

PROJEKTNR. 14244

## Validering av fuktomfördelningsberäkningsvägledning – Jämförelsestudie mellan uppmätt och beräknad fukt i betongbjälklag

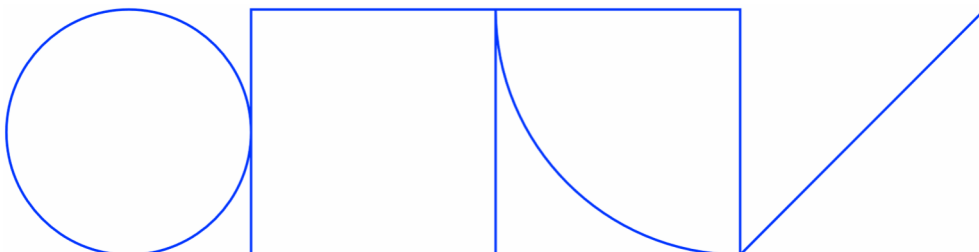
Mikael Oxfall

NCC Sverige AB

Johan Tannfors  
Polygon Sverige

Mathias Lindskog  
Fuktanalys AB

2024-09-30





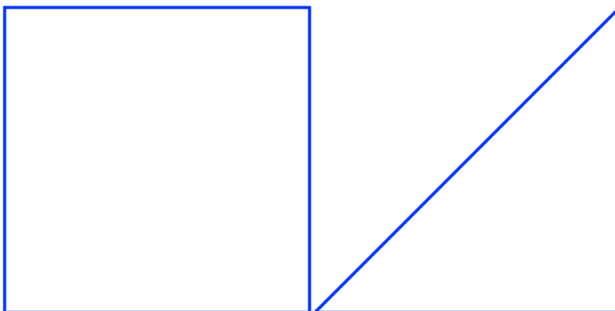
## Förord

Projektidén och grundstruktur för detta projekt framarbetades av den tidigare projektgruppen från SBUF 13701. Detta gjordes som del i gruppens idé-drivna självfinansierade diskussionsforum för forsknings och utvecklingsfrågor inom byggnadsfysik och byggnadsmaterial, Fuktkubben. Projektledare för projektet, tillika huvudförfattare av rapporten, har varit Mikael Oxfall NCC Sverige AB. Huvudutförare av beräkningar har varit Johan Tannfors, Polygon Sverige AB och Mathias Lindskog Fuktanalys AB. En utökad arbetsgrupp som utgjordes av Anders Kumlin, Anders Kumlin AB; Sture Lindmark, Lindmark Konsult AB; S.Olof Mundt-Petersen, TMF; Lars-Olof Nilsson, Moistenginst AB; Nilla Olsson NCC AB, har stöttat, ifrågasatt, kritiserat samt granskat projektet. Dessutom har Tarkett genom Edvard Lodin och Stefan Granöö ytterligare förstärkt den utökade arbetsgruppen genom leverantörsperspektiv i diskussioner samt genom stora insatser för att återställa golvytor vid provtagning i tre av referenskonstruktioner. Även Peab, Swerock och Heidelberg Materials Cement har bidragit till projektet genom att bidra med egna resultat från ett för dem gemensamt utvecklingsprojekt vilket möjliggjort referenskonstruktion 4-8 i detta projekt.

Projektet har finansierats av SBUF, projektdeltagare genom respektive bolag samt deras fritid, Tarkett, Peab, Swerock, Heidelberg Materials Cement, Region Östergötland, Castellum samt NCC genom personinsatser samt upplåtande av ytor samt provtagning och återställanden. Ett stort tack riktas till projektets finansiärer för att ha möjliggjort denna studie.

Ett stort tack riktas även till projektets referensgrupp som utgjort ett gott stöd genom projektet, i grupp och genom enskilda insatser. Utan inbördes ordning: Mattias Gunnarsson, PEAB; Ted Rapp, Byggföretagen; Anders Selander, Heidelberg materials Cement; Kent Bergström, Polygon Sverige AB; Oskar Lindroth, Swerock AB; Stina Enebjörk, Region Östergötland.

Mikael Oxfall, September 2024



## Sammanfattning

En omfördelningsberäkning enligt vägledningen är inte avsedd att ge den korrekta fuktnivån. Avsikten är att med god marginal utgöra en förfinad kontroll i jämförelse med mätning på ekvivalent mätdjup enligt RBK-systemet.

I det tidigare projektet SBUF 13701 presenterades en vägledning för hur en omfördelningsberäkning bör genomföras på ett systematiskt och teoretiskt säkert sätt. Detta projekt avsåg att validera den tidigare framarbetade vägledningen genom en jämförelsestudie mellan uppmätta och beräknade fall. Studien innehöll åtta olika referenskonstruktioner och sammantaget 19 olika beräkningar genomfördes för att med vissa material-, och modellvariationer kontrollera hur väl simuleringarna stickprovsmässigt överensstämde med uppmätta fuktnivåer efter ett till fem års fuktomfördelning.

Golvläggning efter godkända resultaten från en omfördelningsberäkning, enligt vägledningen från SBUF 13701, ger en framtida fuktomfördelning som är närmare de uppmätta fuktnivåerna i kritiska skikt i jämförelse med en RBK-mätning på ekvivalent mätdjup. Genom omfördelningsberäkningen ger detta även med fortsatt god marginal till högsta tillåtna fuktnivå ( $RF_{OK}$ ). Studien visar på att den beräknade uttorkningen generellt underskattas för betongen men framför allt för avjämningen. En generell siffra på vilken marginal som finns i en omfördelningsberäkning gick ej att uppskatta.

För de fall av bjälklagsuppbyggnader som studeras i detta projekt är säkerheten god, i många fall mycket god. För att generalisera resultaten till fler bjälklagsuppbyggnader behövs ytterligare förståelse för de olika materialens fuktegenskaper och dess påverkan på beräkningsresultaten.

Orsaken till skillnaden mellan beräknat och uppmätt fuktnivå för aktuella fall kan ej fastställas i studien. Möjliga orsaker är överskattning av golvbeläggningarnas täthet, ofullständig data kring olika betongsammansättnings täthet, samt en samlad effekt av de i vägledningen rekommenderade konservativa antagandena. En effekt av fortsatt förändring av betong, avjämning och golvbeläggningarnas beskaffenheter kan inte heller uteslutas, en sådan effekt kan skönjas i resultaten men inte valideras.

Resultaten lyfter åter frågan om det finns vissa typer av konstruktioner, eller vissa typer av materialkombinationer, där det inte längre är relevant med en mätning av RF i betongen på ekvivalent mätdjup som kontroll under produktion. För vissa konstruktioner bör andra typer av kontroller samt ändrad kravställning införas som substitut för dessa system.

# Innehållsförteckning

1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte.....	7
1.3 Mål.....	7
2. Metod.....	8
2.1 Referenskonstruktioner.....	8
2.2 Fuktmätning.....	9
2.3 Material.....	12
2.4 Beräkningsfall.....	17
3. Resultat och Analys.....	20
3.1 Fuktnivå i avjämning.....	20
3.2 Referenskonstruktion 1, HD/F 400 mm och textilmatta.....	21
3.3 Referenskonstruktion 2, HD/F 400 mm och plastmatta.....	24
3.4 Referenskonstruktion 3, HD/F 385 mm och plastmatta.....	26
3.5 Referenskonstruktion 4, plattbärlag 250 mm och plastmatta.....	29
3.6 Referenskonstruktion 5, platta på mark 200 mm och plastmatta.....	31
3.7 Referenskonstruktion 6, platta på mark 200 mm och linoleum.....	32
3.8 Referenskonstruktion 7, HD/F 265 mm och linoleum.....	33
3.9 Referenskonstruktion 8, HD/F 265 mm och Plastmatta.....	35
4. Diskussion och analys.....	38
4.1 Förutsättningar.....	38
4.2 Analys: Mätresultat.....	40
4.3 Analys: Materialmodellernas inverkan.....	40
4.4 Analys: Beräkningsresultat mot uppmätt värde och validering av metodiken enligt vägledningen SBUF 13701.....	40
5. Slutsats.....	42
6. Källor.....	44

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Byggbranschen är inne i en fas där väletablerade metoder och synsätt kopplat till golvsystem och uttorkningskrav i betongbjälklag utmanas. Förändringen drivs till stor del av en ökad ambition att minska byggbranschens negativa miljö- och klimatpåverkan. Att betong är bland de större källorna till byggindustrins totala utsläpp av koldioxid är välkänt. En avgörande orsak till den höga klimatbelastningen för bjälklag kan kopplas till uttorkningskrav för golvbeläggningar. Förenklat kan problematiken beskrivas med att betong med låg vct, det vill säga betong med en hög andel cement, används för att klara rådande uttorkningskrav och korta produktionstiderna. Betong med en hög andel cement har i sin tur ett betydligt högre klimatavtryck och ett sätt att minska klimatpåverkan är att reducera mängden cement. Idag är RBK-systemet [1] rådande praxis för kontroll av kvarvarande fukt i betong och golvavjämning. För en RBK-mätning i betong, om inget annat anges, avses en fuktmätning på ett ekvivalent mätdjup. Förenklat innebär detta att den fuktnivå som mäts motsvarar den högsta fuktnivå som riskerar uppkomma i konstruktionens kritiska snitt efter en fuktomfördelning. Modellen bakom RBK-system och dess uppbyggnad har en god säkerhetsmarginal vilket historiskt har tjänat branschen väl med minskad risk för fuktrelaterade avvikelser. Systemet har vidareutvecklats och mätnoggrannheten har ökat ytterligare med åren. De betonger och golvsystem som används 2020 skiljer sig stort från dem som var vanliga under 90- och 00-talet då systemet först framarbetades. Utöver detta så har kravnivåerna för uttorkning inte omdefinierats med avseende på förändrade material eller tidigare nämnd förändring av mätmetod [2].

Under det senaste decenniet har stora insatser gjorts för att öka förståelsen kring uttorkning bland annat genom inmätningar av materialdata för fler bindemedel [3-6] samt nya modeller för uttorkning [7,8]. Dessa insatser har delvis drivits med anledning av att det upplevs som svårt att nå den kravställda uttorkningsnivån inom produktionstiden. Att inte nå kravställda uttorkningsnivåer kan medföra skador eller avvikelser i bjälklagssystemet. Men det riskerar även förlängd produktionstid, behov av ändrad produktionsplanering eller behov av direkta torkinsatser. Samtliga dessa åtgärder medför merkostnad och ökad osäkerhet för projektet. I fall där montage sker trots en för hög fuktnivå i konstruktionen saknas täckning av garantier då montage ej gjorts enligt anvisning. För projektet krävs både adekvata krav, verktyg för att prediktera produktionstiden samt möjliga åtgärder i de fall uppmätta fuktnivåer är för höga.

Fuktomfördelningsberäkningar har länge använts som ett komplement till RBKs mätmetod. Vid en omfördelningsberäkning bedöms golvkonstruktionen i sin helhet med avseende på dess fuktinnehåll, specifika material och den samlade inverkan på kritiska snitt. En mer adekvat modell av bjälklaget kan medföra en mer fördelaktig uttorkningspotential eller möjlighet till en fuktomfördelning som ej påverkar kritiska snitt. Generell användning av metoden i projekt har ökat först på senare år men den har varit möjlig inom ramen för RBK-systemet sedan 00-talet.

I projektet "SBUF 13701 - Praktisk vägledning för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag" [9] framarbetades en vägledning [10] med syfte att strukturera och

standardisera hur en fuktomfördelningsberäkning ska genomföras och vad som behöver beaktas för att erhålla ett kvalitetssäkrat beräkningsresultat. Projektet föranleddes av observerade stora variationer i kvalitén på omfördelningsberäkningar. Rent felaktiga metoder och antaganden och angreppssätt förekom i branschen. Resultatet från studien var en vägledning för hur en beräkning ska genomföras baserad på teoretisk grund. Vägledningen hänvisas till i RBK-fuktmättningsmanual Flik 2 [1] för hur en omfördelningsberäkning kan genomföras.

Den tidigare studien syftade dock inte till att klargöra hur rätt, eller fel, en omfördelningsberäkning var. Syftet var att säkerställa att beräkningen inkluderade avgörande faktorer samt gav förutsättning för att ge ett, möjligt och säkert resultat inom metodens begränsningar. Beräkningsresultaten inkluderade säkerhetsfaktorer för att beräkningen ska ge ett konservativt resultat "på säker sida" samt avspegla förutsättningarna i RBK-systemet. En av slutsatserna från studien var att alla räknar fel men genom vägledningen räknar alla fel på samma sätt och rent teoretiskt på den "säkra sidan". Metoden och den praktiska vägledningen för fuktomfördelningsberäkningar har dock inte validerats och marginalerna från beräknat och uppmätta fuktnivåer har ej kvantifierats. Det är därför fortfarande oklart hur tillförlitlig metoden är samt vilka inbyggda säkerhetsmarginaler som erhålls genom en beräkning inom vägledningens ramar. Spridda resultat från andra studier [11,12] indikerar vidare att säkerhetsmarginalerna i vägledningen för hur fuktomfördelningsberäkningar ska utföras kan vara för väl tilltagna.

## 1.2 Syfte

För att möjliggöra en vidare utveckling av metodiken för omfördelningsberäkningar behövs en ökad förståelse för skillnaden mellan beräkningsmodeller, dess beräkningsresultat, samt uppmätta fuktnivåer. Syftet med studien är att beskriva, och till en del utvärdera denna skillnad. Detta har genomförts genom en validering där omfördelningsberäkningar, enligt vägledningen från SBUF 13701 [10], jämförts med uppmätta fuktprofiler i de studerade betongbjälklagen. Resultat från omfördelningsberäkningar kan ge information som är viktig för byggprojekt som står inför val av åtgärd vid avvikande uttorkningsresultat. Resultaten från detta projekt avser att ge ökad kunskap att använda vid analys av omfördelningsberäkningsresultat samt att generellt öka acceptansen för metoden bland leverantörer och kravställare. Resultaten från denna studie utgör även en nyckelkomponent för utveckling och diskussion kring säkerhetsmarginaler, gränsvärden, och systemkompatibilitet för golvsystem med fuktkänsliga material.

## 1.3 Mål

Det övergripande målet med projektet är att stärka vägledningen för fuktomfördelningsberäkningar från SBUF 13701 och öka dess acceptans i branschen. Målet är även att verifiera säkerheten för metoden samt utvärdera hur beräknade resultat förhåller sig till mätresultat utförda enligt RBK-systemet. En omfördelningsberäkning enligt vägledningen ger inte ett korrekt fuktillstånd. Ett delmål är därmed att ge en indikation på vilken marginal, avvikelse mellan beräkning och mätning samt  $RF_{OK}$ , som finns för de specifika fallen. Denna analys syftar till att utgöra ett underlag specifikt för säkerhetsmarginalsdiskussion för omfördelningsberäkningar samt generellt för kontrollmetodiken och gränsvärden.

