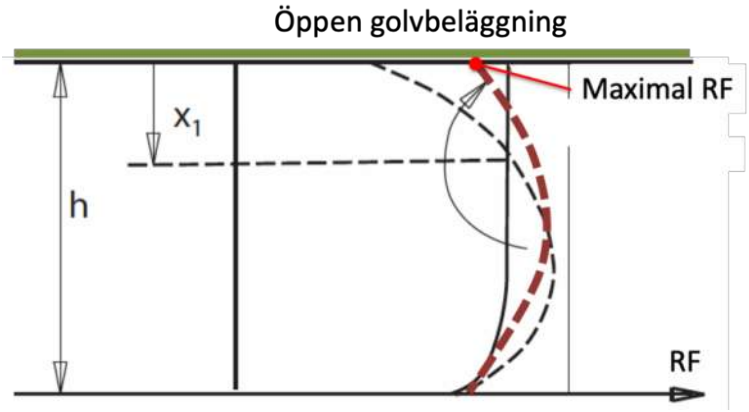
Vägledning för fuktomfördelningsberäkningar i betonggolvkonstruktioner

1. SYFTE 2
1.1 Användning i samband med RBK-mätningar 2
1.2 Användning i samband med fuktsäkerhetsprojektering 3
1.3 Användning i samband med skadeutredning 3
1.4 Begränsningar 3
2 TIDIGA FÖRBEREDELSER – KOMPETENSKRAV 4
2.1 Kompetenskrav 4
3 DEFINIERA OBJEKTET 5
3.1 Bjälklagets geometri 5
3.2 Material & materialkvaliteter 5
3.3 Omgivningsförhållanden och tidplan 6
4 KVANTIFIERA MATERIALEGENSKAPER 7
4.1 Betong 7
4.2 Avjämning 8
4.3 Golvmaterial 8
4.4 Lim 9
4.5 Andra material 9
4.6 HD/F-plattor och plattbärlag 9
5 KVANTIFIERING AV INITIAL FUKTPROFIL FÖRE GOLVLÄGGNING. 10
5.1 Initial fuktprofil baserad på beräkningar 10
5.2 Mätvärden som underlag för en initial fuktprofil 11
5.3 Initialprofil genom kombination av mätta värden och beräknade värden 12
5.4 Initial fuktprofil med mätvärden i en ”trappa” 13
6 FÖRBEREDELSER INFÖR FUKTOMFÖRDELNINGSBERÄKNING 14
6.1 Definition av startpunkter på absorptionsskanningkurvor 14
6.2 Hänsyn till limfukt 16
7 KVANTIFIERA RANDVILLKOR 16
8 FUKTOMFÖRDELNINGSBERÄKNING 17
8.1 Genomförande av fuktomfördelningsberäkningen 17
8.2 Beräkningsverktyget Wufi 17
8.3 Beräkningsverktyget Wufi2D 18
8.4 Beräkningsverktyget KFX 19
8.5 Beräkningsverktyget VaDau 19
8.6 Beräkningsverktyget PPB 19
8.7 Beräkningsverktyget REDIST 20
9 RESULTATREDOVISNING 20
9.1 Jämförelse med Högsta tillåtna fukttillstånd 21
9.2 Jämförelse med kritiskt fukttillstånd 21
10 DOKUMENTATION AV BERÄKNINGARNA 21
REFERENSER 23
BILAGOR 24
Bilaga 1A. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningberäkning med Wufi. 25
Bilaga 1B. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningberäkning med KFX 26
Bilaga 1C. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningberäkning med Vadau 27

1. Syfte

En fuktomfördelningsberäkning utgår från en fuktfördelning i en betonggolvkonstruktion vid tidpunkten för applicering av en golvbeläggning. Den syftar till att kvantifiera de framtida fukttillstånd som kommer att uppstå under golvbeläggningen och då ta hänsyn till fler relevanta faktorer än vad som görs inom ramen för RBK-systemet. Som regel ska den beräknade, maximala fuktbelastningen på golvbeläggningens undersida jämföras med ett ”högsta tillåtna fukttillstånd” för denna beläggning.



Figur 1. Principiell fuktomfördelning.

- *Tunn, streckad kurva visar initial fuktprofil, då fuktomfördelningen börjar, dvs då golvbeläggning appliceras.*
- *Heldragen kurva visar det traditionella sättet att hantera fuktomfördelning, genom att anta att maximal fuktpåfrestning på golvbeläggningens undersida kommer att bli densamma som på det ”ekvivalenta djupet”, mätdjupet x_1.*
- *Röd, tjock, streckad kurva visar fuktprofilen då man under omfördelningen når maximal RF under golvbeläggningen om man tar hänsyn till att golvbeläggningen inte är helt tät, inverkan av limfukt, andra fuktbuffrande materialskikt, samt ingående materials fuktegenskaper.*

1.1 Användning i samband med RBK-mätningar

Fuktomfördelningsberäkningen används ofta för att kontrollera om den existerande, eller förväntade, fuktfördelningen vid tidpunkten för golvläggning kan godkännas som en tillräcklig grad av uttorkning, dvs att det högsta tillåtna fukttillståndet för beläggningen inte kommer att överskridas någon gång efter det att golvbeläggningen applicerats.

Ett vanligt exempel är att RBK-mätning har gjorts på RBKs ekvivalenta mätdjup men mätvärdet på detta djup uppfyller inte de torkkrav som ställts.

RBK-systemet ger möjlighet att använda en fuktomfördelningsberäkning som ett alternativ till RBKs ekvivalenta mätdjup: ”*Förutsatt att tillräcklig kunskap, lämpligt beräkningsverktyg och aktuella indata finns tillgängligt kan en beräkning av fuktomfördelningen efter applicering av ytskikt utföras. Problemet kan angripas på två sätt. Antingen utförs beräkningen för att bestämma vilken RF som kan tillåtas i de två mätpunkterna ovan utan att kritisk RF överstigs efter omfördelning. Det andra är att räkna på alternativa mätdjup dvs*

på vilka två djup mätning måste utföras med resultatet 85% utan att kritisk RF kommer att överskridas efter fuktomfördelning", RBK (2019-01-16), flik 2, sid 10(30).

RBKs alternativ behöver naturligtvis inte begränsas till två mätpunkter. RBK avser egentligen att uppmätta värden i två (eller flera) punkter kan användas som en initial fuktprofil för en fuktomfördelningsberäkning för att avgöra om en "kritisk" RF överskrids. RBK menar då om den överskrids under golvbeläggningen, inte om den överskrids på de olika mätdjupen.

Med uttrycket "kritisk" RF måste RBK avse det Högsta tillåtna fukttillståndet RF_{OK} enligt BBR eftersom siffran 85 % RF nämns. Se vidare avsnitt 9.1.

RBK anger två alternativa användningsområden för omfördelningsberäkningar. Det ena är att mätningar har gjorts på två (eller flera) mätdjup varvid mätresultaten kan användas för att, med hjälp av en fuktomfördelningsberäkning, värdera om det högsta tillåtna fukttillståndet kommer att överskridas (under golvbeläggningen).

