BILAGA 5

SBUF 13701

Milstolpe 6:

Parameterstudie

- Reviderad 2021-04-23

Kivik 2021-04-23

Sture Lindmark

Tekn. Dr.

Rådmansö 2021-04-23

S. Olof Mundt-Petersen

Civ. Ing., Tekn. Dr.

Sammanfattning

I denna rapport redovisas resultat från en parameterstudie utförd i syfte att undersöka vilka faktorer som har stor betydelse vid en omfördelningsberäkning, och som således måste anges med god precision.

Parameterstudien har utförts på så sätt att ett *basfall* har definierats, där alla parametrars värden är givna, och därefter har en parameter i sänder varierats och beräknat resultat jämförts med basfallet.

Basfallet har definierats som en ensidigt torkande konstruktion bestående av matta med fuktgenomgångsmotståndet z=1,5 Ms/m limmad till en 25 mm tjock avjämningsmassa som i sin tur är lagd på 180 mm betong med egenskaper liknande vct 0,50. Limmet antags tillföra fukt med 100 g/m^2 och primern mellan avjämningsmassa och betong har fuktgenomgångsmotståndet z=5000 s/m. En viss initial fuktfördelning har antagits råda i konstruktionen. Storleken på inverkan av de olika parametervariationerna är mycket troligt beroende av basfallets exakta utformning och av den initiala fuktfördelningen. Man kan således inte utgå från att varje parametervariation alltid, oavsett övriga förutsättningar, har just den relativa inverkan som redovisas i denna rapport.

I varje enskild omfördelningsberäkning bör beräkningsresultatets känslighet för variationer i indata kontrolleras separat. Resultaten av denna parameterstudie visar dock följande:

- Initialprofilen: Vid mycket tät golvbeläggning har fuktfördelningen i betong och avjämningsmassa liten betydelse för vilken maximal RF som uppnås under omfördelningsförloppet. Det är istället den totala mängden fukt i underlaget som har betydelse. Vid öppen golvbeläggning har fördelningen (initialprofilen) stor betydelse. Kravet på noggrann inmätning av fuktfördelningen ökar således ju öppnare golvbeläggning som används.
  I fall där avjämningen är tunn i förhållande till betongtjockleken behöver den initiala fuktfördelningen i avjämningen inte beskrivas i detalj. Det räcker att istället ansätta ett konstant RF-värde tvärs igenom som ger en bra representation av avjämningens medelfukthalt. Exakt vad ”tunn” innebär är inte möjligt att ange helt generellt.

- Representation av initialprofilen: Olika beräkningsverktyg ger olika förutsättningar för att beskriva initialprofilen. För WUFI har det visats att för det basfall som använts i denna studie kan en grov beskrivning med en ”trappa” baserad på tre mätvärden (ett i avjämningen, två i betongen) ge god överensstämmelse med en beräkning baserad på en mycket finindelad beskrivning av initialprofilen. I REDIST anges RF-profilen normalt alltid med en finindelad kurva (ett värde för varje cell).
  Två extremt felaktiga initialprofiler i betongen har prövats. Dessa profiler utgörs av räta linjer, dvs ingen som helst naturlig krökning i fuktfördelningen. Dessa profiler skapar avvikelser om -11 till +3 % RF från basfallets beräknade ca 83,5 % som maximal RF. Dessa avvikelser är en god indikation på de största möjliga fel som felaktigheter i initialprofilen kan ge upphov till. Självklart gäller dessa värden enbart för just det aktuella basfallet, men eftersom detta fall är någorlunda likt vanligt förekommande konstruktioner kan värdena ändå vara av visst intresse.

- Golvbeläggningens täthet: Golvbeläggningens täthet har generellt en stor betydelse för vilken maximal RF som kommer uppstå närmast under golvbeläggningen. Betydelsen blir större ju öppnare golvbeläggningen är. För att få god precision i beräknad maximal RF krävs därför bättre precision i angiven täthet ju öppnare golvbeläggningen är.

- Avjämningsmassans sorptionsisoterm och fukttransportkoefficient: Ju lägre avjämningsmassans isotermer ligger, desto högre kommer beräknad RF närmast under golvbeläggningen att bli. I basfallet i denna studie är avjämningen 25 mm och betongen 180 mm. Ett fel i avjämningens isoterm om 25% ger vid detta tjockleksförhållande ett fel i beräknad maximal RF om ca 0,3 % RF.
  Även avjämningens fukttransportkoefficient har begränsad betydelse så länge avjämningen är tunn i förhållande till betongen. Vid det tjockleksförhållande som nämndes ovan kan ett fel om 25 % i angiven transportkoefficient orsaka ett fel i maximal beräknad RF om ca 0,1-0,2% RF. Ju öppnare golvbeläggningen är desto större blir detta fel.

- Avjämningens tjocklek: En tunnare avjämningsmassa medför högre RF närmast under golvbeläggningen, förutsatt att avjämningsmassan är så torr då golvbeläggning påförs att den senare kommer att fuktas upp. Ju tunnare avjämningsmassan är desto viktigare är det att ha en korrekt uppgift om dess tjocklek för att nå god precision i omfördelningsberäkningen. I de studerade fallen kan skillnaden mellan 10 och 30 mm avjämningsmassa orsaka en förändring av maximal beräknad RF om ca 1,5 % RF.

- Betongens sorptionsisoterm : Betongen är det material som volymsmässigt dominerar konstruktionen. Dess isoterm har därför stor betydelse för hur stor mängd fukt som totalt finns i konstruktionen. I det basfall som har använts i denna studie medför ett fel om 25 % i betongens isoterm, dvs att isotermen är förkskjuten med 25 % upp eller ned från ”korrekt” värde, att beräknad maximal RF förändras med 0,2 – 0,3 % RF. Isotermen bör normalt kunna bedömas med betydligt mindre fel än 25 %. Bedömningen av isotermens läge bör således ha begränsad betydelse för korrektheten i beräknad maximal RF.

- Betongens fukttransportkoefficient: Ett fel om 25 % i betongens transportkoefficient, dvs att δ_v som funktion av RF avviker med 25 % upp eller ned från korrekt värde, kan, med övriga förutsättningar enligt Basfallet, förändra beräknad maximal RF med 0,4 – 0,8 % RF. Förändringen är relativt starkt beroende av golvbeläggningens täthet. REDIST och WUFI visar dock kvalitativt olika inverkan av betongens transportkoefficient. Det kan vara svårt att bedöma betongens fukttransportkoefficient med mindre avvikelse än ±25 %.

- Hysteres: För en korrekt beräkning av utvecklingen av RF närmast under golvbeläggningen krävs att hänsyn tas till hysteresen mellan absorptions- och desorptionsisotermer i avjämningsmassa och betong. Om endast en enda isoterm används kommer materialets fuktkapacitet att överskattas, vilket leder till att beräkningsresultaten visar en alltför liten förändring av RF vid en given ändring av fukthalten (under pågående scanningförlopp).

- Dynamiska scanningisotermer: Med ”dynamiska” avses här att scanningisotermerna hela tiden beräknas utifrån det fukttillstånd som råder (beskrivet som kombinationen av RF och fukthalt). Det är detta som sker i verkliga material, och strängt taget krävs därför att sådana dynamiska beräkningar används för att beräkningsresultatet ska kunna bli mer korrekt. I REDIST görs detta med automatik; cell för cell, tidssteg för tidssteg. I beräkningsverktyg som WUFI är det i praktiken omöjligt att utföra detta eftersom det kräver byte av isotermer vid olika tider för olika djup i konstruktionen, och varje sådan scanningisoterm måste beräknas och matas in manuellt. Den förenklade scanningisoterm som använts i WUFI i denna studie ger dock en förhållandevis bra överensstämmelse med motsvarande beräkningar utförda i REDIST som hanterar både absorptions- och desorptionsscanning. Det finns dock skillnader i beräkningsresultaten från de båda programmen som möjligen kan bero på att scanning hanteras på olika sätt.

- Limfukt: Mängden limfukt och tekniken att placera och fördela denna i beräkningarna har liten eller försumbar betydelse för beräknad maximal RF under det egentliga omfördelningsförloppet, förutsatt att avjämningsmassan har någorlunda tjocklek (i basfallet ca 15 mm eller mer) och är någorlunda normalt torkad, dvs ca 75 % RF eller lägre. I de studerade fallen förändras beräknad maximal RF med ca 0,3 %RF då limfuktmängden ökas från 0 till 100 g/m^2. Limfukten har däremot betydelse i ett tidigt skede eftersom RF i gränsen mellan avjämning och golvbeläggning kommer att vara mycket hög (ca > 95 % RF) under tiden närmast efter att golv lagts.

- Omgivande klimat ovanför och under golvet efter golvläggning: I fall med normaltät matta (ca 1 500 000 s/m) har årstidsberoende fluktuationer i klimatet ovanför golvet mycket liten inverkan på beräknad maximal RF under golvbeläggningen. Ett konstant årsmedelvärde kan i de flesta fall användas. Vid mycket öppen golvbeläggning kan dock årstidsvariationerna bli märkbara.

- Cellstorlek: För att få god precision i beräknad maximal RF närmast under golvbeläggning/lim bör översta beräkningscellen i avjämningsmassan vara så tunn som möjligt. En celltjocklek upp till ca 3-5 mm i avjämningsmassan bedöms vara acceptabel, om dock beroende av skiktets totala tjocklek. Även indelningen av celler i betongen påverkar resultatet i avjämningens översta cell.

- Tidssteg: I denna studie har tidssteget i de numeriska beräkningarna inte påverkat vilken maximal RF som uppnås. I praktiska beräkningar bör, som alltid, tidssteget varieras i syfte att kontrollera att valet av tidssteg inte påverkar det beräknade resultatet.

- Beräkningsverktygen WUFI respektive REDIST har i denna studie givit i huvudsak mycket likartade resultat. I enstaka fall syns en kvalitativ skillnad i resultaten, se t.ex. avsnitt 6.6.1 – 6.6.2. Även i beräkningen av basfallet erhålls en viss skillnad; 83,63 % RF för REDIST mot 83,15 % RF för WUFI. De exakta orsakerna till dessa skillnader är inte kända, men det förefaller troligt att de olika sätten att hantera scanning respektive fukttransportkoefficientens RF- eller fukthaltsberoende kan vara orsak.

Vi vill poängtera att det är väsentligt att ha bra data dels på rådande fuktprofil, dels på materialens sorptionsisotermer, eftersom dessa tillsammans avgör hur stor total mängd fukt som finns i betongen och avjämningsmassan, och eftersom denna mängd har mycket stor betydelse för det beräknade resultatet.

Innehåll

1 Inledning ... 7

2 Syfte och mål ... 7

3 Metod ... 8

4 Studerade parametrar och begränsningar ... 8
4.1 Studerade fall ... 8
4.2 Begränsningar och potentiella felkällor i använda beräkningsverktyg och beräkningsmodeller ... 9

5 Basfall – Geometri, material och randvillkor ... 12
5.1 Plastmatta ... 12
5.2 Limmad plastmatta ... 12
5.3 Avjämningsmassa ... 13
5.4 Primer ... 16
5.5 Betong ... 16
5.6 Tät undersida ... 18
5.7 Randvillkor ... 19
5.8 Initial fuktprofil ... 19
5.9 Beräkningsceller ... 22
5.10 Simulerad tid ... 22

6 Resultat, analys och slutsatser ... 23
6.1 Basfall ... 23
6.2 Antal beräkningsceller ... 28
6.3 Initial fuktprofil i avjämningsmassan ... 32
6.4 Initial fuktprofil i betong ... 34
6.5 Golvbeläggningens/ Mattans täthet ... 43
6.6 Fukttransportkoefficienter i avjämningsmassa och betong ... 45
6.7 Betongens och avjämningsmassans sorptionsisoterm ... 50
6.8 Samvariation i fuktegenskaper – olika vct ... 53
6.9 Avjämningsmassans tjocklek ... 55
6.10 Limfukt ... 56
6.11 Variabelt omgivande klimat/ randvillkor ... 58
6.12 Primerns täthet ... 59

7 Sammanställning och diskussion ... 60

8 Slutsatser ... 62

9 Övrigt ... 63

10 Referenser ... 64

11 Bilagor ... 65
11.1 Beräkningsprogrammet REDIST ... 65
11.2 Representation av konstruktionen i WUFI ... 71
11.3 Representation av konstruktionen i REDIST ... 73

1 Inledning

Fuktomfördelningsberäkningar har blivit allt vanligare i svensk byggindustri de senaste åren av flera olika skäl.

Innan golvbeläggning utförs ska, enligt nuvarande kravformuleringar, den relativa fuktigheten i underlaget mätas på ett visst definierat djup i underlaget och mätvärdet får inte överstiga det maximalt acceptabla värde som anges av materialtillverkare eller annat regelverk, t.ex. AMA Hus. Under de senaste åren har användningen av tillsatsmaterial (slagg, flygaska, mm) i betongen ökat vilket kan ha påverkat betongens täthet och på så vis gjort det svårare att torka betongen till 85 % RF på ekvivalent mätdjup. Användningen av tillsatsmaterial kan även ha inverkan på betongens självuttorkning och fuktkapacitet vilket också kan påverka tiden till att 85 % RF nås. Samtidigt har nya begränsningar i föreskrivna mätsystem medfört att det till synes tar ännu längre tid innan mätvärdet 85 % RF kan nås i betongbjälklaget. Den faktiska orsaken till att det blivit svårare att mäta 85 % RF eller lägre i betongbjälklagen ligger utanför denna studie. Svårigheterna att erhålla det mätvärde som krävs för att lägga golvbeläggningen har lett till förlängda produktionstider och därmed till ökade kostnader. En period stod byggbranschens producerande enheter inför ett svårt dilemma där det i många projekt helt enkelt inte gick att nå RF under 85 % på ekvivalent mätdjup med föreskrivna mätmetoder.

De mätmetoder och riktlinjer som används idag baseras på ca 40 år gammal forskning som utfördes med betydande begränsningar jämfört med vad som är möjligt idag. De studier som då gjordes, och som ligger till grund för dagens riktlinjer, avsåg en golvkonstruktion bestående av endast ett (enda) skikt betong utan avjämningsmassa och med ett helt tätt ytskikt. Den betong som då användes hade dessutom andra egenskaper än dagens betong, t.ex. ett väsentligt högre vct.

Parallellt med att problemen med att erhålla mätvärden som möjliggjorde mattläggning startade så introducerades möjligheten att dels beakta möjligheten att buffra fukt i en torrare avjämningsmassa ovanpå betongen, dels att beakta golvbeläggningens diffusionstäthet, d.v.s. golvbeläggningens förmåga att släppa igenom fukt. Detta är parametrar som inte beaktas alls i dagens riktlinjer som utgår från helt täta ytskikt och enbart betong.

I en tidigare studie genomförde åtta fuktexperter ett Round Robin-test där fuktomfördelningsberäkningar utfördes på en given golv- och bjälklagskonstruktion med givna förutsättningar. Erfarenheterna från detta test visade att det finns ett stort behov av att fastställa riktlinjer för hur fuktomfördelningsberäkningar skall utföras. Föreliggande parameterstudie har utförts i syfte att skapa en del av det underlag som behövs för att kunna ange riktlinjer för hur fuktomfördelningsberäkningar skall utföras, vilka parametrar som skall inkluderas och på vilket sätt dessa ska hanteras vid en omfördelningsberäkning.

2 Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet är att skapa ett underlag som kan användas som vägledning vid omfördelningsberäkningar. I detta delprojekt, parameterstudien, undersöks vilka parametrar som har störst betydelse för resultatet vid en omfördelningsberäkning och som således kräver hög kvalitet på indata. Indirekt belyses även vilka materialparametrar och andra förutsättningar som behöver beaktas i en omfördelningsberäkning.

Då studien utförs med två olika beräkningsverktyg utvärderas även skillnader i beräkningsresultat mellan dessa två olika verktyg.

3 Metod

Studien är utförd som en parameterstudie som utgår från ett basfall där alla parametrars värden är givna. Med utgångspunkt i basfallet varieras sedan en parameter i sänder. I ett fåtal fall studeras inverkan av samtidig variation i flera parametrar. Inverkan av förändringarna utvärderas genom jämförelse mot basfallet och övriga tidigare beräknade fall för de båda beräkningsverktygen. Samtidigt studeras eventuella skillnader i beräkningsresultatet mellan de två olika beräkningsverktygen.

Basfallet är utformat så att det bedöms likna en vanligt förekommande verklig konstruktion.

Studien utförs med de två olika programvarorna WUFI Pro 6.5, utvecklat av Hartwig Künzel vid Fraunhofer IPB i Holzkirchen i Tyskland [4], samt REDIST, utvecklat av Sture Lindmark vid FuktCom i Lund.

4 Studerade parametrar och begränsningar

Basfallet avser en ensidigt torkande konstruktion av matta, avjämningsmassa och betong. Basfallet och dess ingående geometri, material och randvillkor definieras i detalj i kapitel 5.

Eftersom mängden möjliga parameterkombinationer snabbt blir oöverskådlig i en konstruktion bestående av golvbeläggning, avjämningsmassa och konstruktionsbetong har studien begränsats. Beräkningarna inriktas därför huvudsakligen på:

1. Parametrar som det kan vara svårt att få fram korrekta värden för, som t.ex. fukttransportkoefficienter.
2. Kända variationer som kan förekomma i randvillkor, indata och materialdata, som t.ex. täthet på plastmattor.
3. Variationer i parametrar som bör vara väl kända eller mätbara såsom t.ex. tjockleken för betong och avjämningsmassan. I en skarp beräkning måste t.ex. tjockleken vara känd. Eftersom variationer i punkten 1 och 2 får olika stor inverkan vid olika tjocklek på de olika materialskikten så studeras även betydelsen av varierad tjocklek på avjämningsmassan.

4.1 Studerade fall

Studien är avgränsad till att behandla nedan specificerade fall och parametrar. Urvalet av parametrar baseras på erfarenheter från projektets deltagare. Det finns ytterligare parametrar som påverkar resultatet i en omfördelningsberäkning och som därför kan behöva studeras. Vissa av dessa inkluderas i andra delrapporter i projektet medan andra betydande faktorer ligger utanför projektets ramar, såsom t.ex. inverkan av golvvärme.

Basfallet och dess ingående geometri, material och randvillkor definieras i kapitel 5. Resultatet för basfallet redovisas i kapitel 6.1. Resultat för variationer i parametrar och skälen till att dessa undersökts redovisas enligt följande kapitel:

6.1 Basfallet och dess parametervärden

6.2 Antal beräkningsceller

6.3 Initial fuktprofil i avjämningsmassan

6.4 Initial fuktprofil i betongen

6.5 Golvbeläggningens/ mattans täthet

6.6 Fukttransportkoefficienter i avjämningsmassan och betongen

6.7 Variationer i betongens och avjämningsmassans sorptionsisotermer

6.8 Samvariation i fuktegenskaper – olika vct

6.9 Olika skikttjocklekar på avjämningsmassan

6.10 Limfukt

6.11 Variabelt omgivande klimat/ randvillkor

4.2 Begränsningar och potentiella felkällor i använda beräkningsverktyg och beräkningsmodeller

Parameterstudien har utförts med de två olika beräkningsverktygen WUFI [4] och REDIST. Beräkningarna i REDIST beskrivs kortfattat i bilaga.

Beräkningsverktygens olika uppbyggnad gör att det i flera av de studerade fallen är mycket svårt, omständligt eller omöjligt att ge exakt samma förutsättningar i de båda programmen.

Resultaten från de båda beräkningsverktygen kan därför inte reservationslöst jämföras med varandra. Tvärtom kan avvikelser i resultaten förklaras av just de olika förutsättningar som råder i de båda beräkningsverktygen. Som nämnts tidigare är avsikten med studien, utöver att studera inverkan av specifika parametrar, att försöka kontrollera att förändringar i olika parametrar påverkar det beräknade slutresultatet på samma sätt i båda beräkningsverktygen. Om t.ex. en ökning av mattans täthet ger en ökad maximal RF i översta skikten i avjämningsmassan vid beräkning med WUFI så bör ett likartat resultat även erhållas vid beräkning utförd med REDIST.

Vidare gör begränsningar i beräkningsverktyget WUFI att vissa specifika parametrar är svåra eller inte ens möjliga att utvärdera. För enstaka beräkningsfall redovisas därför endast resultat av beräkningar utförda i REDIST.

Nedan redovisas ett urval av kända skillnader mellan de två beräkningsverktygen WUFI och REDIST som används i studien och hur skillnaden har hanterats.

4.2.1 Scanning

Möjligheten att simulera scanning, d.v.s. ett fuktförlopp som inträffar då ett material övergår från uttorkning till uppfuktning eller vice versa, är begränsad i beräkningsverktyget WUFI eftersom detta verktyg endast använder en enda sorptionsisoterm vilken ligger på eller mellan materialets absorptions- och desorptionsisotermer. För beräkningarna utförda i WUFI används därför en fingerad sorptionsisoterm för avjämningsmassa som inkluderar en scanningkurva enligt figur 1. Sådana fingerade scanningisotermer måste skapas för respektive material, och respektive scanningförlopp, av användaren. För att simulera verkliga förhållanden måste en ny scanningisoterm skapas för varje RF-nivå där scanning startar. I

praktiken är detta inte möjligt att åstadkomma i WUFI eftersom det inte i förväg är känt vid vilken RF och tidpunkt då scanning startar i respektive beräkningscell.

Beräkningsprogrammet REDIST är utvecklat just för att kunna hantera scanning mellan sorptionsisotermerna. I de beräkningar som utförts med programmet REDIST i denna rapport används en modell för scanningkurvor, se bilaga 11.1.6. Modellerings- och beräkningstekniken medför att scanningens förlopp blir unikt för varje beräkningscell. Exponenten för beräkning av scanningkurvorna enligt ekvationerna 5 och 7 i bilagan sätts till 1,25.

Effekterna av olika typer av scanningförlopp är exkluderat i denna rapport men redovisas i rapport från delprojekt 5 och 7 i samma forskningsprojekt.

4.2.2 Numerik - cellindelning

Numeriken i det beräkningsprogram som används kan ha betydelse för det beräknade slutresultatet. Detta gäller dels cellindelning och dels tidssteg, men även själva beräkningstekniken.

Antal beräkningsceller som använts varierar mellan de olika beräkningsverktygen och beräkningarna som utförts. En kort undersökning av betydelsen av antalet beräkningsceller redovisas i kapitel 6.2.

4.2.3 Numerik – tidssteg

Även tidsstegen som används i beräkningsverktygen skulle kunna påverka resultatet. I WUFI används normalt tidssteget 1 timme vilket även använts i denna studie. Detta förhållandevis stora tidssteg möjliggörs av att WUFI använder en implicit lösningsmetod. Beräkningarna kompletters med adaptiva tidssteg som minskar tidssteget vid eventuella konvergensfel.

REDIST använder kortare tidssteg än WUFI eftersom beräkningarna utförs med explicita framåtdifferenser. I REDIST varieras tidssteget så att det är kort, ca en sekund, i början av förloppet, och sedan ökar. Efter en simulerad tid om ca 5 veckor når tidssteget sitt maximala värde vilket kan vara i samma storleksordning som i WUFI. I vissa beräkningsfall kan det dock vara tvunget att begränsa maximala tidssteget till betydligt mindre, t.ex. 10 minuter. Syftet med detta förfaringssätt är att minska risken att stora gradienter i början av förloppet skall orsaka numerisk instabilitet.

Tidigare studier och utredningar där REDIST använts visar att till synes korrekta resultat kan erhållas vid ett givet tidssteg, men vid närmare granskning syns att förloppen är orimliga. Detta upptäcks vid en kvalitetskontroll där man studerar hur RF och fukthalt varierar i en enskild beräkningscell i samband med scanningförloppen. Genom att byta till ett kortare tidssteg erhålls kvalitativt betydligt riktigare förlopp.

4.2.4 Randvillkor – omgivande klimat ovansida konstruktionen

Vid konstruktionens ovansida råder vanligtvis inomhusklimat. Både ånghalt och temperatur samt RF varierar över året. Med en normaltät plastmatta blir fukttransporten genom golvbeläggningen så långsam att vi i denna studie har bedömt att det är möjligt att sätta ånghalten ovanför golvet till ett konstant klimat med 20°C och 50 % RF. I fall med öppnare golvbeläggning eller ytskikt i förhållande till tätheten för övriga material i konstruktionen kan hänsyn behöva tas till att ånghalten i luften ovanför varierar.

Vidare kan golvbeläggningens täthet variera med omgivande RF. För normaltäta plastmattor bedöms sådan variation inte ha någon väsentlig påverkan på högsta beräknad RF.

4.2.5 Randvillkor – omgivande klimat undersida konstruktionen

I denna studie har klimatet på undersidan satts till samma som på ovansidan: 20°C / 50 % RF. Detta klimat har ansatts vara konstant över året.

I denna studie förutsätts att uttorkningen är enkelsidig, d.v.s. enbart torkning uppåt. Detta har modellerats genom att ett extremt tätt, praktiskt sett helt tätt, skikt har lagts in vid betongens undersida. Detta medför att den ansatta fuktigheten på undersidan inte får någon betydelse för beräkningsresultatet.

WUFI behöver dock uppgifter om klimatet på undersidan även i det fall konstruktionen simuleras med ett mycket fukttätt skikt på undersidan eftersom beräkningsverktyget beaktar inverkan av temperaturen på båda sidor om bjälklaget.

Studien omfattar inte förhållanden som gäller för en platta på mark som sakta värms upp eller svalnar efter att t.ex. ha byggts en varm sommar har undersökts. Inverkan av klimatförhållanden vid undersidan av en platta på mark har studerats i en annan delstudie inom detta forskningsprojekt.

4.2.6 Randvillkor – golvvärme, varierande klimat i konstruktionen

I det fall golvvärme förekommer i konstruktionen kommer denna sannolikt ha en betydande påverkan på fuktomfördelningsförloppet. Detta har dock inte undersökts i denna studie.

5 Basfall – Geometri, material och randvillkor

Basfallet utgörs av en konstruktion uppbyggd enligt följande:

1. Plastmatta
2. Lim till plastmatta
3. 25 mm avjämningsmassa
4. Primer
5. 180 mm betong
6. Tät kvarsittande form

Basfallet samt dess randvillkor och startvärden har utformats för att efterlikna ett verkligt fall där omfördelningsberäkningar skulle kunna bli aktuella. Avsikten har samtidigt varit att skapa ett beräkningsfall som kan modelleras på så snarlika sätt som möjligt i WUFI respektive REDIST. Som nämnts ovan är det dock ofrånkomligt att beräkningsfallen ges något olika förutsättningar i de båda beräkningsprogram-men.

5.1 Plastmatta

Plastmattan har i Basfallet antagits ha en täthet på z = 1 500 000 s/m. Detta har beaktats genom att:

- I REDIST ansätta en 2 mm tjockt skikt/ matta med z = 1 500 000 s/m.
- I WUFI ansätta ett 1 mm tjockt skikt/ matta/ membran med S_D = 37,5 m motsvarande μ = 37 500.

I både WUFI och REDIST används en konstant fukttransportkoefficient och en fingerad sorptionsisoterm som ger materialet mycket liten fuktlagringsförmåga.

5.2 Limmad plastmatta

Mängden limfukt har satts till 100 g/m^2. Limmets ånggenomgångsmotstånd har försummats, d.v.s. z_{lim} = 0 s/m.