## 2. Metod

Studien innefattade fyra huvudmoment: insamling av materialdata, mätning av fuktprofiler och utförande av omfördelningsberäkningar. Därefter genomfördes en jämförelse mellan uppmätta fuktprofiler och utförda omfördelningsberäkningar.

Samtliga omfördelningsberäkningar genomfördes i enlighet med vägledningen från SBUF 13701 och inmätning av betong och avjämning utfördes enligt gällande RBK-fuktmätningssmanual [1] och GBR-metod [13]. Beräkningsfallen utfördes i 1D av Johan Tannfors, Polygon Sverige, och 2D av Mathias Lindskog, Fuktanalys AB. Samtliga beräkningar genomfördes utan att de som beräknade hade kännedom om uppmätt fuktnivå efter omfördelning. Beräkningarna genomfördes baserat på de förutsättningar och materialdata som delgivits av projektledaren.

Sammanställning av resultat från fuktomfördelningsberäkningarna och jämförelsen mellan beräknat och uppmätt resultat genomfördes av Mikael Oxfall NCC. Beräkningar och rapportens jämförelseanalys granskades slutligen av en utökad arbetsgrupp.

### 2.1 Referenskonstruktioner

Studien innehöll totalt åtta olika referenskonstruktioner. Urvalet baserades på:

- konstruktionerna var en vanligt förekommande konstruktionslösning.
- tillgängliga uppmätta fuktprofiler tagna i anslutning till montage av golvbeläggning
- möjlighet till uppföljande fuktmätning efter golvläggning.
- god kännedom kring ingående material och tillgänglig adekvat materialdata.

Samtliga åtta konstruktioner kom från fyra byggnader uppförda mellan 2018 och 2023. Byggnadsutbudet bestod av kontor, vårdfastighet, samt skolor. I Tabell 1 ges en kort beskrivning av de aktuella konstruktionerna.



Tabell 1: Sammanställning av referenskonstruktioner, typ av konstruktion, typ av golvbeläggning samt antal år från initial fuktprofilsmätning till uppföljande mätning.

Konstruktion	Konstruktions-typ	Golv	Omfördelningstid
1: Kontor HD/F Mellanbjälklag	HD/F 400 mm Avjämning 20-40mm	Textilmatta	5,1 år
2: Kontor, mellanbjälklag	HD/F 400 mm Avjämning 20-40 mm	Plastmatta 1	5,1 år
3: Vårdbyggnad Mellanbjälklag	HD/F 380 mm Avjämning 60 mm	Plastmatta 1	4,2 år
4: Skola Mellanbjälklag	Plattbärlag 50+200 mm Avjämning 15 mm	Plastmatta 2	0,9 år
5: Skola Platta på mark	Platta på mark 200 mm Avjämning 20 mm	Plastmatta 1	1,2 år
6: Skola Platta på mark	Platta på mark 200 mm Avjämning 20 mm	Linoleum	1,2 år
7: Skola Mellanbjälklag	HD/F 265 mm Avjämning 30 mm	Linoleum	1,2 år
8: Skola Mellanbjälklag	HD/F 265 mm Avjämning 30 mm	Plastmatta 1	1,2 år

Projektgenomförande möjliggjordes genom ett brett samarbete mellan NCC Building, Tarkett, Polygon Sverige, Castellum, region Östergötland, PEAB, Heidelberg Materials Cement och Swerock med avseende på att få tillgång till objektinformation, provtagning och återställande.

## 2.2 Fuktmätning

Samtliga fuktmätningar i betong har genomförts enligt, vid mätningen, gällande versioner av RBK:s fuktmätningmanual [1]. Detta medförde att olika manualer har använts för samma referenskonstruktion. I avjämningsmassa har mätningar innan 2023 genomförts enligt GBR-metod [13] och för mätningar

under 2024 enligt RBK:s fuktmätningmanual [1]. Samtliga fuktmätningar genomfördes av auktoriserad RBK-kontrollant respektive i enlighet med GBR. För alla mätresultat visas uppmätt resultat inklusive säkerhetspåslag i enlighet med respektive metod.

HumiGuard fuktsensorer användes för samtliga fuktmätningar i betong. För ett antal mätpunkter mättes fuktnivåer utanför kalibrerat RF-intervall (75-100 % RF). I dessa fall transformerades mätdata genom extrapolering enligt metod från leverantör. För dessa fall antogs vidare ett osäkerhetspåslag motsvarande dem i ordinarie kalibreringsintervall. Dessa mätpunkter är ej i enlighet med givarens eller RBK-metoden men bedömdes som tillräckligt tillförlitliga med avseende på projektets syfte.

Tabell 2 redovisar samtliga referenskonstruktioner i studien med respektive fuktmätningdjup. För referenskonstruktion 1 och 2 har en gemensam initial profil använts. Antagandet att den initiala profilen var adekvat för båda konstruktionerna berodde de på att båda referenskonstruktionerna begöts i samma etapp samt uppvisade likvärdiga fuktnivåer på ekvivalent mätdjup vid ordinarie RBK mätning 2018.

Tabell 2: Objektbeskrivning och mätdjup för initial och uppföljande fuktprofilsmätning inklusive vilken mätpunkt som motsvarande RBK mätning på ekvivalent mätdjup.

Referens-konstruktion	Initial fuktmätning	Uppföljande fuktmätning
1: HD/F 400 mm Textilmatta	Avjämning: 40 mm Betong fog 40 mm 100 mm 200 mm (RBK 50%)	Avjämning: 20-35 mm (2st) Betong fog 40 mm (2st) 100 mm 200 mm (RBK 50%)
2 HD/F 400 mm Plastmatta		Avjämning: 20-35 mm Betong fog 40 mm (2st) 100 mm 200 mm (RBK 50%)
3 HD/F 380 mm Plastmatta	Avjämning: 0-60 mm Betong, fog 35 mm 70 mm 190 mm (RBK 50%)	Avjämning: 0-60 (2st) Betong, fog 35 mm (2st) 70 mm (2st) 190 mm (RBK 50%) (2st)

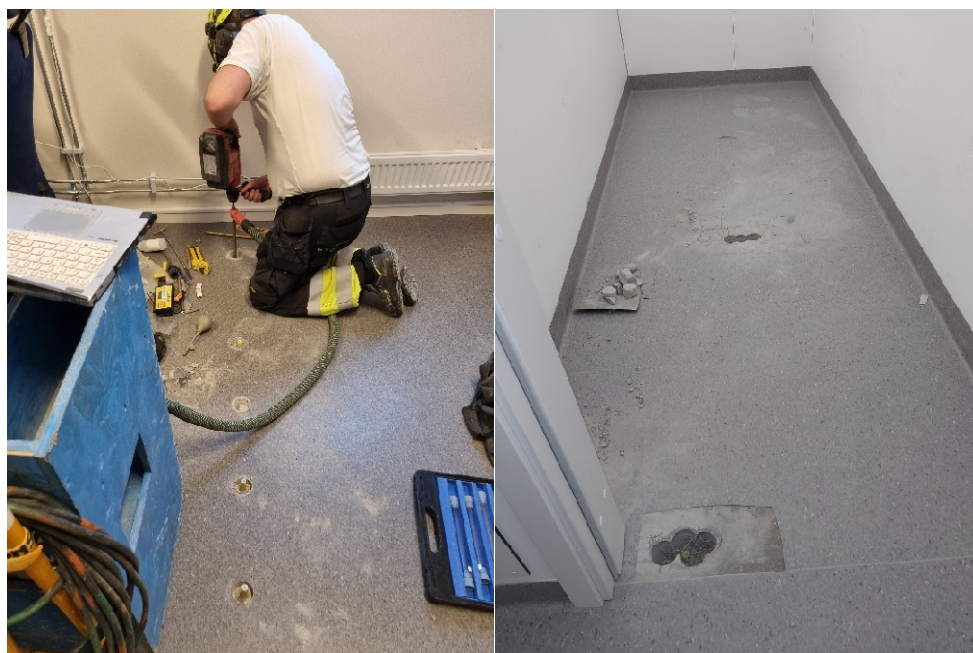
4	Avjämning 14mm	Avjämning 14mm
Plattbärlag 250 mm	Betong: 35 mm 50 mm (RBK, 20%)	Betong: 35 mm 50 mm (RBK, 20%)
Plastmatta	100 mm 188 mm	100 mm 188 mm
5	Avjämning 30 mm	Avjämning 30 mm
Platta på mark 200 mm	Betong: 40 mm 80 mm (RBK)	Betong: 40 mm 80 mm (RBK)
Plastmatta	150 mm	150 mm
6	Avjämning 30 mm	Avjämning 30 mm
Platta på mark 200 mm	Betong: 40 mm 80 mm (RBK, 40%)	Betong: 40 mm 80 mm (RBK, 40%)
Linoleum	150 mm	150 mm
7	Avjämning 29 mm	Avjämning 29 mm
HD/F 265 mm	Betong: 35 mm 48 mm	Betong: 35 mm 48 mm
Linoleum	120 mm (45%) 180 mm	120 mm (45%) 180 mm
8	Avjämning 29 mm	Avjämning 29 mm
HD/F 265 mm	Betong: 35 mm 48 mm	Betong: 35 mm 48 mm
Plastmatta	120 mm (45%) 180 mm	120 mm (45%) 180 mm

Tabell 3 redovisar tidpunkt för respektive fuktmätning. Den uppföljande mätningen utgjorde senare referensnivån vid beräkningarna av fuktomfördelningen. För samtliga referenskonstruktioner, bortsett från nummer 3, så har mattläggning gjorts inom ett par veckor efter initial profilmätning och dessa utgjorde därmed initial fuktprofil för omfördelningsberäkningarna. I konstruktion 3 belades ytan med matta först sex månader senare. Detta beaktades i beräkningarna genom en simulerad fortsatt uttorkning och ny antagen fuktprofil i samband med mattläggning. För samtliga beräkningar har en trappformad fuktprofil baserat på uppmätta värden använts (även OMF

trappa). En trappformad fuktprofil innebär att uppmätt RF gäller fram till nästkommande uppmätta fuktnivå. Exempelvis gäller uppmätt RF på 30 mm i betongen från betongyta in till 30 mm djup. Innanför 30 mm ansätts nästkommande mätpunkt RF nivå.

Tabell 3: Datum för initial fuktmätning, tidpunkt för golvbeläggning samt tidpunkt för uppföljande fuktmätning

Referenskonstruktion	Initial fuktmätning	Golvläggning	Uppföljande Fuktmätning
1	2018-12-10	2018-12	2024-01-24
2	2018-12-10	2018-12	2024-01-24
3	2019-11-12	2020-05	2024-02-02
4	2022-12-08	2022-12	2023-11-07
5	2023-02-03	2023-02	2024-04-10
6	2023-02-03	2023-02	2024-04-10
7	2023-02-03	2023-02	2024-04-10
8	2023-02-03	2023-02	2024-04-10



Figur 1: Exempel på provplats från Fall 2, t.v. och Fall 3, t.h., vid Uppföljande mätning 2024.

## 2.3 Material

Materialdata som använts har valts för att i möjligaste mån motsvara använt material för respektive referenskonstruktion. Materialdata har inte tagits fram specifikt för objekten utan har samlats in från leverantörer eller via resultatrapporter från forsknings eller utredningsprojekt. I efterföljande avsnitt

ges de generella antaganden och begränsningar som gjorts i denna studie. Använd materialdata för respektive beräkningsfall återfinns i Bilaga 1, *Beräkningsfall SBUF 14244*, samt hur det tolkats i beräkningarna i Bilaga 2 *Beräkningsunderlag*.

### 2.3.1 Golvbeläggning

Golvbeläggningarnas fukttransportmotstånd utgick från uppmätta egenskaper genom koppmetoden i RF-intervall 33 till 85%. Samtliga materialtester har genomfört på uppdrag av golvleverantörerna innan detta projekt och testerna har genomförts av LTH, FuktCom eller Rise. För fullständiga provningsrapporter hänvisas till respektive materialleverantör.

Enligt vägledning [10] skall uppmätt RF-intervall motsvara det förväntade förhållandena och datan skall baseras på flera inmätningar varav det högsta värdet skall användas. Tabell 4 visar de golvbeläggningar som ingått i studien enligt den numrering som används i beräkningsfallsindelningen.

Tabell 4. Uppmätta ångmotståndet för golvbeläggningar som använts i studien. Använt ångmotståndet avser högsta inmätta tätheten om annat inte skrivs.  $RF_{OK}$  avser högsta tillåtna fuktillstånd enligt BBR 6:52

Golvtyp		Z(RF 33-85%)	$RF_{OK}$
1	Tarkett Desso, <b>Textilmatta</b>	1 300 000 s/m*	85 %RF
2	Tarkett IQ granit, <b>Plastmatta 1</b>	2 730 000 s/m	85 %RF
3	Kährs Zero <b>Plastmatta 2</b>	6 300 000 s/m	85 RF%
4	Forbo Marmoleum Corkment, <b>Linoleum</b>	586 000 s/m	75 %RF (uk matta juteväv)

Avvikelse från vägledning (\*). Enligt vägledningen skall det högsta uppmätta värdet ansättas vid uppmätt motstånd av golvprodukter. För aktuell produkt var högsta värdet ca 3 miljoner om enskild inmätning på 5 miljoner ej beaktades. Då detta innebar att textilmattans täthet var i paritet med en plastmatta om ca 2.7 miljoner s/m valdes att ansätta det lägsta inmätta värdet om 1,3 miljoner s/m. I och med valet gavs möjligheten att beakta täthetens inverkan på slutvärdet då båda fallen utgick från samma startprofil. Båda ångmotstånden användes för utvärdering av fallet med Textilmatta.

### 2.3.2 Lim

Specifik data för lim saknas för samtliga fall. Genomgående antogs 100 g/m<sup>2</sup> fukttillskott, i enlighet med vägledningens rekommendation. Limmets fukt har inkluderats genom att fukttillskott lagts i den yttersta millimetern av avjämningsmassa. Eventuell ångmotstånd eller fuktfixering för limmet har ej beaktats.

### 2.3.3 Avjämningsmassa

För samtliga referenskonstruktioner har avjämnningen varit av typen normaltorkande avjämningsmassa. I referenskonstruktion 1 och 2 användes avjämnning från Bostik och i referenskonstruktion 3-8 användes två olika

normaltorkande produkter från Weber. Båda normaltorkande avjämningskurvor från Weber har likvärdiga desorptionskurvor och transportkoefficienter dock fanns endast adsorptionsisoterm framtaget för den ena produkten. För att möjliggöra scanningkurvor har produkten med både adsorption- och desorptionsisoterm använts för samtliga sex konstruktioner. Då materialdata saknades från Bostik produkten, i konstruktion 1 och 2, användes materialdata för normaltorkande avjämningskurvor från Weber i likhet med övriga referenskonstruktioner. Detta antagande var en avvikelse från vägledningen men en konsekvens av begränsad tillgång på uppmätta egenskaper på material i produktkategorin.