RBKs andra föreslagna användningsområde är att, innan RBK-mätning gjorts, t ex under projekteringen, pröva vilka mätdjup som är eller kommer att vara lämpliga att använda. En sådan prövning görs med hjälp av fuktomfördelningsberäkningar.

1.2 Användning i samband med fuktsäkerhetsprojektering

Utöver att fastställa lämpliga mätdjup används fuktomfördelningsberäkningar i samband med fuktsäkerhetsprojektering för att pröva om vald konstruktionsutformning och valda material är lämpliga med den tidplan som förväntas användas.

En fuktomfördelningsberäkning möjliggör att man prövar effekten av alternativa materialkvaliteter hos t ex betong och golvbeläggning.

En fuktomfördelningsberäkning möjliggör också att man identifierar vilka mätdjup som är lämpliga att använda och vilka mätvärden som ska anges som acceptabla.

1.3 Användning i samband med skadeutredning

Fuktomfördelningsberäkningar görs ibland också i samband med skadeutredningar för att förklara hur en uppmätt fuktprofil har uppkommit. Här används fuktomfördelnings-beräkningar för att "räkna baklänges", dvs för att bedöma hur fuktigt det var vid en viss tidpunkt om fuktprofilen nu, vid uppmätning, har erhållits efter att fuktomfördelning skett.

Tillvägagångssättet är då att pröva olika alternativa fuktprofiler och med en sådan som initial fuktprofil genomföra en fuktomfördelningsberäkning. Om den beräknade fuktprofilen inte stämmer med den uppmätta görs en ny fuktomfördelningsberäkning, med en annan initial fuktprofil, andra randvillkor eller andra materialegenskaper. Se också avsnitt 9.2.

1.4 Begränsningar

Vägledningen behandlar bara golvkonstruktioner som inte har temperaturgradienter över eller i betongplattan, t ex golv med golvvärme. Sådana konstruktioner kräver speciella beräkningsverktyg och materialdata anpassade för dessa. Sådana data saknas idag.

2 Tidiga förberedelser – kompetenskrav

En fuktomfördelningsberäkning bör förberedas så tidigt som möjligt för att säkerställa att så mycket som möjligt av den information som behövs finns tillgänglig vid själva beräkningstillfället. Detta gäller framför allt information om vilka material som ingår i bjälklagskonstruktionen och golvbeläggningen och vilka fuktegenskaper dessa har. Saknas någon av dessa egenskaper krävs det som regel tidsödande provningar som måste startas så snart det står klart att nödvändiga data saknas. Notera att materialdata är specifika för varje enskild produkt och att materialdata för en produkt inte kan ersättas av data för en annan även om den bedöms som "likvärdig" i andra avseenden.

- Ställ krav vid upphandling av fuktomfördelningsberäkning att nödvändiga materialdata finns tillgängliga.

- Vägledande provningsresultat kan erhållas, för en del material, även tidigt i en provning. Kräv att en sådan provning påbörjas så snart som möjligt om data saknas för något material.

- Fukttransportegenskaper för en ny betong och en betong i tidig ålder (från 2-3 månader) kan bestämmas med hjälp av Burkmetoden, Nilsson & Bergström (2020). Kräv att sådana mätningar görs så snart betongsammansättningen bestämts, om sådana data saknas.

2.1 Kompetenskrav

Fuktomfördelningsberäkningar ska bara utföras av den som har erforderlig kompetens. Det krävs dels en god förståelse för hur fukt beter sig i material och konstruktioner och dels en god förtrogenhet med det beräkningsverktyg som ska användas.

Det första kravet kan anses uppfyllt av den som godkänts som ”Diplomerad Fuktsakkunnig” av FuktCentrum eller som ”Byggdoktor” av föreningen Byggdoktorerna i Sverige.

Det andra kravet kan anses vara uppfyllt genom lämplig utbildning i användning av aktuella beräkningsverktyg samt dokumenterad användning av verktygen i fuktomfördelnings-beräkningar under handledning.

En fuktomfördelningsberäkning ska granskas av en Granskare som uppfyller kompetenskravet enligt ovan. Vid granskningen ska särskilt säkerställas att använda indata är korrekta.

3 Definiera objektet

Utifrån den aktuella byggnaden väljs objektet för en fuktomfördelningsberäkning i form av ett tvärsnitt genom ett bjälklag i en representativ punkt. I den aktuella byggnaden kan det naturligtvis finnas flera sådana representativa punkter. Samtliga dimensionerande punkter ska identifieras, specificeras, motiveras och utredas med positivt utfall innan golvbeläggning får appliceras.

Denna vägledning gäller en sådan punkt och omfattar inte val av punkter i en byggnad.

Objektet definieras genom att kvantifiera följande punkter.

3.1 Bjälklagets geometri

Ange exakt ingående material och deras tjocklekar. För fuktomfördelningsberäkningar i produktionsskedet ska materialskiktens tjocklekar verifieras i samband med fuktmätningar.

Bedöm om fukttransport genom dessa material kommer att bli endimensionell eller flerdimensionell, t ex varierande tjocklek hos något material, HD/F-plattor, fogigjutningar, voter, ingjutningsgods, ingjutna stålbalkar, kvarsittande form av TRP-plåt, anslutande konstruktioner etc.

Om en förenkling av geometrin görs skall det finnas en motivering till varför denna anses utgöra ett antagande på säkra sidan.

3.2 Material & materialkvaliteter

Ange materialkvalitet eller materialsammansättning noggrant för samtliga ingående material, så långt de är kända.

För platsgjuten betong och prefabricerade betongelement redovisas betongsammansättningen i form av bindemedelstyp (”cement”), bindemedlets sammansättning (eventuella andelar av tillsatsmaterial, SCM[1]), bindemedelshalt B eller C (kg/m^3) i betongen, lufthalt (volym-%) och betongens vattenbindemedelstal vbt (kvoten mellan blandningsvattenhalten w_0 och bindemedelsmängden B, båda i kg/m^3 eller kg/sats).

Denna information behövs inte om betongens fuktegenskaper är kända men man bör ange dem för att visa att angivna fuktegenskaper är rimliga. Däremot behövs denna information om man själv ska modellera fram fuktegenskaperna.

Alla dessa detaljer i betongsammansättningen är ofta inte definierade i projekteringsskedet. Redovisa då vilken betongsammansättning de använda fuktegenskaperna gäller för. På så sätt kan eventuellt behov av reviderade beräkningar i produktionsskedet identifieras, då slutlig betongsammansättning är känd.

[1] SCM = Supplementary Cementitious Materials, dvs reaktiva tillsatsmaterial som t ex flygaska, kiselstoft och GGBS (Ground Granulated Blastfurnace Slag, dvs mald granulerad masugnsslagg, från stålindustrin)

För träbaserade material redovisas ingående träslag, tjockleken (m) hos eventuellt olika skikt och densiteten (kg/m^3) hos dessa.

För tunna golvbeläggningar redovisas tjockleken.