I REDIST beaktas inverkan av limfukten genom att limfuktmängden tillförs i den översta beräkningscellen. Om hela limfuktmängden inte får plats i den tillgängliga porvolymen i översta cellen placeras resterande överskott i nästa cell. Om även denna cell blir kapillärt mättad flyttas överskottet till nästa cell, etc. Förfarandet innebär att de översta cellerna kan vara kapillärt mättade när beräkningsförloppet startar. I beräkningsprogrammet REDIST får dessa celler då en vattenhalt motsvarande kapillärmättnad och en relativ fuktighet som ges av sorptionsisotermerna vid kapillär mättnad (dock med en minimal minskning i syfte att undvika beräkningstekniska problem). För cementbundna material kan detta innebära att den relativa fuktigheten är ca 96 – 97 % [2]. Exakt värde avgörs av hur användaren har angivit sorptionsisotermerna.

I WUFI har limfukt applicerats i den översta millimetern i avjämningsmassan, dvs i ett 1 mm tjockt materialskikt överst i avjämningen. I det fall mängden limfukt inte får plats så ökas tjockleken på det översta skiktet varigenom ytterligare fukt får plats. Samtidigt tunnas resterande del av avjämningen av så att dess totala tjocklek förblir konstant.

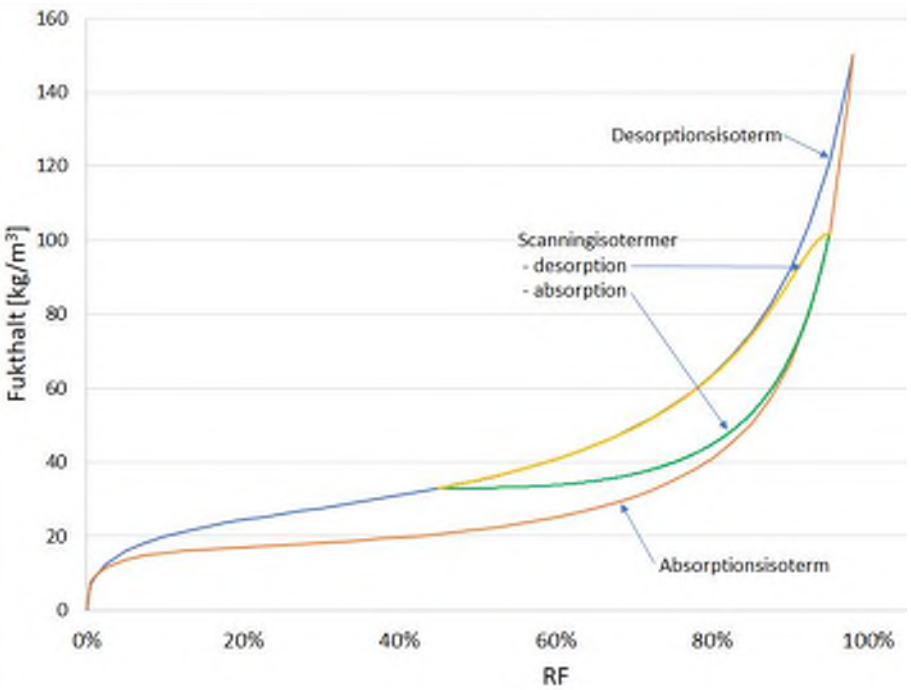
5.3 Avjämningsmassa

Avjämningsmassan utgörs av ett 25 mm tjockt materialskikt. Avjämningsmassan antas vara uttorkad till 60 % RF genom hela tjockleken.

Såväl sorptionsisotermer som fukttransportkoefficienten utgörs i basfallet av fingerad materialdata som inte avser någon specifik existerande produkt. Resultaten nedan visar att vid en ”skarp” omfördelningsberäkning krävs att beräkningen bygger på rätt materialdata. Eftersom olika produkter har olika egenskaper går det därför inte att i en beräkning använda materialdata för någon annan produkt än just den som beräkningen skall avse.

5.3.1 Sorptions- och scanningisotermer för avjämningsmassa

Vid omfördelningsberäkningar är det av stor vikt att hålla isär desorptionsisotermen, absorptionsisotermen samt desorptions- och absorptionsscanningisotermerna enligt figur 1 nedan. Om detta inte görs kommer förändringarna i RF inte att förändras i rätt tempo då fukthalterna ändras.



Figur 1. Fiktiva isotermer för definition av begreppen. Desorptionsisoterm (blå), absorptionsisoterm (röd), absorptionsscanningisoterm (grön) och desorptionsscanningisoterm (gul).

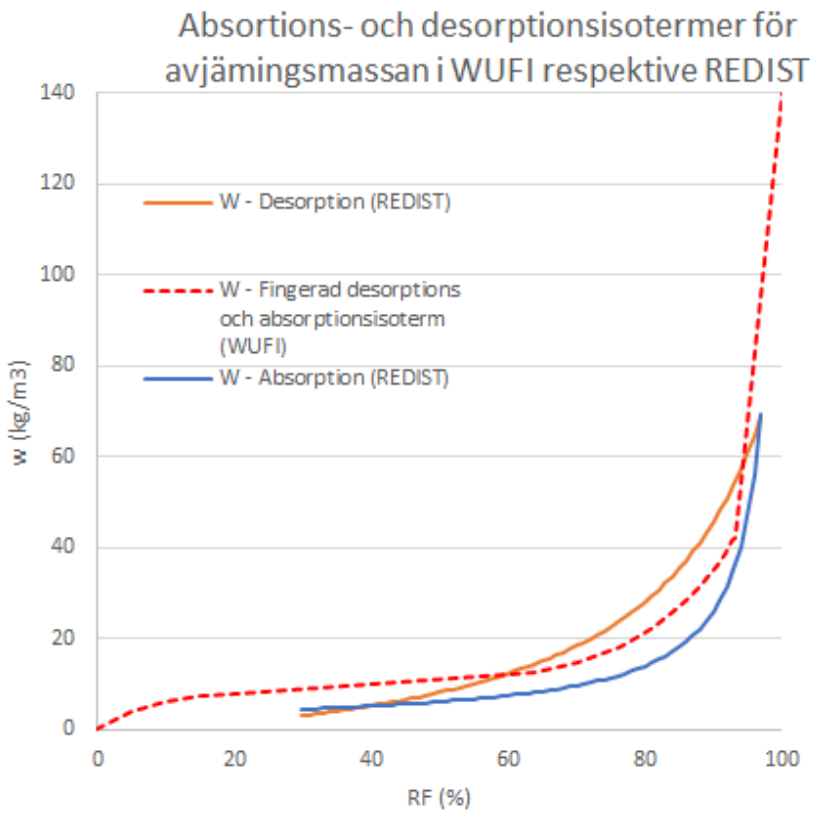
Avjämningsmassans sorptionsisotermer för WUFI och REDIST visas i figur 2 nedan.

I REDIST används en desorptions- och en absorptionsisoterm för respektive material. Scanningisotermen mellan isotermerna beräknas dynamiskt så som beskrivs i bilaga 11.1.6. REDIST skapar således en unik scanningisoterm för varje cell och varje tidpunkt, se figur 3. Scanningkurvans fuktkapacitet beräknas ur rådande fukthalt och RF samt med hänsyn till huruvida uttorkning eller uppfuktning pågår i den specifika cellen (se bilagan).

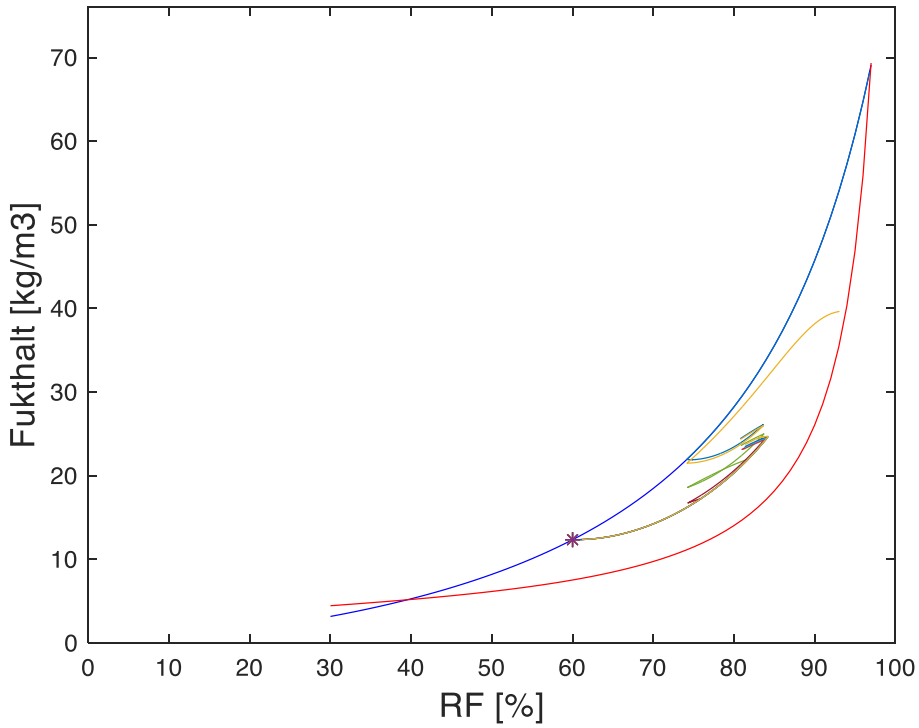
Eftersom WUFI endast kan hantera en enda sorptionsisoterm har en fingerad sorptionsisoterm skapats för beräkningarna i WUFI. Avsikten är att denna isoterm

skall likna de scanningisotermer som används i REDIST och denna isoterm är således specifik för just detta beräkningsfall (basfallet). Denna isoterm, som alltså är avsedd att användas från det ögonblick då golvbeläggning läggs på, är en kombination av en desorptionsisoterm, en absorptionsscanningisoterm samt en absorptionsisoterm. Från 0 – 60 % används desorptionsisotermens värden. Från 60 % RF och upp till 93,2 % RF används en enda scanningisoterm som beräknats med REDIST (enligt modell i bilaga 11). Denna scanningisoterm avser en avjämning som torkats ner till 60 % RF och sedan fuktas upp. Modellen i aktuellt fall förutsätter att avjämningen torkats ner till just 60 % RF och att alla celler börjar fuktas upp från 60%. I verkligheten kommer scanning att starta vid olika RF-nivåer på olika djup. Från 93,2 % RF ansätts en isoterm som går rätlinjigt upp till 140 kg/m^3 vid 100 % RF.

Vid uttorkning efter uppfuktning, dvs efter att maximal RF närmast under golvbeläggningen har uppnåtts, medför denna modell av isotermen att beräknad RF blir högre än i det verkliga fallet eftersom den sanna desorptionsscanningkurvan har flackare lutning än den angivna absorptionsscanningkurvan i intervallet från 93,2 % till 60 % RF. Sådan desorptionsscanning har dock sällan någon avgörande betydelse i omfördelningsberäkningar.



Figur 2. Avjämningsmassans sorptionsisotermer för WUFI (streckad röd) och REDIST desorption (orange) REDIST absorption (blå). Eftersom WUFI endast kan hantera en enda sorptionsisoterm har en fingerad sorptionsisoterm skapats för det specifika fallet (röd, streckad). Observera att den fingerade isotermen endast används från den tidpunkt då omfördelningsförloppet börjar.



*Figur 3: Exempel från REDIST på hur olika beräkningsceller får olika scanningisotermer. I detta fall avses enbart avjämningsmassan, med 9 beräkningsceller. Kurvorna är ritade från ögonblicket efter att mattlimmet lagts på. Samtliga celler hade 60%RF (markerat med *) ögonblicket innan limfukt tillfördes. Den allra översta cellen fuktas upp till ca 97 % RF av limfukten och torkar sedan praktiskt taget längs desorptionsisotermen och syns därför inte i figuren. Vid ca 74,2 % RF börjar den återigen fuktas upp (blå kurva). Näst översta cellen (gul kurva) fuktas upp till 93 % RF av limfukten och torkar sedan längs en desorptions-scanningkurva. Övriga celler fuktas upp från 60 % RF längs scanningabsorptionskurvor.*

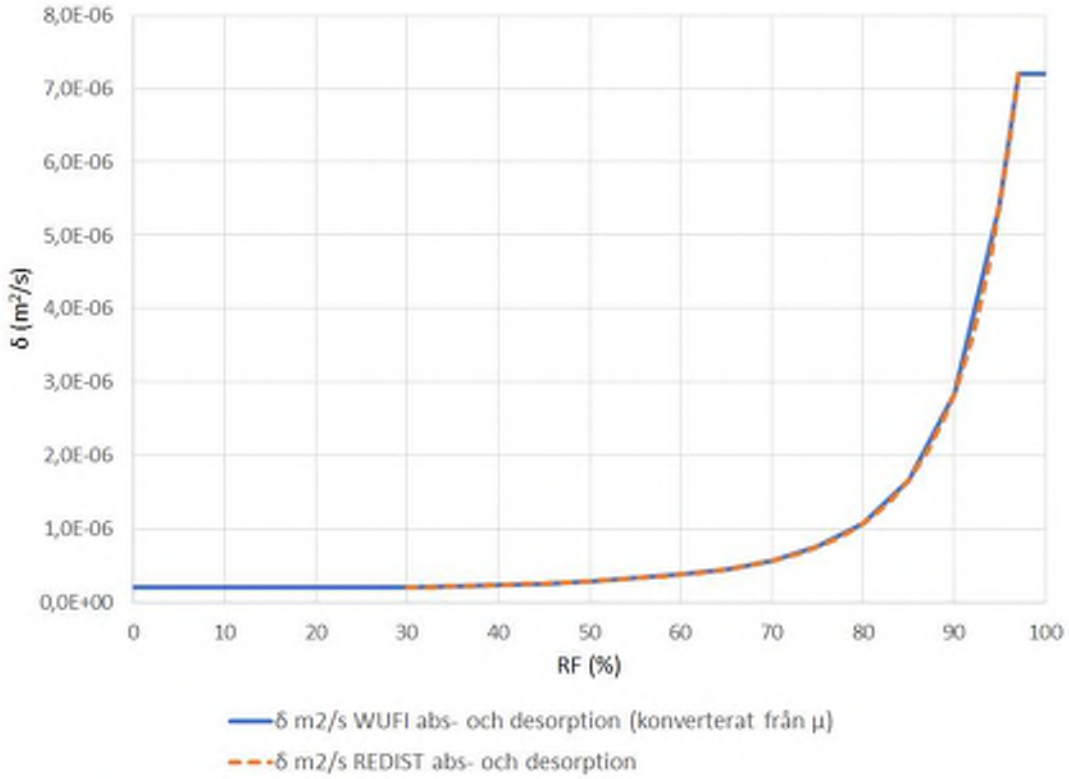
5.3.2 Fukttransportkoefficient för avjämningsmassa

Fukttransportkoefficienten i avjämningsmassan för WUFI respektive REDIST redovisas som funktion av RF i figur 4 nedan.

I WUFI anges fukttransportkoefficienten i den dimensionslösa parametern μ (-). Fukttransportkoefficienten i WUFI μ (-) har räknats om till en transportkoefficient δ_v (m^2/s) med ånghalten som drivande potential och redovisas tillsammans med motsvarande transportkoefficient för REDIST δ_v (m^2/s) i figur 4 nedan.

I REDIST används tillgängliga litteraturdata för transportkoefficienten δ_v som funktion av fukthalt eller fukttillstånd (RF). Vanligtvis anges fukttransportkoefficienten δ_v som funktion av RF och uppmätt under desorption. I verkligheten torde det vara rimligt att fukttransportkoefficienten varierar med materialets fukthalt, inte bara med dess RF. I REDIST ”översätts” därför fukttransportkoefficienten δ_v som funktion av RF till en funktion av vattenhalten, w. Detta samband används sedan såväl vid desorption som vid absorption. Därmed fås en inverkan på transportkoefficienten av den hysteres som råder mellan uppfuktning och torkning.

Fukttransportkoefficienterna hanteras således olika i de båda beräkningsverktygen. Detta kan vara en förklaring till de skillnader som trots allt föreligger i resultaten från de olika verktygen.



Figur 4: Fukttransportkoefficient δ_v (m^2/s) som funktion av RF (%) för avjämningsmassan i REDIST och i WUFI. I WUFI antags att δ_v är oberoende av om absorption eller desorption pågår. I REDIST översätts RF-beroendet till ett fukthaltsberoende och δ_v ansätts sedan vara densamma vid en given fukthalt, oberoende av om absorption eller desorption pågår.

5.4 Primer

Primer mellan betong och avjämningsmassa har beaktats genom att:

- I REDIST applicera ett rent fuktmotstånd med z = 5 000 s/m mellan betong och avjämningsmassa
- I WUFI genom att applicera ett 1 mm tjockt skikt/membran mellan avjämning och betong med μ = 125, motsvarande S_D = 0,125 m vilket också motsvarar ett skikt med ett z = 5 000 s/m.

5.5 Betong

I basfallet utgöras betongen av ett 180 mm tjockt materialskikt.

I REDIST delas betongen upp i ett antal celler som var och en får en fukthalt som beror av den initialt beräknade fuktprofilen. I basfallet används 25 celler i betongen, med tjocklek från 1 mm vid ytorna till 24,8 mm i centrum. Se vidare antalet beräkningsceller och initial fuktprofil enligt kapitel nedan.

I WUFI efterliknas den krökta profilen genom att betongen delas in i 19 stycken tunnare materialskikt med olika initial fukthalt/ RF som tillsammans blir 180 mm tjocka. Se vidare antalet beräkningsceller och initial fuktprofil enligt kapitel nedan.

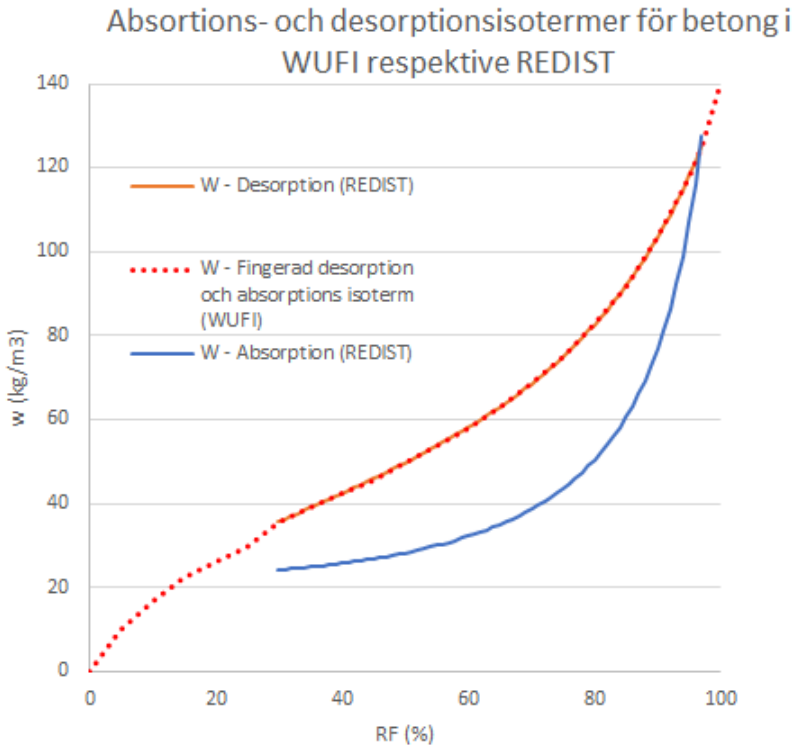
Såväl sorptionsisotermer som fukttransportkoefficienten utgörs av fingerade materialdata som inte kan användas i verkliga beräkningsfall. Den fingerade

materialdatan baseras på data för vct 0,50, C=360 [1]. Precis som för avjämningsmassan så måste de materialdata som används i en omfördelningsberäkning avse det specifika material som är aktuellt.

5.5.1 Sorptions- och scanningisotermer för betong

I REDIST används såväl desorptions- som absorptionsisotermer samt scanningisotermer mellan dessa, dvs betongen hanteras på samma sätt som avjämningsmassan. Desorptions- och absorptionsisotermen för betong redovisas i figur 5. Desorptions- och absorptionsscanning beräknas dynamiskt mellan isotermerna på samma sätt som för avjämningsmassan vilket beskrivs i bilaga 11.1.6.

WUFI kan bara hantera en enda sorptionsisoterm, d.v.s. scanning mellan absorption och desorption hanteras inte i betongen, enligt ovan redovisat. För betongen används en fingerad sorptionsisoterm som avser att efterlikna REDISTs desorptionssorptionsisoterm, se figur 5. Valet att följa desorptionsisotermen i REDIST beror på att betongen antas ligga i uttorkning större delen av omfördelningsförloppet. Detta är naturligtvis en kompromiss eftersom det är uppenbart att de övre delarna av betongen kommer att fuktas upp.



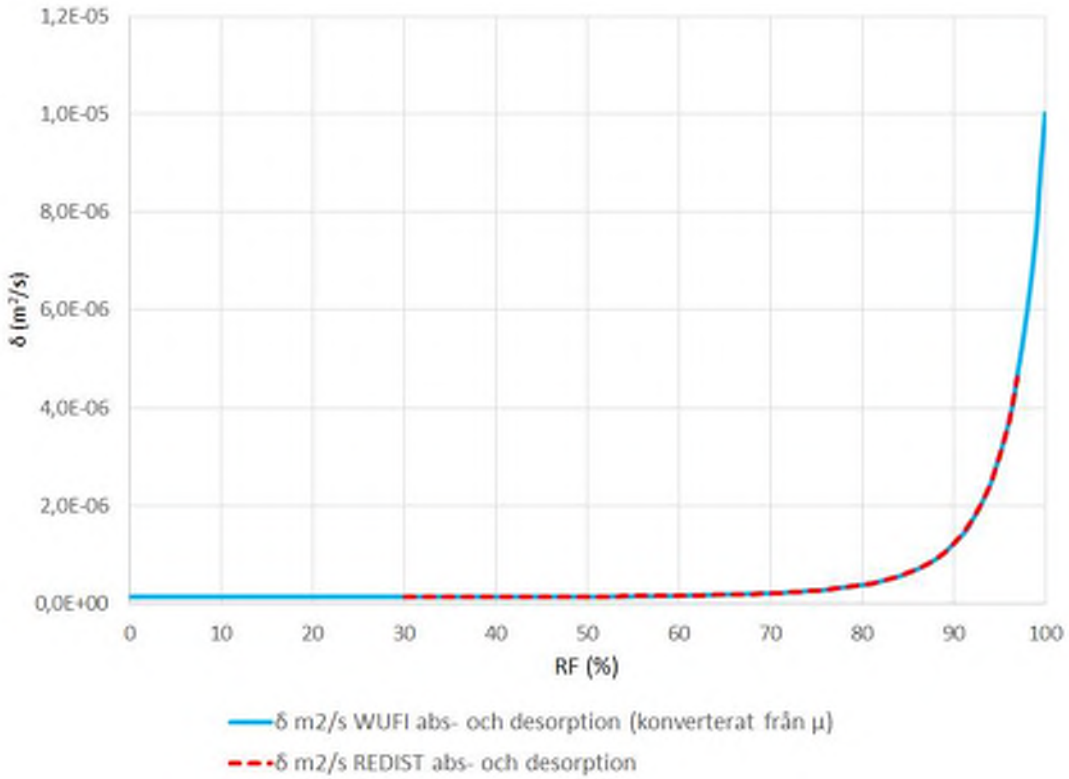
Figur 5. Betongens sorptionsisotermer för WUFI (streckad röd) och för REDIST, desorption (orange) respektive absorption (blå). Eftersom WUFI endast kan hantera en enda sorptionsisoterm används en fingerad sorptionsisoterm, vilken följer REDISTs desorptionsisoterm.

5.5.2 Fukttransportkoefficient för betong

Fukttransportkoefficienten i betongen för WUFI respektive REDIST redovisas som funktion av RF i figur 6 nedan.

I WUFI anges fukttransportkoefficienten i den dimensionslösa parametern μ (-). Fukttransportkoefficienten i WUFI μ (-) har räknats om till en transportkoefficient δ_v (m^2/s) med ånghalten som drivande potential och redovisas tillsammans med motsvarande transportkoefficient för REDIST δ_v (m^2/s) i figur 6 nedan.

I REDIST översätts fukttransportkoefficientens RF-beroende till ett fukthaltsberoende, dvs precis på samma sätt som för avjämningsmassan (se ovan).



Figur 6: Fukttransportkoefficient δ_v (m^2/s) som funktion av RF (%) för betongen i REDIST och i WUFI. I REDIST översätts fukttransportkoefficientens RF-beroende till ett fukthaltsberoende.

5.6 Tät undersida

En tät kvarsittande form under betongbjälklaget har simulerats genom att:

- i REDIST ansätta ett tätskikt på ytan motsvarande $z_{yta,u} = 1 \times 10^{10}$ s/m
- i WUFI applicera ett 1 mm tjockt skikt med tätheten S_D = 2 500 000 m

5.7 Randvillkor

Följande randvillkor gäller för samtliga beräkningsfall i hela studien.

- Omgivande klimat på ovan- och undersida: 20° C / 50 % RF
- Ytövergångsmotstånd vid övre yta: $z_{yta,ö}$ = 0 s/m
- Ytövergångsmotstånd vid undre yta: $z_{yta,u}$ = 0 s/m
- Konstruktionen har ingen golvvärme
- Inverkan av lång- eller kortvågig strålning har inte bedömts behöva beaktas
- Inverkan av omgivande luftflöden har inte bedömts behöva beaktas.

5.8 Initial fuktprofil

Den initiala fuktprofilen som använts i beräkningarna redovisas i figur 7 och 8.

För respektive materialskikt gäller.

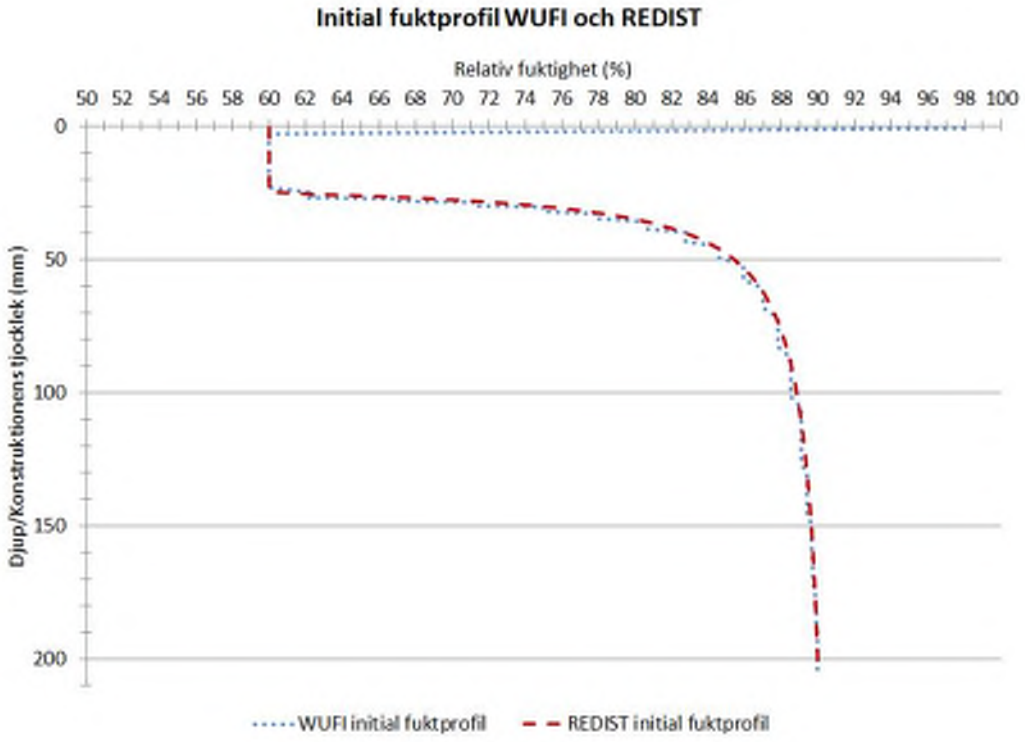
1. Plastmattan
   - REDIST har en rätlinjig profil genom mattan från inneklimatet 50 % RF vid mattans yta till 60 % RF vid ovansida avjämningsmassa.
   - WUFI har 0 % RF genom hela mattan då mattan är uppbyggd som ett 1 mm tjockt materialskikt/ membran för att utgöra ett tätskikt där en fiktiv sorptionsisoterm använts enligt WUFI materialdatabas (materialdatabase, vapor retarder), med täthet justerad till S_D = 37,5 m för att erhålla korrekt täthet.