För avjämningsmassan har scanningkurvor och fuktberoende fukttransportkoefficient använts för samtliga beräkningsfall. Scanningkurvor har tagits fram genom Simscan [14] baserat på data från Weber. I överenskommelse med materialleverantör delges ej materialdatan i detalj i rapporten utan för data hänvisas till leverantör.

### 2.3.4 Betong

Betongen som användes i projektet sammanställs i Tabell 5. Materialdatan har samlats in från tillgänglig litteratur [3,5-6,15]. I de fall adekvat data saknats har viss modifiering av data gjorts baserat på materialdata från referenser. Hur denna modifiering gjorts redovisas i detta avsnitt. I vissa fall har data från flera referenser använts för att beskriva en betongsammansättning. Dessa anpassningar har gjorts för att bättre efterlikna de material som använts i respektive referenskonstruktion. Sammanlagt har fem materialmodeller använts för att representera samtliga fall. För ett antal referenskonstruktioner har flera materialmodeller använts för att visa på olika materialdatas inverkan på det bråkande resultatet. Materialdata har valts utifrån en bedömd bästa överensstämmelse med tillgänglig data.

*Tabell 5 Lista på de fem betongmodellerna som använts i projektet samt vilken referenskonstruktion respektive modell använts i för beräkningar. Flera materialmodeller har använts för flera referenskonstruktioner*

Referenskonstruktioner samt respektive bindemedel i aktuella konstruktioner	Materialmodeller i beräkning
1-2: Bindemedel okänt vbt 0,38 3: Bascement vct 0,4 4: Velox, OPC vct 0,35 7-8: HD/F element okänt, antagen vct 0,4	Betong 1: OPC vct 0,38
1-2: Bindemedel okänt vbt 0,38 3: Bascement vct 0,4	Betong 2: Bascement vbt 0,4
4: Velox, OPC vct 0,35	Betong 3: Velox OPC vct 0,38
5: 40 %Slagg Velox vbt 0,38	Betong 4: 40 %Slagg vbt 0,38
6: 20% Slagg Velox vbt 0,38 7-8: 20% Slagg Velox vbt 0,38	Betong 5: 20% Slagg vbt 0,38

### 2.3.4.1 Sorptionsdata

I projektet beskrevs fuktfixeringen i betongen enbart med desorptionskurvor då adsorptionsdata endast fanns inmätt för ett av materialen. En konsekvens av att scanning ej beaktas var att fuktlagringsgradienten i det aktuella RF intervallen överskattades vilket medför att en lägre RF ökning erhöles vid en eventuell uppfuktningssfas. Det kan dock poängteras att för samtliga inmätta materialdata var gradienten låg i det förväntade RF intervallet varvid effekten av att inte beakta scanning bör vara begränsad.

Samtliga materialdata var även framtagen för cementbruk. Ingen omräkning har gjorts för att motsvara betong då detaljerad sammansättningen av respektive betong sakades. Skillnaden mellan betong och cementpasta är att betong utöver cementpasta består av en större andel ballast. Ur ett fuktfixeringsperspektiv är det endast cementpastan som håller vatten varvid antagandet innebar en överskattning av fukttinnehållet i betongen samt generellt brantare lutning i desorptionsisotermen. Antagandet medför därmed ett konservativt antagande som genererar en lägre sänkning av RF i betongen vid likvärdiga flöden och därmed en större potential för fukttransport.

Tabell 6 visar respektive materialmodells huvudsakliga skillnader, respektive ålder vid inmätning samt vilken metod som användes vid bestämning av sorptionsisotermen.

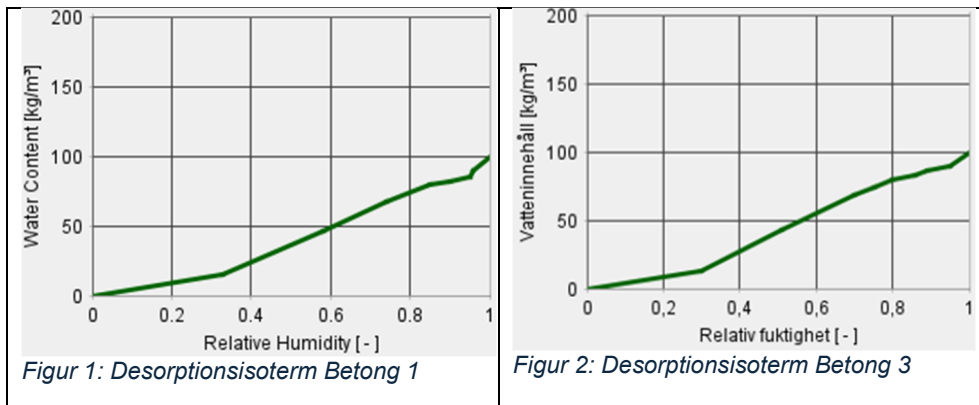
Tabell 6: Källa till Sorptionsisotemer för respektive antagen betong, provens ålder samt mätmetod. Materialdata ges i Bilaga 1.

Benämning	Bindemedelstyp	Ålder vid provning	Mätmetod desorptionsisoterm
Betong 1	OPC VCT 0,38	8 månader	Klimatbox [3]
Betong 2	Bascement VBT 0,4	12 månader	Sorptionsvåg [6], antagen bindemedelshalt 420 kg/m <sup>3</sup>
Betong 3	Velox vct 0,38	18 månader år	Klimatbox [5]: Vct 0,45 antagen bindemedelshalt 435 kg/m <sup>3</sup>
Betong 4	VBT 0,38 40%Slagg	8 månader	Klimatbox [3]
Betong 5	VBT 0,38 20%Salgg	8 månader	Klimatbox [3]: Antagen linjärt samband vct 0,38 till vbt 0,38 40% slagg

För Betong 2 har sorptionskurvorna tagits fram med sorptionsvåg [6] och för övriga med jämviktsmätning i klimatbox [3, 5]. För två av materialmodellerna har inte specifika sorptionskurvor tagits fram. I dessa fall, Betong 3 och 5, har desorptionskurvor antagits eller anpassats baserat på likvärdigt material.

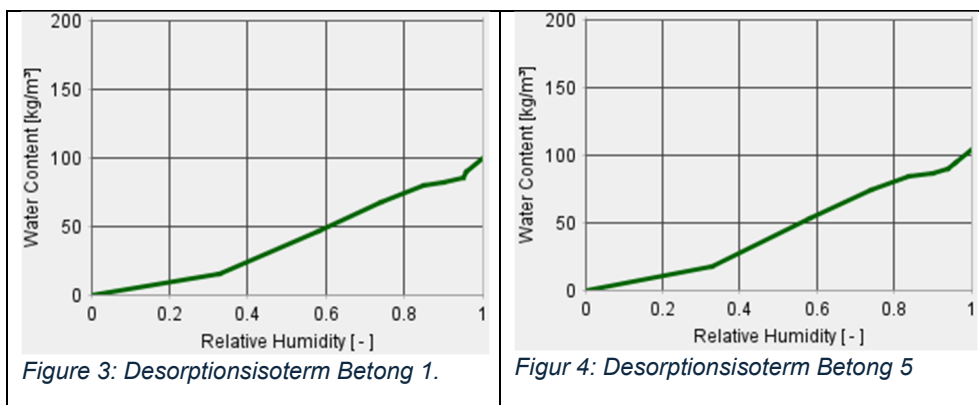
Betong 3 avser en OPC baserat på Velox cement och vct 0,38. Sorptionsisotemer för den betongen antogs baserat på inmätta data av Oskar Lindroth på en OPC vct 0,45 [5] cementpasta men med en antagen bindemedelshalt (435 kg/m<sup>3</sup>), vilket gav ett likvärdigt fukttinnehåll som Betong 1.

Antagandet var spekulativt och sorptionskurvornas profil kan förväntas variera mellan de två betongerna då en lägre vbt kan antas ge en tätare struktur. Beslutet att modifiera datan jämte att anta Olsons data rakt av togs för att komplettera och visa på eventuell påverkan på sorptionskurvans utseende i jämförelse mellan uppmätt profil av Olsson och Linderoth. Dock bör poängteras att profilen för vct 0,45 och Olsson vct 0,38 har vissa likheter med en låg lutning i RF intervallet 85-95%RF, se figur 1 och 2, varvid effekten av ansatt data ej bedöms utgöra en avgörande faktor.



Figur 1 och 2. Desorptionsisotermerna för Betong 1 och Betong 3

Betong 5 var en Velox-betong med 20% slagg. I detta fall antogs en linjär interpolering mellan två inmätta desorptionsisotemer för en OPC 0,38 samt en 40% Slaggbetong med vbt 0,38; båda inmätningarna utförda och presenterade av Olsson [3]. Skillnaden mellan Betong 1 och Betong 5 visas i figur 3 och 4.



Figur 3 och 4. Desorptionsisoterm för Betong 1 och betong 5.

### 2.3.4.2 Fuktransportkoefficient

För Betong 1,3,4,5 har fuktransportkoefficienten tagits fram genom koppmetoden och för fall 2 har transportkoefficienten bestämts genom sorptionsvågsmetod, i [16] ges en utökad beskrivning av metoderna. För Betong 3,4,5 har inmätning även gjorts med burkmetoden [17] med likvärdiga resultat, dessa data användes ej i aktuell studie för att minska antalet metoder. För Betong 1 2 och 3 bestod provkropparna av cementbruk och för betong 4 och 5 användes betong. Till skillnad från sorptionsisotemer är skillnaden på



uppmätt fukttransportkoefficienten mellan betong och cementbruk liten och bedöms ej ha en signifikant inverkan på beräkningarnas utfall.

De två använda metoderna som användes för inmätning av fukttransportkoefficienterna skiljer sig åt både med avseende på försöksupställning samt på provkropparnas storlek. Viss kritik har lagts fram mot sorptionsmetoden för betong men denna kritik har ej beaktats i denna studie utan materialval har baserats på tillgängliga materialdata och sådan data som kan komma att användas i denna typ av beräkningar. Valet av olika material syftade även till att påvisa att materialdatans inmätningss metod kan inverka på slutresultatet vid beräkning.

Vid en jämförelse av valda materialdata bör det belysas att transportdata från sorptionsvåg, betong 2, skiljer sig markant i täthet från övriga material. Vid en jämförelse av tätheten i ett lägre RF intervall, 0-65%RF, var skillnaden i storleksordningen 100 gånger tätare för sorptionsmetoden jämfört med data från koppförsök. Betongerna inmätta med koppmetoden var i sin tur ca dubbelt så täta jämfört med tidigare uppmätta egenskaper i väl hydratiserad OPC vct 0,4 av Hedenblad [18]; den materialdata som finns fritt tillgänglig i WUFI:s materialdatabas.

Betong 1 3,4 och 5 hade likvärdig täthet vid lågt RF dock hade Betong 1 ett fuktberoende över 65% RF. Att en låg fuktinverkan antogs för betong 3,4 och 5 baseras på uppmätta skillnaden mellan inmätt RF i intervall 33-85% respektive 33-95%. Antagandet baseras endast på givna data och kan avvika från sanningen till exempel på grund av mättekniska fel.

Tabell 7: Källa till Fukttransportkoefficient för respektive antagen betong, provens ålder samt mätmetod. Materialdata ges i Bilaga 1.

	Bindemedelstyp	Ålder vid provning	Mätmetod Transportkoefficient	Fuktberoende fukttransportkoefficient
Betong 1	OPC vct 0,38	8 månader	Koppmetod [3]	Ja
Betong 2	Bascement vbt 0,4	12 månader	Sorptionsvågsmetod [6]	Ja
Betong 3	Velox vct 0,38	3 år	Koppmetod [5]	Nej
Betong 4	40%Slagg vbt 0,38	8 månader	Koppmetod [3]	Nej
Betong 5	20%Salgg vbt 0,38	3 år	Koppmetod [5]	Nej

## 2.4 Beräkningsfall

Studien delades in i åtta referenskonstruktioner och totalt 19 omfördelningsberäkningar, vilka i sin tur var uppdelat i sex 2D simuleringar och 13st 1D. Beräkningarna genomfört enligt vägledningen från SBUF 13701.

Beräkningsfallen utgår från fyra objekt och totalt åtta bjälklagsuppbyggnader och åtta inmätta RF profiler. Bjälklagstyperna består av HD/F bjälklag med avjämningsmassa, plattbärlag samt platta på mark med avjämnning. För samtliga bjälklagstyper genomfördes 1D beräkningar med Wufi 5.0, HD/F bjälklagen genomfördes utöver 1D beräkningar även 2D beräkningar med Wufi 2D. I respektive referenskonstruktion har olika materialdata för betongen använts. Samtliga beräkningsfallsvariationer delges i tabell 8. För ingående materialdata hänvisas till avsnitt 2.1 och bilaga 1.

Tabell 8: Variation av beräkningsfall, Ber.-modell avser omfördelningsberäkning i en eller två dimensioner. Detaljer kring ingående material under 2.2 Material

Referenskonstruktion	Konstruktions- typ	Golv- beläggning	Ber.- modell	Betongtyp
1 Kontor	HD/F 400 mm	Textilmatta	1D	Btg 1
				Btg 2
			2D	Btg 1
2 Kontor	HD/F 400 mm	Plastmatta 1	1D	Btg 1
				Btg 2
			2D	Btg 1
3 Vårdbyggnad	HD/F 380 mm	Plastmatta 1	1D	Btg 1
				Btg 2
			2D	Btg 1
				Btg 2
4 Skola	Plattbärlag 250 mm	Plastmatta 2	1D	Btg 1
				Btg 3
5 Skola	Platta på mark 200 mm	Plastmatta 1	1D	Btg 4
6 Skola	Platta på mark 200 mm	Linoleum	1D	Btg 5
7 Skola	HD/F 265 mm	Linoleum	1D	Btg 5
			2D	Btg 5 Fog / Btg 1 HD/F
8 Skola	HD/F 265 mm	Plastmatta 1	1D	Btg 1
				Btg 5
			2D	Btg 5 Fog / Btg 1 HD/F

Baserat på Tabell 8 har samtliga beräkningsfall namngetts enligt fördelningen i tabell 9. Totalt avser studien 19 beräkningsfall. Exempel enligt systemet kan vara: Fall 1:1:1:1 vilket avser referenskonstruktion 1 med textilmatta, 1D beräkning och Betong 1 enligt materialavsnitt. Alternativt: Fall 7:4:2:5/1, som avser referenskonstruktion 7, Linoleum, 2D simulering, Betong 5 och 1 enligt materialavsnitt.

