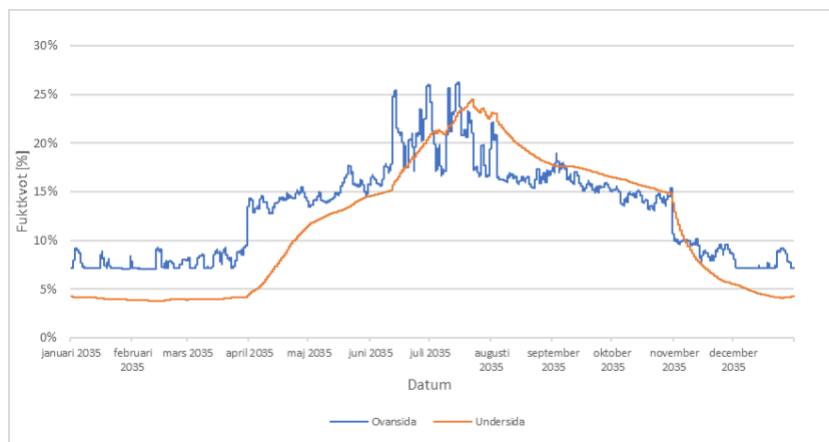


Figur 9.54: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Luleå.

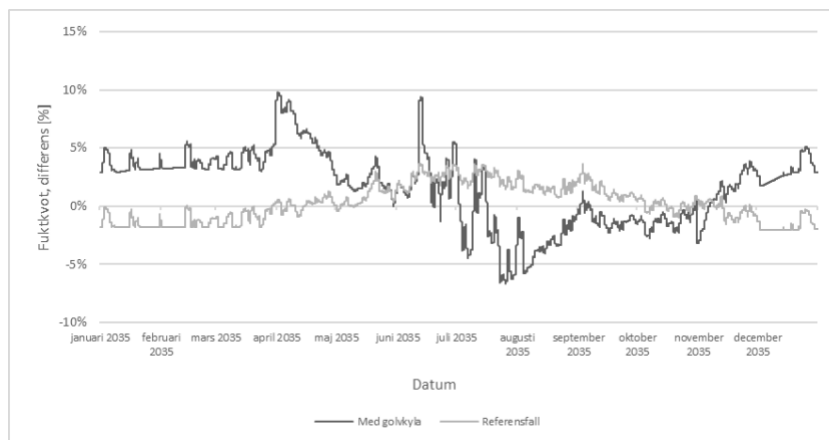


Figur 9.55: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, platta på mark Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

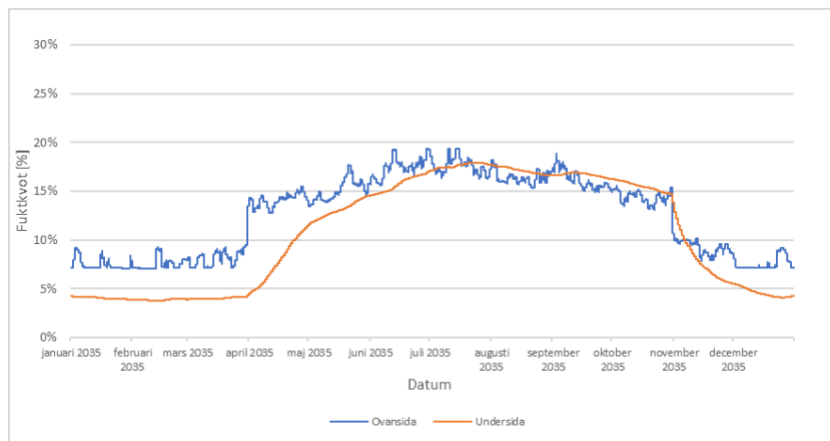


Figur 9.56: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 18 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Luleå.

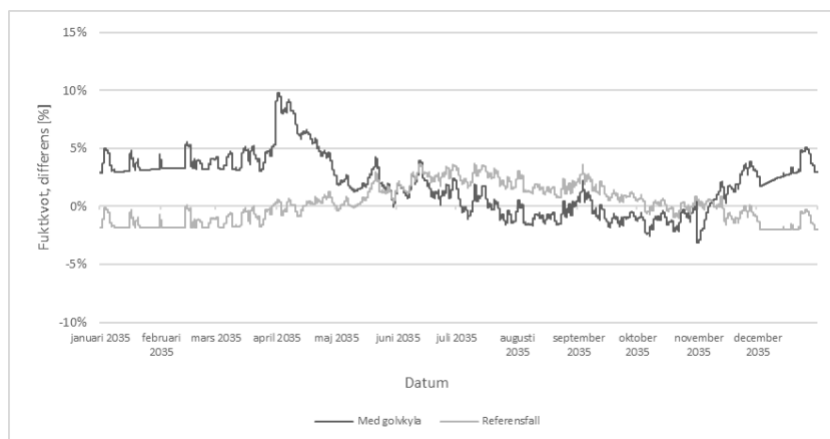


Figur 9.57: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 18 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