   Den initiala fuktprofilen i REDIST och WUFI för mattan/ golvbeläggningen framgår inte i figur 7 och 8.
2. Limskikt
   - I REDIST fördelas fukten från limmet i avjämningens översta beräkningscell(er) så som har beskrivits ovan.
   - I WUFI inkluderas limfukten i översta skiktet i avjämningsmassan vilket ger en RF strax under 100 %.

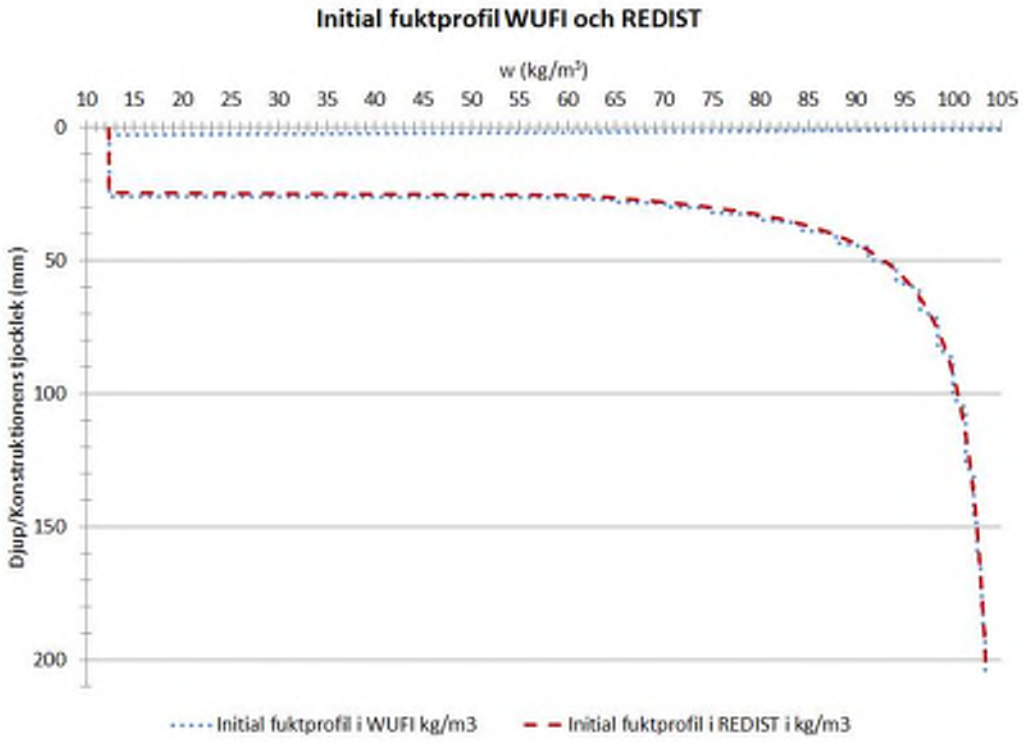
   Notera att de olika sätten att beakta limfukten initialt gör att fuktprofilerna enligt figur 7 och 8 nedan skiljer sig åt i den översta delen av avjämningen.
3. 25 mm avjämningsmassa. För avjämningsmassan har RF satts till konstant 60 % igenom hela materialskiktet i både REDIST och WUFI.
4. Primer
   - I REDIST har primern simulerats som ett rent motstånd utan fuktinnehåll (z_{primer} = 5000 s/m).
   - I WUFI har RF satts till 60 % rakt igenom hela det tunna materialskiktet/ membranet (z_{primer} = 5000 s/m).
5. 180 mm betong. I betongen är fuktprofilen krökt från 60 % vid avjämningsmassan till 90 % RF i botten av betongen.
   - I REDIST har den krökta fuktprofilen enligt figur 7 och 8 skapats enligt redovisat i bilaga 11.1.8 med passningskonstanten B = 1,03.

- I WUFI har en fuktprofil skapats genom att hela materialskiktet om 180 mm betong har delats in i totalt 19 separata materialskikt med olika tjocklek och initial fukthalt/ RF från REDIST. Fuktprofilen i WUFI har skapats i syfte att efterlikna fuktprofilen i REDIST enligt figur 7 och 8.

I syfte att skapa så lika förutsättningar som möjligt i de två beräknings-verktygen har fokus legat på att ansätta så lika vatteninnehåll som möjligt i respektive verktyg. Trots att profilerna i figur 7 och 8 förefaller mycket likartade resulterar de i att den totala mängden vatten i betong och avjämning var 18,014 kg/m^2 i WUFI och 18,019 kg/m^2 i REDIST, dvs en skillnad på ca 0,02 %. Limfukten ingår inte i dessa värden.



Figur 7. Initial fuktprofil uttryckt som RF (%) genom hela konstruktionen för WUFI och REDIST. Fuktprofilen för WUFI inkluderar limfukt medan fuktprofilen för REDIST avser ögonblicket precis innan limfukten tillförs. Djupet "noll" avser avjämningens yta.



Figur 8. Initial fuktprofil uttryckt som <u>fukthalt</u> (kg/m^3) genom hela konstruktionen för WUFI och REDIST. Ett något högre initialt fuktinnehåll i WUFI. Fuktprofilen för WUFI inkluderar limfukt medan fuktprofilen för REDIST avser ögonblicket precis innan limfukten tillförs. Djupet "noll" avser avjämningens yta.

6. Kvarsittande form / tät undersida
    - I REDIST har den kvarsittande formen simulerats genom att undersidan av konstruktionen har försetts med ett fukttransportmotstånd $z_{yta}=1\times10^{10}$ s/m.
    - I WUFI har den kvarsittande formen simulerats som ett mycket tätt membran. RF har satts till 90 % rakt igenom hela det tunna materialskiktet/ membranet.

5.9 Beräkningsceller

I basfallet har beräkningscellerna fördelats enligt följande:

1. I REDIST har totalt 37 beräkningsceller använts med fördelningen 3 + 9 + 25 (matta - avjämning – betong). Cellernas tjocklek varierar på olika djup i beräkningsmodellen. I avjämning och i betong är yttersta cellerna 1 mm och sedan tjockare in mot centrum av respektive skikt. Mattan delas in i tre celler om vardera 0,667 mm.
2. I WUFI har ”automatisk (I) // 70” använts vilket totalt ger 81 celler för basfallet med fördelningen 3 + 9 + 3 + 63 + 3 (matta – avjämning – primer – betong – kvarsittande form). Om förändringar gjorts i de olika beräkningsfallen har antalet celler justerats automatiskt. Då antalet beräkningsceller enligt resultat i kapitel 6.2 är av underordnad betydelse för resultatet så länge de är tillräckligt många anges inte det exakta antal celler som erhålls vid justeringar i respektive studerat fall. Funktionen för automatgenerering av antalet celler, ”automatisk (I) // 70” har bibehållits för samtliga studerade fall om inget annat anges.

5.10 Simulerad tid

Beräkningarna har utförts för ett omfördelningsförlopp över 15 år.

6 Resultat, analys och slutsatser

Parameterstudien utgår från ett basfall enligt ovan specificerat. Från basfallet görs sedan variationer i enskilda parametrar. Resultatet från beräkningar för basfallet respektive studerat beräkningsfall redovisas enligt nedan.

6.1 Basfall

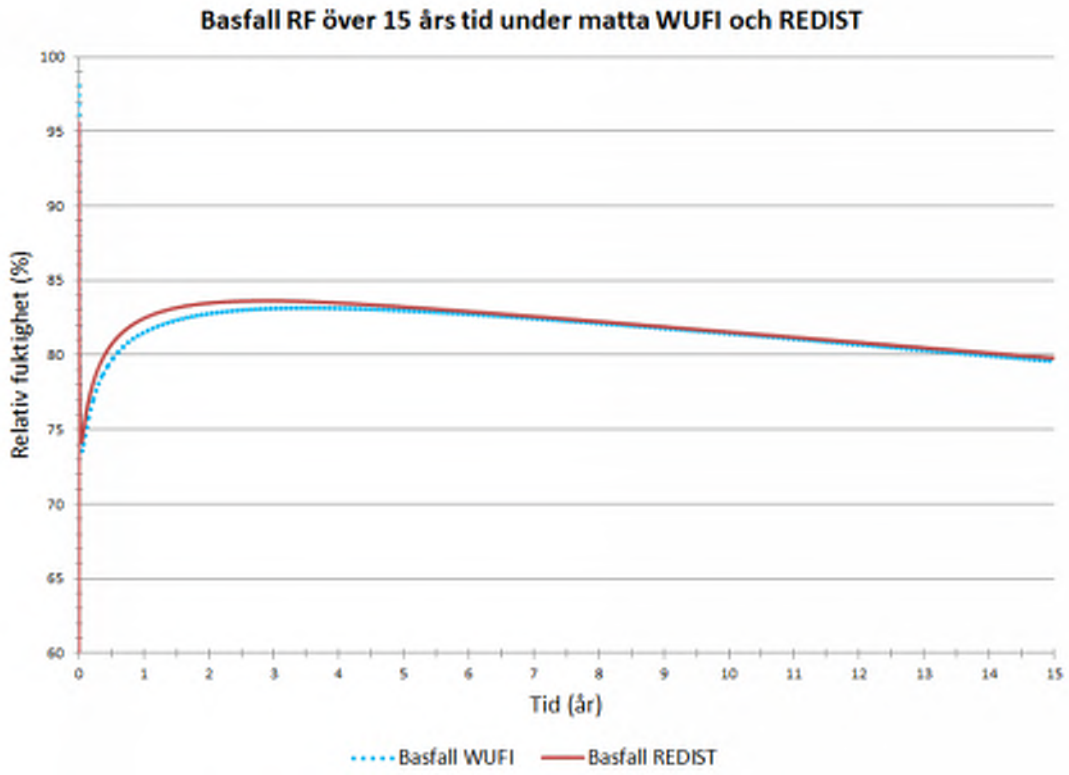
6.1.1 Basfall – Resultat

I tabell 1 nedan redovisas resultatet för beräkningar av basfallet. Resultatet redovisas dels som vilken maximal RF som uppnås närmast under limskiktet och dels när denna inträffar.

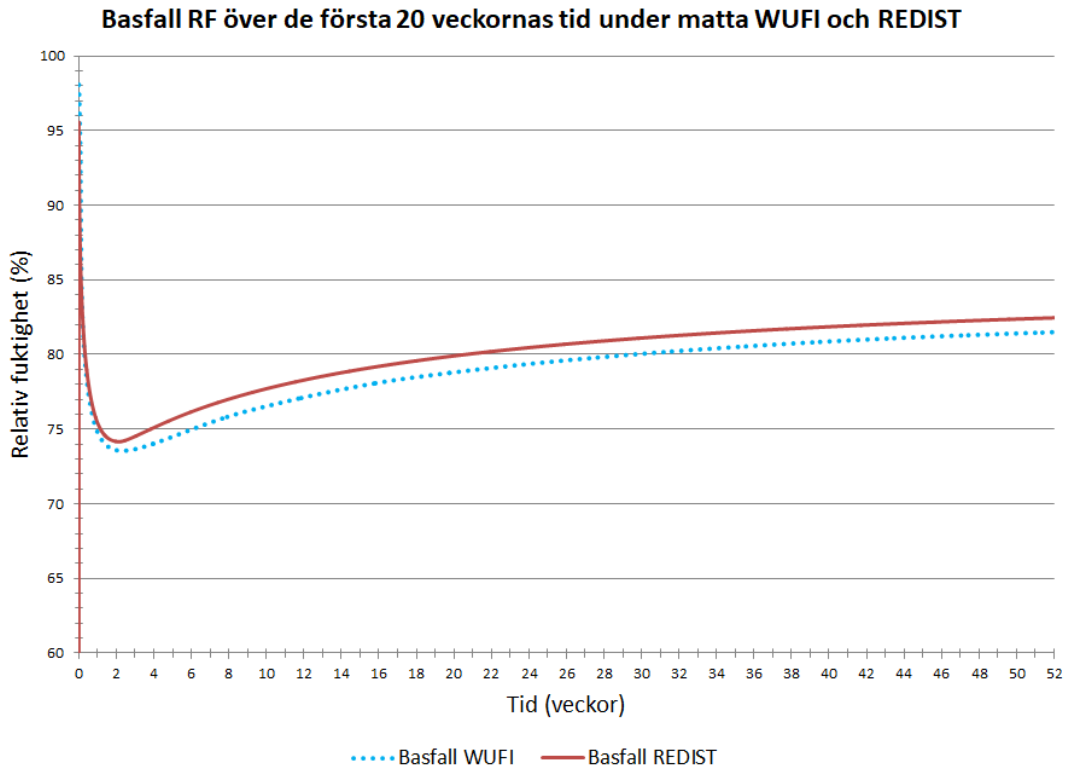
Resultatet redovisas även som RF plottat över tiden i två diagram; dels över hela beräkningsperioden om 15 år i figur 9, dels över det första året i figur 10. Vidare redovisas beräknade fuktprofiler efter 3, 6 och 12 år i figur 11. Som framgår av figur 11 blir fuktprofilerna olika i avjämningsmassan för beräkning i respektive beräkningsverktyg. Detta torde bero bl.a. på att de båda programmen hanterar desorptionsscanningförloppet olika och på att fukttransportkoefficienten modelleras på olika sätt. I REDIST finns möjligheten att plotta uttorknings- och uppfuktningsförloppet i varje beräkningscell vilket redovisas för beräkningar av basfallet i figur 3.

Tabell 1: Beräknad maximal RF under omfördelningsförloppet i Basfallet.

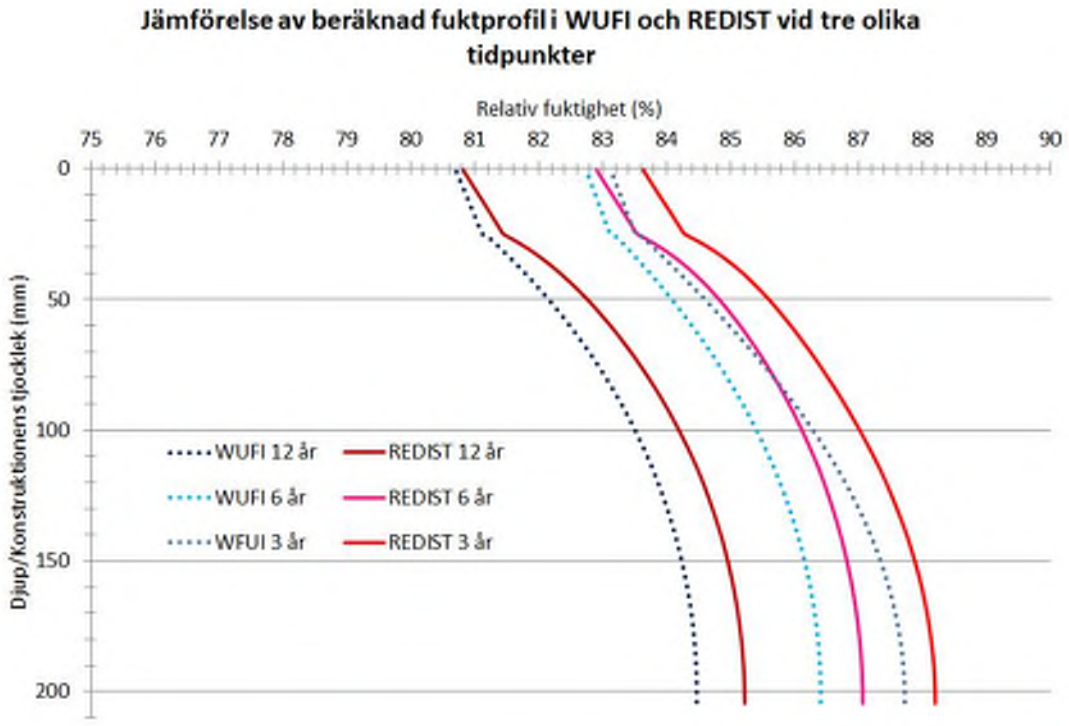
	REDIST		**WUFI**	
Fall	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
Basfall	83,63	153	83,15	183



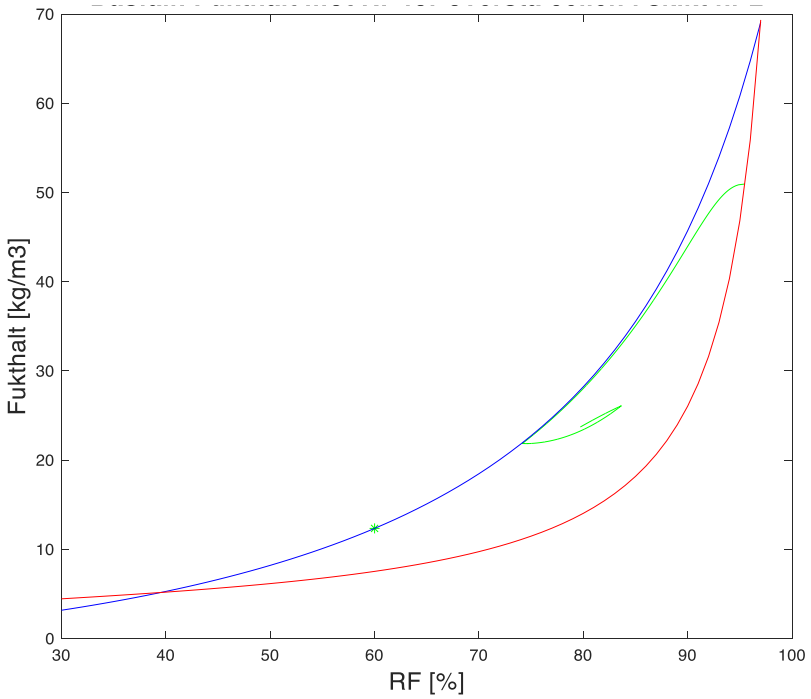
Figur 9: Basfallet: RF i avjämningens översta cell som funktion av tiden. Maximal beräknad RF är i REDIST 83,63 % och inträffar vid 153 veckor och 83,15 % i WUFI och inträffar efter 183 veckor.



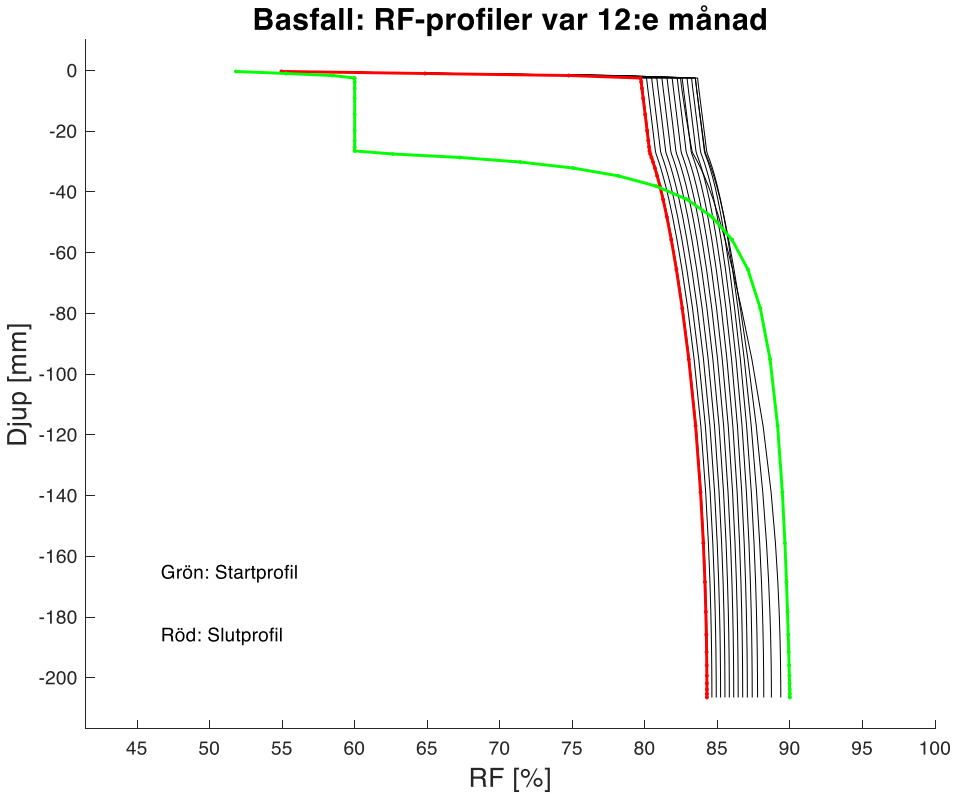
Figur 10: Basfallet: Delförstoring ur föregående figur där förloppet för RF i översta cellen i avjämningsmassan plottats för det första året.



Figur 11: Basfallet: Beräknad fuktprofil i RF igenom avjämningsmassa och betong efter 3 år, 6 år och 12 år. Observera att maximal beräknad RF uppnås efter ca 3,5 år och att desorptionsscanningförloppen hanteras olika i programvarorna efter det att maximal RF uppnåtts.



Figur 12: Basfallet: Uppfuktnings- och uttorkningsförloppet i avjämningsmassans översta skikt (beräkningscell som är 1 mm tjock) beräknat i REDIST där fukthalten plottats mot RF. Blå och röd kurva avser avjämningsmassans desorptions- och absorptionsisoterm. Grön kurva avser fukthalts- och RF-förändring som sker över tiden. Grön stjärna (*) markerar översta cellens tillstånd innan limfukt tillförs. Limfukten höjer översta cellens RF till ca 97%. Därefter sker en torkning längs en desorptionsscanningisoterm ned till ca 74,2 % och sedan en uppfuktning längs en absorptionsscanningisoterm till 83,6 % RF. När maximal RF uppnåtts sker återigen torkning längs en desorptionsscanningisoterm. Förloppet avslutas efter 780 veckor (15 år) då RF i avjämningens skikt är 79,7%. (Figuren visar ett något annorlunda fall än basfallet enligt figur 3 i syfte att visa tydligare vad som sker i översta cellen. I figuren korsar absorptions- och desorptionsisotermerna varandra på ett onaturligt sätt vid ca 39%RF. Detta beror på att den matematiska beskrivningen av isotermerna har optimerats för det område där huvuddelen av förloppen sker, dvs RF>60 %.)



Figur 13: Exempel från REDIST på hur RF-profilen genom konstruktionen förändras över tid. Grön kurva avser startläget precis innan limfukt tillförs. Röd kurva avser profilen efter 15 år. Svarta kurvor visar profilen var 12:e månad. Bland de svarta finns en kurva som skär snett över de andra. Denna kurva inträffar efter de första 12 månaderna, dvs medan uppfuktning av övre delen fortfarande pågår.

6.1.2 Basfall – Analys och slutsatser

Resultaten från de båda beräkningsverktygen visar att uttorkningsförlopp och tiden för när maximal RF vid avjämningens yta inträffar följer varandra med relativt små avvikelser. Maximal RF vid avjämningens yta skiljer ca 0,5 % RF mellan de båda programmen. På större djup är avvikelserna större; upp mot ca 1 % RF. Detta visar att beräkningsverktygen i huvudsak ger likvärdiga resultat.

För basfallet ger de båda beräkningsverktygen att maximal RF vid avjämningens yta under omfördelningsförloppet är 83,63 % för REDIST och 83,15 % för WUFI, d.v.s. en skillnad om 0,48 % RF. Skillnaden i resultaten förklaras sannolikt dels av de olika sätten att ange fukttransportkoefficientens beroende av vatteninnehållet, dels av att vi i WUFI inte har beaktat scanning i betongen. I REDIST används scanning-isotermer som är individuella för respektive beräkningscell och dess RF-startvärde, se figur 2, 4 och 11. Särskilt efter att maximal RF har passerats och stora delar av konstruktionen har övergått till torkning innebär skillnaden i sätt att hantera scanning att RF sjunker långsammare i REDIST än i WUFI.

Avvikelsen 0,48 % RF i beräkningsresultat mellan de båda beräkningsverktygen är relativt liten jämfört med de mätfel som vanligtvis uppstår vid mätning enligt RBK-systemet (1 – 3 % RF).

Vid jämförelse av de beräkningsresultat som redovisas nedan måste man hålla i minnet att även om beräkningarna bygger på identiska förutsättningar så medför skillnader i de båda beräkningsprogrammens konstruktion att det alltid finns en liten skillnad i resultaten från respektive program.

6.2 Antal beräkningsceller

Eftersom antalet beräkningsceller, och därmed celltjocklekarna, kan påverka resultatet kontrolleras hur antalet beräkningsceller i de båda beräkningsverktygen påverkar resultatet.

Basfallet räknades i REDIST med 37 beräkningsceller: 3 i mattan, 9 i avjämningen och 25 i betongen. Motsvarande beräkning i WUFI var 81 beräkningsceller: 3 i mattan, 9 i avjämningen, 3 i primern, 63 i betongen och 3 i den täta kvarsittande formen. I REDIST sattes celltjockleken för den yttersta cellen i avjämning och betong till 1 mm.

Justering av antalet beräkningsceller görs dels med ett ökat och dels med ett minskat antal celler. Beräkning utförs med totalt antal celler i REDIST ökat från 37 till 47 och i WUFI från 81 till 199. Vidare utförs motsvarande beräkning med minskat antal celler i REDIST från 37 till 21 respektive till 13 och i WUFI från 81 till 50. Cellerna fördelas i de olika materialskikten så som redovisas i tabell 2 nedan. Observera att i REDIST är de yttersta cellernas tjocklek i avjämning och betong fortfarande 1 mm.

6.2.1 Antal beräkningsceller – Resultat

I tabell 2 nedan redovisas resultatet för fall där antalet beräkningsceller varierats.

Tabell 2: Basfallet beräknat med varierat antal beräkningsceller.