Tabell 9: Beräkningsfallens namnsättningsprincip

Fall, / ev. initial fukt profil	Golvbeläggning	Bräkningsmodell	Betong
Fall 1	1: Textilmatta	1D	Betong 1
Fall 2	2: Plastmatta 1	2D	Betong 2
Fall 3	3: Plastmatta 2		Betong 3
Fall 4	4: Linoleum		Betong 4
Fall 5			Betong 5
Fall 6			
Fall 7			
Fall 8			

## 3. Resultat och Analys

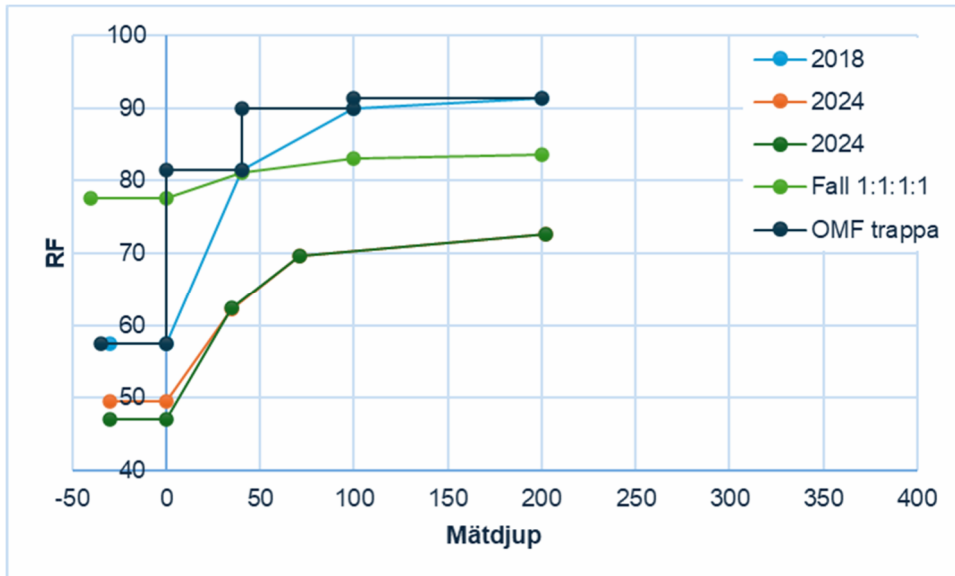
### 3.1 Fuktnivå i avjämning

Tabell 10 är en sammanställning av beräknade fuktnivåer i avjämningen, vilket oftast utgör den eftersökta fuktnivån vid en omfördelningsberäkning. Fyra tidigare genomförda kompletterande beräkningar som genomförts inom ramen för respektive entreprenad inkluderas som jämförelse. Beräkningarna har i samtliga fyra kompletterande fall genomförts i enlighet eller likvärdigt med vägledningen men där betong från WUFI LTH-materialdatabas har använts. Princip för beräkningsfallens namnsättning ges i Tabell 9.

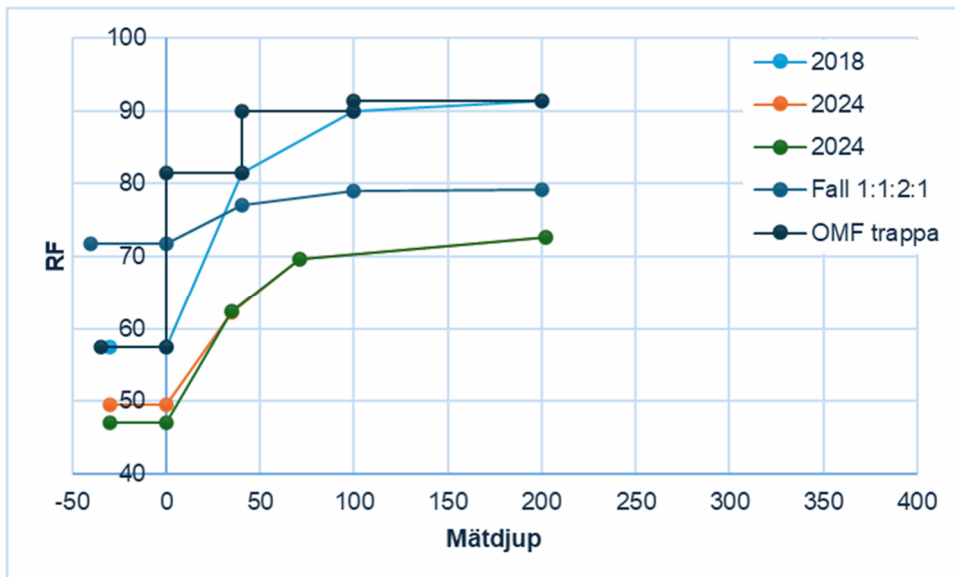
*Tabell 10: Uppmätt RF i avjämning samt beräknat RF i avjämning under matta eller medelvärde över full tjocklek samt kompletterande beräkning.*

Beräkningsfall	Uppmätt fuktnivå	Beräknad 1D		Beräknad 2D		Komp. beräkning	
		Max	2024	Max	2024	Max	2024
Fall 1:1:1:1	49,6 47	78,9 (2020)	77,2			-	-
Fall 1:1:1:2	49,6 47	Sjunkande	57,3			-	-
Fall 1:1:2:1	49,6 47			78,5 (2019)	71,8 (medel)	-	-
Fall 2:2:1:1	57,5 55,5	81,3 (2022)	81,05			83,5 (2028)	82 (2024)
Fall 2:2:1:2	57,5 55,5	71,3 (2019)	65,8			83,5 (2028)	82 (2024)
Fall 2:2:2:1	57,5 55,5			80,3 (2020)	76,3 (medel)	83,5 (2028)	82 (2024)
Fall 3:2:1:1	56,6/70,7 68,8/72,2	81,3 (2023)	81,3			87,3 (2030)	84 (2024)
Fall 3:2:1:2	56,6/70,7 68,8/72,2	Sjunkande	73,12			87,3 (2030)	84 (2024)
Fall 3:2:2:1	56,6/70,7 68,8/72,2			77,6 (2021)	76,2 (medel)	83 (2022)	75 (2024)
Fall 3:2:2:2	56,6/70,7 68,8/72,2			Sjunkande	62,2 (medel)	83 (2022)	75 (2024)
Fall 4:3:1:1	74	87,7 (2023)	87,7 (2023)			-	-
Fall 4:3:1:3	74	Stigande	85,1 (2023)			-	-
Fall 5:2:1:4	72 (2024)	Stigande	81,64			85 (2024)	85
Fall 6:4:1:5	63 (2024)	Stigande	70,73			-	-
Fall 7:4:1:5	57 (2024)	73,41 (2023)	69,82			85 (2024)	84
Fall 7:4:2:5/1	57 (2024)			79,2 (2023)	74,3 (medel)	85 (2024)	84
Fall 8:2:1:1	55 (2024)	69,8	73,4			-	-
Fall 8:2:1:5	55 (2024)	Stigande	78,3			-	-
Fall 8:2:2:5/1	55 (2024)			84,3 (2023)	83,3 (medel)	-	-

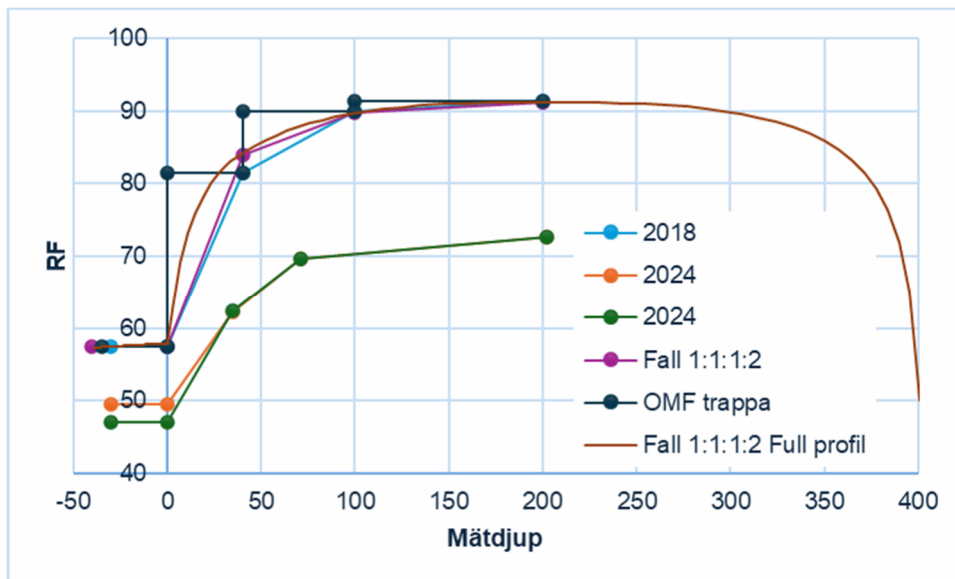
### 3.2 Referenskonstruktion 1, HD/F 400 mm och textilmatta



Figur 5: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 1:1:1:1, HD/F 400 mm 30-40 mm avjämning, 1D beräkning, Textilmatta  $RF_{OK}$  85%, betongmodell 1 OPC vct 038. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong



Figur 6: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 1:1:2:1, HD/F 400 mm 30-40 mm avjämning, 2D beräkning, Textilmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 1, OPC vct 0,38. Randvärden 30-65%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong



Figur 7: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 1:1:1:2, HD/F 400 mm 30-40 mm avjämning, 1D beräkning, Textilmatta RF<sub>OK</sub> 85%, Betongmodell 2, Bascement vct 0,4. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

### Vad stämmer inte

Beräkningarna visar

- en liten uttorkning av betongen men mätningen visar en större
- mycket högre RF i avjämningen än i mätningen.
- en mycket större RF-gradient i betongytan i mätningen jämfört med beräkning för Betong 1 och motsatt förhållande för Betong 2

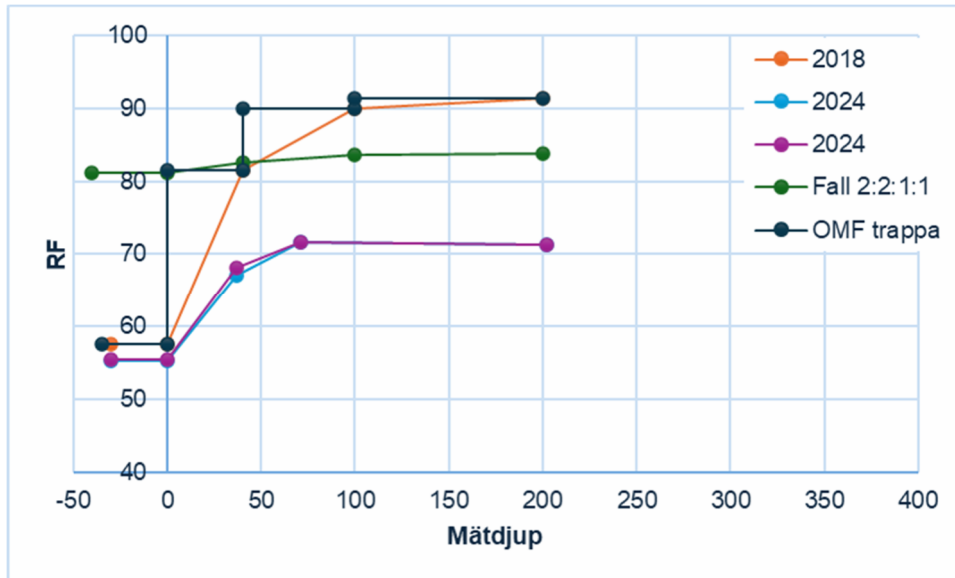
### Detta kan förklaras av

- att för den högre beräknade RF-nivån i avjämningen kan antingen golvbeläggningens täthet vara kraftigt överskattad alternativt så är fuktransporten i betongen signifikant lägre, vilket dock ej förklarar RF-sänkningen i betongen. Uppmätt RF i avjämningen efter omfördelning är lägre än den initiala fuktinnehållet vilket innebär att flödet in är lägre än flödet ut under den studerade perioden.
- I beräkningarna har inmätningen av sorptionskurvor gjorts på cementbruk. Vid omräkning till betong borde fuktkapaciteten minskat vilket hade medfört lägre RF i betongen samt ett lägre flöde till avjämningen. Sannolikt hade detta dock gett skillnader på enstaka % RF. Detta antagande är dock ej validerat.
- För både avjämning och betong finns en kvarvarande kemisk bindning av vatten genom fortsatt hydratation eller på grund av förändring i porstrukturen. Mindre porer fylls teoretiskt vid lägre RF varvid en

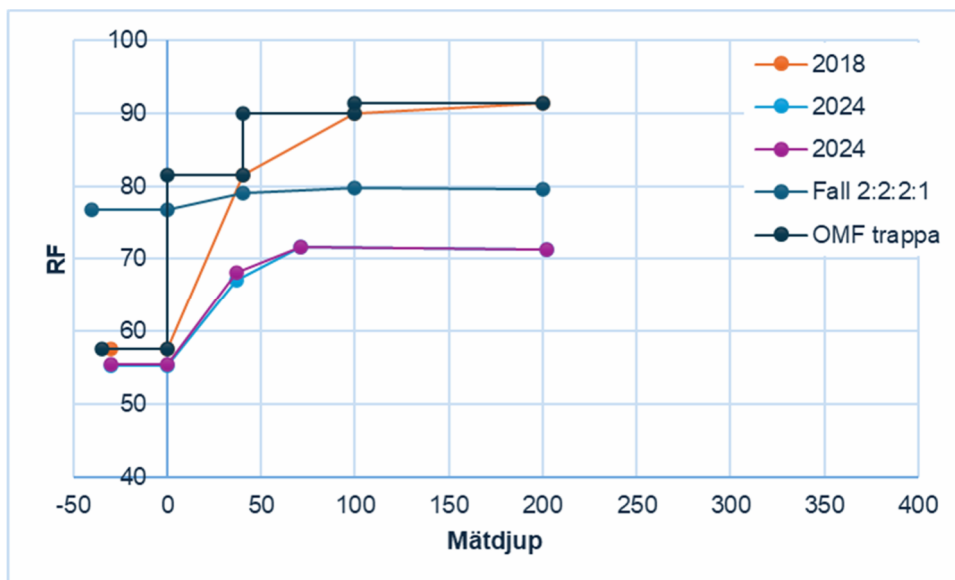
minskning av större porer och ökning av mindre förflyttar vatteninnehållet till lägre RF-jämvikt.

- Att antagandet med en trappformad initial fuktprofil vid beräkning innebär ett signifikant fukttillskott till systemet, inte minst i ytan. Den extra fukten kan bidra till en snabb ökning av RF i avjämningen jämfört med uppmätt fall, framför allt i samband med en i systemet för tät golvbeläggning.
- En förklaring till att uppmätt RF i avjämningen var lägre än den beräknade, trots att RF gradienten i betongen var större, kan antingen förklaras med betongens täthet och att flödet in i avjämningen är signifikant lägre. En alternativ förklaring kan vara att den antagna scanningkurvan i avjämningen är kraftigt överskattad. Lutningen på scanningkurvorna är generellt mycket flacka vilket innebär att små mängder fukt resulterar i stora RF-höjningar. En brantare kurva ger lägre ökning och därmed större gradient.
- Icke observerad uttorkning via HD/F kanaler. En fuktomfördelning från HD/F-fogen via luftkanalerna skulle kunna förklara en signifikant sänkning av RF på stora djup. Dock saknas en luftomsättning i kanalerna och då luften har låg fuktkapacitet bedöms detta som mindre sannolikt.
- Betongen i HD/F elementen är signifikant mer otäta på grund av en sämre kompakteringsgrad vid tillverkning jämte ordinarie gjuten betong, alternativt på grund av mikrosprickstruktur till följd av dragarmering i underkant.
- Den stora gradienten med betong 2 motverkas av den betydligt tätare betongen. Fuktransporten till avjämningen är mycket liten vilken även påvisas i Tabell 10 där det framgår att avjämningen är under kontinuerlig uttorkning.