3.3 Omgivningsförhållanden och tidplan

Klimatförhållandena kring det aktuella bjälklaget under byggtiden och tidplanen för viktiga moment kvantifieras så bra som möjligt, speciellt med avseende på

- tidpunkt för montage av eventuella betongbjälklagselement (HD/F, plattbärlag etc),
- tidpunkt för gjutning och härdningsbetingelser (eventuell täckning, värmning, värmeslingor etc.),
- tidpunkt för ”tät byggnad”, dvs då det inte längre kan regna in eller läcka in regnvatten via fönsteröppningar, hisschakt el dyl.,
- tidpunkt för ”lufttät byggnad”, dvs då det är möjligt att värma byggnaden,
- tidpunkt för avjämning,
- tidpunkt för eventuell värmning/ventilation och avfuktning,
- eventuella klimatdata under byggtiden, fram till golvläggning.

Ovanstående uppgifter redovisas även om fuktomfördelningsberäkningen helt baseras på mätvärden.

Vid projektering uppskattas dessa uppgifter med hjälp av tidplanen för entreprenaden.

Klimatförhållanden efter golvläggning kvantifieras med avseende på luftens (förväntade) temperatur och relativa fuktighet (RF) på ömse sidor av bjälklaget.

Observera att fall med temperaturgradienter över betongen i bjälklaget eller fall med golvvärme kräver särskilda beräkningsverktyg och att sådana fall inte kan beräknas med t ex Wufi eller KFX utan särskilda specialinsatser, se Slutrapport, avsnitt 6.4.

Vid betongplatta på mark kan randvillkoret nedåt anges med utgångspunkt från lufttemperaturen ovanför betongplattan före respektive efter golvläggning, årsmedeltemperaturen, byggnadens storlek och form samt markförhållandena, se Slutrapport avsnitt 4. Alternativt kan randvillkoren kvantifieras med hjälp av 4D-beräkningar med t ex beräkningsverktygen HEAT, GMVP eller Comsol (”4D” = 3D + tid).

4 Kvantifiera materialegenskaper

För fuktberäkningar krävs i första hand två fuktegenskaper hos alla ingående material: sorptionskurvor och fukttransportkoefficienter. Egenskaperna måste gälla för de material som är aktuella, inte bara för ”liknande” material eller material i samma materialgrupp.

Fukttransportegenskaperna måste vara kvantifierade i rätt RF-intervall, dvs i det RF-intervall som uppkommer under omfördelningsförloppet, eller i ett intervall som ger värden på säkra sidan.

- Kräv provningsprotokoll, för exakt det aktuella materialet, och kontrollera under vilka förhållanden (RF-intervall och temperatur) materialet är provat. För golvbeläggningar gäller att det högsta uppmätta provningsresultatet för täthet ska användas. Medelvärden ska inte användas.

Är provningsresultat för fukttransportkoefficienter och fukttransportmotstånd från ett annat RF-intervall än det aktuella i beräkningarna kan egenskaperna uppskattas genom att räknas om med metod enligt nedan och enligt Slutrapport, kapitel 4.

Var noggrann vid översättning av en fukttransportegenskap från en dimension till en annan. Observera att diffusiviteten D och fukttransportkoefficienten δ, vid ånghalt som transportpotential, båda har dimensionen m^2/s, men är helt olika storheter!
Ange referenser till var och en av nedanstående uppgifter!

4.1 Betong

Nödvändiga materialegenskaper, beroende på använt beräkningsverktyg och beräkningsmetodik: Desorptionsisoterm, (absorptions-)skanningkurvor, fukttransportkoefficient[2] δ(RF) (eller μ(RF)), självuttorkning $RF_{själv}(t)$/kemiskt bundet vatten $w_n(t)$.

Dessa egenskaper kan som regel uppskattas relativt väl för välhärdad betong med utgångspunkt från litteraturdata och betongsammansättningen: cementhalt (kg/m^3), vbt, typ av bindemedel, lufthalt.

De (absorptions-)skanningkurvor som behövs i beräkningen kan t ex uppskattas med hjälp av verktyget SimScan, se Lindmark (2020) med utgångspunkt från desorptions- och absorptionsisotermen och någon/några kända skanningkurvor.

Observera att dessa uppgifter ska vara representativa för den ålder betongen kommer att ha under omfördelningsförloppet; för beräkningar av uttorkning under byggtiden behövs data för ännu yngre ålder än så. Det mesta av litteraturuppgifterna om dessa egenskaper gäller för ”välhärdad” betong, ofta ett år gammal eller mer. En del uppgifter är visserligen för så gammal betong men denna har ofta blivit självuttorkad under det mesta av tiden vilket

[2] Fukttransportkoefficienten är sannolikt något olika vid desorption och skanning, men data för detta saknas i stor utsträckning.

innebär att den kan ha en lägre hydratationsgrad än vad enbart åldern i sig själv kan ge anledning att tro.

Fukttransportegenskaper för en ny betong och betong i tidig ålder (från 2–3 månader) kan bedömas med hjälp av Burkmetoden, Nilsson & Bergström (2020).

Fukttransportegenskaperna hos betong i tidig ålder kan uppskattas, om de är kända hos välhärdad betong, med metoden i avsnitt 17.6:4 i Betonghandboken del 2, Nilsson (2021). Det innebär att man först kvantifierar betongens ekvivalenta ålder på olika djup med hänsyn till fukt- och temperaturhistoriken på respektive djup. Därefter beräknas fukttransportegenskaperna på respektive djup för respektive ekvivalent ålder.

Dessa beräkningar av fukttransportegenskaper hos betong vid tidpunkten för golvläggning är särskilt viktiga om betongens toppskikt inte fått ordentlig härdning under den första månaden. Toppskiktet kan då ha fått en betydligt mindre täthet mot fukttransport än betongen på större djup. Inför en fuktomfördelningsberäkning måste därför härdningsförhållandena under den första månaden efter gjutning vara känd.

4.2 Avjämning

Nödvändiga materialegenskaper, beroende på använt beräkningsverktyg och beräkningsmetodik: Desorptionsisoterm, skanningkurvor, fukttransportkoefficient δ(RF) (eller μ(RF)).

De (absorptions-)skanningkurvor som behövs i beräkningen kan uppskattas med hjälp av verktyget SimScan om desorptions-, absorptions- och någon skanningkurva är känd för den aktuella produkten.

Många avjämningsprodukter utvecklas inte mycket efter några dagar, dvs mätdata bör vara representativa oberoende av ålder.

Anderberg (2004) innehåller sorptionskurvor, skanningkurvor och fukttransportkoefficienter för några av Webers äldre avjämningsmassor. Dessa data har länge varit de enda tillgängliga för avjämningar, men de kan inte användas för andra avjämningar än för de som de bestämts för!

- Kräv att materialleverantören tillhandahåller aktuella materialdata!

Om data saknas för den aktuella avjämningen kan en beräkning göras på säkra sidan genom att utelämna avjämningen från beräkningen, MEN då krävs att avjämningen ska ha en viss minsta tjocklek och vara tillräckligt uttorkad för att limfukten ska ”rymmas”.

4.3 Golvmaterial

För tunna material, som plast-, linoleum-, gummi-, textilmattor, tunna skikt el dyl. krävs fukttransportmotståndet Z eller S_d-värdet, i rätt RF-intervall.