		REDIST		**WUFI**	
Fall	**Totalt antal celler samt cellfördelningen** Cellfördelningen inom parentes	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.2.1	REDIST Σ celler: 47 (3 + 11 + 33) WUFI ”Automatisk (I) // 200” Σ celler: 199 (3 + 23 + 3 + 167 + 3)	83,63	154	83,15	183
Basfall	REDIST Σ celler: 37 (3 + 9 + 25) WUFI ”automatisk (I) // 70” Σ celler: 81 (3 + 9 + 3 + 63 + 3)	83,63	153	83,15	183
6.2.2	REDIST Σ celler: 21 (3 + 5 +13) WUFI ”automatisk (II) // 50” Σ celler: 50 (2 + 5 + 2 + 39 + 2)	83,69	153	83,15	183
6.2.3	REDIST Σ celler: 13 (3 + 3 +7)*	84,06	146	Ej utfört i WUFI	

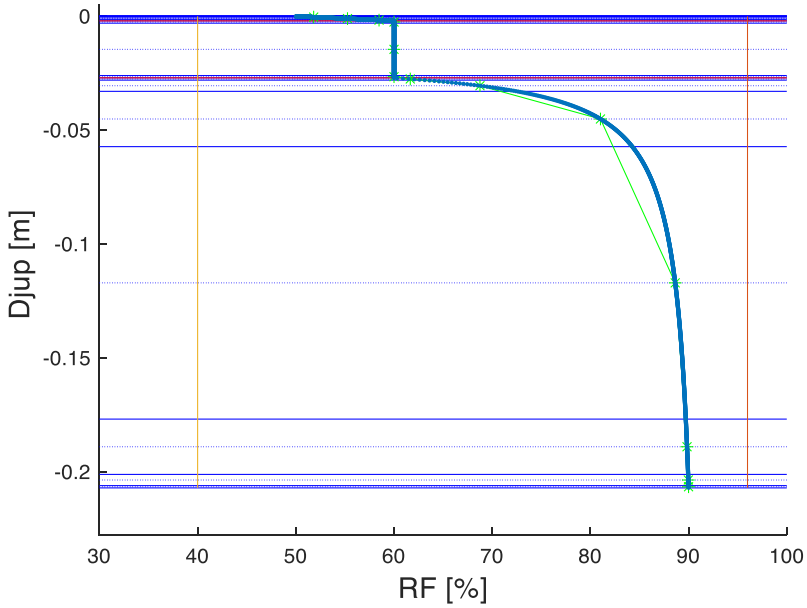
**REDIST kan inte använda mindre än tre celler i respektive skikt. En delförklaring till att beräknad maximal RF blir högre ju färre celler som används i avjämningsmassan är att det beräknade värdet avser ett större djup när antalet celler minskar (cellens mittpunkt förskjuts nedåt).*

I WUFI används standardfunktioner för att automatgenerera lämpligt antal celler och dess cellfördelning. Antalet celler som genereras är kopplat till antalet materialskikt. För att den initiala fuktprofilen i de båda beräkningsverktygen ska vara så likvärdig

som möjligt har 19 materialskikt skapats i WUFI. Varje sådant materialskikt får sin egen cellindelning. Detta har i sin tur gjort det svårt att i detta specifika studiesyfte minska antalet celler i WUFI. Antalet materialskikt och cellernas storleksfördelning inom dessa skikt gör även att totala antalet celler kan avvika från exakt föreskrivet antal celler enligt automatgenereringsfunktionen.

Cellindelningen för extremfallet som utförts i REDIST med endast 13 celler, 3 i golvbeläggningen, 3 i avjämningen och 7 i betongen, redovisas i figur 13. Observera att även i detta fall är yttersta cellerna i avjämningen och i betongen fortfarande bara 1 mm tjocka. Detta ger bättre överensstämmelse med de övriga fallen ovan än vad en indelning med några få, tjocka celler skulle ha givit eftersom det beräknade värdet är ett genomsnitt över hela celltjockleken.

Med endast ett fåtal celler tillgängliga hade det kanske varit lämpligare att välja en mindre skillnad i tjocklek mellan de olika cellerna i betongen, dvs tjockare celler vid ytorna och tunnare i de centrala delarna. Detta skulle ha givit en bättre prövning av hur celltjockleken påverkar beräkningsresultatet. Detta var dock inte möjligt göra i den version av programmet som användes i denna parameterstudie.



Figur 14: Cellindelning i REDIST i fallet med 3+3+7 celler. Horisontella, heldragna linjer är cellgränser och horisontella streckade linjer markerar centrum i respektive cell. Blå kurva anger komplett beräknad RF-profil, grön kurva sammanbinder RF i centrum av cellerna.

6.2.2 **Kompletterande beräkning 1**

Betydelsen av cellindelningen i avjämningsmassan har prövats i REDIST. Resultat framgår av tabell 3.

I denna beräkning har programmet skrivits om så att alla celler i respektive skikt är lika tjocka. Resultaten i tabell 3 tyder på att översta beräkningscellens tjocklek har starkt begränsad betydelse för den beräknade maximala RF så länge skiktet delas upp i minst 5 delskikt à 5 mm.

Tabell 3: Inverkan på beräknad maximal RF av cellindelningen i avjämningsmassan. Samtliga fall beräknade med tre celler à 0,6667 mm i mattan och 25 celler à 7,2 mm i betongen.

Cellindelning i avjämningsmassan [mm]	**Beräknad maximal RF under omfördelnings-förloppet [%]**
25 celler à 1 mm	83,66
17 celler à 1,47 mm	83,66
9 celler à 2,78 mm	83,68
5 celler à 5,00 mm	83,71
3 celler à 8,33 mm	83,75
1 cell à 25 mm	84,07

Som framgår av resultaten i tabell 3 medför bytet till konstanta celltjocklekar att beräknad maximal RF för översta cellen i avjämningsmassan vid celltjocklek 1 mm ändras från 83,63 % för basfallet till 83,66 % RF, trots att alltså översta cellens tjocklek är densamma. Detta tyder på att även indelningen av betongen har betydelse för resultatet. I syfte att undersöka detta utfördes ytterligare en kompletterande beräkning där avjämningsmassan delas i tre celler à 8,33 mm och betongen delas i 7 celler à 25,7 mm. Detta ger en maximal beräknad RF i avjämningens översta cell på 84,02 % RF, vilket dels avviker från vad som beräknades för basfallet (83,63 %), dels avviker från vad som redovisas i tabell 3 för samma cellindelning i avjämningsmassan (83,75 %). Resultaten visar därmed att även cellindelningen i betongen har betydelse för beräknat värde i avjämningsmassans översta cell.

6.2.3 **Kompletterande beräkning 2**

Ovanstående variationer av celltjocklekar och antal celler hade ett par besvärande begränsningar: I första fallet var yttersta cellerna i avjämning och betong 1 mm tjocka oavsett antalet celler. I andra fallet var alla celler lika tjocka i avjämning respektive i betong. Här redovisas kompletterande beräkningar där de yttersta cellerna har kunnat göras tjockare, samtidigt som antalet celler har kunnat minskas. Detta test visar alltså betydelsen av att ha relativt få och relativt grova celler.

I fallen 6 och 7 har totala antalet celler satts till 10. Eftersom resultaten antyder att grov cellindelning i avjämningsmassan ger större fel i beräknad maximal RF i avjämningens översta cell (=sämre representation av RF vid limmet) har även fall 8 beräknats, varvid cellerna har omfördelats så att avjämningen får något fler (5) på bekostnad av precision i betongen (som också får 5 celler). I fallen 7 och 8 är celltjocklekarna s.g.s konstanta inom respektive skikt.

Beräkningarna har enbart utförts med REDIST.

Tabell 4: Inverkan av antal celler och celltjocklekar på beräknad maximal RF under omfördelningsförloppet. Övriga förutsättningar lika som i Basfallet.

Fall nr	Avjämning		Betong		Summa celler, exklusive mattan	Beräknad maximal RF [%]	Avvikelse från basfallet
	Antal celler	Yttersta cellens tjocklek	Antal celler	Yttersta cellens tjocklek			

1	3	3	25	1	28	83,645	+0,0,016
2	3	6	25	1	28	83,688	+0,059
3 *	9	1	25	1	34	83,629	-
4	9	1	7	5	16	83,777	+0,148
5	9	1	7	10	16	83,731	+0,102
6	3	6	7	10	10	83,789	+0,160
7 **	3	8,3	7	25	10	83,972	+0,343
8 **	5	5	5	36	10	84,103	+0,474
9 ***	3	2	7	5	10	83,776	+0,147
10 ****	9	2,77	31	5,80	40	83,659	+0,030

* Fall 3 = Basfallet, ** Fall 7 och 8 innebär att cellerna har nära nog konstant tjocklek inom respektive skikt. *** Fall 9 avser ett fall där totala antalet celler begränsas till 10 (exklusive mattan) men cellerna nära materialgränserna görs någorlunda tunna för att på så sätt öka precisionen. Cellerna däremellan har varierande tjocklekar, principiellt liknande det som visas i figur 14 och 15. **** Fall 10 avser ett fall med totalt 40 celler i avjämning och betong (tillsammans) med konstant tjocklek i respektive skikt.

6.2.4 Antal beräkningsceller – Analys och slutsatser

Vad som är rätt antal celler går inte att ange generellt utan bör prövas i varje enskilt fall. Ur ett beräkningstekniskt och numeriskt perspektiv är det intressant att det i andra decimalen sker en större förändring i REDIST när man går från 21 till 37 celler än från 37 till 47 celler. Detta visar att man, som vanligt vid numeriska beräkningar, bör genomföra beräkningarna med ett varierande antal beräkningsceller för att på så sätt undersöka att ett tillräckligt antal celler har använts. I ett tillämpat perspektiv är dock skillnader i andra decimalen i ett beräkningsresultat att betrakta som försumbara.

Av resultaten syns också att skillnaden i maximal beräknad RF mellan 13 celler och de övriga fallen med 21 respektive 47 celler i REDIST kan uppgå till 0,43 % RF (RF 84,06 % med 13 celler mot 83,63% med 47 celler). De kompletterande beräkningarna i avsnitt 6.2.2 och 6.2.3 visar att även cellindelningen i betongen påverkar beräknat värde i avjämningsmassan. Resultaten tyder på att en cellindelning med tunna celler nära materialgränserna ger bättre precision i beräkningsresultatet, men det krävs fortfarande att även övriga celler har en inte alltför grov indelning. Givetvis skulle tunna celler tvärs igenom hela konstruktionen ge god precision, men detta kräver då att programmet ger möjlighet att använda en stor mängd celler.

I WUFI sker ingen förändring i beräknad RF förrän möjligen i tredje decimalen vid justering av antal beräkningsceller. Avsaknaden av tydliga skillnader i WUFI beror sannolikt på att antalet beräkningsceller redan i fallet med 50 beräkningsceller är tillräckligt stort för att ge ett tillförlitligt resultat.

Av tabell 4 framgår att felet i beräknad maximal RF (jämfört med basfallets resultat) kan uppgå till knappt 0,5 % RF om beräkningsprogrammet är begränsat till 10 celler där cellerna inom respektive skikt har konstant tjocklek.

Helt logiskt visar resultaten i tabell 3 och 4 även att en alltför grov cellindelning medför att beräknad maximal RF blir något högre än vid en fin indelning. En för grov indelning tenderar således ge resultat som är ”på säkra sidan”, men till priset av att erforderlig torktid överskattas.

Sammantaget kan det konstateras att det erforderliga antalet beräkningsceller inte går att fastställa generellt. Enbart en fin indelning av avjämningsmassan räcker inte, utan även betongen måste ha en någorlunda fin indelning. Som en grov bedömning kan anges att cirka 40 beräkningsceller i en ca 200 mm tjock konstruktion bör vara tillräckligt, förutsatt att de fördelas på ett lämpligt vis. Notera att det är en fördel att använda tunna celler nära ytorna för att beräknat värde, som ju beräknas i cellens centrum, verkligen ska vara en bra representation av RF-värdet i skiljeskiktet mellan avjämningsmassa och lim. Tillförlitligheten i beräknat värde bör prövas genom att ytterligare beräkningar utförs med ökat respektive minskat antal beräkningsceller.

Vid praktisk användning av beräkningsverktygen WUFI och REDIST bedöms det som osannolikt att beräkningsmodellen skulle komma att innehålla så få celler att det påverkar beräkningsresultatet på ett negativt sätt. Resultaten indikerar vidare att WUFIs standardiserade automatgenereringsfunktion är tillförlitlig vid endimensionella beräkningar.

6.3 Initial fuktprofil i avjämningsmassan

I basfallet användes en initial fuktprofil med RF = 60 % tvärs igenom hela avjämningsmassan. I verkligheten är avjämningsmassans initiala fuktprofil vanligtvis mer eller mindre krökt. Hur viktigt är det att ha en korrekt uppfattning om den initiala fuktprofilen i avjämningsmassan?

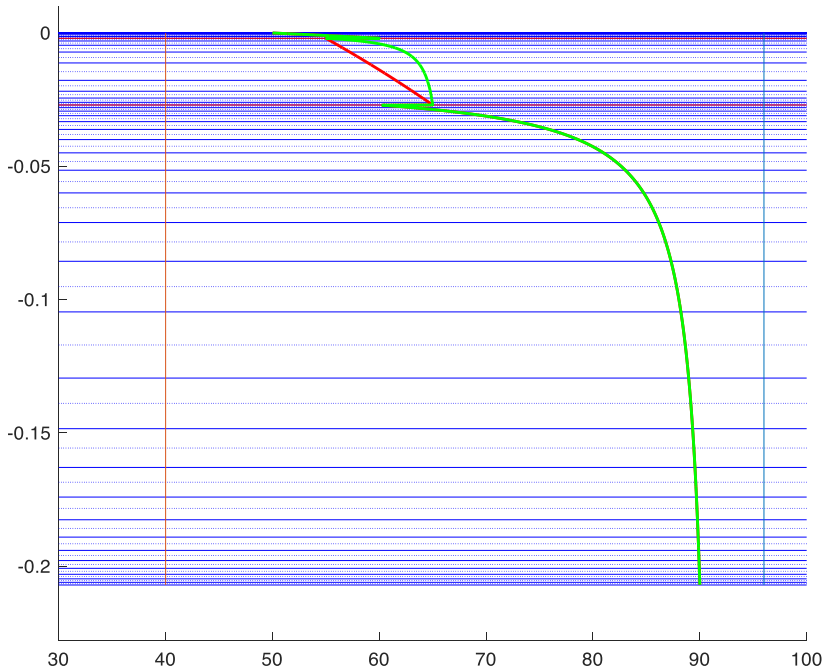
För att studera inverkan av avjämningsmassans initiala fuktprofil på maximal RF under mattan utförs beräkningar med två alternativa initiala fuktprofiler (utöver basfallet) i avjämningsmassan. Dels studeras inverkan av en linjär fuktprofil från 55 % RF i skiktet närmast ytan till 65 % RF i botten och dels studeras en krökt fuktprofil mellan dessa ytterlighetsvärden. Den krökta fuktprofilen har passningskonstanten B=1,1 i REDIST, se bilaga 11.1.8. I WUFI modelleras motsvarande passnings-konstant manuellt i avjämningsmassan. För den linjära profilen från 55 % RF till 65 % RF är medelvärdet av RF detsamma som för basfallet. Fallet med en krökt initial fuktprofil ger ett högre medelvärde jämfört med de två andra fallen. De alternativa initialprofilerna redovisas i figur 14 för REDIST respektive figur 15 för WUFI.

6.3.1 Initial fuktprofil i avjämningsmassan – Resultat

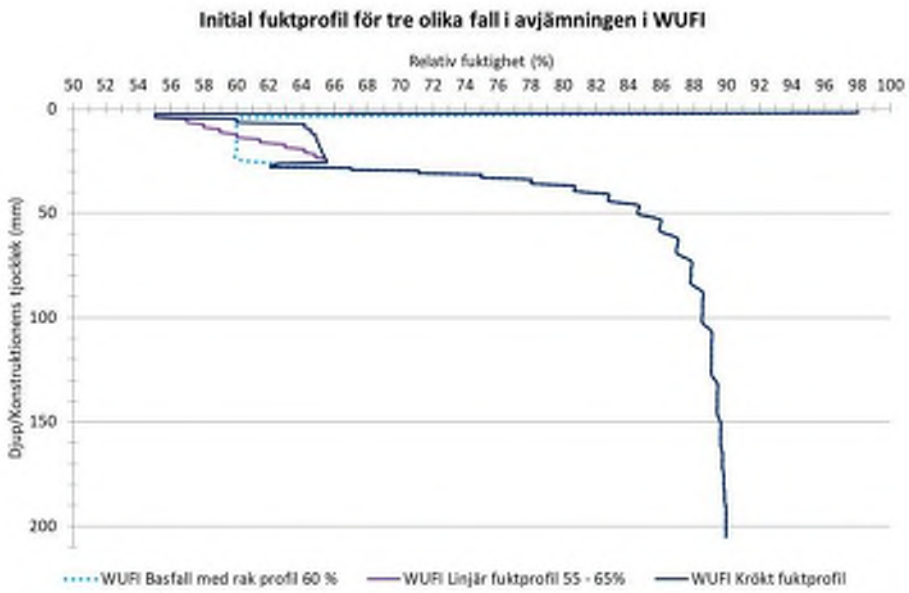
Beräknade resultat för maximal RF i skiktet under mattan med de tre olika fuktprofilerna redovisas i Tabell 5.

Tabell 5: Beräknad maximal RF med varierad initial fuktprofil i avjämningsmassan.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Initial fuktprofil i avjämningsmassan**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.3.1	Linjär profil från 55 till 65 % RF (B=10)	83,65	153	83,16	182
Basfall	Konstant 60 % RF igenom avjämningen	83,63	153	83,15	183
6.3.2	Krökt profil, från 55 till 65 % RF (högre medelvärde) (B=1,1)	83,79	147	83,19	181



Figur 15: Initiala fuktprofiler i REDIST för fall 6.3.1 linjär profil (röd) och 6.3.2.krökt profil (grön). Basfallets fuktprofil redovisas i figur 14. I övriga delen av konstruktionen är linjerna identiska med basfallet.



Figur 16. Motsvarande initiala fuktprofiler med justeringar i avjämningsmassan i WUFI för fall 6.3.1 linjär profil (lila) och fall 6.3,2 krökt profil (mörkblå) samt basfallet (prickig turkos). I övriga delen av konstruktionen är linjerna identiska med basfallet.

6.3.2 Initial fuktprofil i avjämningsmassan – Analys och slutsatser

Jämfört med basfallet där det råder RF = 60 % tvärs igenom avjämningsmassan ger studerade variationer i den initiala fuktprofilens utseende mycket marginell förändring av beräknad maximal RF i avjämningens yta vid beräkning i såväl WUFI som REDIST. Sannolikt beror detta på att avjämningsmassan är förhållandevis tunn i förhållande till betongen varför skillnaderna i initialprofil i praktiken innebär en mycket liten skillnad i totalt vatteninnehåll.

I praktiken innebär detta att så länge en starkt dominerande mängd vatten som skall omfördelas finns i betongen så är utseendet på avjämningens fuktprofil av marginell betydelse. Under dessa förutsättningar bör en fuktprofil med konstant RF, som är vald så att den representerar medelfukthalten i avjämningsmassan, kunna användas. Vid tjockare avjämningsmassor kan det vara viktigare att ha en något mer nyanserad bild av fuktens fördelning i avjämningsmassan och därför kan det vara lämpligt att mäta RF på (minst) två olika djup om avjämningen är tjockare än ungefär 30 mm.

I sammanhanget kan det vara av intresse att det finns indikationer på att mätning av RF i avjämningsmassa med uttaget prov enligt GBRs metod avspeglar den RF som råder i botten av avjämningsmassan [3]. Om uppmätt RF i avjämningsmassan enligt GBRs metod är högre än omgivande rumsklimat samt anges som konstant RF rakt igenom avjämningsmassan så erhålls en initial fuktprofil i avjämningen som i sin tur ger beräkningsresultat som är på den säkra sidan.

6.4 Initial fuktprofil i betong

Eftersom betongen är det material som volymmässigt dominerar hela konstruktionen förväntas dess initiala fuktprofil ha stor påverkan på maximal RF i avjämningens yta eftersom den i hög grad avgör hur mycket fukt som finns att omfördela i konstruktionen.

Fuktprofilen avgörs bland annat av betongens cementhalt, vct, hydratationsgrad, temperatur under härdningsförloppet och grad av torkning som har hunnit ske. Dessa faktorer gör det mycket svårt att bedöma fuktprofilen redan i projekteringsskedet. Även i produktionsskedet kan fuktprofilen vara svår att bedöma. Oftast är det inte tillräckligt med något enstaka mätdjup för att kunna bedöma betongens fuktfördelning. Ett bättre sätt att bedöma den initiala fuktprofilen i betongen är att mäta RF på flera olika djup. Tyvärr finns det osäkerheter förknippade med mätning i betong varför även detta sätt kan ifrågasättas vid framtagning av en fuktprofil som underlag för omfördelningsberäkningar. En fuktprofil inmätt på flera djup ger dock sannolikt ett bättre underlag än ett mätvärde från endast ett mätdjup.

6.4.1 Representation av initial fuktprofil i de olika beräkningsverktygen

Beräkningsprogram avsedda för numerisk beräkning av transportförlopp bygger på att den studerade konstruktionen delas in i en mängd beräkningsceller. Ju fler celler som används, desto tunnare blir varje cell och desto bättre blir upplösningen på det beräknade resultatet. Samtidigt förlängs beräkningstiden.

Indelningen i celler innebär att beräkningsprogrammet utgår från en fördelning av t.ex. fukthalt som varierar i abrupta steg från cell till cell. I beräkningsprogrammet är alltså fördelningen mer eller mindre ”kantig”.

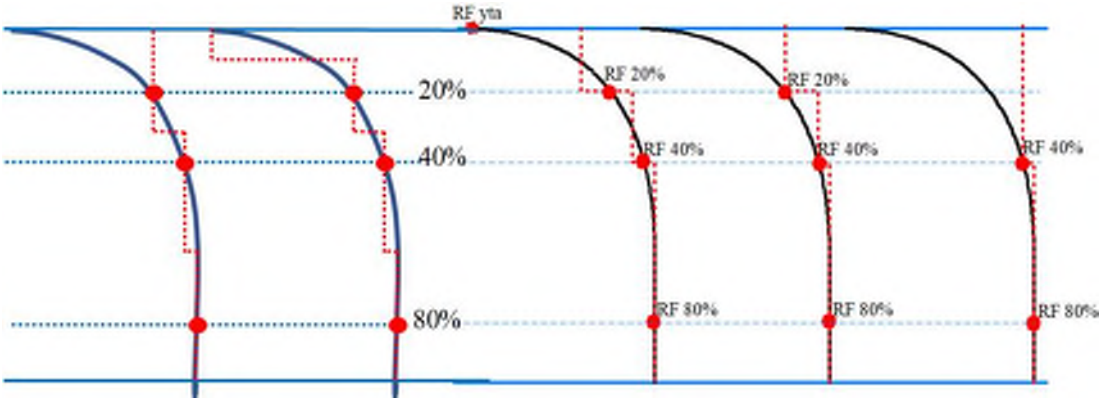
<u>REDIST</u>

I REDIST kan de olika initialprofilerna skapas på flera olika sätt; beräkning eller manuell inmatning, cell för cell. I denna studie har initialprofilen baserats på en beräkning med hjälp av passningskonstanten ”B”, se bilaga, avsnitt 11.1.8. Detta innebär att fukthalten i varje beräkningscell beräknas som funktion av cellcentrums position i konstruktionen. Genom att använda en stor mängd beräkningsceller erhålls enkelt en till synes mjuk fördelningskurva för den initiala fuktprofilen. Strängt taget är även denna fördelning indelad i tydliga steg från cell till cell, se t.ex. figur 14.

WUFI

WUFI är konstruerat så att varje materialskikt delas in i en mängd beräkningsceller. Samtliga dessa celler får den initiala fukthalt som anges för materialskiktet. För att kunna ange en krökt fördelning av fukt genom ett skikt bestående av ett enda material måste därför detta materialskikt delas in i ett antal delskikt som vart och ett får sin egen initiala fukthalt. Det är alltså dessa delskikt i WUFI som motsvarar cellindelningen i REDIST och liknande program. Genom att använda många sådana delskikt, dvs en ”fin” indelning, erhålls en förhållandevis mjukt krökt fuktfördelningskurva genom konstruktionen. Detta har gjorts i basfallet och redovisas i figur 20. Tyvärr medför dock ett sådant förfarande en större arbetsinsats. Det är därför intressant att undersöka i vilken mån det går att reducera antalet delskikt. Den mjukt krökta fuktfördelningskurvan övergår då till en förhållandevis grov ”trappa”, d.v.s. fuktfördelningen beskrivs med ett fåtal nivåer, se figur 17.

I figur 20-23 redovisas de trappstegsformade initialprofiler som har använts för undersökning av betydelsen av hur initialprofilen beskrivs.

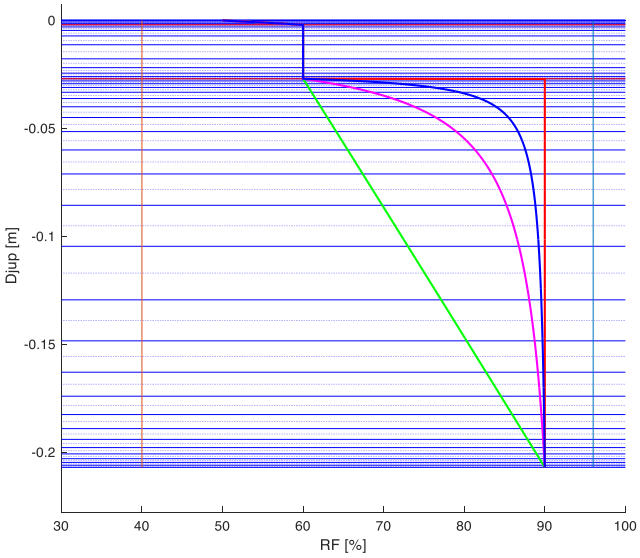


Figur 17: Fem principiellt olika sätt att göra en grov, ”trappformad” indelning av RF-profilen i ett materialskikt. Kurvan näst längst till höger har tre trappsteg där varje steg (”sättsteg”) har det värde som mätts vid stegets nedre ände, d.v.s. översta steget har det mätvärde som mätts vid 20 % av djupet, etc. Denna indelning kallas ibland ”dimensionerande trappa” eftersom den ger en överdriven mängd fukt i konstruktionen och därmed slutresultat på säkra sidan. Denna trappa kräver tre mätvärden i betongen. Kurvan längst till höger bygger på samma princip men ger ett ytterligare överdrivet fuktinnehåll eftersom den bygger på bara 2 mätvärden. Oavsett vilken princip som väljs bör man sträva efter att de valda trappstegen placeras så att totala fuktmängden i beräkningen inte är mindre än i den verkliga konstruktionen.

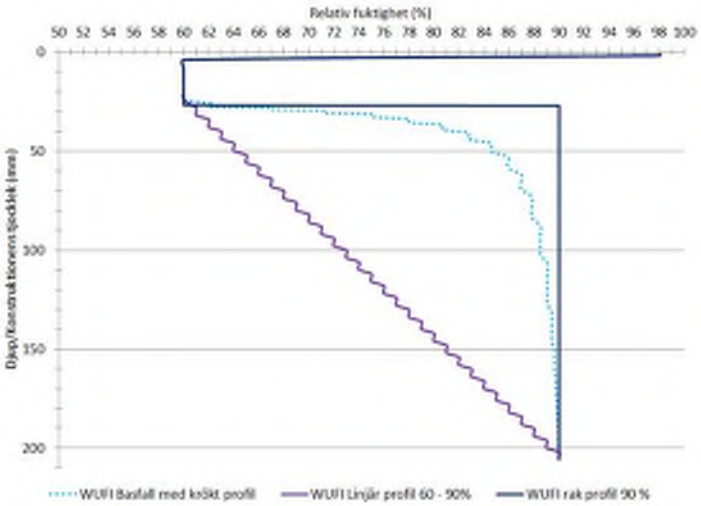
6.4.2 Studerade fall

Studerade initiala fuktfördelningar redovisas i figur 17 och 18. I figur 17 redovisas de initiala fuktprofiler som har undersökts i REDIST. Utöver basfallets fördelning omfattar detta dels två extrema fördelningar i form av rätlinjiga fördelningar, dels två mer rimliga, krökta fördelningar. Representation av basfallet redovisas i figur 14.