### 3.3 Referenskonstruktion 2, HD/F 400 mm och plastmatta

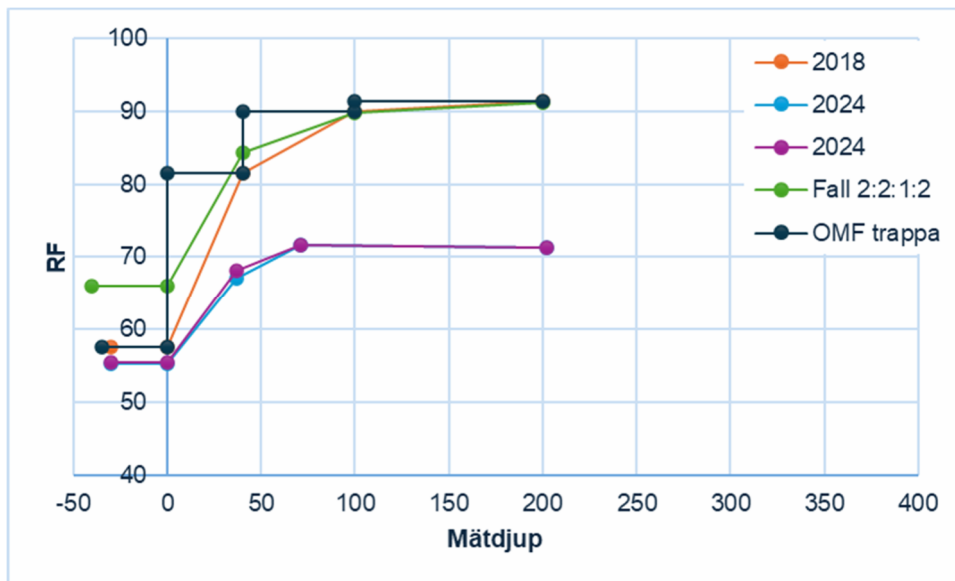


Figur 8: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 2:2:1:1, HD/F 400 mm 30-40 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta  $RF_{ok}$  85%. Betongmodell 1, OPC vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 9: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 2:2:2:1, HD/F 400 mm 30-40 mm avjämning, 2D beräkning, Plastmatta  $RF_{ok}$  85%, Betongmodell 1, OPC vct 0,38. Randvärden 30-60%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.





Figur 10: Uppmätt initial fuktprofiler 2018 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 2:2:1:2, HD/F 400 mm 30 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta  $R_{Fok}$  85%, Betongmodell 2, Bascement vct 0,4. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

#### Vad stämmer inte

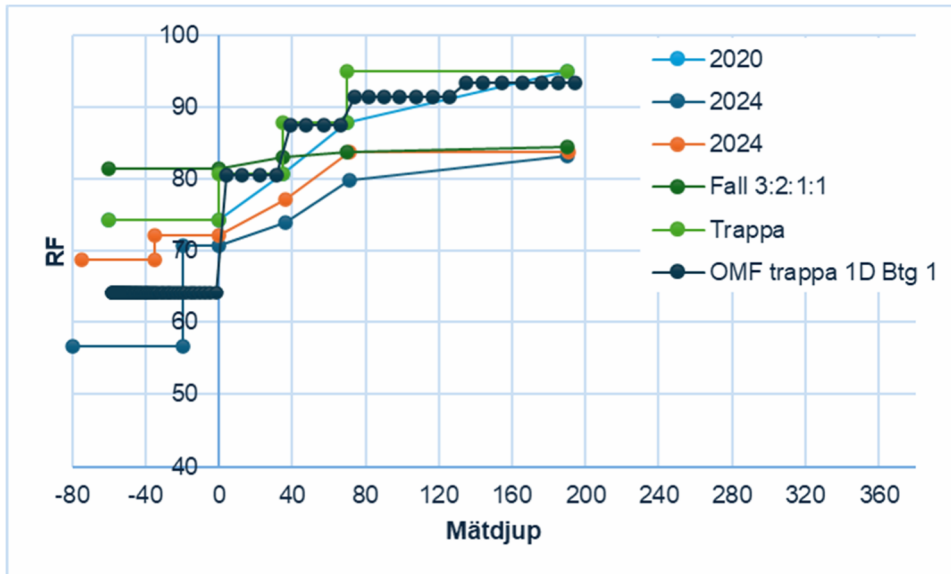
Beräkningarna visar

- Beräknad RF är högre både i avjämningen och i betong, för samtliga fall,
- För beräkningsfallen med Betong 2 är RF i betongen nära på oförändrad och RF i avjämningen högre än inmätt nivå men lägre än för beräkningsfall med Betong 1.
- En mycket mindre RF-gradient i betongytan än i mätning för beräkningsfallen med Betong 1
- En mycket större RF-gradient i betongytan än i mätningen för beräkningsfallen med Betong 2.
- Uppmätt RF i avjämningen 2024 är lägre än RF-nivå vid mattläggning.

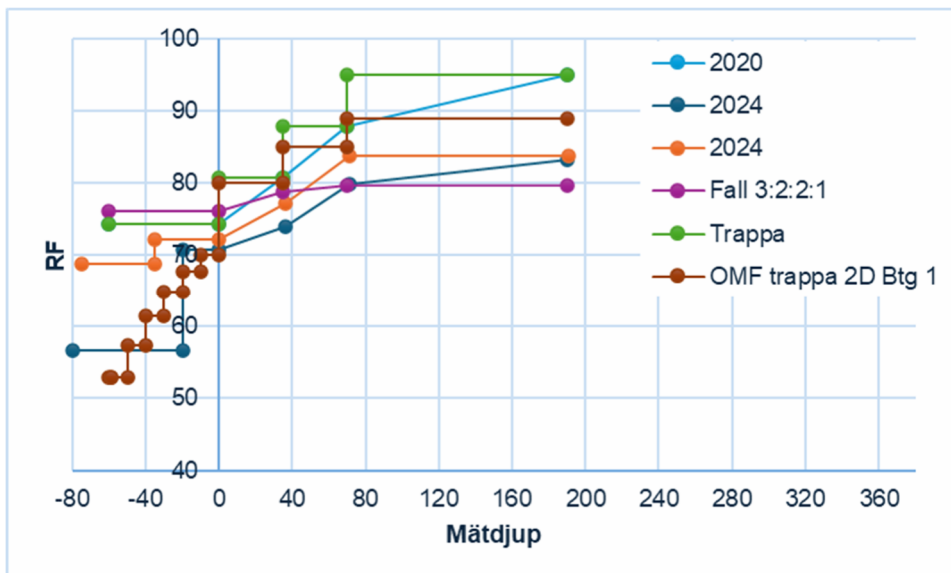
#### Detta kan förklaras av

- Se analys för referenskonstruktion 1
- I jämförelse med textilmattan i Referensprojekt 1 är plastmattan tätare i verkligheten; detta syns i jämförelsen mellan uppmätta fuktprofiler 2024. Till skillnad från textilmattan där RF i avjämningen är nära jämvikt med luften så ligger fuktnivån något högre under plastmattan. Dock så är RF under den initiala RF-nivån innan mattläggning.

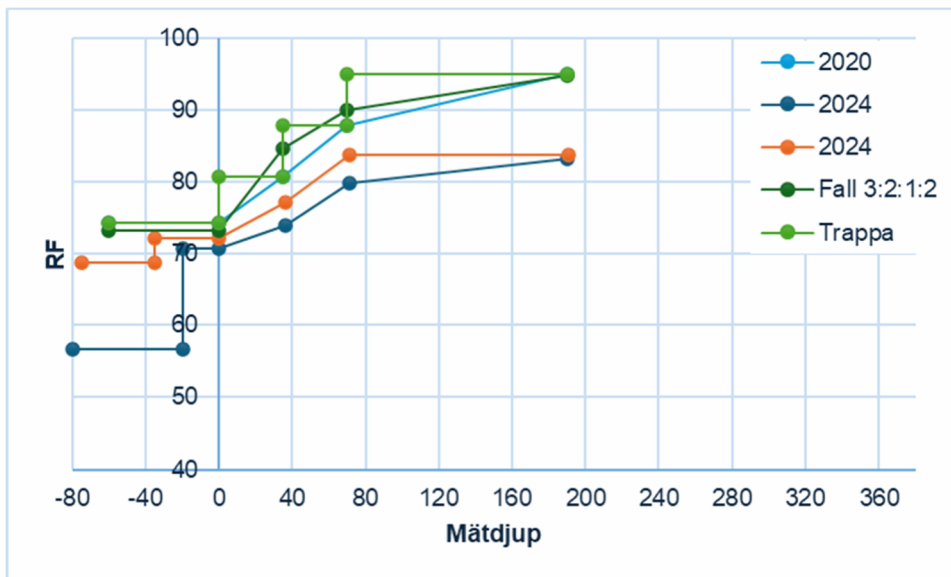
### 3.4 Referenskonstruktion 3, HD/F 385 mm och plastmatta



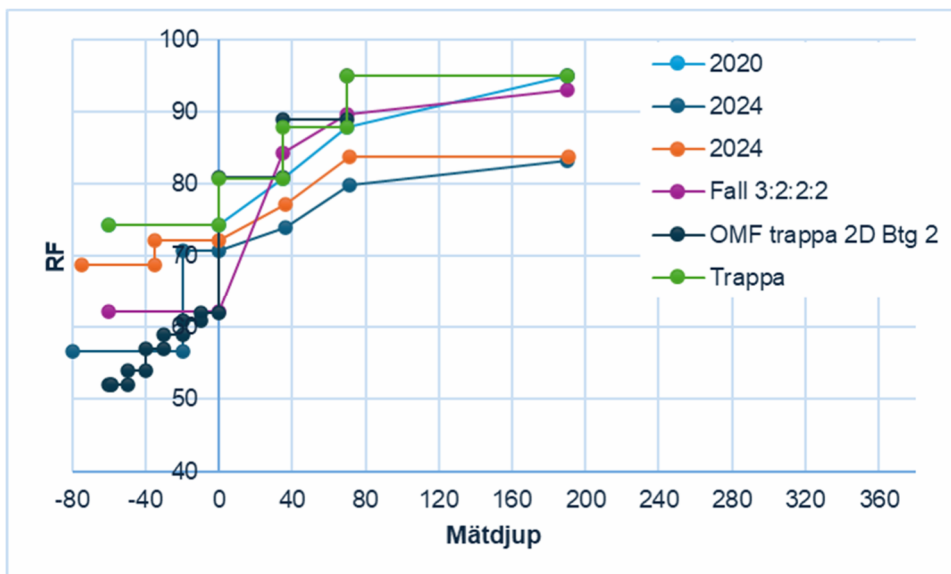
Figur 11: Uppmått initial fuktprofiler 2020 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 3:2:1:1, HD/F 385 mm 60-80 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 1 OPC vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong



Figur 12: Uppmått initial fuktprofiler 2020 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 3:2:2:1, HD/F 385 mm 60-80 mm avjämning, 2D beräkning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 1, OPC vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 13: Uppmått initial fuktprofiler 2020 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 3:2:1:2, HD/F 385 mm 60-80 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 2, Bascement vct 0,4. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 14: Uppmått initial fuktprofiler 2020 och uppföljande fuktprofiler 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 3:2:2:2, HD/F 385 mm 60-80 mm avjämning, 2D beräkning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 2, Bascement vct 0,4. Randvärden 30-60%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

#### Vad stämmer inte

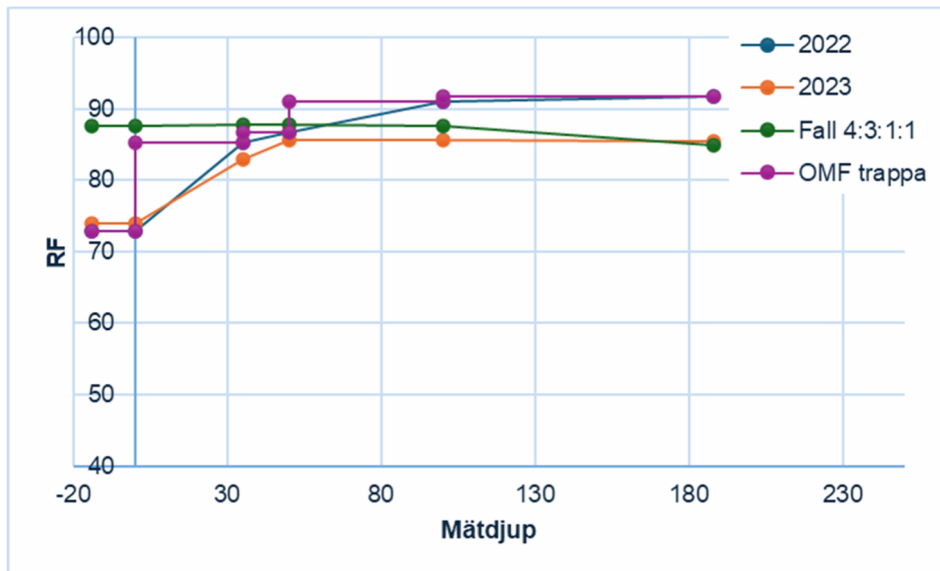
- Beräknad RF i avjämning där Betong 1 använts ligger signifikant högre jämfört med uppmätta fuktnivåer efter 4 års fuktomfördelning. RF i betongen är likvärdig på stora djup men med en lägre gradient mot avjämningen.

- Beräknad RF med 2D-simulering och Betong 1 är lägre än den uppmätta fuktnivån på samma djup. Skillnaden är ca 4 % RF.
- Beräknad RF med Betong 2 gav endast marginella förändringar i betongen över hela betongdjupet. RF i avjämningen för 1D var signifikant högre än uppmätt profil, jämfört med 2D beräkningen som var mellan de två uppmätta profilerna. Att beakta var att i 1D-simuleringen hade inte en initial uttorkning före golvbeläggning inkluderats utan mattläggning antogs ca 5 månader innan 2D-simuleringen varvid avjämningens initiala fukttinnehåll var högre.
- Uppmätta RF-profiler i betongen har en icke väntad profil då profilen indikerar en "svacka" på djupet 40 mm. Svackan observerades dock i båda profilerna.
- Stor spridning mellan uppmätta RF-profiler. Profilerna togs i samma utrymme i två parallella fogar.