För tjockare, hygroskopiska material, som t ex trägolv, krävs (absorptions-)skanningkurvor från rumsklimat, fukttransportmotstånd Z(RF) eller fukttransportkoefficient δ(RF) (eller μ(RF)).

Observera vilket RF-intervall data är bestämd i.

Fukttransportmotståndet, Z-värdet, ska vara giltigt för intervallet från omgivande klimat till tillåten fuktbelastning för det specifika ytskiktet och underliggande infästningsmaterial. För t.ex. limmade plastmattor gäller att ett konstant Z-värde bör användas. Detta Z-värde bör vara uppmätt i intervallet 33-85 % RF, eftersom fuktkravet oftast anges som ett ”Högsta tillåtet fukttillstånd” på 85 % RF på golvmaterialets undersida. Det använda Z-värdet ska utgöras av det högsta uppmätta Z-värdet i en provserie om minst 5 prover enligt SS-EN-ISO 12572:2016. Resultatet från uppmätta Z-värden i provserien ska rimlighetsbedömmas.

Fuktberoende Z-värde får endast användas om detta är känt för den specifika mattan.

Om tillförlitliga data för fukttransportmotståndet Z hos den aktuella plastmattan helt saknas används ett så högt Z-värde att mattan kan betraktas som ”helt tät”, t ex Z > 20 Ms/m.

Om data bara finns i RF-intervallet (50,94), enligt EN-SS-ISO 12572:2016, räknas Z om till intervallet (33,85), så länge inte bättre data finns tillgängliga, genom att multiplicera med en faktor 3, Tannfors (2021):

$$Z_{(33,85)} = 3 \cdot Z_{(50,94)}$$

4.4 Lim

För vattenbaserade lim kan mängden limfukt (kg/m^2) uppskattas från uppgifter om mängden torrsubstans hos limmet. Om data saknas används lämpligen 100 g/m^2. Limfukten påverkar fuktförhållanden under den första tiden efter golvläggning men har marginell betydelse under en längre fuktomfördelning.

4.5 Andra material

För eventuella andra material anges egenskaperna på samma sätt som för golvmaterial, t ex tunna skikt som primers, ”fuktspärrar”, etc., respektive ”tjocka skikt” som t ex värmeisoleringsmaterial.

4.6 HD/F-plattor och plattbärlag

HD/F-plattor, och fogar till sådana plattor, bör beräknas som tvådimensionella. Detta kan göras med t ex Wufi-2D eller Vadau, men det måste säkerställas att konvergenskriterierna är tillräckliga, se avsnitt 8.3.

Om detta inte är möjligt kan en förenklad beräkning göras genom att ”översätta” det tvådimensionella tvärsnittet till en ”ekvivalent” massiv betongplatta med tjockleken L_{ekv} (m) = betongarean (m^2) i tvärsnittet per breddmeter. Metoden bör användas med försiktighet eftersom den kan ge resultat på osäkra sidan.

Gjutfogar bör beräknas tvådimensionellt. Om de istället beräknas endimensionellt måste särskilda omgivningsvillkor gälla i omkringliggande plattor; de måste vara torrare än fogbetongen på alla djup. Beräkningen blir då väldigt mycket på säkra sidan.

Fukttransportegenskaperna hos betongen i en HD/F-platta, och i plattbärlag, ges inte nödvändigtvis av betongsammansättningen på samma entydiga sätt som för en platsgjuten betongplatta på grund av att kompakteringen kan vara annorlunda i elementproduktionen. Mätdata saknas till stor del för HD/F-plattor och plattbärlag. En mindre studie med jämförelser mellan beräkningar och RF-mätningar efter uttorkning indikerade fukttransportkoefficienter många gånger större än förväntat, Nilsson (2021).

- Kräv att materialleverantörerna tillhandahåller tillförlitliga data, så tidigt som möjligt! Utnyttja uppdragsgivaren/entreprenören/byggherren för att få tillgång till sådana data.

5 Kvantifiering av initial fuktprofil före golvläggning.

Den initiala fuktprofilen kan kvantifieras på olika sätt. De två vanligaste är att göra uttorkningsberäkningar som anpassas till mätvärden respektive att använda mätvärden som direkt underlag för en initial fuktprofil i form av en ”trappa” (se vidare under 5.4).

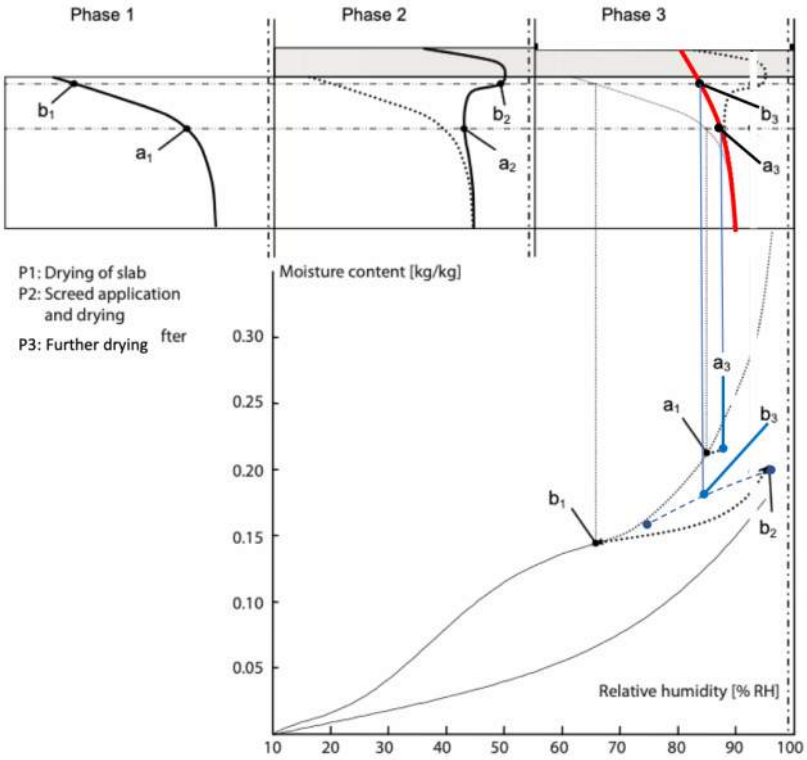
Mätvärden används med adderad mätosäkerhet. Om flera mätvärden och/eller mätvärden från flera mätdjup är tillgängliga bör osäkerheten hos den initiala fuktprofilen kunna minskas. Exakt hur detta görs har ännu inte kvantifierats.

5.1 Initial fuktprofil baserad på beräkningar

Beräkning av initial fuktprofil, dvs den fuktprofil som råder då golvet skall läggas, kan naturligtvis göras med samma beräkningsverktyg som senare ska användas för omfördelningsberäkningen, se nedan. Uttorkningsberäkningen syftar inte till att beskriva uttorkningsförloppet in i minsta detalj, utan till att få fram en sannolik fuktprofil vid tidpunkten för applicering av golvmaterialet med beaktande av uttorkningsförhållandena under tiden dessförinnan. Den syftar också till att kvantifiera fukthistoriken på olika djup som underlag för val av skanningkurvor då fuktomfördelningsberäkningen ska startas.