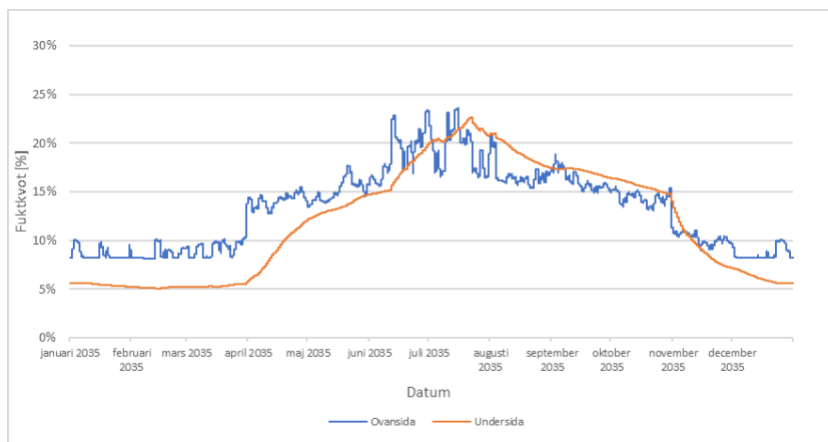


Figur 9.58: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Luleå.

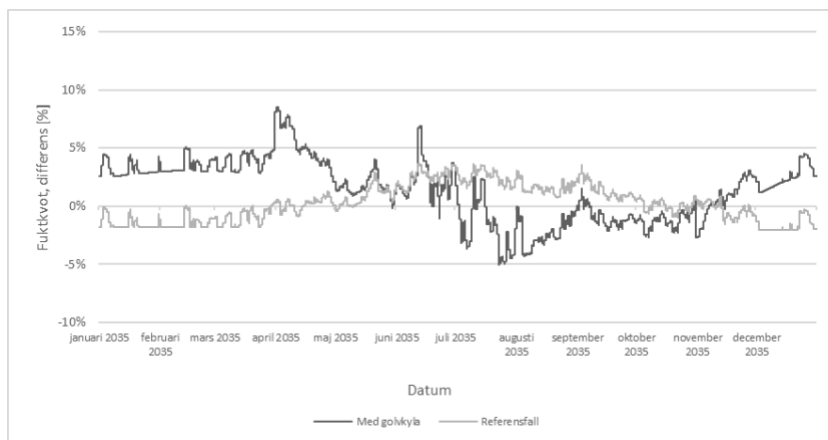


Figur 9.59: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag med isolering Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

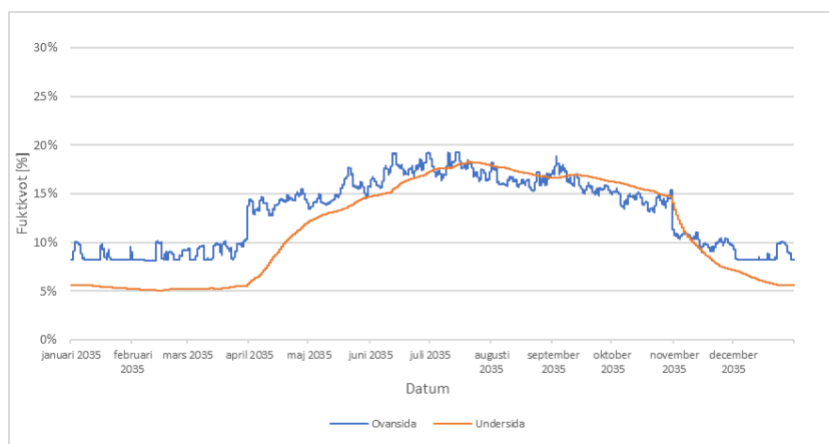


Figur 9.60: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 18 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Luleå.

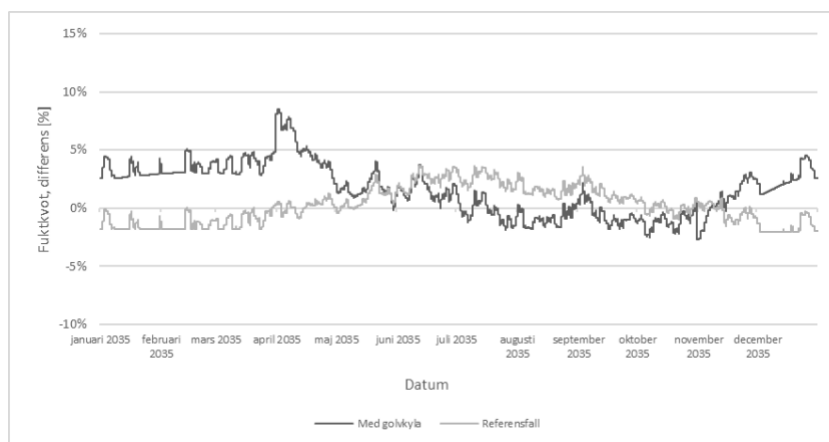


Figur 9.61: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 18 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Luleå.