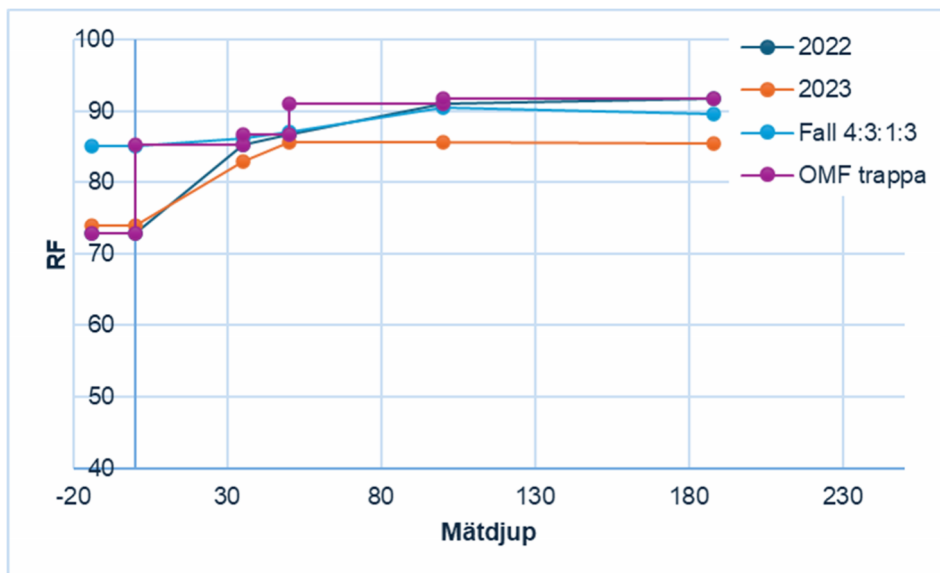
#### Detta kan förklaras av

- Se analys för referenskonstruktion 1.
- Till skillnad från beräkningsfall 1 och 2 så var beräknad RF i betongen närmare de uppmätta nivåerna. Initialt fukttinnehåll var dock högre, 95 %RF på ekvivalent mätdjup, samt en kortare torkperiod. I alla beräkningsfall med Betong 1 var RF ca 80% på stort djup. Detta skulle kunna förklaras med hur sorptionskurvan ser ut för den betongen. I och med en mycket låg lutning på kurvan i RF i intervallet 80-95% krävs endast mycket små vattenmängder för att ge en större RF-förflyttning. Om den aktuella betongen som användes i konstruktionen har en brantare lutning i RF-intervallet skulle detta ge en lägre RF-sänkning vid likvärdiga flöden. Tydligt är dock att hela beräkningsmodellen underskattar uttorkningen av avjämningen varvid RF i limskiktet är signifikant lägre för alla uppmätta profiler.
- En möjlig förklaring till den oväntade uppmätta svackan i RF profilen kan vara att betongen närmare ytan än 40 mm är under uppfuktning. I aktuellt fall torkade konstruktion under ca 5 månader från dess att ursprunglig fuktprofil togs. Den initiala fuktprofilen visas i figur 13 och nya beräknad fuktprofil innan mattläggning visas i figur 11,12 och 14. En tolkning av detta kan vara att RF inte nått en topp i avjämningen efter mattläggning. Uppmätt RF 2024 är dock fortsatt under den initialt uppmätta fuktnivån 2020.

### 3.5 Referenskonstruktion 4, plattbärlag 250 mm och plastmatta



Figur 15: Uppmätt initial fuktprofiler 2022 och uppföljande fuktprofil 2023 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 4:3:1:1, Plattbärlag 250 mm 14 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta 2  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 1, OPC vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 16: Uppmätt initial fuktprofiler 2022 och uppföljande fuktprofil 2023 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 4:3:1:3, Plattbärlag 250 mm 14 mm avjämning, 1D beräkning, Plastmatta 2  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 3, Velox vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

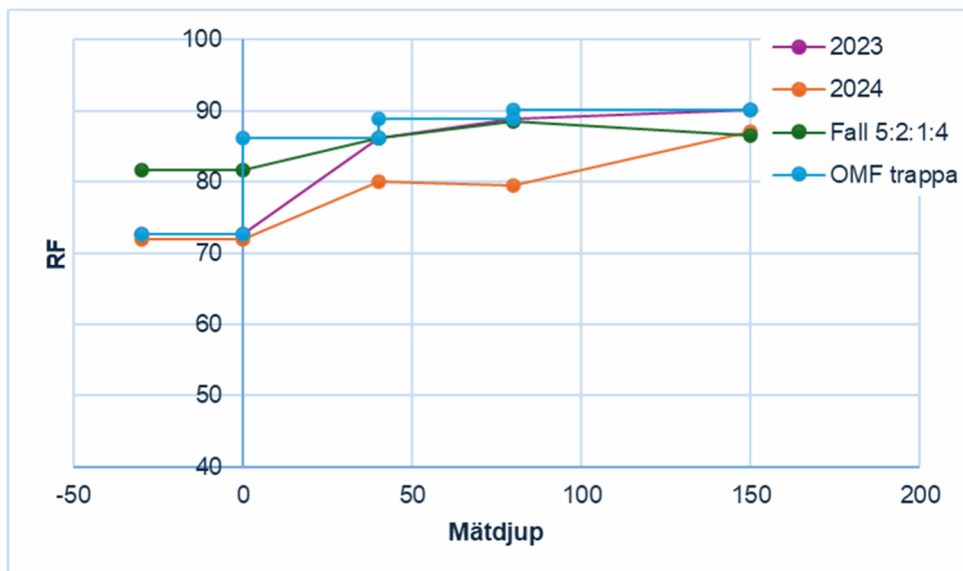
### Vad stämmer inte

- Beräknad fuktprofil är signifikant högre både i avjämning och i betongen.
- Beräknad profil i figur 15 med Betong 1 visar på en sjunkande RF på djupet. I modellen för konstruktionen som avser en plattbärlag antogs en liksidig fuktprofil på bjälklagets undersida samt samma exponeringsmiljö över och under. Den uppmätta profilen visar inte på en avtagande fuktnivå ett år efter matläggning
- Beräkningsfall 5:3:1:1 visar på en totalt rak profil i ytan vilket indikerar en full jämvikt, något som inte återfinns i Fall 5:3:1:3.

### Detta kan förklaras av

- Se analys för referenskonstruktion 1 bortsett från aspekter rörande HD/F.
- Aktuell golvbeläggning är enligt specifikation mycket tät, ca dubbelt så tät som plastmatta 1. Den mycket täta mattan i kombination med den antagna initiala trappfördelningen förklarar varför det saknas en RF-gradient i det beräknade fallen. Att anta en trappformad profil innebär i praktiken att modellen tillförs en betydande andel fukt i jämförelse med det verkliga fallet.
- I modellen för fall 5:3:1:1 antas en spegelvänd fuktprofil samt samma egenskaper i den förspända prefabricerade betongplattan som i övrig betong. Uttorkningen nedåt överskattas vilket kan bero på att plattbärlagets täthet är större än övrig betong varvid uttorkningen nedåt är begränsad.
- Vid jämförelse mellan de två beräkningarna är det endast betongen som skiljer dem åt, och primärt transportkoefficienten. Betong 1 har ett tydligt fuktberoende med mer öppen betong i högre RF medan Betong 3 har ett svagt fuktberoende och bibehållen högre täthet i höga RF. En tätare betong genererar ett lägre flöde till avjämningen och därigenom högre RF i betongen och lägre i avjämningen.

### 3.6 Referenskonstruktion 5, platta på mark 200 mm och plastmatta



Figur 17: Uppmätt initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 5:2:1:4, 200 mm platta på mark, 30 mm avjämning, Plastmatta RF<sub>0k</sub> 85%, Betongmodell 4, 40% Slagg vbt 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mät djup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

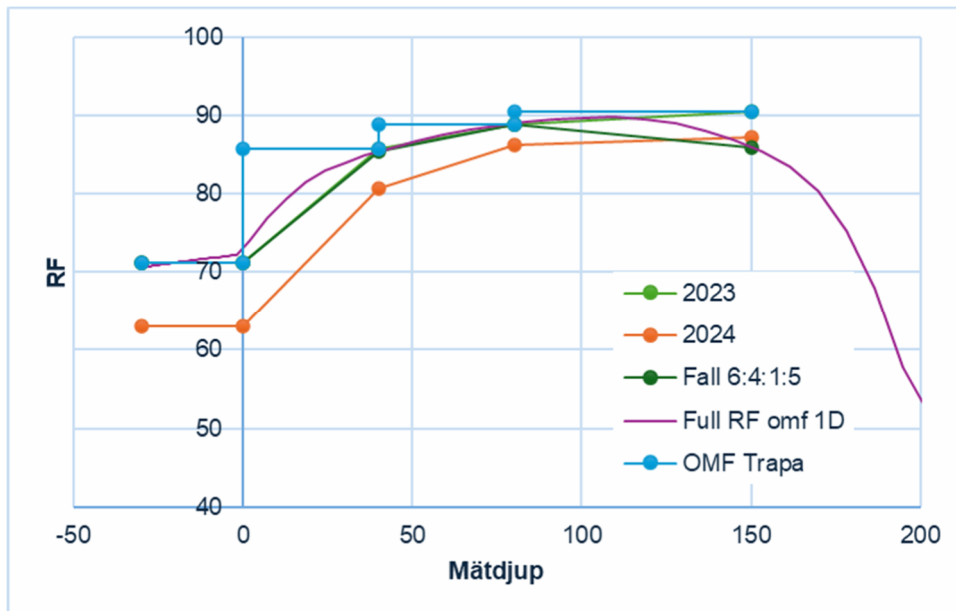
#### Vad stämmer inte

- Beräknad fuktprofil är signifikant högre både i avjämning och i betong. I avjämningen skiljer uppmätt nivå mot beräknad nivå med ca 10 % RF.
- Den beräknade profilen visar på en avtagande RF på djupet i plattan, något som ej observeras i fuktmätningarna.
- Uppmätt fuktnivå på 80 mm 2024 antas vara en felmätning då den genererar en orealistisk fuktprofil i plattan.

#### Detta kan förklaras av

- Se analyspunkt för referenskonstruktion 1, bortsatt från aspekter rörande HD/F.
- I modellen för fall 5:2:1:4 antogs en konstruktionsuppbyggnad med underliggande isolering i vilken en temperaturgradient fanns. RF under isoleringen sattes till 100% varvid temperaturgradienten gav ett RF under betongen runt 70% RF. Isoleringen antogs sakna ångmotstånd (orimligt!) varvid ett fuktflöde från konstruktionen undersida likt ett mellanbjälklag var möjligt i modellen. Då mätningen inte tyder på någon RF-gradient på ökat djup tyder på att antagandet i modellen ej överensstämmer med verkligheten. Antagandet hade inte påverkat avjämningen i aktuellt fall.

### 3.7 Referenskonstruktion 6, platta på mark 200 mm och linoleum



Figur 18: Uppmätt initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 6:4:1:5, 200 mm platta på mark 30 mm avjämning Linoleum  $RF_{ok}$  75%, Betongmodell 5, Slagg 20% vbt 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Måtdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong

#### Vad stämmer inte

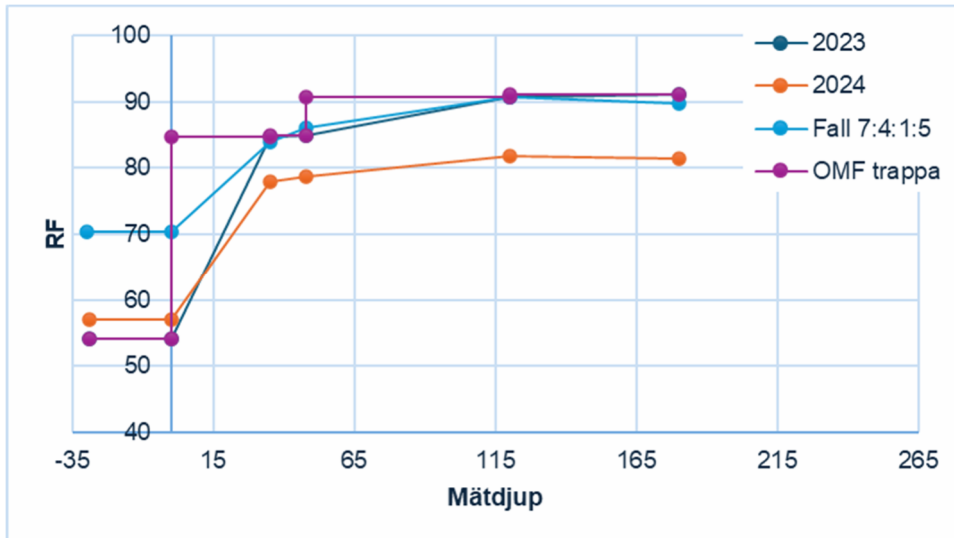
- Beräknad fuktprofil är signifikant högre både i avjämning och i betong. I avjämningen skiljer uppmätt nivå mot beräknad nivå på ca 10 % RF.
- Den beräknade profilen visar på en kraftigt avtagande RF på djupet i platta, något som ej observeras i fuktmätningarna.
- Beräknad RF i avjämningen är samma som den uppmätta nivån även med en förhållandevis öppen golvbeläggning. RF-gradienten är även liten i avjämningen.

#### Detta kan förklaras av

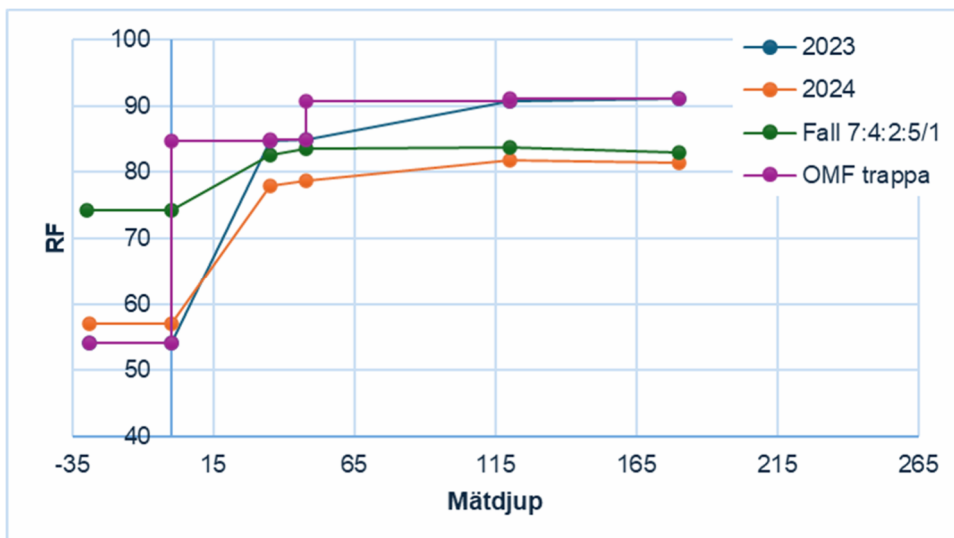
- Se analys för referenskonstruktion 1, bortsett från HD/F.
- Se analyspunkter för referenskonstruktion 5
- Att RF i avjämningen är i paritet med den initiala fuktnivån i avjämningen behöver inte indikera att något är avvikande utan det kan vara ett jämviktsförhållande eller en pågående långsam uppfuktning av avjämningen i beräkningen. Enligt tabell 9 framgår att fuktnivån i avjämningen vid ytan är avtagande vilket tyder på ett kontinuerligt flöde ut. Uppmätt fuktprofil är dock signifikant lägre än uppmätt profil vilket visar på ett större flöde genom avjämningen än beräknat.