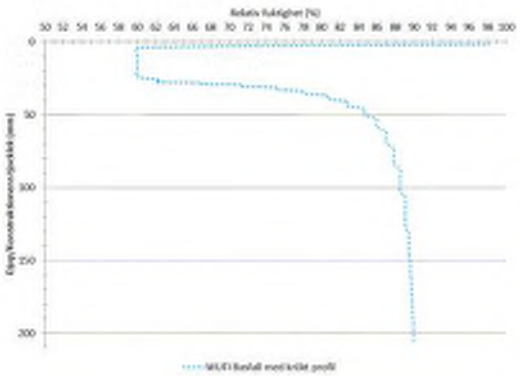
I figur 18 redovisas hur de två extrema profilerna har representerats i WUFI. I figur 20-22 redovisas de olika ”trappor” som har använts för att beskriva basfallets initialprofil. Alla tre trappformade profiler innehåller totalt mer vatten jämfört med basfallet, och dess detaljerade fuktprofil med 19 trappsteg, vilket gör att de rimligtvis även ger något för höga beräkningsresultat, dvs resultat som ligger på den säkra sidan.



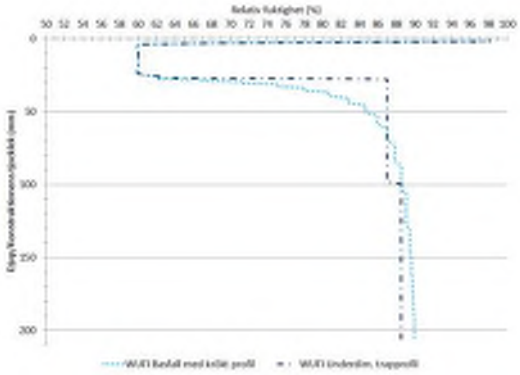
Figur 18: Initial fuktprofil i REDIST för fallen 6.4.1 (grön), 6.4.2 (rosa), 6.4.3 (blå) och 6.4.4 (röd). Basfallet ligger mellan rosa och blå. Den gröna och röda profilen är extremfall som inte existerar i en verklig situation.



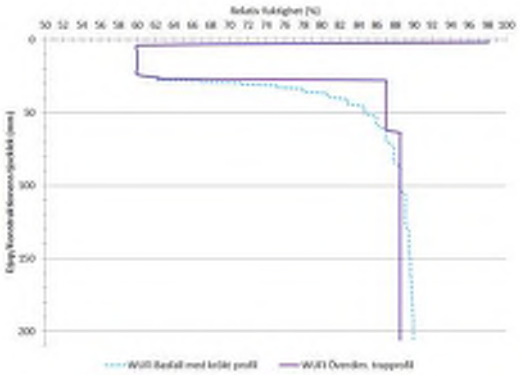
Figur 19: Initial fuktprofil i WUFI för fallen 6.4.1 (lila), Basfallet (prickig turkos), 6.4.4 (mörkblå). I likhet med föregående figur är den lila och mörkblå profilen extremfall som inte existerar i en verklig situation.



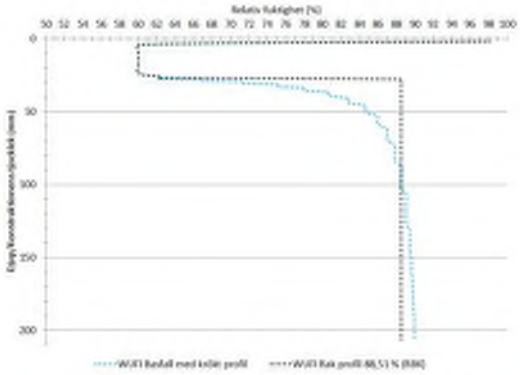
Figur 20. Basfallets krökta fuktprofil angiven med en finindelad "trappa". I basfallet utgörs fuktprofilen i betong av totalt 19 nivåer med olika initial fukthalt.



Figur 21. Initialprofilen beskriven som en profil i två nivåer (mörkblå punkt-streckade linjen) där RF-värdet i första nivån centriskt skär uppmätt värde på 20 % samt ligger på insidan av uppmätt värde på 40 % av betongens tjocklek.



Figur 22. Initialprofilen beskriven som en profil i två nivåer (lila kurva) där RF-värdet i första nivån är uppmätt djup på 20 % av betongens tjocklek och RF-värdet i andra nivån centriskt skär uppmät värde på 40 % av betongens tjocklek.



Figur 23. Initialprofilen beskriven som en profil i en nivå (prickig lila) som centriskt skär uppmätt värde på 40 % av betongens tjocklek motsvarande ekvivalent mätdjup.

Två trappstegsformade profiler som testats i WUFI enligt figur 21 och 22 utgår från att RF är uppmätt till 86,96 % RF vid 20 % av betongens tjocklek respektive 88,51 % RF vid 40 % av betongens tjocklek. Dessa två fall har två nivåer där den nedersta nivån är placerad på två olika djup. Den initiala fuktprofilen som baseras på samma mätvärden är således utformad på två olika sätt. Fallet som redovisas i figur 21 innehåller en mindre mängd vatten och har 86,96 % RF ner till 40 % av mätdjupet och därefter 88,51 % RF ner till botten av bjälklaget. Fallet i figur 22 innehåller mer vatten då 86,96 % RF går ner till 20 % av mätdjupet och därefter 88,51 % RF.

Vidare testas ytterligare ett fall som bara har en nivå, se figur 23. Detta fall har en rak profil genom hela betongen baserad på mätvärdet 88,51 % RF som uppmätts på 40 % av betongtjockleken. Fallet med en enda nivå innehåller ännu mer vatten jämfört fallen med två trappsteg.

6.4.3 Initial fuktprofil i betong – Resultat

I Tabell 6 redovisas beräkningar med olika initial fuktprofil i betongen, övriga värden enligt basfallet.

Tabell 6: Inverkan på beräknat resultat av variationer i betongens initiala fuktprofil. De använda fuktprofilerna redovisas i figur 18-23.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Initial fuktprofil i betongen**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.4.1	REDIST Linjär profil från 60 % till 90 % RF. $RF_{40\%}$ = 72,07 % I WUFI trappa i 6 mm steg från 61 till 90 % RF. $RF_{40\%}$ = 72,0 % enligt figur 19, lila kurva (lägre RF-värden än i basfallet)*	72,3	264	70,14	376
6.4.2	Krökt profil från 60 % till 90 % RF, B=1,1 (lägre RF-värden än i basfallet) $RF_{40\%}$ = 86,40 %	80,9	201	Ej utfört i WUFI	
Basfall	Krökt profil REDIST B=1,03 $RF_{40\%}$ = 88,74 %, WUFI $RF_{40\%}$ = 88,51 %, enligt figur 20 ($RF_{40\%}$ varierar något i WUFI jämfört REDIST då de initiala fuktprofilerna inte har exakt samma utseende)	83,63	153	83,15	183
6.4.3	Krökt profil från 60 % till 90 % RF, B=1,02 (högre RF-värden än i basfallet) $RF_{40\%}$ = 89,14 %	84,3	138	Ej utfört i WUFI	
6.4.4	Konstant fuktprofil 90 % RF $RF_{40\%}$ = 90 %, figur 19, mörkblå kurva. (högre RF-värden än i basfallet)	86,6	72	86,38	85
6.4.5	Trappstegsformad i två steg enligt figur 21 med initial fuktprofil baserat på brytpunkt $RF_{20\%}$ mellan RF = 88,51 % och RF = 86,96 %	Ej utfört i REDIST		83,88	101
6.4.6	Trappstegsformad i två steg enligt figur 22 med initial fuktprofil baserat på brytpunkt $RF_{40\%}$ mellan RF = 88,51 % och RF = 86,96 %	Ej utfört i REDIST		84,32	95
6.4.7	Konstant RF i betong $RF_{40\%}$ = 88,51 %, figur 23	Ej utfört i REDIST		84,89	76

*Avvikelsen mellan värdena 72,0 och 72,07 % RF orsakas av hur skikten representeras i de olika programmen.

6.4.4 Kompletterande beräkning 1 för varierad initial fuktprofil i betong

I basfallet var RF på 40 % av betongens djup 88,74 % i REDIST. Man kan dock inte med säkerhet veta att fördelningen ovanför och nedanför detta djup har en viss, känd form. Därför kan det vara intressant att studera hur beräknad maximal RF påverkas av smärre variationer i den initiala RF-profilen som alla ger samma RF på djupet 40% som i basfallet (dvs 88,74 %). I figur 24 nedan visas hur den initiala fuktprofilen kan varias med de olika parametrarna i ekvation 9 i bilaga 11.1.7, men med bibehållen RF på 40 % av djupet, d.v.s. ekvivalent mätdjup, samt vid betongens yta. Observera att detta är rent matematiskt skapade fördelningar och det är inte troligt att fuktprofilen i nygjuten betong kan anta dessa värden under normala omständigheter. Syftet är bara att studera vilka konsekvenser som fås av en smärre felbedömning av den initiala profilen.

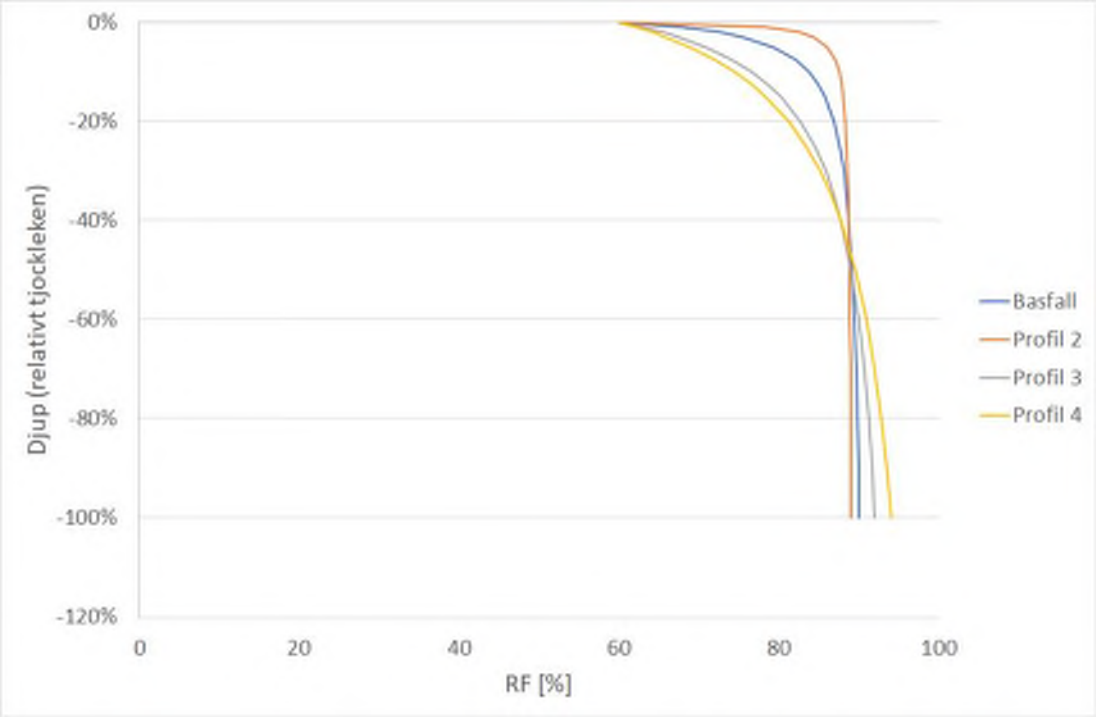
De initialprofiler som redovisas i figur 24 bygger alla på att betongen har torkat mot 60 % RF. De övriga skillnaderna kan ses som konsekvenser av olika vct: Profil 2 representerar då en betong med lågt vct (stark självuttorkning) och profil 4 en betong med högt vct (svag självuttorkning).

Dessa kompletterande beräkningar har endast utförts med REDIST.

Notera att medan Profil 3 ger lägre maximal RF än basfallet så ger Profil 4 ett högre värde än Profil 3. Detta resultat är inte enkelt förutsägbart med ledning enbart av den initiala RF-profilen.

Tabell 7. Parametervärden som har använts för att skapa initiala RF-profiler i betongen enligt figur 24 som alla ger RF = 88,74 % på ekvivalent djup (40 % av betongtjockleken). Beräknat med REDIST.

Profil nr	**RF yta**	**RF botten**	**B**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
Basfall	60	90	1,03	83,63	153
Profil 2	60	89	1,006	84,48	97
Profil 3	60	92	1,114	82,61	212
Profil 4	60	94	1,177	83,29	232



Figur 24: Initialprofiler i betongen för "kompletterande beräkning 1" som alla ger RF = 88,74 % på 40 % av betongens tjocklek, d.v.s. ekvivalent mätdjup och 60 % vid dess yta enligt Tabell 7.

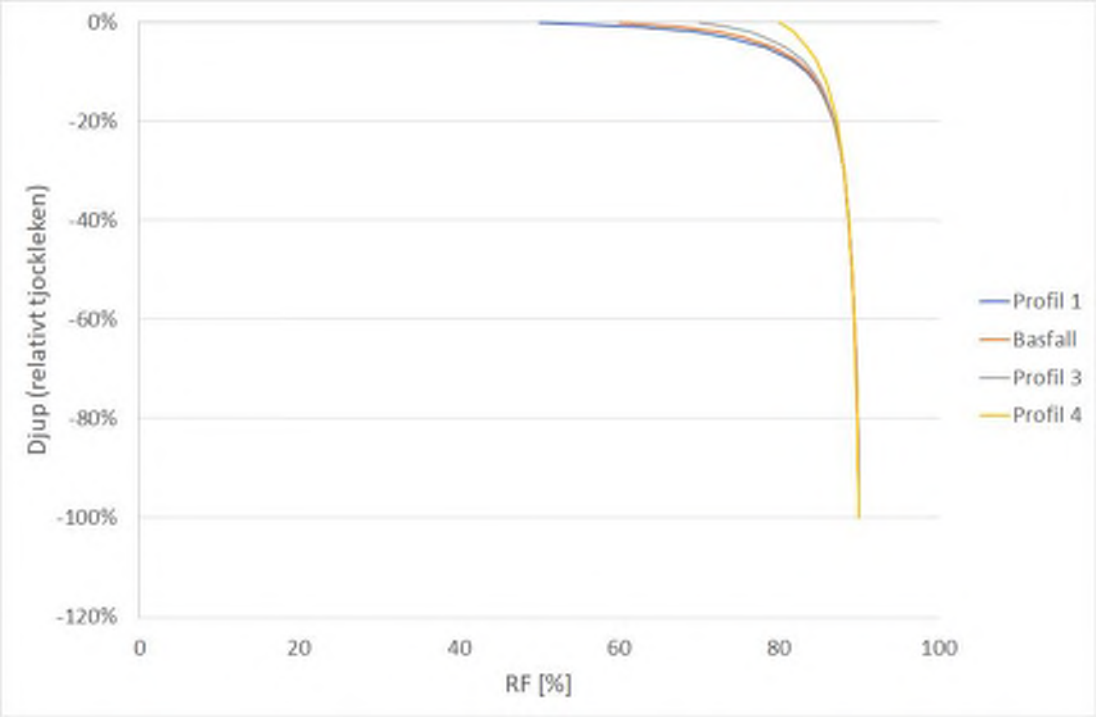
6.4.5 Kompletterande beräkning 2 initial fuktprofil i betong

I ett tidigt skede efter gjutningen kommer RF i bottnen av en ensidigt torkande betong att avgöras av betongens förmåga till självuttorkning. Profilerna i figur 24 ovan är därmed inte rimliga om de avser en betong med ett fixt vct eftersom RF-värdet vid betongens undersida då måste vara detsamma i samtliga fall. För att kunna få samma RF både vid plattans undersida och på 40 % av betongens tjocklek men olika fuktprofiler genom betongen måste istället värdet vid ytan ändras. I verkligheten skulle detta möjligen kunna orsakas av skillnader i torkklimatet. I Tabell 8 och figur 25 redovisas beräkningar i REDIST med sådana profiler och de resultat som omfördelningsberäkning ger för dessa fall.

Kompletterande beräkningar har endast utförts med REDIST.

Tabell 8: Parametervärden som har använts för att skapa initiala RF-profiler i betongen enligt figur 25 som alla ger RF = 88,74 % på 40 % av betongens tjocklek, d.v.s. ekvivalent mätdjup samtidigt som RF i betongens botten är låst till 90 % (styrt av självuttorkning) samt beräknad maximal RF och tidpunkt då denna inträffar. Beräknat med REDIST.

Profil nr	RF yta	RF botten	B	Max. RF [%]	Inträffar vid tid [veckor]
Profil 1	50	90	1,0221	83,48	159
Basfall	60	90	1,03	83,63	153
Profil 3	70	90	1,0468	83,87	144
Profil 4	80	90	1,106	84,31	128



Figur 25: Initialprofiler i betongen för "kompletterande beräkning 2" som redovisas i Tabell 8. Samtliga ger 88,74 % RF vid djupet 40 % av betongens tjocklek, d.v.s. ekvivalent mätdjup och en och samma RF vid plattans undersida.

6.4.6 Initial fuktprofil i betongen – Analys och slutsatser

Först bör det noteras att de profiler som använts för beräkningarna är förenklade. Fuktprofilen nära betongens yta är ett resultat dels av det torkklimat som rådde innan avjämningen lades på och dels av den fukt som tillförs betongens från avjämningen. Profilen påverkas också av den torkningsprocess som äger rum efter att avjämningen lagts på. Fuktprofilerna i betong och avjämning kan därmed inte vara så oberoende av varandra som har antagits i förutsättningarna för de båda tabellerna. Beroende av vilket djup och vilken tidpunkt som betraktas kommer betongens fukttillstånd dessutom att beskrivas av desorptions- eller absorptionsisotermen eller av någon scanningisoterm mellan dessa. Detta gör det svårt att i ett verkligt fall få fram en helt korrekt uppgift om fuktprofilens utseende.

Beräkningar i WUFI och REDIST med extrema initiala fuktprofiler i fall 6.4.1 och 6.4.4 ger som förväntat kraftigt avvikande maximal RF om -11 % respektive +3 % jämfört med basfallet. De extrema initialprofilerna bakom dessa två fall utgör två ytterligheter som inte existerar i verkligheten. Beräkningsfallen med extremvärden, som bygger på vad som måste betraktas som gravt felaktiga initialprofiler, ger dock en grov indikation på hur grova fel en felaktig uppgift om fuktprofilen överhuvudtaget kan orsaka i en omfördelningsberäkning.

Beräkningar i REDIST med olika typer av krökning på fuktprofilen enligt basfallet samt fall 0 och 0 medför som förväntat att maximal högsta RF felbedöms, i detta fall med ca 1,5 %. I praktiken kan detta förändra byggtiden med ca 2 – 3 månader. De fuktprofiler som har använts här är dock egentligen mycket olika varandra då RF på t.ex. 40 % av betongens tjocklek varierar mycket kraftigt mellan de olika profilerna så som visas i figur 24.

Profiler enligt figur 25 skulle kunna representera olika vct där initialt RF-värde på 40 % av betongens tjocklek bibehållits. Resultatet visar att den största avvikelsen i beräknad maximal RF mellan dessa fuktprofiler och basfallet begränsas till 0,8 % RF, givet att alla andra förutsättningar bibehålls. Trots den till synes stora skillnaden mellan profilerna blir alltså skillnaden i maximal beräknad RF relativt liten. Förklaringen är att den totala mängden fukt i betongen inte ändras mycket i och med att den nedre delen av profilerna förblir konstanta. Vid en öppnare golvbeläggning hade skillnaderna i beräkningsresultaten blivit större.

Resultaten visar att indata till omfördelningsberäkningar även måste omfatta en uppgift om fukttillståndet nära betongens yta om man vill ha en god noggrannhet i beräkningsresultatet. En ungefärlig sådan uppgift skulle kunna grundas på mätvärden i betongen, på mätvärden i avjämningsmassan eller möjligen på kända uppgifter om vilket torkklimat som har funnits. Lämpligt mätdjup i betongen förefaller vara 1-2 cm. Idag saknas tillförlitlig metodik att mäta RF i betong på så grunda djup ute på arbetsplats.

Förändringarna i maximal RF stämmer väl med vad som kan förutses kvalitativt om man beaktar vilka fukthaltsskillnader som de olika initialprofilerna medför. Även tidpunkten då maximal RF infaller förändras logiskt på så sätt att ju mer fukten är förskjuten mot betongens yta desto tidigare infaller maximal RF, och vice versa.

Resultaten visar att vid mycket tät matta är det viktigare att känna till totala vatteninnehållet i avjämning och betong än dess precisa fördelning över djupet. Omvänt gäller att vid öppnare golvbeläggning kan fuktens fördelning vara mycket väsentlig att känna till.

I WUFI har tre trappstegsmodeller undersökts enligt fall 6.4.5, 6.4.6 och 6.4.7. De trappstegsformer med två trappsteg som använts i fall 6.4.5 och 6.4.6 utgår från att RF är känd på två olika djup. I fall 6.4.5 med en initial fuktprofil som har sitt trappsteg på 40 % av betongens tjocklek erhålls en beräknad maximal RF ca 0,7 % högre än basfallet. Fallet med trappa som har sitt trappsteg vid 20 % av betongens tjocklek ger en beräknad maximal RF ca 1,15 % högre än basfallet.

Beräkningen med en konstant fuktprofil på 88,51 % som påminner om principen som ligger till grund för RBK systemet visar ca 1,5 % högre RF jämfört med basfallet.

Sammanfattningsvis konstateras att ju bättre den verkliga initiala fuktprofilen i betongen kan beskrivas i beräkningsverktyget desto större precision i resultatet kan erhållas. Vidare visar resultaten att modeller av den initiala fuktprofilen med två nivåer och en brytpunkt på 20 % respektive 40 % av betongtjockleken ger en beräknad maximal RF på den säkra sidan. Felaktiga antaganden om den initiala fuktprofilens krökning kan lätt orsaka fel i beräknad maximal RF. Profil 2 i figur 24 samt Tabell 7 visar t.ex. på en skillnad om ca 0,8 % jämfört med basfallet. Initiala fuktprofiler baserade på mätdata på två mätdjup ger i studerat fall en tillräckligt detaljerad initial fuktprofil för att ge resultat med acceptabelt god precision som ändå är på den säkra sidan. I skarpa beräkningar bör den inmatade initialprofilen antingen vara så omfattande att den visar hela den verkliga fuktprofilens form, eller så bör initialprofieln utformas som en ”trappa”, baserad på minst två och helst tre mätvärden, där varje ”sättsteg” placeras så att mätvärdet representerar minst den totala fuktmängd som finns inom sättstegets djupintervall. Ju fler nivåer som kan användas i trappan som den initiala fuktprofilen skapar, desto bättre blir slutresultatet. Notera dock att de felmarginaler som anges i denna rapport inte är konstanter utan beror av konstruktionens totala förutsättningar. Redovisade felmarginaler ger dock en viss indikation på felens storleksordning.

6.5 Golvbeläggningens/ Mattans täthet

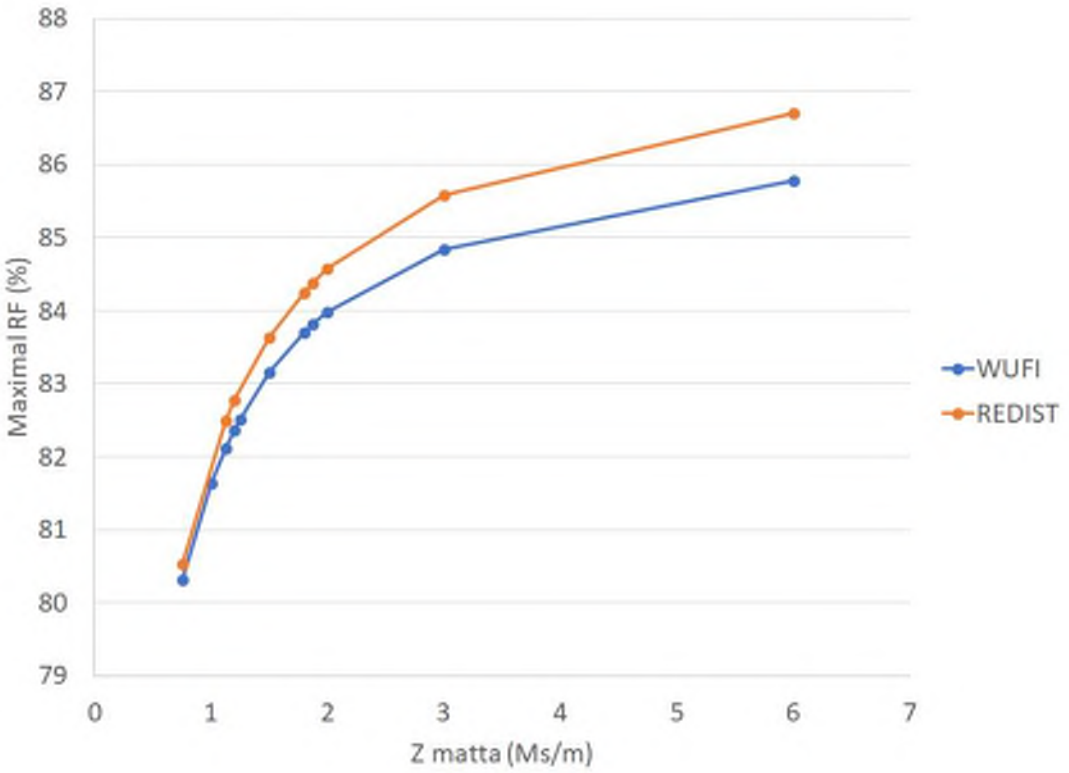
Enligt uppgift från tillverkare av mattor kan mätvärdet för vissa mattors ånggenomgångsmotstånd variera mycket kraftigt; upp till 100 %.

6.5.1 Golvbeläggningens/ Mattans täthet – Resultat

I Tabell 9 och figur 26 redovisas beräkningar för olika värden på mattans täthet, med övriga förutsättningar enligt Basfallet.

Tabell 9: Inverkan av mattans täthet på beräknad maximal RF i avjämningens yta.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Täthet golv-beläggning**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.5.1	z_{matta} = 0.75 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 18,75 m	80,53	87	80,31	105
6.5.1 B	z_{matta} = 1,0 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 25 m	81,97	114	81,64	138
6.5.2	z_{matta} = 1.125 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 28,125 m (25 % lägre)	82,50	125	82,12	151
6.5.3	z_{matta} = 1.2 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 30 m (20 % lägre)	82,77	131	82,37	158
6.5.3 B	z_{matta} = 1.25 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 31,25 m	82,94	135	82,52	163
Basfall	z_{matta} = 1.5 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 37,50 m	83,63	154	83,15	183
6.5.4	z_{matta} = 1.8 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 45 m (20 % högre)	84,25	171	83,7	203
6.5.5	z_{matta} = 1.875 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 46,875 m (25 % högre)	84,38	175	83,81	207
6.5.5 B	z_{matta} = 2 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 50 m	84,57	182	83,98	215
6.5.6	z_{matta} = 3 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 75 m	85,59	220	84,84	261
6.5.7	z_{matta} = 6 Ms/m $S_{D\ matta}$ = 150 m	86,71	284	85,79	334



Figur 26: Maximal RF i avjämningens översta beräkningscell, som funktion av mattans täthet (z). Övriga värden som för basfallet.