Eftersom det är fråga om beräkning av uttorkning av betongkonstruktioner kan med fördel också andra verktyg användas, t ex TorkaS, BI-Dry och PPB. Dessa tar hänsyn till sådant som är speciellt för uttorkning av betong, som normalt inte ingår i andra beräkningsverktyg, framförallt pågående hydratation, självuttorkning och den utveckling av sorptionskurvor och fukttransportegenskaper som följer av dessa processer. Dessa parametrar måste beaktas på något förenklat sätt om mer traditionella fuktberäkningsverktyg används för uttorkningsberäkningen. Men dessa beräkningsverktyg (TorkaS och BI-Dry) tar inte hänsyn till avjämningen, dvs den uppfuktning av betongens toppskikt som avjämningen ger upphov till och effekten på den efterföljande uttorkningen av att det ligger ett skikt av avjämningsmassa på betongen.

Uppfuktningen av betongens toppskikt efter avjämning medför att detta skikt, efter att ha torkat, först kommer att uppfuktas och sedan att torka ytterligare en gång. Denna komplicerade fukthistoria exemplifieras i nedanstående figur 3.Detta komplicerar valet av skanningkurvor då fuktomfördelningsberäkningen börjar, se nedan.



Figur 3. Fukthistorien hos två djup i betongens toppskikt efter viss uttorkning (steg 1), efter avjämning, uppfuktning och viss uttorkning (steg 2) samt ytterligare uttorkning av den avjämnade betongen fram till golvläggning. Initial fuktprofil markerad med röd kurva. Figuren baseras på en figur i Åhs (2011)

Används mer traditionella beräkningsverktyg kan självuttorkningen beräknas först. Detta kan göras från mätningar på den aktuella betongen eller en snarlik betong. Ett annat sätt är att kvantifiera mängden kemiskt bundet vatten w_n och därmed fukthalten $w_e = w_0 - w_n$ efter självuttorkning. Denna fukthalt, eller den RF som kan erhållas ur desorptionsisotermen, används sedan som initialvillkor för uttorkningsberäkningen.

5.2 Mätvärden som underlag för en initial fuktprofil

Om en fuktprofil (RF-profil) har mätts ska naturligtvis denna användas som utgångspunkt för kvantifieringen av den initiala fuktprofilen Det är då viktigt att absolutvärdena hos uppmätta RF är så tillförlitliga som möjligt, t ex genom att använda RBK-metoden och GBR-metoden (för avjämningen).

Om mätningar redan gjorts väljs naturligtvis de djup som då använts. Komplettera med mätning på fler djup om de avviker mycket från vad som rekommenderas nedan.

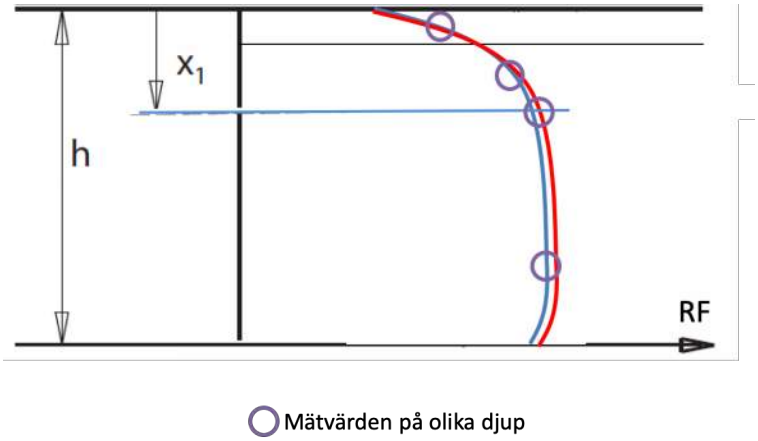
Input till kvantifiering av den initiala fuktprofilen bestäms genom mätning av RF på följande djup:

- Avjämningens hela tjocklek, alternativt om avjämningens tjocklek medger det, bör två eller flera prov tas från olika skikt i avjämningen. Vid tjockare pågjutningar över 50 mm tas minst två prov i denna. Mätförfarande enligt GBRs metod.
- Minst tre djup i betongen, förslagsvis 20, 40 och 75 % av tjockleken. Mätförfarande enligt RBK-metoden. Mätdjup vid en RBK-mätning är begränsade: minst 35 mm.
- Ett av dessa djup väljs så att självuttorkningen kan kvantifieras, dvs nära botten i en enkelsidigt torkande platta och nära mitten vid dubbelsidig uttorkning.
- Vid pågjutningar på HD/F-bjälklag[3] eller motsvarande tas ytterligare minst ett prov i HD/F-elementen, på mätdjup enligt RBK.

Mätvärdena används inklusive mätosäkerheten för framtagning av den initiala fuktprofilen. På så vis baseras den initiala fuktprofilen på de fukttillstånd som det kan vara i konstruktionen. Om det finns flera mätvärden, eller mätvärden på flera djup, blir osäkerheten hos en fuktprofil mindre än om det bara finns ett enstaka mätvärde. Mätvärden med en mindre osäkerhet skulle då kunna användas. Hur denna osäkerhet ska kvantifieras har dock inte utretts för närvarande.

5.3 Initialprofil genom kombination av mätta värden och beräknade värden

Beräknade fuktprofiler efter uttorkningsberäkningar jämförs sedan med mätvärdena på olika djup och den som ligger närmast mätpunkterna väljs som initial fuktprofil. Alternativt kan en fuktprofil ”på säkra sidan” väljas som en fuktprofil som har högre RF än mätvärdena på alla djup.



Figur 4. Jämförelse mellan två beräknade fuktprofiler och mätvärden på fyra djup, varav ett är hela avjämningen.

I exemplet i figur 4 överensstämmer mätvärdena på djup x_1 och i avjämningen med den röda, beräknade fuktprofilen, medan mätvärdena på de övriga två djupen ligger tydligt lägre än denna. Båda de beräknande fuktprofilerna ligger nära mätvärdena på alla djup. Om man beaktar alla mätvärdena, stämmer den blå, beräknade fuktprofilen bättre än den röda.

- Välj den blå för att efterlikna verkligheten så bra som möjligt!
- Välj den röda för att vara något på säkra sidan!