### 3.8 Referenskonstruktion 7, HD/F 265 mm och linoleum



Figur 19: Uppmätt initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 7:4:1:5, HD/F 265 mm 30 mm avjämning, Linoleum  $RF_{OK}$  75%, Betongmodell 5, Slagg 20% vbt 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 20: Uppmätt initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 7:4:2:5/1, HD/F 265 mm, 30 mm avjämning, Linoleum  $RF_{OK}$  75%, Fogbetong: Betongmodell 5 20% Slagg vbt 0,38, HD/F betong Betongmodell 1 OPC vct 0,38. Randvärden 35-67%RF 20°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

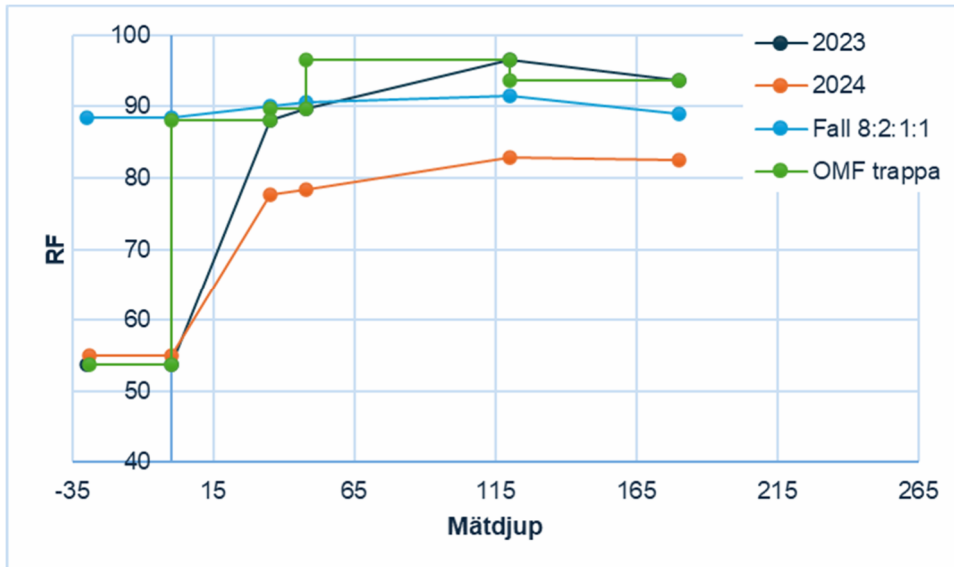
#### Vad stämmer inte

- Beräknad fuktprofil är signifikant högre för fall 7:4:1:5 både i avjämning och i betong. I avjämningen skiljer uppmätt nivå mot beräknad nivå på ca 15 % RF och i betongen ca 10 % RF; detta trots att golvbeläggningen är signifikant mer ånggenomsläpplig än övriga golvbeläggningar.
- För fall 7:4:2:5/1 är den beräknade profilen i betongen på större djup nära den uppmätta fuktnivån efter 1 års omfördelning. RF i avjämningen är dock nära 20%-enheter högre än uppmätt profil. RF i avjämningen i 2D-beräkningen är även högre än i 1D-beräkningen vilket avviker från övriga beräkningsresultat vid jämförelse mellan 1D- och 2D-beräkning.
- För fall 7:4:2:5/1 är RF avtagande på djupet, om än marginellt. Denna tendens syns ej för Fall 7:4:1:5. Lägre RF på djupet kan inte uteslutas i konstruktionen men är ej synligt i genomförda mätningar.
- Den uppmätta RF-gradienten mellan betongen på 40 mm och avjämningen är mycket större än den beräknade gradienten.

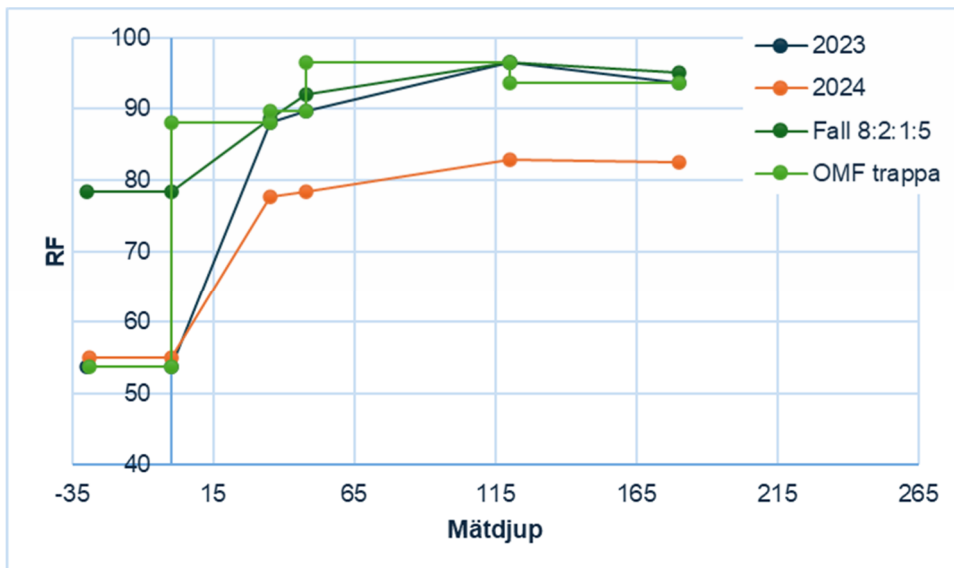
#### Detta kan förklaras av

- Se analyspunkt för referenskonstruktion 1.
- En förklaring till den högre fuktnivån i 2D jämfört med 1D kan förklaras med att i fall 7:4:1:5 antas, utöver att det är en 1D snitt, att all betong är Betong 5 vilket avser en signifikant tätare betong än Betong 1, framför allt i höga RF-intervall. Den tätare betongen resulterar i ett lägre flöde ut ur betongen och därmed högre RF i betong och lägre i avjämning.
- Den beräknade fuktgradienten i bjälklagets underkant kan antingen förklaras med att RF under konstruktionen är högre än antagen nivå alternativt att betongen i modellen är mindre tät än i modellen. Det som talar för att betongens täthet underskattades var att RF i avjämningen var signifikant högre i beräkningen jämfört med de uppmätta nivåerna.

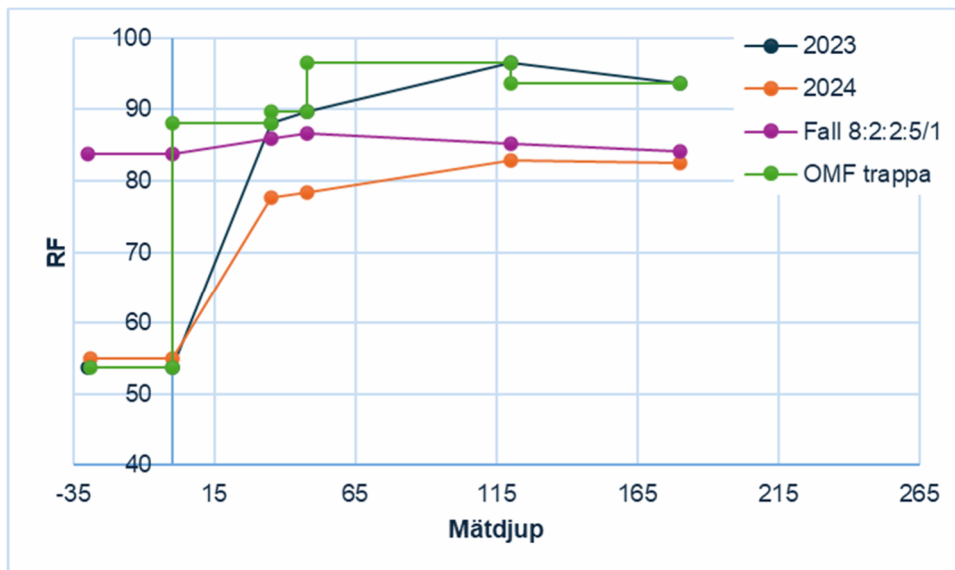
### 3.9 Referenskonstruktion 8, HD/F 265 mm och Plastmatta



Figur 21: Uppmått initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 8:2:1:1, HD/F 265 mm, 30 mm avjämning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 1 OPC vct 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 22: Uppmått initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 8:2:1:5, HD/F 265 mm, 30 mm avjämning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%, Betongmodell 5 20% Slagg vbt 0,38. Randvärden 50%RF 21°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.



Figur 23: Uppmätt initial fuktprofiler 2023 och uppföljande fuktprofil 2024 samt motsvarande beräknade resultat för Fall 8:2:2:5/1, HD/F 265 mm, 30 mm avjämning, Plastmatta  $RF_{OK}$  85%. Fogbetong: Betongmodell 5 20% Slagg vbt 0,38, HD/F betong Betongmodell 1 OPC vct 0,38. Randvärden 35-67%RF 20°C. Mätdjup 0 mm avser materialmöte avjämning och betong.

#### Vad stämmer inte

- Beräknad fuktprofil är signifikant högre i avjämningen samt i betongen närmast avjämningen i samtliga fall. I avjämningen är skillnaden mellan ca 25 och 35 % RF beroende på beräkningsfall.
- För fall 8:2:2:5/1 är den beräknade profilen i betongen på större djup nära den uppmätta fuktnivån efter ett års omfördelning, i likhet med fall 7:4:2:5/1. RF i avjämningen är dock nära 30 %-enheter högre än uppmätt profil.
- För fall 8:2:2:5/1 är RF avtagande på djupet.
- RF i avjämningen i 2D beräkningen är högre jämfört med 1D-beräkningen med mer ångöppen betong och lägre jämfört med den tätare betongmodellen.
- Den uppmätta RF gradienten mellan betongen på 40 mm och avjämningen är mycket större än den beräknade gradienterna.

#### Detta kan förklaras av

- Se analyspunkt för referenskonstruktion 1.
- Beräkningsfall 8:2:1:1 respektive 8:2:1:5 jämfört med 8:2:2:5/1 visar på att vilken betong som antas i HD/F beräkningar har större inverkan än för konstruktioner utan 2D-flöden. I fall där betongfogarna är tätare än betongen i HD/F-elementet underskattas flödena kraftigt varvid ett lägre flöde till avjämningen erhålls jämfört med verkligt fall. Detta

medför ett mindre konservativt antagande jämfört med att en mer öppen betong antas, alternativt att en full 2D-simulering genomförs.

- Den beräknade fuktgradienten i bjälklagets underkant kan antingen förklaras med att RF under konstruktionen är högre än antagen nivå alternativt att betongen i modellen är mindre tät än i modellen. Det som talar för att betongens täthet underskattades var att RF i avjämningen var signifikant högre i beräkningen jämfört med de uppmätta nivåerna.

## 4. Diskussion och analys

### 4.1 Förutsättningar

Ett antal förutsättningar för projektet först.

1. En grundpremiss i vägledningen för omfördelningsberäkningarna är att materialval och modelluppbyggnaden ska ske på "säker sida" avseende fuktbelastning med konservativa val. Exempel på detta är att:
  - a. Med antagen trappformad fuktprofil av fuktnivån ges ett fukttillskott till konstruktionen jämfört med den uppmätta fuktprofilen
  - b. Uppmätt fuktprofil skall inkludera mätmetodens säkerhetspåslag varvid den faktiska fuktnivån är lika med eller mer troligt lägre än angivet.
  - c. Vid val av materialdata för golvbeläggningar skall det tätaste uppmätta mätresultatet används. Golvbeläggningarnas täthet bestäms oftast på flera prov men där det högsta värdet skall väljas enligt vägledningen.

Grundpremisen om beräkning på säker sida innebär att beräkningen alltid förväntas ge fuktnivåer över de faktiska fuktnivåerna i en konstruktion. En omfördelningsberäkning enligt vägledningen är inte avsedd att ge den korrekta fuktnivån. Avsikten är att med god marginal utgöra en förfinad kontroll i jämförelse med mätning på ekvivalent mätdjup enligt RBK [1].

2. Vid en omfördelningsberäkning enligt vägledningen tillåts materialegenskaper vara konstanta över hela simuleringsperioden. Materialdatan som användes i detta projekt utgjordes av inmätningar på betong med en ålder på ca ett år upp till 3 år. I inget fall användes tidsvariabel materialdata då viss data saknas samt på grund av svårigheter att använda dem i simuleringar i beräkningsverktygen från WUFI. Inte heller beaktades en eventuell åldringseffekter på golvbeläggningarnas täthet eller förändringar i avjämningen egenskaper.

Om materialens egenskaper inte ändras över tid vid beräkning innebär detta att beräkningarna ej motsvarar den verkliga uttorkningen och det verkliga fuktomfördelningsförloppet. Denna förenklade modell kan därmed anses vara av det konservativa slaget i de fall fuktnivån i limskiktet efterfrågas. Om en tidsberoende förändring av betongen beaktats bidrar betongen med ett avtagande fukttillskott till avjämningen på grund av en ökad täthet. Därmed ger underkonstruktionen en mindre inverkan på avjämningen samt limskiktet jämfört med statiska egenskaper. För fall där mindre täta material används bidrar detta till en ökad säkerhetsmarginal. Motsatt effekt kan vara aktuellt för de fall inmätta egenskaper kommer från tätare material, till exempel provkroppar som är äldre än de studerade objekten. Inför en simulering bör en fallspecifik bedömning av materialdatan genomföras för att utvärdera hur väl

materialdatan antas representera den faktiska konstruktionen och hur den antagna materialmodellen kan påverka slutresultatet. Detta ingår i riskbedömningen av beräkningen enligt Dokumentationsinstruktionen (Bilaga 10) från SBUF 13701 [19].

3. Fortsatt hydratation har ej beaktats. Fortsatt hydratation medför ytterligare kemiskt uppbunden fukt, och/eller eventuell förskjutning av sorptionskurvor genom att förändra porstorleksfördelning. En minskad andel större porer kan teoretiskt medföra en sänkning av RF vid samma fuktkvot.