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner



Figur 9.62: Fuktkvot för övre och undre delen av ytskiktet, golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Luleå.



Figur 9.63: Differens i fuktkvot mellan övre och undre delen av ytskiktet, utan golvkyla och golvkyla med 24 °C ytemperatur, mellanbjälklag utan isolering Luleå.

Bilaga 5 - Springbildning

Tabell 9.138: Resultat för springbildning för ett parkettgolv, förändring i stavbredd och total förändring för ett rum, platta på mark. Rummets bredd är 5,4 m.

Fall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C yttemperatur	-	-	-	-	2,10	14,7
19 °C yttemperatur	-	-	-	-	1,91	13,4
20 °C yttemperatur	-	-	-	-	1,76	12,3
21 °C yttemperatur	1,89	13,2	1,87	13,1	1,64	11,5
22 °C yttemperatur	1,66	11,6	1,67	11,7	1,53	10,7
23 °C yttemperatur	1,51	10,5	1,53	10,7	1,44	10,1
24 °C yttemperatur	1,39	9,73	1,43	9,99	1,39	9,70
Referens	0,45	3,15	0,55	3,83	0,60	4,21
Golvvärme	1,32	9,22	1,36	9,54	1,36	9,49

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.149: Resultat för springbildning för ett parkettgolv, förändring i stavbredd och total förändring för ett rum, mellanbjälklag med isolering. Rummets bredd är 5,4 m.

Fall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,60	11,2
19 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,52	10,6
20 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,43	10,0
21 °C ytemperatur	1,43	10,0	1,46	10,2	1,37	9,56
22 °C ytemperatur	1,33	9,29	1,37	9,59	1,30	9,08
23 °C ytemperatur	1,24	8,65	1,28	8,98	1,24	8,69
24 °C ytemperatur	1,16	8,10	1,21	8,50	1,20	8,39
Referens	0,43	3,00	0,52	3,65	0,57	3,97
Golvvärme	1,10	7,72	1,17	8,17	1,18	8,23

Tabell 9.1510: Resultat för springbildning för ett parkettgolv, förändring i stavbredd och total förändring för ett rum, mellanbjälklag utan isolering. Rummets bredd är 5,4 m.

Fall	Lund		Stockholm		Luleå	
	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)	ΔL (mm)	ΔL_{tot} (cm)
18 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,38	9,63
19 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,31	9,20
20 °C ytemperatur	-	-	-	-	1,26	8,81
21 °C ytemperatur	1,20	8,42	1,26	8,82	1,21	8,44
22 °C ytemperatur	1,13	7,90	1,19	8,33	1,15	8,08
23 °C ytemperatur	1,06	7,42	1,12	7,87	1,11	7,78
24 °C ytemperatur	1,00	7,00	1,07	7,50	1,09	7,55
Referens	0,43	3,00	0,52	3,65	0,57	3,97
Golvvärme	0,96	6,71	1,04	7,25	1,06	7,42

Bilaga 6 - Känslighetsanalys

Tabell 9.1611: Mögelindex för undersökta punkter, platta på mark känslighetsanalys.

Fall	Position		
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Mellan betong och plastfolie
Referens	0,235	0	0
Ökat fukttillskott	1,94	0	0
Golvvärme	0,218	0	0
Furugolv	0,432	4,4	0
Ekgolv	0,22	0,095	0
Ökad maximal inomhustemperatur	1,22	0	0

Tabell 9.1712: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag med isolering känslighetsanalys.

Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referens	0,048	0	0,254	0,366	3,55	0
Ökat fukttillskott	0,312	0	1,25	1,73	4,4	0
Golvvärme	0	0	0,444	0,027	0,983	0
Furugolv	0,113	2,81	0,223	0,328	3,21	0
Ekgolv	0,044	0,016	0,257	0,37	3,5	0
Ökad maximal inomhustemperatur	0,086	0	0,234	0,346	3,48	0

Risker vid användning av golvkyla i träbaserade golvkonstruktioner

Tabell 9.1813: Mögelindex för undersökta punkter, mellanbjälklag utan isolering känslighetsanalys.

Fall	Position					
	Golvets ytskikt	Golvets underkant	Gipsskivans överkant	Övre del spånskiva	Spånskivans underkant	Ytskikt mot nedanvåning
Referens	0	0	0,045	0,113	0,504	0
Ökat fukttillskott	0,1	0	0,267	0,458	2,79	0
Golvvärme	0	0	0,321	0	0,073	0
Furugolv	0	0,243	0,037	0,097	0,404	0
Ekgolv	0	0,016	0,049	0,119	0,461	0
Ökad maximal inomhustemperatur	0,022	0	0,103	0,322	1,1	0