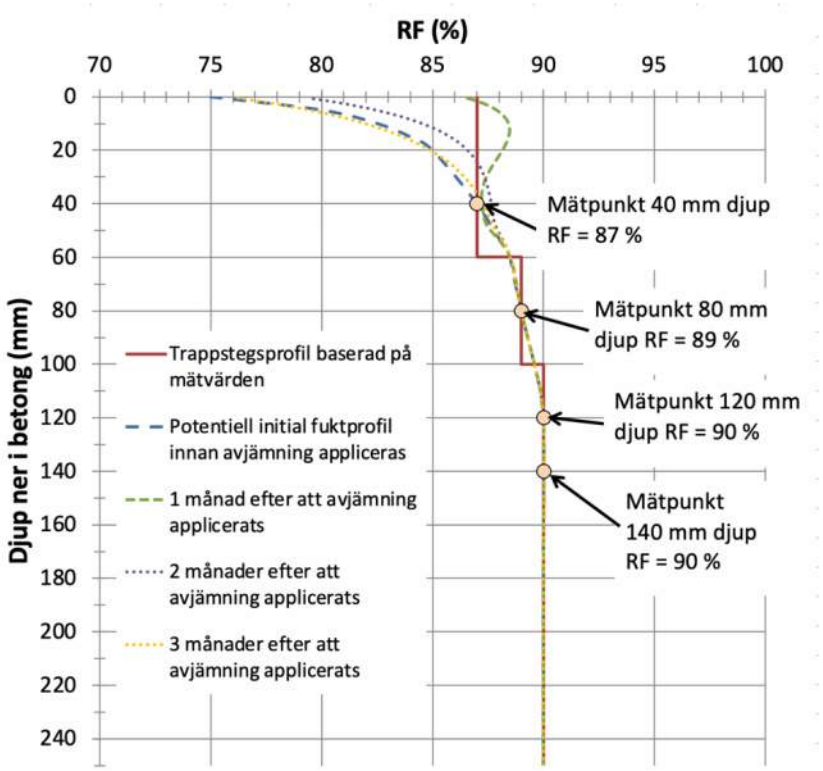
[3] Fuktomfördelningsberäkningen förutsätter att det inte nyligen stått vatten i hålen i håldäcksplattor. Detta kan kontrolleras genom RF-mätningar underifrån i borrhål in i hålen.

Om det är stor skillnad mellan formen hos de beräknade fuktprofilerna och mätpunkterna på olika djup bör skillnaden förklaras, åtminstone om skillnaden är större än mätosäkerheten. Den kan bero på att använda materialegenskaper hos betong och avjämning inte stämmer. Den kan också bero på att antagna randvillkor eller antagna initialvillkor avviker från de verkliga. Skillnaden förklaras lämpligen genom förnyade uttorkningsberäkningar med ändrade förutsättningar.

När en trovärdig förklaring erhållits väljs den slutliga fuktprofilen som initial fuktprofil.

5.4 Initial fuktprofil med mätvärden i en ”trappa”

I beräkningsverktygen anges initialprofilen med ett värde i varje beräkningscell. I vissa beräkningsverktyg kan dock cellindelningen göra att detta medför ett mycket omfattande, och onödigt omfattande, inmatningsarbete. Ett alternativt, enkelt sätt att ange en initial fuktprofil är att anpassa ”trappsteg”/materialskikt till uppmätta RF på olika djup och ansätta samma RF i hela materialskiktet, se exemplen i figur 5. Detta innebär att man använder en betydligt grövre indelning av initialprofilen. Beräkningar har visat att detta kan göras utan stora förluster i precision i beräkningsresultatet (se delrapport Parameterstudie).



Figur 5. Exempel på en initial fuktprofil i en betong under en avjämning i form av en ”trappa”, helt baserad på mätvärden på olika djup där fukthalten/RF är konstant i respektive materialskikt/”trappsteg”. Observera att respektive materialskikt måste väljas så att respektive mätpunkt hamnar i eller under skiktets centrum. Kurvorna indikerar den tidigare fukthistorien.

Observera att om den initiala fuktprofilen konstrueras som en ”trappa”, dvs en serie materialskikt, utifrån mätvärden på flera djup måste dessa skikt väljas så att mätpunkterna hamnar i eller under mitten av respektive materialskikt.

En ”trappa” som initial fuktprofil medför en beräkning på ”säkra sidan”, dvs den överskattar fuktnivån under golvbeläggningen. Det är enkelt att konstruera den initiala fuktprofilen men det är svårt att välja skanningkurvor vid fuktomfördelningsberäkningen eftersom fukthistorien på olika djup inte är känd. Detta medför också att det saknas underlag för att uppskatta fukttransportkoefficienterna för betongen på olika djup.

Det översta trappsteget i betongen blir som regel stort på grund av svårigheten att mäta på litet djup i betongen. Om detta trappsteg behöver förfinas används metoden med beräkning enligt 5.1. Alternativt kan en förenklad beräkning göras av uttorkning efter avjämning med följande initiala förutsättningar:

a. Konstant RF på alla djup i betongen motsvarande självuttorkning, med ledning av uppmätt RF på stort djup, i ensidigt torkande platta eller i plattans mitt i dubbelsidigt torkande bjälklag.
b. RF = 100 % i hela avjämningen.
c. Randvillkor i bjälklagets över- och undersida från klimatdata före golvläggning.
d. Beräkningen fortsätter tills den beräknade RF-profilen överensstämmer med det översta mätvärdet i betongen.

6 Förberedelser inför fuktomfördelningsberäkning

Innan fuktomfördelningsberäkningen startas ska två moment genomföras:

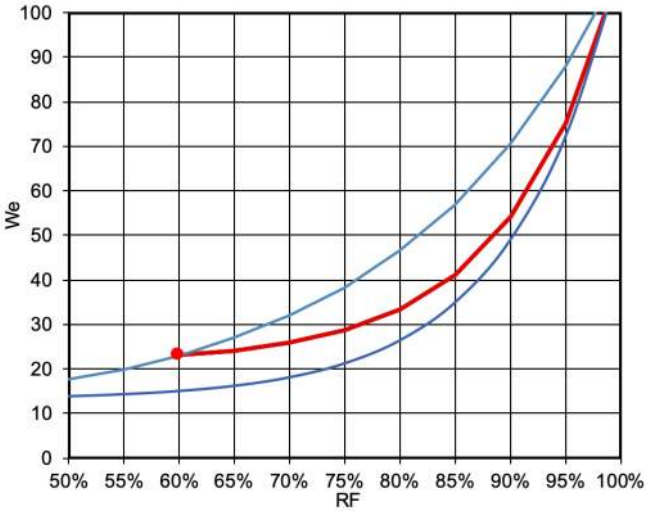
a. Identifiering av på vilka djup, och när, uppfuktning kommer att ske
b. Beräkning av absorptionsscanningisotermer för dessa djup.

Detta gäller för beräkningsverktygen Wufi, KFX och liknande. I beräkningsverktyget REDIST, och likvärdiga, behöver man inte göra någon beräkning av skanningisotermer eller bestämning av på vilka djup uppfuktning kommer att ske. Detta hanteras med automatik för varje cell och för varje tidpunkt.

6.1 Definition av startpunkter på absorptionsskanningkurvor

Under fuktomfördelningen kommer skikten närmast under golvbeläggningen att uppfuktas. Ett bra sätt att avgöra hur djupt denna uppfuktning kommer att ske är att genomföra en kortvarig fuktomfördelningsberäkning med desorptionsisotermer för alla djup och ur resultaten se på vilka djup uppfuktning ägde rum.

För dessa djup ska nu absorptionsskanningkurvor konstrueras för respektive material, med utgångspunkt från fukthalten w_e och RF samt fukthistorien på respektive djup. Uppmätta desorptionsisotermer, absorptionsisotermer och skanningkurvor används som vägledning.



Figur 6. Exempel på en absorptionsskanningkurva utgående från punkten (RF=60%, w_e=23 kg/m^3) på desorptionsisotermen. Den ansluter till absorptionsisotermen vid RF > 95 %.