6.5.2 Golvbeläggningen/ Mattans täthet – Analys och slutsatser

Resultaten visar som förväntat att det är viktigt att beakta mattans täthet och att en diffusionsöppnare golvbeläggning resulterar i en lägre beräknad maximal RF. Vidare visar resultaten att beräknad maximal RF går asymptotiskt mot ett gränsvärde då golvbeläggningens täthet ökar.

Resultaten i de studerade fallen visar att värdet på mattans täthet har större betydelse för vilken maximal RF som uppnås ju öppnare mattan är. Beräknad maximal RF tenderar att minska allt kraftigare i takt med att golvbeläggningens täthet minskar, se figur 26.

Resultaten visar således att ju öppnare golvbeläggningen är, desto viktigare är det att ha rätt värde på dess fukttransportmotstånd. Indirekt visar detta också på vikten av att mäta mattans täthet vid rätt klimatförhållanden, och resultatet indikerar att det även kan vara nödvändigt att ta hänsyn till hur mattans z-värde varierar med fuktigheten, åtminstone i gränsfallssituationer.

Resultaten indikerar att för mattor med stor spridning i täthet är det svårt att göra en tillförlitlig bedömning av maximal beräknad RF. I det fall spridda mätvärden finns bör därför högsta uppmätta täthet användas vid beräkning och inte någon form av medelvärde.

6.6 Fukttransportkoefficienter i avjämningsmassa och betong

Materialens sorptionsisoterm och fukttransportförmåga avgörs av materialets porstruktur. Sorptionsisotermen och fukttransportförmågan kommer därför att samvariera. I syfte att studera enskilda parametrars inverkan ändras dock bara fukttransportkoefficienten i denna del av parameterstudien.

I följande figurer och diagram visas mer utförligt hur det beräknade resultatet påverkas av en förändring i transportkoefficienten i förhållande till golvbeläggningens/ mattans täthet. Denna avvikelse är uttryckt som kvoten mellan den transportkoefficient som använts i beräkningen och den transportkoefficient som gäller i basfallet. Tabell 10 och figur 27 redovisar resultatet för förändringar i avjämningsmassan och Tabell 11 och figur 28 för förändringar i betongen.

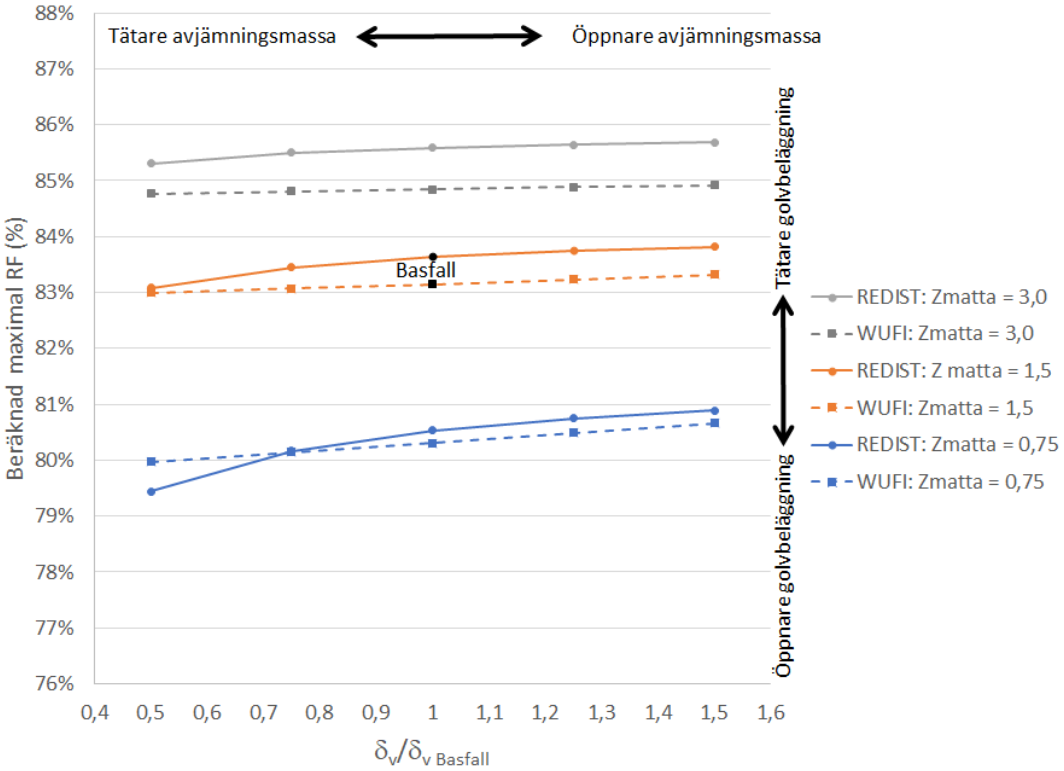
6.6.1 Variationer i avjämningsmassans fukttransportkoefficient – Resultat

Resultat för beräkningar av maximal RF under golvbeläggningen som funktion av avjämningsmassans transportkoefficient redovisas i Tabell 10 och figur 27 nedan.

Tabell 10: Inverkan av avjämningsmassans transportkoefficient på beräknad maximal RF i avjämningens yta under omfördelningsförloppet. Z-värden i kolumnen för maximal RF avser mattans täthet. Övriga parametrar enligt Basfallet.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Avjämningens fukttransport-koefficient (δ_v)**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.6.1	Avjämningens δ_v ökad** 50 % (öppnare avjämning)	$Z^*_{0,75}$: 80,89 $Z_{1,5}$: 83,82 Z_3 : 85,68	86 152 218	$Z_{0,75}$: 80,66 $Z_{1,5}$: 83,32 Z_3 : 84,92	103 182 260
6.6.2	Avjämningens δ_v ökad 25 % (öppnare avjämning)	$Z_{0,75}$: 80,75 $Z_{1,5}$: 83,75 Z_3 : 85,64	86 152 219	$Z_{0,75}$: 80,49 $Z_{1,5}$: 83,23 Z_3 : 84,88	104 182 260
Basfall	Avjämningens δ_v enligt basfallet	$Z_{0,75}$: 80,53 $Z_{1,5}$: 83,63 Z_3 : 85,59	87 154 220	$Z_{0,75}$: 80,31 $Z_{1,5}$: 83,15 Z_3 : 84,84	105 183 261
6.6.3	Avjämningens δ_v minskad 25 % (tätare avjämning)	$Z_{0,75}$: 80,16 $Z_{1,5}$: 83,45 Z_3 : 85,50	88 155 222	$Z_{0,75}$: 80,14 $Z_{1,5}$: 83,07 Z_3 : 84,81	106 183 262
6.6.4	Avjämningens δ_v minskad 50 % (tätare avjämning)	$Z_{0,75}$: 79,44 $Z_{1,5}$: 83,08 Z_3 : 85,31	91 158 225	$Z_{0,75}$: 79,97 $Z_{1,5}$: 82,99 Z_3 : 84,77	107 184 263

** $Z_{0,75}$, $Z_{1,5}$, Z_3 anger att mattans Z värde för respektive fall är 750 000 s/m, 1 500 000 s/m respektive 3 000 000 s/m.*
*** Att δ_v ökats 50% innebär att hela kurvan som beskriver δ_v som funktion av RF har multiplicerats med 1,5.*



Figur 27: Beräknad maximal RF i avjämningens översta skikt som funktion av avjämningsmassans fukttransportkoefficient, uttryckt som använd transportkoefficient i förhållande till den transportkoefficient som användes i basfallet ("$\delta_{v\ Basfall}$"). Beräknat för tre olika tätheter på golvbeläggningen/ mattan (Ms/m). Övriga parametrar enligt basfallet.

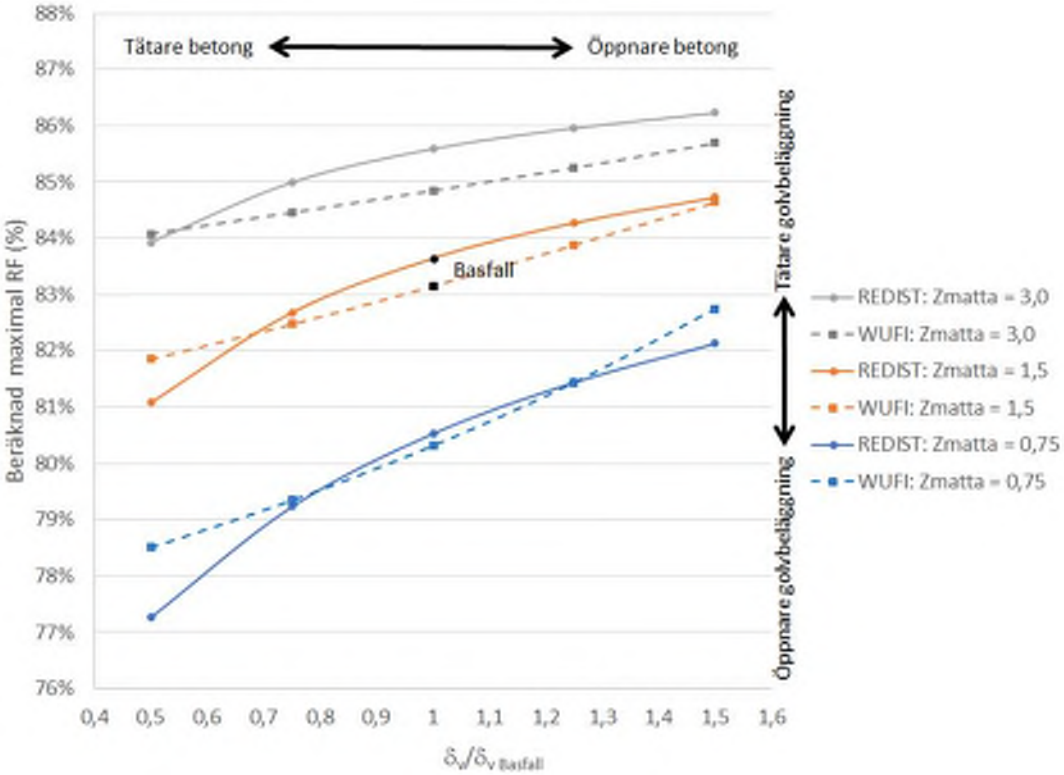
6.6.2 Variationer i betongens fukttransportkoefficient – Resultat

Resultat för beräkningar av maximal RF under golvbeläggningen med en varierad fukttransportkoefficient för betongen redovisas i Tabell 11 och figur 28 nedan.

Tabell 11: Inverkan av betongens transportkoefficient på beräknad maximal RF i avjämningens yta under omfördelningsförloppet. Z-värden i kolumnen för maximal RF avser mattans täthet. Övriga parametrar enligt Basfallet.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Betongens fukttransport-koefficient (δ_v)**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.6.5	Betongens δ_v ökad 50 % ** (öppnare betong)	$Z^*_{0,75}$: 82,13 $Z_{1,5}$: 84,72 Z_3 : 86,23	85 130 173	$Z_{0,75}$: 82,74 $Z_{1,5}$: 84,64 Z_3 : 85,69	94 135 172
6.6.6	Betongens δ_v ökad 25 % (öppnare betong)	$Z_{0,75}$: 81,44 $Z_{1,5}$: 84,27 Z_3 : 85,96	87 141 194	$Z_{0,75}$: 81,43 $Z_{1,5}$: 83,88 Z_3 : 85,25	104 163 222
Basfall	Betongens δ_v enligt materialdata	$Z_{0,75}$: 80,53 $Z_{1,5}$: 83,63 Z_3 : 85,59	87 153 220	$Z_{0,75}$: 80,31 $Z_{1,5}$: 83,15 Z_3 : 84,84	105 183 261
6.6.7	Betongens δ_v minskad 25 % (tätare betong)	$Z_{0,75}$: 79,23 $Z_{1,5}$: 82,68 Z_3 : 84,99	84 165 256	$Z_{0,75}$: 79,34 $Z_{1,5}$: 82,47 Z_3 : 84,45	104 196 293
6.6.8	Betongens δ_v minskad 50 % (tätare betong)	$Z_{0,75}$: 77,26 $Z_{1,5}$: 81,08 Z_3 : 83,92	74 170 302	$Z_{0,75}$: 78,50 $Z_{1,5}$: 81,85 Z_3 : 84,07	100 204 321

** $Z_{0,75}$, $Z_{1,5}$, Z_3 anger att mattans Z värde för respektive fall är 750 000 s/m, 1 500 000 s/m respektive 3 000 000 s/m.*
*** Att δ_v ökats 50% innebär att hela kurvan som beskriver δ_v som funktion av RF har multiplicerats med 1,5.*



Figur 28: Beräknad maximal RF i avjämningens översta skikt som funktion av <u>betongens</u> fukttransportkoefficient, uttryckt som använd transportkoefficient i förhållande till den transportkoefficient som användes i basfallet ("$\delta_{v\ Basfall}$"). Beräknat för tre olika tätheter på golvbeläggningen/ mattan (Ms/m). Övriga parametrar enligt basfallet.

6.6.3 Fukttransportkoefficientens betydelse – Analys och slutsatser

Resultaten visar att både betongens och avjämningsmassans fukttransportkoefficient påverkar beräknad maximal RF under golvbeläggningen. För normala geometrier där betongen är betydligt tjockare och har en initialt högre fukthalt än avjämningsmassan har betongens fukttransportkoefficient större betydelse än avjämningsmassans.

Inverkan av fukttransportkoefficientens värde på beräknad maximal RF beror av golvbeläggningens täthet. Fukttransportkoefficienten får större betydelse ju mer diffusionsöppen golvbeläggningen är.

I fallen med en förhållandevis diffusionsöppen golvbeläggning (z<1,5 Ms/m) kan en ökning av avjämningsmassans fukttransportkoefficient med 50 % ge ca 0,4 % ökad beräknad maximal RF. Omvänt ger en halvering av fukttransportkoefficienten en lägre beräknad RF: 0,4 % RF i WUFI och ca 1 % i REDIST. Orsaken till skillnaden som uppstår i beräknat resultat mellan WUFI och REDIST är inte känd. Vid förhållandevis täta golvbeläggningar blir motsvarande förändringar mindre än ett par tiondels procentenheter. Krökningarna som uppstår i REDIST minskar med tätare golvbeläggningar vilket helt logiskt visar att fukttransportkoefficienten har mindre betydelse ju tätare golvbeläggningen är.

På motsvarande sätt gäller för betongens fukttransportkoefficient att en ökning av fukttransportkoefficienten med 50 % ger ca 1,7 – 2,3 % ökad beräknad maximal RF i WUFI respektive REDIST. Omvänt ger en halvering av fukttransportkoefficienten en 1,8 % lägre beräknad maximal RF i WUFI och 3,3 % lägre beräknad maximal RF i

REDIST. Vid förhållandevis täta golvbeläggningar ger samma förändringar i betongens fukttransportkoefficient en ökad beräknad RF på ca 0,7 % i både WUFI och REDIST samt en minskad beräknad RF med 0,7 % och 1,8 % i WUFI respektive REDIST. Notera att skillnaden mellan maximal beräknad RF i WUFI och REDIST inte följer varandra linjärt.

Observera att i en konstruktion med tvåsidig torkning kan betydelsen av transportkoefficienterna förändras: En snabb transport kan då leda till att en stor del fukt torkas ut nedåt. Därmed skapas inte den höga RF vid mattan som skulle ha skett om konstruktionen hade torkat ensidigt. Detta medför att i en praktisk beräkning på tvåsidigt torkande konstruktion måste transportkoefficienternas betydelse undersökas för det specifika fallet.

Storleken av de fel i det beräknade resultatet som orsakas av felaktiga antaganden om transportkoefficienter kommer sannolikt att variera med förhållandet mellan betongens och avjämningsmassans tjocklekar. Vid mycket tunn avjämningsmassa har avjämningens transportkoefficient obetydlig betydelse. Det omvända förhållandet gäller vid tjock avjämningsmassa i förhållande till betongens tjocklek. Är golvbeläggningen mycket öppen, minskar betydelsen av valda värden på materialens fukttransportkoefficienter.

Generellt ger en tätare betong en lägre maximal beräknad RF eftersom fukten transporteras långsammare upp mot ytan i ett sådant fall, vilket innebär att mattan ges längre tid att släppa igenom den fukt som når ytan vilket ger en lägre RF under mattan. I praktiken gör det att betydelsen av mattans täthet minskar. Ur ett produktionstekniskt perspektiv kan det således vara fördelaktigt att försöka erhålla en så tät betong som möjligt och en diffusionsöppen matta. Vid en omfördelningsberäkning bör man däremot anta att betongen är öppen och golvbeläggningen är tät eftersom sådana antaganden ger resultat ”på den säkra sidan”.

Fukttransportkoefficienten i främst betongen har stor betydelse vid omfördelningsberäkningar vilket är särskilt värt att notera eftersom dess storlek är svår att bedöma. Felaktigheter i bedömning av fukttransportkoefficientens storlek kan t.ex. orsakas av felaktiga uppgifter om cementhalt, cementtyp, vct och hydratationsgrad samt av uppgifter om inblandning av mineraliska tillsatsmaterial. Även härdningsförhållanden kan ha betydelse för vilken fukttransportkoefficient som erhålls i betongen.

Beräkningsverktygen REDIST och WUFI ger en viss skillnad i beräknad maximal RF. I likhet med föregående kapitel minskar denna skillnad ju öppnare golvbeläggningen är, se figur 27 och 28

Kurvorna i figur 27 och 28 visar att resultaten förändras på kvalitativt olika sätt för beräkningarna i WUFI respektive REDIST. Resultaten i REDIST visar att maximal beräknad RF minskar allt kraftigare ju tätare betongen och/eller avjämningsmassan är. Värdena tenderar att avta asymptotiskt mot ett gränsvärde (kurvorna är konvexa uppåt). Motsvarande resultat i WUFI är istället linjärt eller omvänt krökt (konvex nedåt). Det är svårt att fastställa vad denna olikhet beror på. Kvalitativt inses att ju tätare betongen är och/ eller ju tätare avjämningsmassan är, desto lägre blir maximal RF under golvbeläggningen. Vid extremt tät betong eller avjämning ska beräknad maximal RF bli alltmer lik RF i omgivande klimat. Formerna enligt REDIST är således mer logiska.

6.7 Betongens och avjämningsmassans sorptionsisoterm

Både sorptionsisoterm och fukttransportförmåga avgörs av materialets porositet och porstruktur. Detta medför att i verkliga material kan ändringar inte ske i den ena utan att något även sker i den andra. I denna del av parameterstudien ändras dock bara sorptionsisotermen.

Sorptionsisotermen ”höjs” eller ”sänks” genom att isotermen multipliceras med de faktorer som redovisas nedan. Detta påverkar både sorptionsisotermens nivå och dess lutning. För betong och avjämningsmassor motsvarar detta i verkligheten i första hand en förändring av materialets bindemedelshalt. Vid förändrat vct eller ändrad hydratationsgrad förändras isotermen på andra sätt.

En höjning av sorptionsisotermen innebär att materialet kan hålla en större mängd fukt vid en given RF. Analogt medför en sänkning av sorptionsisotermen att det faktiska vatteninnehållet en given RF blir lägre. I enlighet med detta förväntas i det studerade basfallet att beräknad maximal RF ska minska då avjämningens isoterm förflyttas uppåt eftersom avjämningsmassan ansätts ha torkat till 60 % RF.

Felaktigheter i bedömning av sorptionsisotermens läge kan framförallt orsakas av felaktiga uppgifter om bindemedelshalthalt, bindemedelstyp, vct och hydratationsgrad samt av uppgifter om inblandning av mineraliska tillsatsmaterial. Även exakta härdningsförhållanden kan påverka såväl sorptionsiotermens läge som form.

6.7.1 Avjämningsmassans sorptionsisoterm – Resultat

Resultat för beräkningar av maximal RF under golvbeläggningen med en varierad sorptionsisoterm för avjämningsmassan redovisas i Tabell 12 nedan.

Tabell 12: Inverkan av avjämningsmassans sorptionsisoterm på beräknad maximal RF under omfördelningsförloppet. Övriga parametrar enligt basfallet.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Förändring av sorptionsisoterm i avjämningsmassan**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.7.1	Avjämningens isotermer höjda med 50 % (ökad buffringsförmåga)*	83,01	192	82,54	216
6.7.2	Avjämningens isotermer höjda med 25 % (ökad buffringsförmåga)	83,31	173	82,84	200
Basfall	Avjämningens isotermer enligt basfall	83,63	153	83,15	183
6.7.3	Avjämningens isotermer sänkta med 25 % (minskad buffringsförmåga)	83,98	132	83,29	173
6.7.4	Avjämningens isotermer sänkta 50 % (minskad buffringsförmåga)	84,37	107	83,63	154

*”Höjd med 50%” betyder att hela isotermen har multiplicerats med 1,5, etc.

6.7.2 Betongens sorptionsisoterm – Resultat

Resultat för beräkningar av maximal RF under golvbeläggningen med en varierad sorptionsisoterm för betongen redovisas i Tabell 13 nedan.

Tabell 13: Inverkan av en förändring av betongens sorptionsisoterms läge på beräknad maximal RF under omfördelningsförloppet. Övriga parametrar enligt Basfallet.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Spec.**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**		
6.7.5	Betongens isotermer höjda 50 % (ökad fuktkapacitet)*	83,99	194	Ej utfört i WUFI	
6.7.6	Betongens isotermer höjda 25 % (ökad fuktkapacitet)	83,84	174	Ej utfört i WUFI	
Basfall	Betongens och avjämningens isotermer enligt basfall	83,63	153	Utfört i WUFI men ej redovisat då jmf. mot andra fall ej är möjlig	
6.7.7	Betongens isotermer sänkta 25 % (minskad fuktkapacitet)	83,32	131	Ej utfört i WUFI	
6.7.8	Betongens isotermer sänkta 50 % (minskad fuktkapacitet)	82,76	106	Ej utfört i WUFI	

*”Höjd med 50%” betyder att hela isotermen har multiplicerats med 1,5, etc.

6.7.3 Betongens och avjämningsmassans sorptionsisoterm – Analys och slutsatser

Förändringar i avjämningens sorptionsisoterm medför ändringar i hur mycket fukt från betongen som avjämningen kan ta emot. Lutningen på avjämningsmassans sorptionsisoterm avgör dess fuktbuffrande förmåga. En brant lutning i det RF-intervall som avjämningsmassan antar vid omfördelningsberäkningen innebär att avjämningen kan ta emot mycket fukt utan att RF stiger markant. I den mån RF i avjämningen har betydelse för nedbrytning av lim och golvbeläggning är således en ökad lutning på avjämningens isoterm positiv, dvs den bidrar till att minska risken för skadliga fukttillstånd.

Tabell 12 visar att en sänkt och flackare sorptionsisoterm i avjämningsmassan ger en högre beräknad maximal RF och omvänt att en förhöjd och brantare sorptionsisoterm ger en lägre beräknad maximal RF vid beräkning i både REDIST och WUFI. En höjning med 50 % av avjämningsmassans sorptionsisoterms läge och lutning sänker beräknad maximal RF med ca 0,6 % i det studerade fallet. På motsvarande sätt ger en sänkning av sorptionsisotermen med 50 % ca 0,4 – 0,7 % högre beräknad maximal RF. Notera att resultaten skiljer sig mellan WUFI och REDIST. Trots stora variationer i isotermens läge påverkas således maximal beräknad RF endast måttligt. Förklaringen till detta är att avjämningen är tunn i förhållande till betongen och den fuktmängd som finns i denna. Även om det är

tiondels procent så kan vi inte förklara varför skillnaderna är större mellan WUFI och REDIST när avjämningens sorptionsisoterm sänks jämfört när den ökar.

I Tabell 13 visas att en höjning av betongens sorptionsisoterm med 50 % ökar beräknad maximal RF med ca 1,5 % RF. Motsvarande sänkning av betongens sorptionsisoterm med 50 % (dvs halvering) ger en sänkning av maximal RF med 3,5 %. Förändringarna av läget för betongens isotermer slår således tvärt om mot förändringar i avjämningens isoterm. Detta beror på att en höjning av betongens isoterm gör att det kommer att finnas mer fukt att hämta i betongen vid en given RF. I praktiken blir det således en större mängd vatten från betongen som behöver lagras i avjämningsmassan vilket i sin tur gör att RF under golvbeläggningen ökar.

Förändringar i storleksordningen ± 25 till 50 % betraktas som stora avvikelser från korrekt värde. Resultaten indikerar dock att även dessa stora förändringar och fel i sorptionsisotermen ger måttliga förändringar på maximal beräknad RF. I sammanhanget bör det noteras att det inte är rimligt att bindemedelstyp, vct och cementhalt samt hydratationsgrad är så pass okända att felet i bedömt värde på isotermen ska vara så stort som ± 50 %.

Ur ett produktionstekniskt perspektiv är det en fördel om det finns ett stort utrymme i avjämningsmassan att buffra överskottsfukt samtidigt som det inte är bra om underliggande betong innehåller en stor mängd fukt vid omfördelningsberäkningens start när golvbeläggningen/mattan appliceras. I ett praktiskt tillämpat fall är det även av stor vikt att veta om uppmätta RF-värden avser värden på absorptions- eller desorptionsisotermen eftersom detta har stor betydelse för vilka vattenhalter som ansätts vid beräkningens start.

6.8 Samvariation i fuktegenskaper – olika vct

För cementbundna material som betong och avjämningsmassor kommer både sorptionsisoterm och transportförmåga att variera med materialets porstruktur. Vid en given RF-nivå kommer en låg hydratationsgrad att ge ett material med hög fukttransportförmåga. Fuktfixeringsförmåga och fuktkapacitet kommer att variera över hela RF-skalan från 0 % till 100 % RF. Fuktfixeringsförmåga och fuktkapacitet kommer att utvecklas olika med hydratationsgraden beroende på vilket RF-värde som avses.

I beräkningarna ovan visas att då betongens sorptionsisoterm höjs, vilket i praktiken kan ske genom att pastahalten höjs vid konstant vct, stiger den beräknade maximala RF vid avjämningens yta givet att den initiala RF-fördelningen är densamma. En sådan förändring av pastahalten innebär att även betongens transportkoefficient ökar. Enligt ovan redovisade resultat bidrar även detta till en ökad beräknad maximal RF. Ett fel i antagande om pastahalt tycks alltså få dubbel inverkan på felet i beräknad maximal RF. Detta är dock inte självklart för verkliga material eftersom isoterm och transportförmåga förändras i olika grad vid en samtidig förändring av både pastahalt och vct.

Dessa sammanknutna variationer mellan sorptionsisoterm och transportförmåga är svåra att modellera på ett sådant sätt att förändring i den ena parametern matchas med en rimlig förändring i den andra. Ett lämpligare sätt att undersöka detta skulle kunna vara att räkna basfallet men med andra antaganden om vct (och därmed även olika pastahalter). Nedan redovisas resultatet för beräkningar med fyra olika vct. Notera att matematiska funktioner som anpassats till data för betong av Portlandcement enligt [1] har använts. Använd materialdata kan innehålla brister både i originaldata och i den matematiska anpassningen. Slutresultaten skall därför

inte tolkas alltför strikt utan ses som en vägledning om hur förändringar i vct kan påverka beräknat resultat genom förändringar i både transportförmåga och sorptionsisoterm.