Att inte beakta fortsatt kemisk fuktbindning, eller en eventuell omfördelning av porstorleksfördelningen, kan anses vara ett konservativ antagande då dessa förändringar kan minska den drivande transportpotentialen genom en icke fukttransportberoende RF-sänkning i betongen. Effekter av en eventuell fortsatt kemisk bindning av vatten kommer i samtliga fall utgöra ett konservativt antagande även i de fall då materialdata i modellen baseras på äldre provkroppar, då den fortsatta kemiska bindningen inte påverkar materialmodellen. Materialets ålder vid bestämning av sorptionsisotermer kan påverka beräkningsmodellens konservativa säkerhetsmarginal i sådant fall att sorptionskurvan har en flackare lutning (eller mindre gradient) i det aktuella mätområdet. En flackare kurva bidrar till en snabbare sänkning av RF i betongen och därmed en lägre transportpotential mellan betong och avjämning.

En möjlig förklaring är att även vid begränsad fortsatt hydratation, efter det att hydratationen planat ut, minskar andelen större porer till fördel mot mindre porer. Denna förskjutning bidrar till en flackare kurva vid högre RF och större RF förflyttning vid låga fuktflöden. Effekten av denna förklaringsmodell är inte vidare undersökt i denna studie men fenomenet är klarlagt i tidigare studier [3,5]. Att beakta är dock att vid användning av sorptionskurvor från äldre betongprover än det modellerade fallet utblir en eventuell förtätningsberoende scanning på grund av denna förtätning. En sådan scanning innebär teoretiskt att RF sjunker vid konstant fukthalt under konstruktionens åldrande.

**Baserat på ovan resonemang bör materialdatans kvalitet och representation med det verkliga fallet alltid beaktas. För vissa fall kan dessa förändringar vara missgynnsamma för beräkningens syfte. Analys bör beaktas i varje enskilt fall.**

4. Jämförelsen i studien är mellan beräkningar och uppmätta mätvärden enligt en specifik mätmetod med dess osäkerhetsmarginaler och eventuella brister. Det uppmätta värdet skall alltså inte beaktas som sanning utan endast som ett mätresultat. Dock bör förtydligas att det är ett resultat i enlighet med en välbeprövad och ansedd metod för att mäta fukttinnehåll i betong, både av branschen och bland forskare.

Eventuella osäkerheter för mätmetoden med tätare material har inte beaktats i studien utan det förlitas på att metoden är en beprövad och validerad mätmetod som använts av branschens samtliga aktörer. Om det kan finnas en

disparats mellan uppmätt värde och den sanna fukttinnehållet i materialet beaktas inte i studien.

## 4.2 Analys: Mätresultat

Vid en analys baserat på både uppmätta RF-profilerna i betong och avjämning så finns indikationer på att betongen har en låg inverkan på avjämningsmassans fukttinnehåll. Att samma tendens återfinns i samtliga beräkningsfall och därmed oberoende av tiden mellan mätningarna. Detta indikerar att betongen är så tät att en signifikant uppfuktning av avjämningsmassorna uteblir för dessa fall för betong med lågt vct/vbt. Viktigt att poängtera är att denna hypotes idag endast är gällande för denna typ av materialkombinationer med avseende på täta betonger med lågt vct/vbt samt fall med inblandning av alternativa bindemedel. Baserat på detta underlag går det inte att klargöra vilken betongtäthet som krävs i förhållande till golvbeläggningens täthet för att detta skall uppkomma. Dock är det tydliga signaler på att vid mycket tät betong så är betongfuktens inverkan på limskiktet mycket lågt.

## 4.3 Analys: Materialmodellernas inverkan

Valet av materialmodell har en mycket stor inverkan. Studien visar att valet bör ske på sådant sätt att det inte missgynnar beräkningens syfte och effekten av över- eller underskattade egenskaper bör alltid göras vid beräkning för att minska risken för överskattning av beräkningens syfte.

I inget av fallen har den korrekta materialdata avspeglats i modellen trots ambitionen att efterlikna referenskonstruktionerna i så hög grad som möjligt. Detta blir tydligt då inga beräkningar ger likvärdiga resultat med uppmätta nivåer. För samtliga fall har dock beräkningarna gjorts med ett konservativt val varvid uttorkningen i kritiskt snitt aldrig har överskattats. Viktigt att poängtera är att för samtliga fall var de uppmätta nivåerna mycket lägre än enligt ursprunglig RBK-mätning.

Studien visar att det uppmätta motståndet i golvbeläggningarna var kraftigt överskattade alternativt så är betongens täthet underskattad. För betong 2 gäller det motsatta att tätheten bedöms vara kraftigt överskattad. Det som talar för detta är att beräknat RF i avjämningen i samtliga fall är signifikant högre än uppmätt.

## 4.4 Analys: Beräkningsresultat mot uppmätt värde och validering av metodiken enligt vägledningen SBUF 13701

Ett samlat resultat av beräkningsfallen visar på att en omfördelningsberäkning enligt vägledningen från SBUF 13701 ger en beräknad fuktnivå närmare de uppmätta fuktnivån i avjämningsmassorna jämfört med en traditionell RBK mätning där den uppmätta fuktnivån på ekvivalent mätdjup antas ge den högsta RF



nivån under golvbeläggningen efter omfördelning. Resultatet visar även på en bibehållen stor marginal mellan beräknat och uppmätt fuktnivå i kritiska skikt. I inget av beräkningsfallen erhöles en simulerat lägre RF jämfört med mätresultaten för avjämningsmassan eller i betongen. För samtliga fall fanns en marginal mellan simulerat och uppmätt värde, även när det beräknade maxvärde under simuleringstiden beaktades.

I samtliga fall har dessutom mätosäkerheten enligt RBK inkluderats vilket innebär att den faktiska fuktnivån i respektive mätpunkt sannolikt är lägre, rent statistiskt. Marginalen till  $RF_{OK}$  och därmed även kritiskt RF är således ännu större än i de beräknade fallen. Till detta bör även beaktas att gällande  $RF_{OK}$  är framtagen för limmad plastmatta på betong och inte för limmad matta på lågalkalisk avjämningsmassa.

Skillnaden mellan beräknad och uppmätt RF i avjämnningen var mellan 5 och 35 %-enheter. Dessa värden kan inte användas som en generell överskattning för metodiken då flera faktorer inverkar. Resultaten skall dock ses som ett tecken på att metoden har en bibehållen mycket hög extra marginal mellan simulerat och uppmätt fuktnivå och därmed även mot  $RF_{OK}$  och Kritiskt RF. Likande resultat här även presenterats från tidigare studier, [11,12] där låga RF i både betong och avjämnning erhöles i långtidsmätningar.

I samtliga fall har konstruktionen varit uppbyggd med betonger som beaktas som mycket täta. För dessa materialkombinationer innebär de konservativa antagandena en svårmotiverat hög säkerhetsmarginal jämte  $RF_{OK}$  eller Kritiskt RF. Materialdatans kvalitet har därmed en mycket stor inverkan och där summan av flera konservativa val ger detta utfall. I aktuell studie kan till exempel valet att inte volymkompensera sorptionsdata för ett cementbruk mot betong vara en avgörande faktor till varför beräknad RF i betongen avvek från mätresultaten, möjligen i kombination med den konservativa trappformade fuktprofilen.

## 5. Slutsats

En omfördelningsberäkning enligt vägledningen från SBUF 13701 ger en fuktomfördelning som är närmare den uppmätta fuktnivån i kritiska skikt jämfört med en RBK-mätning på ekvivalent mätdjup i betongen. Omfördelningsberäkningen ger således den förfinade kontrollen som avses med metoden samt med en bibehållen stor marginal mot  $RF_{OK}$  och därmed även mot kritisk fukttillstånd.

Studien visar på att uttorkningen underskattas vid omfördelningsberäkningen jämfört med uppmätta värden. För avjämnningen blir beräknad RF betydligt högre i jämförelse med de uppmätta nivåerna. En generell siffra på vilken säkerhetsmarginal som finns i en omfördelningsberäkning gick ej att uppskatta men för de aktuella fallen var den uppmätta fuktnivån i avjämnningen generellt mellan 5 och 30 %-enheter lägre än det beräknade resultatet även med avseende på högsta RF under beräkning perioderna.

Studien visar på att det finns en stor marginal mot  $RF_{OK}$  i det kritiska limskiktet i samtliga referensfall.

Orsaken till skillnaden mellan beräknat och uppmätt fuktnivå kan ej fastställas i studien. Möjliga orsaker är:

- Överskattad täthet hos golvbeläggningar.
- Underskattad täthet i betong (överskattad för en betongmodell).
- Överskattad täthet för HD/F elementens betong.
- Samlat resultat av konservativa antaganden för beräkningarna
  - Trappformad fuktprofil vid beräkningsstart (enligt vägledning)
  - Betongmodell baserat på fuktegenskaper från cementbruk
  - Antagen högsta uppmätta täthet på golvbeläggning (enligt vägledning)
- Eventuell fortsatt hydratering med självuttorkning och förtätning av materialet över tid beaktas ej.
- Eventuell ålderseffekter på golvbeläggning och avjämnning beaktas ej.

Resultatet från studien visar att för den typen av konstruktioner, och de material som använts i referenskonstruktionerna, så är resultatet från RBK-mätningen på ekvivalent mätdjup i betong innan golvläggning, där mätresultatet använts som modell för att prediktera högsta fuktnivån under golvbeläggningen efter fuktomfördelning, en mycket kraftigt överskattande modell. Även en omfördelningsberäkning för aktuella fall är en mycket konservativ modell. Detta är i sig inte oväntat utan i linje med det förväntade om än att marginalerna i samtliga fall är större än väntat.

Resultaten från denna studie är inte unika utan samma tendenser med kontinuerligt låga RF i avjämnning över tid har presenterats och diskuterats i tidigare studier [11,12].

Baserat på uppmätta och simulerade resultat i denna studie lyfts frågan om mätning på ekvivalent mätdjup är den bästa kontrollen för vissa konstruktioner

eller materialkombinationer. Är det fortsatt relevant att mäta RF i HD/F fogen på ett ekvivalent mätdjup, ett ekvivalent mätdjup vars uppmätta värde bevisligen ej är i närheten av den högsta RF som uppkommer i avjämnningen efter fuktomfördelning. **En möjlig revidering av dagens kravställning för när golveläggning kan monteras kan vara att för konstruktioner där betongen är mycket tät, samt signifikant tätare än golveläggningen, så kan betongens fuktnivå försummas. Istället bör kravställningen snarare riktas mot en väl uttorkad avjämnning för att säkerställa att  $RF_{OK}$  för systemets kritiska snitt ej skall överskridas.**

I aktuell studie visas tydligt att för betong med en vbt på max 0,4 så är betongens täthet så stor att betongen inte har en signifikant inverkan på avjämnningen även vid mycket täta golveläggningar. Burkmetoden [17] är en möjlig provningsmetod för kontroll för betonger med olika alternativa bindemedel och vbt som inte mätts tidigare.

En samlad slutsats från studien är att en omfördelningsberäkning enligt vägledningen från SBUF 13701 är en tillförlitlig metod för att på ett fortsatt säkert sätt minska säkerhetsmarginalen vid kontroll av RF inför golveläggning. Resultaten visar vidare att det finns vissa typer av konstruktioner, eller vissa typer av materialkombinationer, där säkerhetsmarginalen fortsatt är så hög att man kan ifrågasätta om det ens är relevant att fortsätta mäta RF i betongen på ekvivalent mätdjup. För dessa fall visar studien att det är mer adekvat att endast säkerställa en väl uttorkad avjämningsmassa då betongens inverkan på avjämnningen tycks vara mycket begränsad. Studien belyser dock att det fortfarande saknas mycket data för de ingående material. Framst hur dessa ändras över tid. Detta är kunskap som är nödvändig för att möjliggöra en mer optimerad anpassning av kravställningen tex förändrad kravställning för betong med högre vbt än 0,4.

## 6. Källor

- [1] Byggföretagen. (2023) Fuktmätningmanual – Betong & Golvavjämning, RBK
- [2] Oxfall, M. Tannfors, J. Torstensson, L. (2023) Kartering av skadefrekvens för golvbeläggningar på betongbjälklag – Historisk återblick av golvsystem med parkett eller limmade plastmattor. SBUF 14100
- [3] Olsson, N. (2018) Experimental studies of ion transport in cementitious materials under partially saturated conditions, PhD, TVBM 1037, Lund University Div. Byggnadsmaterial, Lund
- [4] Saeidpour, M. (2015) Experimental studies of sorption and transport of moisture in cement based materials with supplementary cementitious materials, PhD, TVBM 1033, Lund University Div. Byggnadsmaterial, Lund
- [5] Linderoth, O. Johansson, P. Wadsö, L. (2020) Development of pore structure, moisture sorption and transport properties in fly ash blended cement-based materials, Construction and Building Materials 261 - 120007.
- [6] Stelmarczyk, M. et.al. (2019) Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong, SBUF 13197 & 13198
- [7] Stelmarczyk, M. (2023) Applied Modeling of Moisture Phenomena in Concrete, PhD, Luleå tekniska Universitet Div. Byggnadsmaterial, Luleå
- [8] Bi-Dry, <https://www.betong.heidelbergmaterials.se/-sv/Betongindustri-BIDry>
- [9] Kumlin, A. et.al. (2021) Praktiska vägledningar för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag – Fuktomfördelningsberäkningar, SBUF 13701
- [10] Kumlin, A. et.al. (2021) Vägledning för fuktomfördelningsberäkningar i betongkonstruktioner, SBUF 13701 Bilaga 9
- [11] Selander, A. et.al. (2022) Brf Viva ger oss nygammal kunskap, Husbyggaren NR1 2022, 25-28
- [12] Stelmarczyk, Marcin. et al, 2024, Fukt i golvsystem med modern betong, Bygg & Teknik 2/24, 38-41
- [13] GBR Branschstandard. (2017) Bestämning av relativ fuktighet, RF i golvavjämning, Utgåva 2, Golvbranschen GBR

- [14] Lindmark, S (2021) SimScan: Verktyg för simulering av scanningsisotermer, SBUF 13701 Bilaga 7
- [15] Linderoth, O. (2022) Fukttansportegenskaper för låg-vbt-betong enligt koppmetoden, FB21-05, Swerock 2022-12-23
- [16] Nilsson, L-O. (2013) A comparison between different methods to determine moisture transport properties of cementitious materials, TVBM 3168, Lund universitet Div. Byggnadsmaterial, Lund
- [17] Nilsson, L-O. (2019) Burkmetoden – för bestämning av fukttransportegenskaper hos betong. Moistenginst ab, Rapport 1922
- [18] Hedenblad, G. (1993) Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, PhD, Lund Universitet Div. Byggnadsmaterial, Lund
- [19] Kumlin, A. et.al. (2021) Omfördelningsberäkning enligt Vägledning för fuktomfördelningsberäkningar i betongkonstruktioner - Dokumentationsinstruktion, SBUF 13701 Bilaga 10