För övriga djup används desorptionsisotermer.

Strängt taget ska en absorptionsskanningkurva anges för varje djup i konstruktionen, dvs en kurva för varje beräkningscell. Förfarandet kan dock förenklas genom att man beaktar vilka fukthaltsgradienter som råder: Vid stora fukthaltsskillnader inom ett och samma material bör flera skanningkurvor användas, men i materialskikt med nästan samma fukthalt tvärs igenom kan det räcka att ange bara en enda skanningkurva.

Vid val av skanningkurva i betongens toppskikt ska fukthistoriken beaktas särskilt. De olika djupen i denna del av betongen ligger oftast på desorptionsskanningkurvor, se figur 3. Respektive absorptionsskanningkurva måste konstrueras så att den startar vid den RF man hade på
respektive djup då betongen där uppfuktades av avjämningen, och sedan torkade, så att den går genom punkten med fukthalten och RF i den initiala fuktprofilen, på respektive djup.

Efter avslutad fuktomfördelningsberäkning kontrolleras om den beräknade fukthistorien verkligen följt den förväntade, dvs att uppfuktningen skedde och fortsatte ske på de djup där absorptionsskanningkurvor användes i beräkningen. Om inte, görs beräkningen om, med nya absorptionsskanningkurvor.

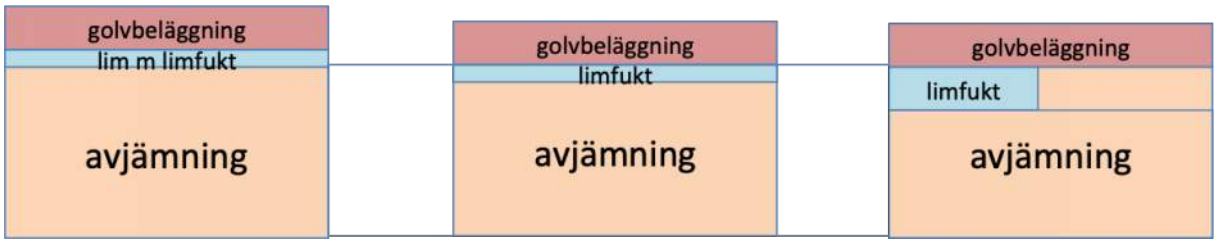
Eventuellt måste absorptionsskanningkurvor ersättas med desorptionsskanningkurvor i slutet av fuktomfördelningsberäkningen, på vissa djup, efter att en efterkontroll visat att uppfuktning följts av sänkning av fuktnivån. Men det är på säkra sidan att bara använda absorptionsskanningkurvor.

Ett verktyg, SimScan, har utvecklats som ger en fiktiv absorptionsskanningkurva vid en startpunkt (RF, w) på desorptionsisotermen för ett material där data finns för desorptions-, absorptions- och någon/några skanningkurvor, Lindmark (2020). Verktyget ger också desorptionsskanningkurvor.

6.2 Hänsyn till limfukt

Vid användning av vattenbaserade lim, för mattor och trägolv, får det översta skiktet av avjämningen ett omedelbart fukttillskott. Detta kan modelleras på olika sätt och under olika antaganden. Mängden limfukt (kg/m^2) kan

a. läggas som ett särskilt skikt mellan avjämning och golvbeläggning, utan fuktmotstånd,
b. läggas i en särskild, tunn beräkningscell för avjämningen så att den får 100 % RF initialt vid den aktuella mängden limfukt eller
c. fördelas jämnt i den översta beräkningscellen för avjämningen, förutsatt att limfuktmängden "får plats" i denna cell. I annat fall fördelas en del i cellen under.



a. Ett separat skikt med lim

b. Limfukt i ett tunt skikt i övre delen av avjämningen

c. Limfukt i en tjockare cell av avjämningen

Figur 7. Alternativa sätt att inkludera limfukten

Avjämningens ytskikt kommer först att uppfuktas av limfukten. Därefter sjunker fuktnivån för att sedan öka igen när övre delen av hela konstruktionen får en fuktomfördelning. Avjämningens ytskikt följer alltså först en absorptionsskanningisoterm, därefter en desorptionsskanningisoterm och sedan en ny absorptionsskanningisoterm. I slutet av fuktomfördelningen sjunker fuktnivån igen och ytskiktet följer då en ny desorptionsskanningisoterm. Hela denna omväxlande fukthistoria bör kunna beskrivas med en absorptionsskanningisoterm utan att det systematiska felet blir för stort.

7 Kvantifiera randvillkor

Temperaturen och relativa fuktigheten på bjälklagets ömse sidor, från och med golvläggning, behöver kvantifieras.

Temperaturförhållandena bör kunna baseras på uppgifter från entreprenören och från fastighetsförvaltaren om vilka temperaturnivåer man avser att hålla under byggtiden och under brukstiden.

Relativa fuktigheten under kvarvarande byggtid bör baseras på eventuella uppgifter från entreprenören om vilka ventilations- och avfuktningsinsatser som kommer att göras. Vilka andra byggnadsarbeten som kommer att pågå är viktiga att beakta, t ex flytspackling i angränsande lokaler, målningsarbeten etc.

Finns det inte tillgång till säkra sådana uppgifter får en rimlighetsbedömning göras av vilket fukttillskott (g/m^3) man kan förvänta sig. Under byggtiden kan fukttillskott upp till 3-4 g/m^3 vara aktuella, medan fukttillskottet under brukstiden i välventilerade byggnader ofta är mindre än 1 g/m^3.

Relativa fuktighetens variation med tiden kan sedan uppskattas från klimatdata (T & RF) för den aktuella platsen och uppgifter om innetemperatur och fukttillskott. Randvillkor hos konstruktioner mot mark kvantifieras särskilt, se 3.3 ovan.

I fall med mycket tät matta (golvbeläggning) i normala inomhusmiljöer (bostäder, kontor) kan temperatur och relativ fuktighet i omgivande luft anges som konstanta över året.
I fall med kraftiga variationer i inomhusklimatet, öppen golvbeläggning eller kraftig fuktberoende fuktgenomgångsmotstånd i golvbeläggningen bör dessa faktorer inkluderas i beräkningsmodellen.

8 Fuktomfördelningsberäkning

Vad man måste tänka på, och kontrollera, under själva fuktomfördelningsberäkningen beskrivs nedan. Några tips om mer eller mindre vanliga beräkningsverktyg för fuktomfördelningsberäkningar ges därefter.

8.1 Genomförande

Med ytskiktets fukttransportmotstånd tillagt och ändring av randvillkoren till de som gäller under brukstiden görs nu fuktomfördelningsberäkningen med start i den initiala fuktprofilen, inklusive eventuell limfukt och med hänsyn till att fuktförhållandena på vissa djup följer absorptionsskanningkurvor.

En stor komplikation är att på vissa djup fortsätter fukthalten att sjunka, och förloppet följer desorptionsisotermen, men efter en viss omfördelning börjar fukthalten att stiga, och förloppet börjar då följa en absorptionsskanningkurva. Detta börjar att hända på ett djup, vid en viss tidpunkt, och det fortsätter sedan att hända på större och större djup vid senare tidpunkter. Inte förrän beräkningen är gjord kan man se var och när detta börjar ske! I de flesta befintliga beräkningsverktyg måste detta hanteras genom att utföra beräkningarna stegvis och successivt ändra desorptionsisotermer till absorptionsskanningkurvor efter hand som fuktomfördelningen sker! I beräkningsverktyget REDIST görs detta med automatik, Lindmark (2019).