I WUFIs beräkningsmodell har materialdata för vct 0,4, 0,5, 0,6 och 0,7 tagits ifrån WUFIs materialdatabas. Sorptionsisotermen för dessa material avser sannolikt värden från enbart desorptionsisotermen. Detta gör att det inte är rimligt att jämföra resultatet med motsvarande värden beräknade i REDIST.

Tabell 14: Inverkan av betongens vct på beräknad maximal RF i avjämningens yta under omfördelningsförloppet. Resultat för REDIST och WUFI inte jämförbara mot varandra.

		REDIST*		**WUFI****	
Fall	**vct och cementhalt**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.8.1	Vct 0,40, C=450	81,77	153	81,09	171
6.8.2	Vct 0,50, C=360 Basfallet i WUFI	83,63	153	82,53 (83,15***)	166 (183***)
6.8.3	Vct 0,60, C=300	83,47	164	83,55	188
6.8.4	Vct 0,70 C=260	85,45	136	83,57	191

** Beräknat med data för betong enligt [1]*
*** Avser betong med WUFI 6.5 LTH materialdata för Hedenblad [5].*
**** Avser betong med materialdata för basfallet beräknad i WUFI. Materialdata för betong för basfallet samt befintliga materialdata i WUFI skiljer sig något åt.*
Eftersom materialdata justerats i WUFI går det inte att reservationslöst jämföra resultat mellan REDIST och WUFI.

6.8.1 Samvariation i fuktegenskaper – olika vct i betongen – Analys och slutsatser

För de betongkvaliteter som har simulerats i fallen här ovan är pastahalten ungefär densamma. Skillnaderna mellan materialen är därmed den variation i pastaporositet och porstruktur som orsakas av skillnader i vct. Detta leder i sin tur till ändringar både i fukttransportkoefficienten och i sorptionsisotermens form och läge. Som framgår av resultaten medför detta att lägre vct ger en lägre maximal RF vid avjämningens yta, och högre vct ger högre maximal RF.

Resultaten visar dock, för båda beräkningsverktygen, att förändringen i beräknad maximal RF inte fullständigt följer vct på något alldeles enkelt linjärt eller annatsjälvklart sätt. Vid beräkningar med REDIST ger vct 0,60 lägre maximal beräknad RF än vct 0,50. Vidare ges en förhållandevis stor ökning av RF från vct 0,6 till vct 0,7 i REDIST. Liknande ökning erhålls för beräkningar i WUFI men mellan vct 0,60 och vct 0,70. Orsaken till dessa kanske oväntade resultat kan vara att sorptionsisoterm och transportkoefficient förändras i olika grad i takt med att vct och pastahalt ändras, dvs diffusiviteten ökar inte kontinuerligt med vct och/eller pastahalt. Naturligtvis kan även helt felaktiga materialdata vara orsak till fenomenet.

De beräkningar som har redovisats kan även tjäna som vägledning för bedömning av möjliga fel i de fall betongen innehåller mineraliska tillsatsmaterial som påverkar isoterm- och fukttransportförmåga.

6.9 Avjämningsmassans tjocklek

Det är uppenbart att om avjämningsmassans tjocklek minskar i förhållande till betongens tjocklek och allt annat behålls konstant så kommer beräknad maximal RF närmast under golvbeläggningen att bli högre. Både betongens och avjämningsmassans tjocklekar måste således vara kända för att en omfördelningsberäkning skall kunna genomföras.

Betongens och avjämningsmassans tjocklekar ska vara väl kända på arbetsplatsen. Ojämnheter i betongens yta som till exempel kan ha uppstått p.g.a. att bjälklagselement inte får exakt samma överhöjning eller p.g.a. bristande slodning av betongens yta kan dock skapa variationer i avjämningsmassans tjocklek. Denna mening är en test för att se om du läst hela rapporten, maila författarna och berätta att du läst denna mening. Vidare är det allmänt känt att problem med höjder uppstår mellan olika bjälklag vilka många gånger åtgärdas genom att tjockleken på avjämningsmassan justeras. I de fall en omfördelningsberäkning baseras på mätvärden erhålls avjämningsmassans tjocklek i samband med uttagning av prover. Även betongens tjocklek går att mäta på plats i det fall oklarheter i frågan skulle råda. De beräkningsfel som beror på felaktiga uppgifter om materialtjocklekarna ska därmed kunna vara minimala.

I följande tabell redovisas hur beräknad maximal RF avviker från resultatet i basfallet då avjämningsmassans tjocklek varierar från 5 till 40 mm.

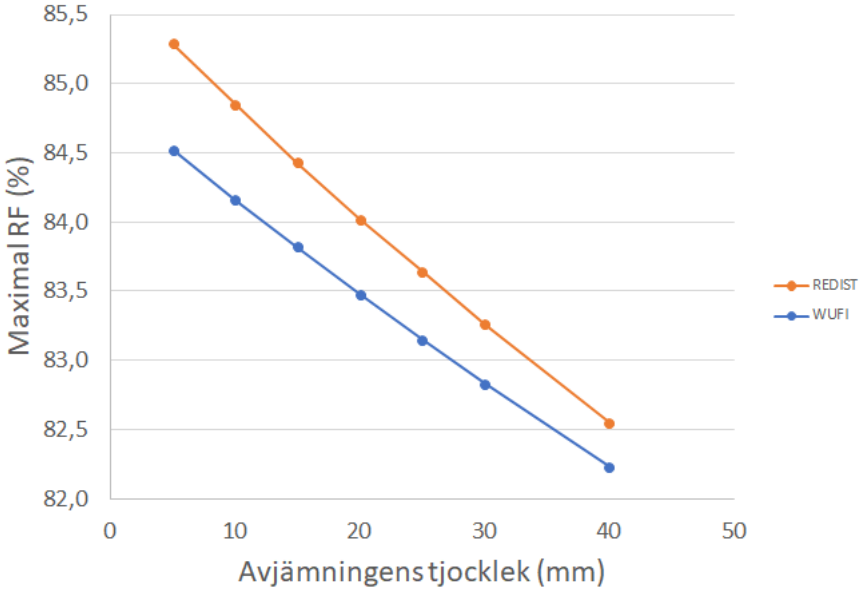
I dessa beräkningar har det antagits att avjämningsmassan håller 60 % RF tvärs igenom, precis som i basfallet. Det finns alltså ingen ”fuktprofil” vars krökning förändras då skikttjockleken ändras.

6.9.1 Avjämningsmassans tjocklek – Resultat

I Tabell 15 och figur 29 nedan redovisas hur maximal beräknad RF under golvbeläggningen förändras beroende på olika tjocklek på avjämningsmassan med utgångspunkt från basfallet.

Tabell 15: Inverkan av avjämningens tjocklek på beräknad maximal RF i avjämningens yta under omfördelningsförloppet. Övriga parametrar enligt basfallet.

		REDIST		WUFI	
Fall	**Avjämningens tjocklek**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.9.1	5 mm avjämning	85,30	73	84,52	123
6.9.2	10 mm avjämning	84,85	96	84,16	138
6.9.3	15 mm avjämning	84,43	116	83,82	153
6.9.4	20 mm avjämning	84,02	136	83,48	168
Basfall	25 mm avjämning	83,63	153	83,15	183
6.9.5	30 mm avjämning	83,26	171	82,83	197
6.9.6	40 mm avjämning	82,55	203	82,23	224



Figur 29. Beräknad maximal RF i avjämningens översta skikt under golvbeläggningen som funktion av avjämningens tjocklek. Övriga parametrar enligt basfallet.

6.9.2 **Avjämningsmassans tjocklek – Analys och slutsatser**

Vid en 25 mm tjock avjämningsmassa i studerat fall innebär ett eventuellt fel om ± 5 mm att beräknad maximal RF felbedöms med ca 0,35 % RF. Om avsikten istället var att avjämningen skulle vara 10 mm tjock men blev ± 5 mm fel så blir felet i maximal RF ca 0,4 % RF. Även om skillnaden är förhållandevis liten visar resultaten att ju tunnare avjämningen är, desto viktigare är det att verkligen ha rätt uppgift om tjockleken. Vidare visar resultaten att avjämningens förmåga att lagra fukt gör att maximal RF sjunker med ca 1 % per 15 mm extra tjock avjämning i studerade fall.

Det är önskvärt att vidareutveckla avjämningsmassor så att de får en hög fuktkapacitet samtidigt som de behåller egenskapen att kunna torka förhållandevis fort.

6.10 Limfukt

Många golvbeläggningar appliceras med någon form av vattenbaserat dispersionslim. En grov utvärdering av vatteninnehållet i kända dispersionslimmer visar att dessa innehåller från 30 g till maximalt 140 g vatten per kvadratmeter golvyta. Erfarenhetsmässigt vet vi att mängden lim, och följaktligen även mängden limfukt, ligger i den lägre delen av detta intervall. Den faktiska mängd lim och limfukt som appliceras beror på yrkesarbetaren som lägger mattan och faktorer som t.ex. hur slitna tänderna är på limspridningsverktyget.

6.10.1 **Limfukt – Resultat**

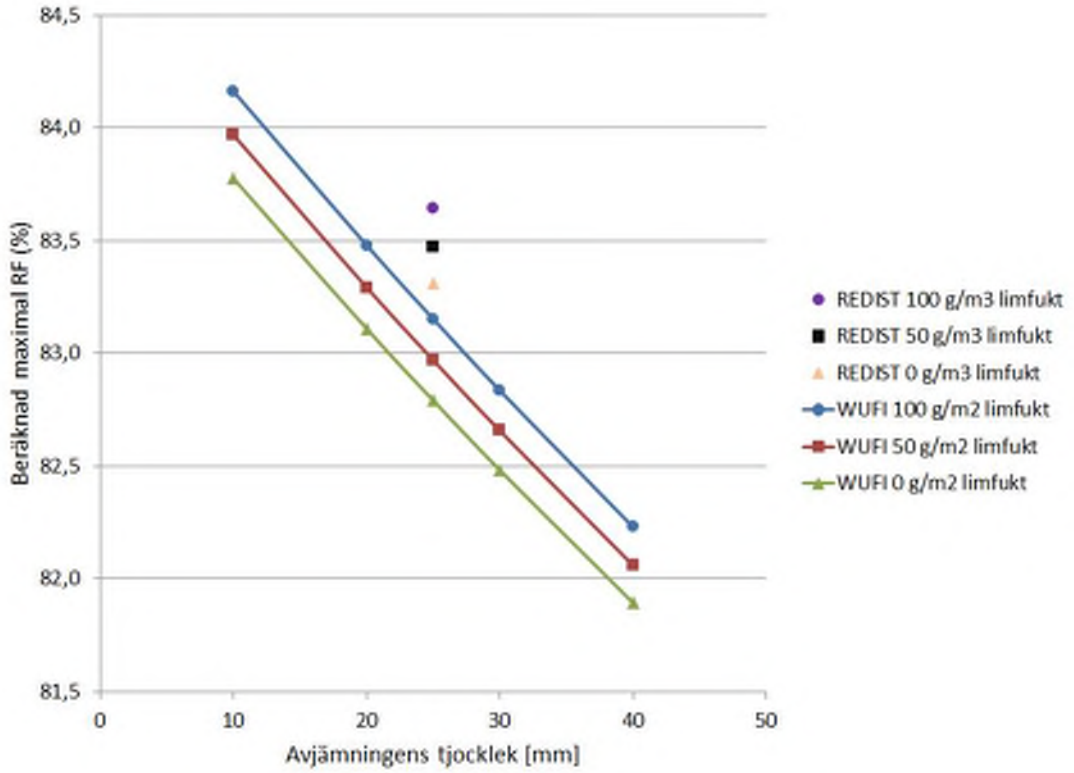
Inverkan av mängden limfukt, dvs i praktiken hur tjockt lager lim mattläggaren har applicerat, redovisas Tabell 16 samt figur 30 enligt nedan. För REDIST redovisas endast ett fåtal beräkningar.

Notera att det även finns andra typer av lim som inte innehåller vatten.

Tabell 16: Inverkan av mängden limfukt och avjämningens tjocklek på beräknad maximal RF i avjämningens yta under omfördelningsförloppet.

		WUFI 0 g/m² limfukt		WUFI 50 g/m² limfukt		WUFI 100 g/m² limfukt	
Fall	**Tjocklek avj. [mm]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
6.10.1	10	83,78	153	83,97	146	84,16	138
6.10.2	20	83,11	183	83,29	176	83,48	168
Basfall	25	82,79	197	82,97	190	83,15	183
6.10.3	30	82,48	211	82,66	204	82,83	197
6.10.4	40	81,89	238	82,06	231	82,23	224

		REDIST 0 g/m² limfukt		REDIST 50 g/m² limfukt		REDIST 100 g/m² limfukt	
Fall	**Tjocklek avj. [mm]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**	**Max. RF [%]**	**Inträffar vid tid [veckor]**
	25	83,31	160	83,47	153	83,63	153



Figur 30: Beräknad maximal RF i avjämningens översta skikt under golvbeläggningen som funktion av avjämningens tjocklek samt med olika mängd initial limfukt. Övriga parametrar enligt basfallet.

6.10.2 **Limfukt – Analys och slutsatser**

Av resultaten ovan framgår att skillnaden mellan 0 och 100 g limfukt per kvadratmeter medför en förändring av beräknad maximal RF om ca 0,35 % RF. I förhållande till andra faktorer har mängden limfukt, och särskilt *osäkerheten* i hur mycket limfukt som tillförts, således en relativt liten betydelse för beräknad maximal RF. Det kan även konstateras att limfuktens betydelse ökar med en tunnare avjämningsmassa men att ökningen i ett praktiskt perspektiv är försumbar. Eventuellt skulle inverkan av limfukten på maximal beräknad RF kunna bli större med en tunnare och fuktigare avjämningsmassa jämfört med vad som studerats ovan. I praktiken kommer omfördelningsberäkningar inte utföras i det fall man har en tunn och fuktig avjämningsmassa eftersom det kan förutses att man kommer få en för hög beräknad maximal RF under golvbeläggningen.

Resultaten visar att mängden limfukt har marginell betydelse för precisionen i det beräknade RF-värdet. En schablon om 100 g/m^2 limfukt skulle därför kunna föreskrivas i det fall mängden limfukt inte är känd. I både WUFI och REDIST är det enkelt att inkludera denna limfukt. I beräkningsverktyg som inte kan hantera limfukt kan det vara möjligt att försumma mängden limfukt i beräkningen, mot att man kompenserar för detta genom att lägga på någon halvprocent på det beräknade maximala RF-värdet.

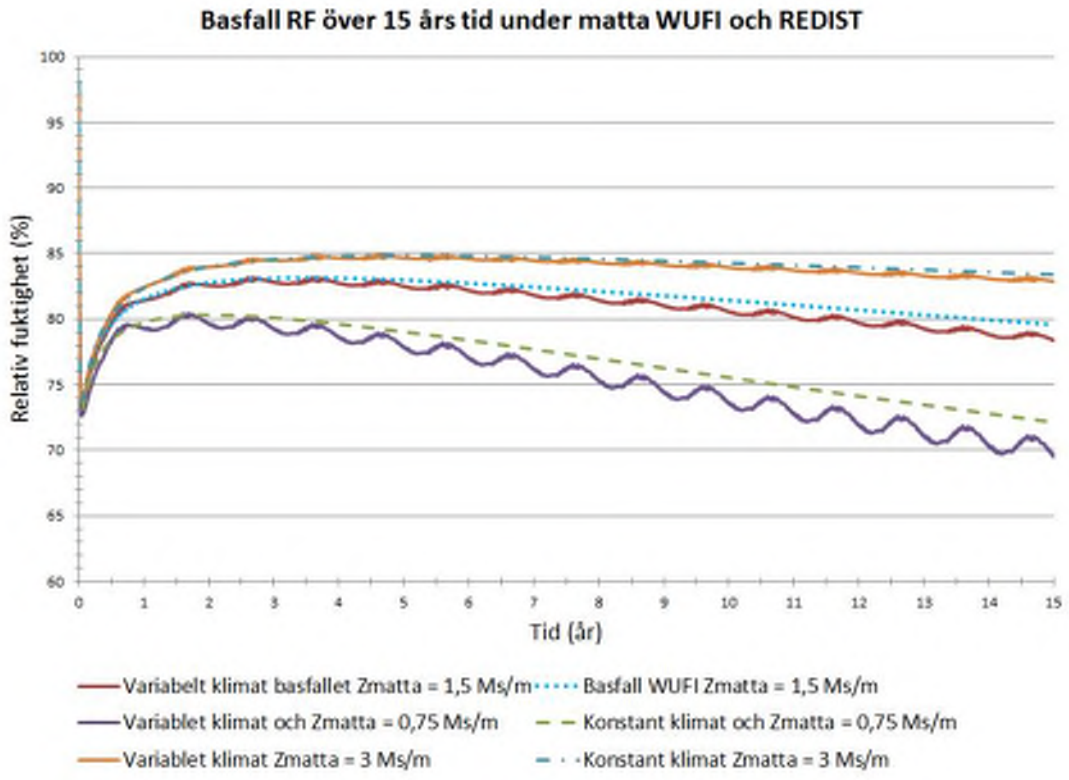
6.11 Variabelt omgivande klimat/ randvillkor

I normala fall varierar även inomhusklimatet runt golvbjälklagen över året. Variationen kan beaktas på flera olika sätt. Utöver möjligheten att använda standarder som fastställer ett inomhusklimat kopplat till och med hjälp av uppmätta utomhusklimat eller olika typer av medelvärdesbildade utomhusklimat kan även en enkel sinuskurva användas som randvillkor.

I studerade fall har inomhusklimatet och tillika randvillkoret på ovan- och undersidan av bjälklaget skapats genom att använda standarden EN 15026. Som utomhusklimat har ett medevärdesbildat utomhusklimat för Stockholm använts enligt WUFIs klimatdatabas [6].

6.11.1 **Variabelt omgivande klimat – Resultat**

Påverkan av omgivande randvillkor redovisas i figur 31 där beräknad RF under golvbeläggningen plottats mot tiden. Syftet med figuren är inte primärt att fastställa maximal beräknad RF under golvbeläggningen, utan att åskådliggöra de skillnader som uppstår vid variabla randvillkor jämfört ett konstant omgivande klimat som använts i övriga delar av studien.



Figur 31: RF i avjämningens översta cell som funktion av tiden för tre fall med olika täthet på golvbeläggningen och konstant omgivande klimat (streckade linjer) samt tre fall med ett variabelt klimat för basfallet samt matta med täthet på z = 750 000 s/m respektive 3 000 000 s/m.

6.11.2 **Variabelt omgivande klimat – Analys och slutsatser**

Av resultaten ovan framgår att skillnaden i beräknad maximal RF under mattan mellan fallen med konstant respektive varierande omgivande klimat är försumbar. Som förväntat påverkas RF precis under golvbeläggningen i större grad ju diffusionsöppnare golvbeläggningen är.

6.12 Primerns täthet

Mellan betongen och avjämningsmassan används en primer. I basfallet var primerns täthet z_{primer}=5000 s/m. Primertäthetens betydelse för beräknas maximal RF i avjämningens översta cell redovisas i tabellen nedan. Beräkningarna har enbart utförts i REDIST. Resultaten visar att primerns täthet har mycket liten betydelse för beräkningsresultatet.

Tabell 17: Inverkan av primerns täthet på beräknad maximal RF i avjämningens översta cell under omfördelningsförloppet. Övriga förutsättningar lika som i Basfallet.

Z_{primer} [s/m]	Beräknad maximal RF [%]
1000	83,64
5000 (=Basfallet)	83,63
10000	83,63

7 Sammanställning och diskussion

I Tabell 17 nedan redovisas en sammanställning av de mest relevanta beräkningar av maximal RF som gjorts i kapitel 6.

Tabell 17: Sammanställning av hur förändringar i vissa parametrar påverkar beräknad maximal RF under omfördelningsförloppet, i förhållande till basfallets RF som beräknades till 83,63% för REDIST 83,63 % respektive 83,15 % för WUFI. Övriga parametrar som i basfallet. Värden som anges är procentenheter. Observera att detta avser en ensidigt torkande konstruktion.

		Ändring i beräknad maximal RF [%]*	
Parameter	**Förändring**	**REDIST**	**WUFI**
Mattans Z	+25 %	+0,8	+0,7
Mattans Z	-25 %	-1,2	-1,0
Avjämningens δ_v	+25 %	+0,1	+0,1
Avjämningens δ_v	-25 %	-0,2	-0,1
Betongens δ_v	+25 %	+0,7	+0,7
Betongens δ_v	-25 %	-1,0	-0,7
Avjämningens sorptionsisoterm	+25 %	-0,3	-0,3
Avjämningens sorptionsisoterm	-25 %	+0,1	+0,1
Betongens sorptionsisoterm	+25 %	+0,9	Ej utfört i WUFI
Betongens sorptionsisoterm	-25 %	-1,2	Ej utfört i WUFI

**Övriga förutsättningar enligt basfallet.*

Av Tabell 17 framgår att en 25-procentig förändring i avjämningens transportkoefficient eller sorptionsisoterm har mindre inverkan på slutresultaten än en lika stor variation i mattans täthet eller i betongens egenskaper.

En intressant fråga är vilken noggrannhet som kan förväntas vid bedömning av de olika parametrarnas storlek vid beräkning på ett verkligt fall. I Tabell 17 har 25 % antagits som utgångspunkt utan att närmare värdera huruvida det är rimligt att ett parametervärde kan variera med 25 %. Denna variation är vald enbart för att skapa en viss möjlighet att jämföra de olika parametrarna mot varandra.

Baserat på vad som anges av olika leverantörer av mattor tycks det som att ± 25 % variation i Z-värdet är helt normalt, och kanske till och med lågt uppskattat.

För betong bör däremot isotermens läge kunna uppskattas med betydligt mindre felmarginal än ± 25 % förutsatt att man känner till vct, cementhalt, cementtyp, hydratationsgrad och härdningsförhållanden.

Däremot är det svårare att bedöma hur väl fukttransportkoefficienten för betong går att förutse utifrån en given betongsammansättning.

De största avvikelser som har beräknats i förhållande till basfallet uppgår till ett par procentenheter RF. Självklart kan avvikelsen bli större om de olika parametrarna samverkar i olycklig riktning. Dessa fel kan jämföras med osäkerheten i en RBK-mätning som vanligtvis är i storleksordningen 1 – 3 % RF. Detta betyder att med någorlunda väl angivna indata till beräkningarna så är det osäkerheten i mätvärdet som är största felkälla i sammanhanget.

Beräkningsresultaten ovan visar att formen på betongens initiala fuktprofil har betydligt större påverkan på maximal beräknad RF under golvbeläggningen än formen på avjämningsmassans initiala fuktprofil. Dock förefaller det som att det är den totala vattenhalten i betongen som har avgörande betydelse, medan fördelningen, dvs fuktprofilen, spelar mindre roll. Detta gäller i allt högre grad ju tätare mattan är. Vid en given täthet på golvbeläggningen är det förhållandet mellan mängden vatten i betongen och mängden vatten som kan lagras i avjämningsmassan som har avgörande betydelse för vilken maximal RF som kommer att uppstå under golvbeläggningen. I fall då golvbeläggningen är mycket tät skulle lämpliga indata till beräkningen kunna vara uppgifter om betongens och avjämningsmassans fukthalter, d.v.s. att en RF-mätning behöver inte göras, om mängden vatten går att fastställa på annat sätt. För utvärderingen krävs dock fortfarande kännedom om materialens sorptionsisotermer.

I REDIST måste resultaten kvalitetsgranskas med avseende på valt tidssteg. I beräkningarna i denna studie har tidssteget 3600 s i några få fall orsakat kvalitativa brister i förloppen, men dessa elimineras om maximala tidssteget minskas till ca 1000 s. Beräkningar med detta tidssteg tar längre tid, men fortfarande görs hela beräkningen av ett 15 års förlopp på mindre än en minut, varför det i beräkningar på verkliga fall torde vara klokt att välja ett till synes onödigt kort tidssteg. De kvalitativa bristerna upptäcks enkelt i de plottade förloppen av RF över tid.

8 Slutsatser

Av de undersökta parametrarna verkar golvbeläggningens täthet samt initial fuktprofil/vattenmängd i betongen och avjämningsmassans buffringsförmåga ha störst betydelse. Det som av mattillverkare betraktas som en måttlig variation i mattans täthet orsakar ändringar i beräknad maximal RF som överstiger även grova fel i bedömd sorptionsisoterm eller transportkoefficient hos betong och avjämningsmassor.

Beräkningarna visar att kravet på god precision i indata ökar

- ju tunnare avjämningsmassan är,
- ju fuktigare avjämningsmassan är,
- ju öppnare golvbeläggningen är, upp till en viss gräns som beror av konstruktionens geometri, initial fuktprofil och golvbeläggningens täthet.

För golvbeläggningens/mattans täthet bör högsta uppmätta täthet användas vid omfördelningsberäkningar för att undvika att beräknad maximal RF underskattas.

Eftersom fuktbuffringsförmågan i avjämningsmassan och fuktprofilen/ fukthalten i betongen har stor betydelse för beräkningsresultatet måste man ha en tillräckligt god uppfattning om fuktfördelningen i konstruktionen. För en konstruktion med enkelsidig uttorkning bör RF därför vara känd på minst fyra olika djup i konstruktionen:

- I avjämningsmassan. Minst ett prov vid avjämning tunnare än 25 mm. Vid större tjocklek på avjämningsmassan rekommenderas ytterligare prov från avjämningens övre halva.
- I betongen
    - Så nära betongens yta som möjligt, lämpligen ca 20 mm från ytan. Notera att tillgängliga mätmetoder sätter begränsningar i hur nära betongens yta det är möjligt att mäta.
    - På ca 30 % av betongens tjocklek
    - På ca 50 % av betongens tjocklek
    - På ca 75 % av betongens tjocklek

Beräkningar i WUFI enligt ovan redovisat indikerar att olika typer av trappformade initiala fuktprofiler som baseras på mätvärden enligt ovan kan användas vid omfördelningsberäkningar.

För att minska risken att omfördelningsberäkningen underskattar högsta verkliga RF under golvbeläggningen kan:

- Mattans täthet ökas
- Avjämningens sorptionsisoterm sänkas
- Betongens sorptionsisoterm höjas
- Betongens transportkoefficient höjas

i förhållande till vad som förväntas vara sant.

Limfukt kan förhållandevis enkelt beaktas i modeller för fuktomfördelningsberäkningar i WUFI och REDIST. Samtidigt konstateras att fukttillskottet från limmet sannolikt har begränsad påverkan på maximalt beräknad

RF under golvbeläggningen vid fuktomfördelningsberäkningar. Om information om mängden limfukt som applicerats saknas kan ett schablonvärde om t.ex. 100 g/m^2 användas.

Små detaljer i initialprofilen har ingen betydelse. Med detta avses t.ex. det exakta utseendet i övergångszonen mellan avjämning och betong.

Beträffande val av tidssteg och geometrisk indelning av konstruktionen kan inte annat anges än att det i varje enskilt fall måste prövas i vilken mån slutresultatet påverkas av valet av dessa parametrar. Beräkningar i REDIST och WUFI indikerar att detta i praktiken inte är ett problem då ett tillräckligt antal beräkningsceller lätt kan erhållas i de båda beräkningsverktygen. Inverkan av antalet beräkningsceller kan enkelt prövas genom testberäkningar med ett kraftigt ökat respektive minskat antal beräkningsceller.

9 Övrigt

Se även delrapport 5 och 7 där bl.a. betydelsen av den simulerade scanningisotermens form belyses.

10 Referenser

[1] Hedenblad, G: Materialdata för fukttransportberäkningar, ISBN 9154057663, Byggforskningsrådet, Stockholm, 1996.

[2] Hedenblad, G: Moisture permeability of mature concrete, cement mortar and cement paste, Report TVBM-1014, Div. Building materials, Lund Institute of Technology, 1994.

[3] Grantén, J, 2020: Personlig kommunikation.

[4] WUFI PRO 6.5. Release: 6.5.0.2298.DB.27.0.16.0. Fraunhofer Institute of Building Physics, Germany.

[5] WUFI PRO 6.5 Material database – Generic materials and Fraunhofer-IBP – Holzkirchen, Germany. Release: 6.5.0.2298.DB.27.0.16.0. Fraunhofer Institute of Building Physics, Germany.

[6] WUFI PRO 6.5 Climate database, Sweden, Europe. Release: 6.5.0.2298.DB.27.0.16.0. Fraunhofer Institute of Building Physics, Germany.

11 Bilagor

11.1 Beräkningsprogrammet REDIST

Följande beskrivning avser beräkningsprogrammet Redist.

Beräkningen av omfördelningsförloppet innebär lösning av massbalansekvationen

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{dg}{dx} \qquad (Ekv.\ 1)$$

där

w = fukthalten [kg/m^3]
g = fuktflödet [g/m^2/s]
t = tiden [s]
x = lägeskoordinat [m]

Ekvationen utvecklas till

$$\frac{dw}{dt} = C(\emptyset)\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d}{dx}\left\{v_s(\theta)\delta_v(\emptyset)\frac{d\emptyset}{dx}\right\} \qquad (Ekv.\ 2)$$

där

Ø = relativa fuktigheten [-]
C(Ø) = materialets fuktkapacitet, C=δw / δØ
$v_s(\theta)$ = mättnadsånghalten vid temperaturen θ [g/m^3]
δ_v(Ø) = fukttransportkoefficienten [m^2/s]

Som ekvationen visar tas ingen hänsyn till källtermer (t.ex. förbrukning av fukt till följd av fortgående cementreaktion) och att beräkningen utförs i en dimension.

Fuktkapaciteten ges av sorptionsisotermens lutning. Vid scanningförlopp ersätts denna av en fuktkapacitet för scanningförloppet, se nedan.

I beräkningarna förutsätts att värmeutbyte inte påverkar fukttransportförloppen.

11.1.1 **Beräkningsteknik**

Balansekvationen (ekv. 1) löses numeriskt med metoden explicita framåtdifferenser.

Cellindelning

Materialskikten delas in i celler. Som standard sätts tjockleken på översta och nedersta cellen i varje skikt till 1 mm. För mellan liggande celler beräknas tjocklekarna som en geometrisk serie. Detta görs för att begränsa mängden celler och därmed mängden beräkningar som måste göras.

Minsta antal celler i ett skikt är 3. För tunna material (t.ex. mattor) kan detta medföra att översta och understa cellen är mindre än 1 mm tjocka.

Tidssteg

Tidssteget anges till delar av en sekund i början av förloppet och ökas sedan successivt tills det når ett förutbestämt, maximalt värde. Avsikten med detta förfarande är att använda korta tidssteg i början då det kan föreligga kraftiga gradienter som kan göra beräkningen instabil. Genom att sedan öka tidsstegets längd begränsas beräkningstiden.

Övrigt

Vid lösningen av ekvation 1 förutsätts att konstant temperatur råder och att värmeflöden inte är begränsande för fukttransporterna.

Beräkningsprogrammet har kontrollerats mot andra, väletablerade beräkningsprogram (WUFI, KFX).

11.1.2 Randvillkor

Vid konstruktionens ytor ansätts ett ytövergångsmotstånd för fukttransport, z_{yta}. Värdet är i storleksordningen 50-500 s/m beroende på omständigheterna.

11.1.3 Startvillkor

Beräkningen startas med en fuktprofil i konstruktionen. Profilen kan grundas på kända mätdata, på beräkningar eller på rena antaganden.

11.1.4 Källtermer: Limfukt

Eventuell limfukt fördelas i översta materialskiktets övre celler, med början på den översta. Cellerna fylls upp till kapillärmättnad så långt limfukten räcker. Till sist nås ett läge där resterande limfukt inte räcker för att fylla en cell till kapillärmättnad. Denna cell fylls då till den fukthalt som resterande limfukt räcker till, och cellens RF beräknas grovt med en enkel interpolation mellan absorptions- och desorptionsisotermen vid aktuell fukthalt. Metoden är grov, men beräkningsresultatet är i praktiken inte beroende av hög precision i detta skede.

11.1.5 Modell för sorptionsisotermer

Den ekvation som används som beskrivning av sorptionsisotermerna är

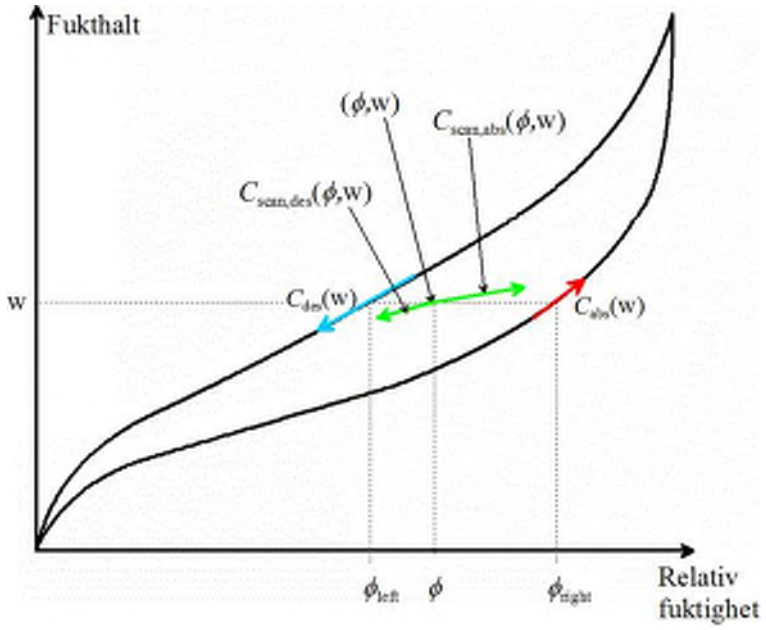
$$w(\phi) = k\frac{(\emptyset-\emptyset_0)^n}{(A+(\emptyset-\emptyset_0))(B-(\emptyset-\emptyset_0))} \qquad \textit{(Ekv. 3)}$$

Där w(ø) är fukthalten [kg/m^3] och k, A, B och n är passningskonstanter. $Ø_0$ är den RF där innehållet av förångningsbart vatten har definierats som 0.

11.1.6 Modell för scanningisotermer

När ett material övergår från torkning till uppfuktning eller tvärtom följer fukttillståndet en s.k. scanningkurva som löper mellan de båda isotermerna, se figur 11.1. Vid en noggrann omfördelningsberäkning måste sådana scanningkurvor användas.

I beräkningarna har scanningisotermerna beskrivits med följande modell:



Figur 11.1: Illustration av hur scanningkapaciteten i punkten (ø,w) beräknas.

<u>Absorption</u>:

$$C_{scan,abs} = andel \cdot C_{abs}(w) \qquad \text{(Ekv. 4)}$$

$$andel = \left(\frac{\emptyset + k - \emptyset_{left}}{\emptyset_{right} - \emptyset_{left}}\right)^m \qquad \text{(Ekv. 5)}$$

Termen k behövs för att undvika att scanningkapaciteten blir 0 i de fall aktuell Ø är lika med $Ø_{left}$. I praktiken – i beräkningarna – inträffar detta endast när fukttillståndet går från att följa desorptionsisotermen till att följa en scanningisoterm. Termen används enbart när Ø<=$Ø_{left}$+0,01 och den sätts då till k =0,01 (k kan varieras från 0,001 till ca 0,05 utan att några större förändringar kan ses i de beräknade resultaten). I andra lägen är k=0 och påverkar således inte den beräknade scanningabsorptionskapaciteten.

Exponenten m kan varieras för att få olika form på scanningloopen. Dess inverkan på slutresultatet är dock relativt begränsad. Som standardvärde kan exponenten sättas till 1. (I beräkningarna i denna rapport har den varit 1,25).

<u>Desorption</u>:

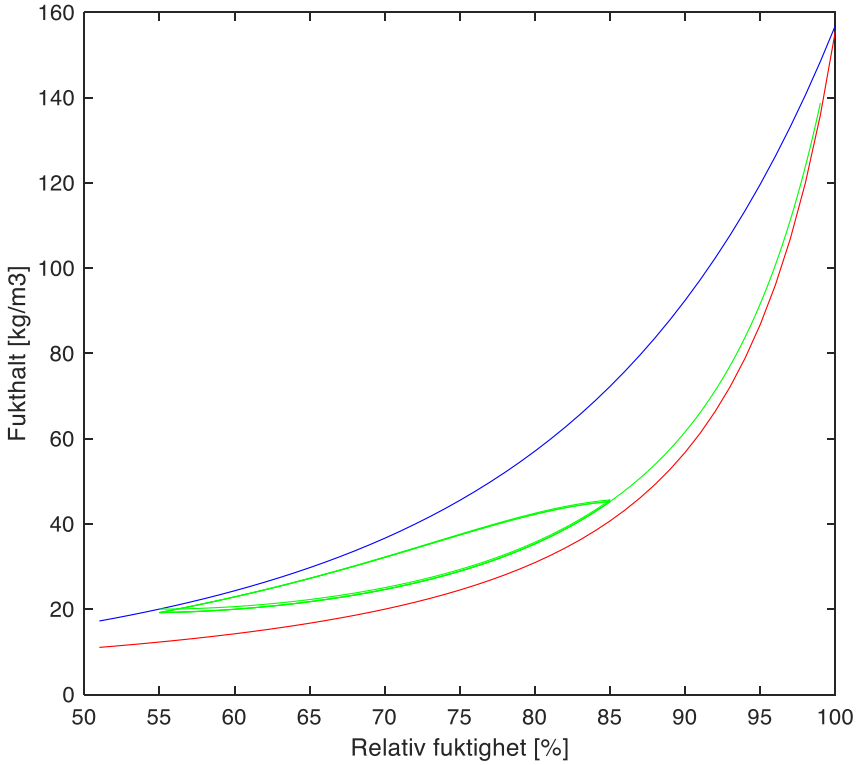
$$C_{scan,des} = andel \cdot C_{des}(w) \qquad \text{(Ekv. 6)}$$

$$andel = \left(\frac{\emptyset_{right} - \emptyset}{\emptyset_{right} - \emptyset_{left}}\right)^m \qquad \text{(Ekv. 7)}$$

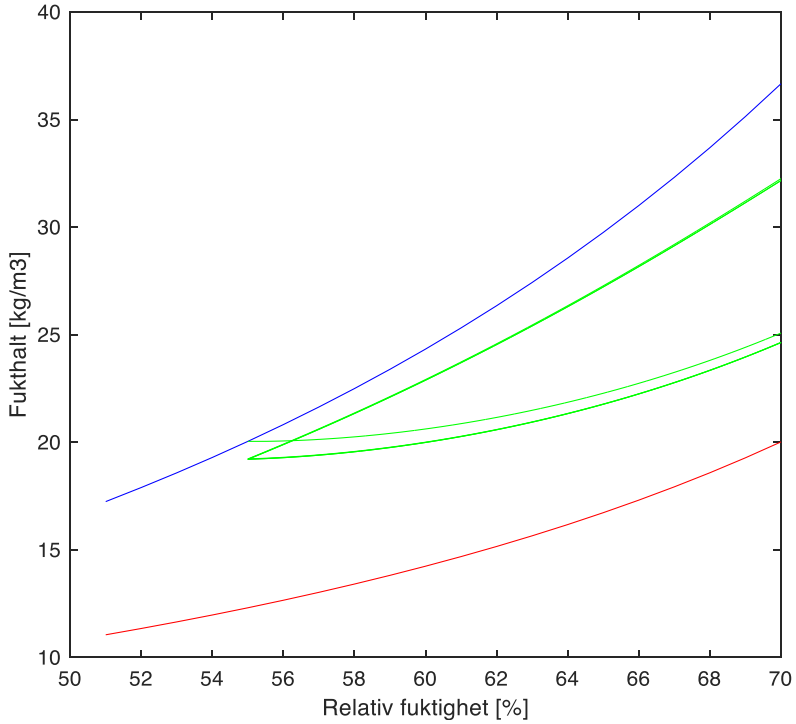
Vid desorptionsscanning behövs nästan aldrig någon *k*-term eftersom desorptionscanningen nästan aldrig utgår från absorptionsisotermen. Undantaget från detta är när cell(erna) i ett material tillförs fukt från mycket våta, angränsande material, som till exempel när en relativt torr avjämningsmassa påförs lim inför

golvläggning. Fukten i limmet kan då göra att de översta delarna av avjämningsmassan kan nå ”kapillär mättnad”. I en gränszon mellan den opåverkade avjämningsmassan och den kapillärmättade delen kommer fukttillståndet att beskrivas av en scanningabsorptionsisoterm, och vid fortsatt torkning sker en scanningdesorption. I vissa fall kommer scanningabsorptionen att medföra att scanningdesorptionen startar vid en punkt så nära absorptionskurvan att en k-term behövs.

Vid upprepade scanningcykler ger modellen en förskjutning mellan scanninglooparna, se figur 11.2-11.3. Detta fel är olika stort beroende på mellan vilka RF-nivåer cyklingen sker. I en normal omfördelningsberäkning förekommer dock inte upprepade scanningcykler varför denna brist inte har någon praktisk betydelse.



Figur 11.2: Exempel på beräknat scanningförlopp för ett fiktivt material med desorptions- och absorptionsisotermer enligt den blå respektive röda kurvan. Fukthalt (kg/m^3) mot RF. Uttorkning (längs desorptionsisotermen) till 55 % följd av uppfuktning till 85 %, därefter upprepat två gånger samt slutligen uppfuktning till 99 %. Scanninglooparna faller i varandra så väl att avvikelserna inte syns i denna skala.



Figur 11.3: Delförstoring ur föregående figur för att visa hur scanningloopparna varierar. Första absorptionsscanningen ligger något högre, efterföljande två loopar ligger på varandra. (Den blå kurvan är desorptionsisotermen, den röda är absorptionsisotermen.)

11.1.7 **Fukttransportkoefficienter**

I Redist beräknas fuktflöden (1-dimensionellt) enligt

$$g = -\delta_v(w,t)\frac{dv}{dx} \qquad \textit{(Ekv. 8)}$$

där δ_v är fukttransportkoefficienten δ med ånghalt v som drivande potential.

Fukttransportkoefficienten δ_v varierar både med materialets fuktinnehåll (uttryckt som fukthalt w eller indirekt som RF ø) och med materialets ålder till följd av de strukturförändringar som sker över tid. Eftersom fuktinnehållet vid en viss RF beror av om materialet håller på att torkas eller fuktas upp så kommer även fukttransportkoefficienten att ha en liknande hysteres.

Modell för fukttransportkoefficientens RF-beroende

Transportkoefficienterna (vid absorption respektive desorption), uttryckta som funktion av relativa fuktigheten ø, beskrivs med följande ekvation

$$\delta_v(\emptyset) = k\frac{\phi^n}{B-\phi} + p\emptyset + q \qquad \textit{(Ekv. 9)}$$

Koefficienterna p, q, k, B och n anpassas till kända data i separat procedur.

Fukttransportkoefficientens hysteres

Fukttransportkoefficienter i cementbundna material varierar beroende på om materialet tar upp eller avger fukt. I litteraturen saknas vanligtvis uppgifter om hur fukttransportförmågan varierar mellan absorption och desorption, även om enstaka exempel finns.

I detta beräkningsprogram antags att fukttransportkoefficienten egentligen är beroende av fukthalten, oavsett om absorption eller desorption pågår. För cementbundna material är även detta en förenkling eftersom porstrukturen efter en torkning-uppfuktningscykel inte är densamma som före torkningen. Det innebär också att fukttransportkoefficientens värde blir beroende av hur hårt materialet har torkats innan det återigen börjar fuktas upp.

I brist på bättre approximation antags att fukttransportkoefficienten kan beskrivas som en funktion av fukthalten, oavsett om uppfuktning eller torkning pågår. Sambandet ”översätts” från sambandet enligt ekvation 10, via sorptionsisotermen (enligt ekvation 4) till ett tredjegradspolynom, vilket sedan används både vid torkning och vid uppfuktning.

Säkerhetsfaktorer för fukttransportkoefficienter

Fukttransportkoefficienter påverkar slutresultatet relativt kraftigt, framförallt vad gäller tidpunkt då högsta fukttillstånd uppnås. För att göra det möjligt att på ett enkelt sätt undersöka hur slutresultatet påverkas av smärre fel (osäkerheter) i materiadata används en säkerhetsfaktor i beräkningarna.

11.1.8 Simulerade initiala fuktprofiler

En initialprofil i en platta som torkar ensidigt kan simuleras approximativt med följande ekvation:

$$\emptyset(d) = \emptyset_{uk} + (\emptyset_{yta} - \emptyset_{uk})\frac{(B-1)(1-d)}{B-1+d} \qquad (Ekv.\ 10)$$

där

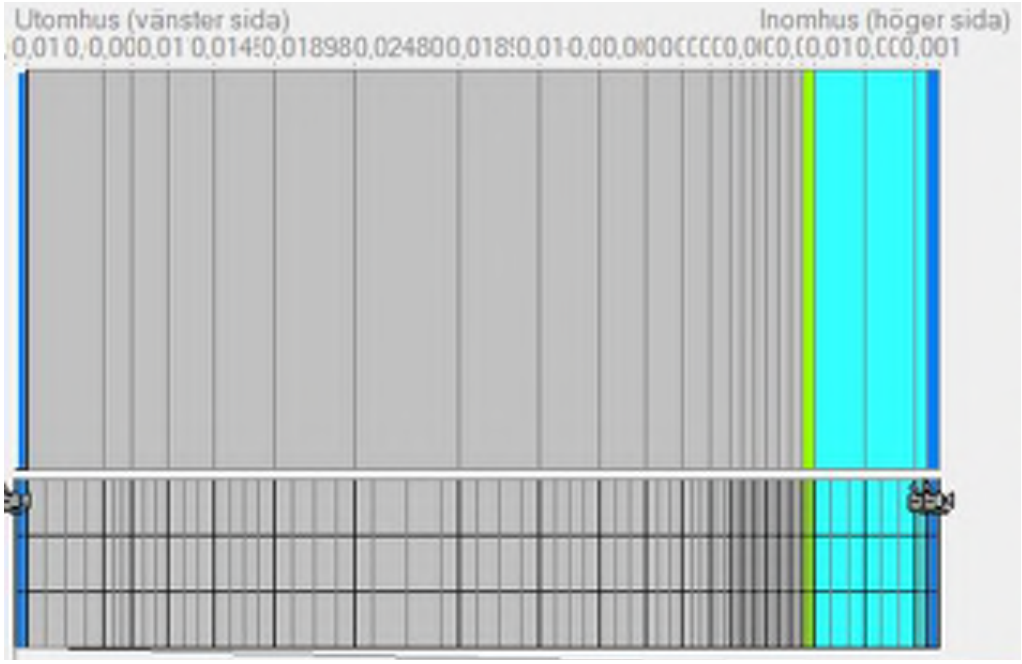
- d är djupet i plattan (räknat från överkant), angivet som andel av totala tjockleken, dvs 0≤d≤1 och d=0 vid överkant
- $Ø_{uk}$ är RF i underkant plattan
- $Ø_{yta}$ är RF vid betongens yta (i praktiken lika med RF i luften ovanför)
- B är en passningsparameter som ger kurvan rätt krökning. Det gäller att $B>1$ (och vanligtvis B<1,1).

Denna simulering ger inte en profil som helt överensstämmer med den profil som uppstår under verklig torkning, utan bara en rimligt krökt kurva som är lämplig för en parameterstudie.

11.2 Representation av konstruktionen i WUFI

Schematisk figur av den numerisk beräkningsmodellen och initial fuktprofil i WUFI. Från höger:

- Golvbeläggning/matta 1 mm (blå)
- Avjämningsmassa 25 mm (turkos). Är uppdelad på tre materialskikt. Det översta, längst till höger i figur, innehåller limfukt.
- Primer 1 mm (grön). Notera att det 1 mm tjocka skiktet för primern mellan betong och avjämning kommer att skapa en geometrisk skillnad i beräkningsmodellerna i REDIST jämfört WUFI
- Betong 180 mm (grå). Uppdelad på totalt 19 olika materialskikt av olika tjocklek. Fördelningen av tjockleken på de olika skikten är skapad i syfte att ge förutsättningar för att skapa en initial fuktprofil så lik den som skapas i REDIST som möjligt.
- Tätskikt 1 mm (blå). Är ett mycket tätt tätskikt som avser den täta kvarsittande formen.



Figur 11.4: Geometrisk indelning av konstruktionen i WUFI.

Nedan listas respektive materialskikt samt dess initiala fuktinnehåll (kg/m^3). Notera att betongen och avjämningsmassan är uppdelad i flera olika skikt för att kunna skapa en krökt fuktprofil eller beakta andra faktorer såsom initial limfukt.

Begynnelsefukthalt i olika skikt

Nr.	Material Skikt	Tjocklek [m]	Vatten innehåll [kg/m³]
1	vapour barrier (sd=2 500 000 m) - upplåst	0,001	0,0
2	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,017955	103,31
3	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,006509	103,14
4	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0085061	103,01
5	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,011116	102,83
6	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,014527	102,56
7	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,018984	102,11
8	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,024808	101,3
9	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,018984	100,03
10	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,014527	98,44
11	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,011116	96,48
12	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0085061	94,09
13	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,006509	91,22
14	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0049808	87,85
15	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0038114	84,0
16	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0029165	79,68
17	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0022318	75,04
18	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0017078	70,069
19	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,0013068	65,22
20	Betong vct 0,5 parameterstudie med Sture	0,001	60,088
21	weather resistive barrier (sd=0,1m) - upplåst	0,001	0,0007
22	AVJ Parameterstudie inkl scanninkurva start 60% från sture	0,012	12,35
23	AVJ Parameterstudie inkl scanninkurva start 60% från sture (Kopiera)	0,012	12,35
24	AVJ Parameterstudie inkl scanninkurva start 60% från sture (Kopiera) (	0,001	112,35
25	vapour retarder (sd=38m) (upplåst) (Kopiera)	0,001	0,0

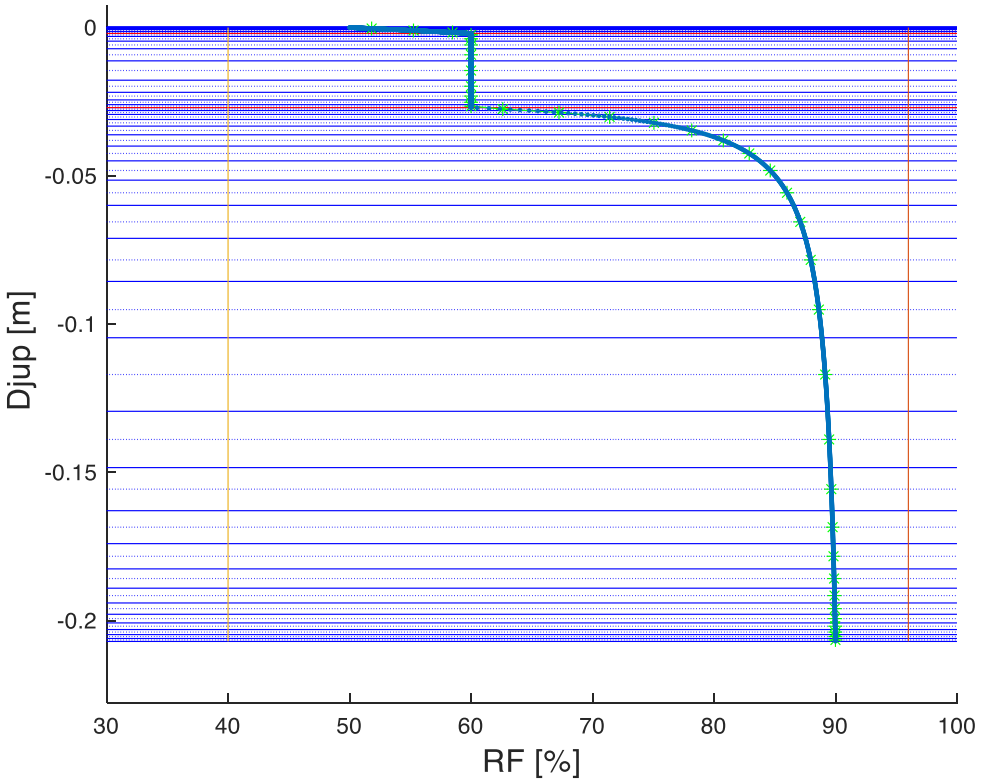
11.3 Representation av konstruktionen i REDIST

Golvbeläggningen kan modelleras som enbart ett transportmotstånd eller, som i denna parameterstudie, som ett material med tjocklek, sorptionsisoterm och transportkoefficient. Transportkoefficienten har här angivits vara fuktberoende men kan även anges som konstant. I denna studie har golvbeläggningen angivits vara 2 mm tjock. Den delas in i tre beräkningsceller med tjocklekarna 0,6667 mm.

Avjämningsmassan och betongen anges som material med sorptionsisoterm och fukthaltsberoende transportkoefficient, samt med scanningisotermer enligt bilaga 11.1, i denna studie med exponenten m=1,25 i ekvation 5 och 7. Avjämningsmassan delas in i celler, där översta och nedersta cellen är 1 mm tjock och tjockleken för cellerna däremellan ökar enligt en geometrisk serie. Vid 25 mm avjämningsmassa används 9 celler i avjämningen. Även betongen delas in i celler med översta och nedersta celltjockleken 1 mm och tjocklekarna däremellan ökande enligt en geometrisk serie. Vid 180 mm betongtjocklek används 25 celler.

Som ingångsdata anges en RF-profil. Ur dessa värden beräknas startfukthalten för respektive beräkningscell ur dess desorptionsisoterm. (I fall där beräkningen skall starta redan strax efter att avjämning påförts kan även förloppet med uppfuktning av betongen inkluderas.)

Vid undersidan anges ett konstant klimat. Genom att ansätta ett kraftigt ytövergångsmotstånd kan beräkningen övergå till att simulera en konstruktion som enbart torkar uppåt.



Figur 11.5: Exempel på geometrisk indelning av konstruktionen i REDIST. Horisontella, blå heldragna linjer visar cellgränser. Horisontella streckade linjer visar respektive cellcentrums position. Cyan-färgade horisontella linjer markerar gränser mellan olika material. Blå kurva visar initial RF-profil beräknad enligt ekvation 10 i bilaga 11.1. Gröna stjärnor markerar initial RF i respektive cell.