Fuktomfördelningsberäkningen fortgår så länge som uppfuktning sker under ytskiktet och till att maximal fuktbelastning med säkerhet, och med viss tidsmarginal, passerats. För relativt täta ytskikt som plastmattor kan detta innebära beräkningstider på flera år medan det för mer öppna trägolv är fråga om veckor och månader. I riktigt grova konstruktioner kan beräkningstider på mer än 5–10 år krävas!

8.2 Beräkningsverktyget Wufi

Wufi är användbart också för fuktomfördelningsberäkningar. Man kan framför allt ta hänsyn till verklighetstroget inneklimat och man kan enkelt beskriva geometrin i detalj. Det finns

stora möjligheter att lägga in nya materialegenskaper för just de material som är aktuella. Det går, med viss möda, att lägga in fuktberoende fuktmotstånd, S_D-värden, för tunna skikt.

En fördel med Wufi är att fukttransportmotståndsfaktorn μ(RF) (-) kan användas som fukttransportparameter. Denna är en jämförelse med egenskaperna hos luft och är därför universell; vid översättning av alla andra fukttransportkoefficienter, med egendomliga dimensioner, till μ(RF) får man direkt en uppfattning av om översättningen är rimlig. Antalet beräkningsceller är normalt så många att inga numeriska problem kopplat till för få celler kan uppstå.

Däremot är en viktig begränsning i Wufi att man inte enkelt kan inkludera både desorptionsisotermer och skanningkurvor för ett material. Att fuktändringar sker genom att en del viktiga punkter i konstruktionen följer sådana är ett av de speciella förhållanden som gäller just vid fuktomfördelning.

För att lösa detta måste man ”skapa” olika ”materialtyper” av ett och samma material, med olika skanningkurvor, att användas på olika djup i konstruktionen där uppfuktning från olika fuktnivåer kommer att ske. Ett antal materialskikt skapas där dessa olika ”materialtyper” används. Minst två-tre sådana materialskikt bör skapas i den delen av betongen som kommer att uppfuktas. Avjämningen bör ha minst två sådana skikt, om tjockleken är större än 20 mm.

Wufi har en stor databas för olika material. Det kan vara frestande att använda något av dessa material när materialdata saknas för ett material i den konstruktion man ska göra beräkningar för. Detta kommer med stor sannolikhet att ge allvarliga fel i beräkningsresultaten och är därför inte acceptabelt.

I Wufi beskrivs fukttransporten normalt genom att den delas upp i en del som beskriver ”ångtransport”, med ångtrycket som transportpotential, och en del som beskriver ”vätsketransport”, med fukthalt som transportpotential. Denna uppdelning är tveksam när man ska beakta skanningkurvor eftersom samma fukthalt betyder olika RF beroende på fukthistorien. Den är också tveksam vid temperaturgradienter eftersom fukttransporten går i riktning mot lägre fukthalt, vilket inte nödvändigtvis är korrekt vid temperaturgradient.

<u>Rekommendation</u>: Använd materialegenskaper uttryckta som fukttransportmotstånds-faktorn μ(RF) som funktion av RF. Använd inte diffusiviteten D eftersom denna är avsedd att användas i de fall materialet kommer i kontakt med vatten, och därför inte är lämplig vid beräkningar avseende torkning och fuktomfördelning.

8.3 Beräkningsverktyget Wufi2D

Wufi2D har samma fördelar och begränsningar som Wufi 1D, men kan användas för beräkningar i 2D, t ex för håldäcksplattor, fogar, kantbalkar, hattbalkar etc.

Beräkningstiderna är långa så det kan vara frestande att pruta på konvergenskraven, vilket kan ge helt felaktiga beräkningsresultat, trots att de ser ut att vara riktiga. Beräkningar i 2D, liksom alla numeriska beräkningar, måste kontrolleras m a p numerisk konvergens. Detta görs lämpligen genom jämförelse med kända, analytiska lösningar.

8.4 Beräkningsverktyget KFX

KFX är inte kommersiellt tillgängligt utan bara tillgängligt för de som visat sig besitta nödvändiga fuktkunskaper genom att ha blivit godkända som byggdoktorer av Föreningen Sveriges Byggdoktorer eller blivit godkända som Diplomerade Fuktsakkunniga av FuktCentrum. V-teknologer vid Chalmers som följt en påbyggnadskurs i byggnadsmaterial sedan 1990-talet har också tillgång till detta beräkningsverktyg.

KFX är ett mycket enklare beräkningsverktyg än Wufi genom att inneklimatet beskrivs med sinuskurvor och konstruktionen f.n. bara kan beskrivas med tio beräkningsceller. Temperaturfördelningen beskrivs stationärt i varje beräkningssteg, dvs värmekapaciteten beaktas inte; detta har dock ingen betydelse för fuktomfördelningsberäkningar.

En stor fördel är att det är förhållandevis enkelt att lägga in skanningkurvor för de beräkningsceller som kommer att uppfuktas. Andra fördelar är att det är känt i detalj hur programmet beskriver fuktändringar, att det är lätt att presentera beräkningsresultat och att det är lätt att göra en komplett dokumentation av en beräkning.

Det begränsade antalet beräkningsceller måste hanteras genom att använda många och tunna celler just där fuktändringarna är som störst och snabbast. Sådana celler ska därför användas i betongens övre del, medan större celler kan användas i de centrala delarna där fuktändringarna är långsamma.

8.5 Beräkningsverktyget VaDau

VaDau är bara tillgängligt för några få konsulter eftersom det är relativt komplicerat att använda, saknar en detaljerad manual och inte kan köras på moderna PC utan en särskild partition med äldre Windows operativsystem.

VaDau har liknande begränsningar som KFX men kan beskriva konstruktioner i 2D i 20 x 20 beräkningsceller. Den stora fördelen med VaDau är att fukttransport beskrivs med två termer som använder ånghalt respektive porvattentryck som fukttransportpotentialer. Detta medför att man kan göra beräkningar för konstruktioner med temperaturgradienter i betongen, t ex vid golvvärme eller vid temperaturdifferens mellan under- och ovansidan av ett bjälklag. VaDau kan också användas för beräkningar i en dimension och då med 20 celler.

8.6 Beräkningsverktyget PPB

Fuktmodulen i PPB är avsedd att kunna hantera även omfördelningsberäkningar. När så är fallet finns förutsättningar för att samtidigt kunna hantera dels betongens fortsatta hydratation och dels skanningkurvor så verklighetstroget som möjligt.

Frågetecken gällande den tidigare fuktmodulen måste rätas ut, främst då det gäller vilka materialegenskaper hos betongen som används och tillförlitligheten hos dessa. Det måste också vara möjligt att dokumentera de förutsättningar och materialdata som använts i varje beräkning.

8.7 Beräkningsverktyget REDIST

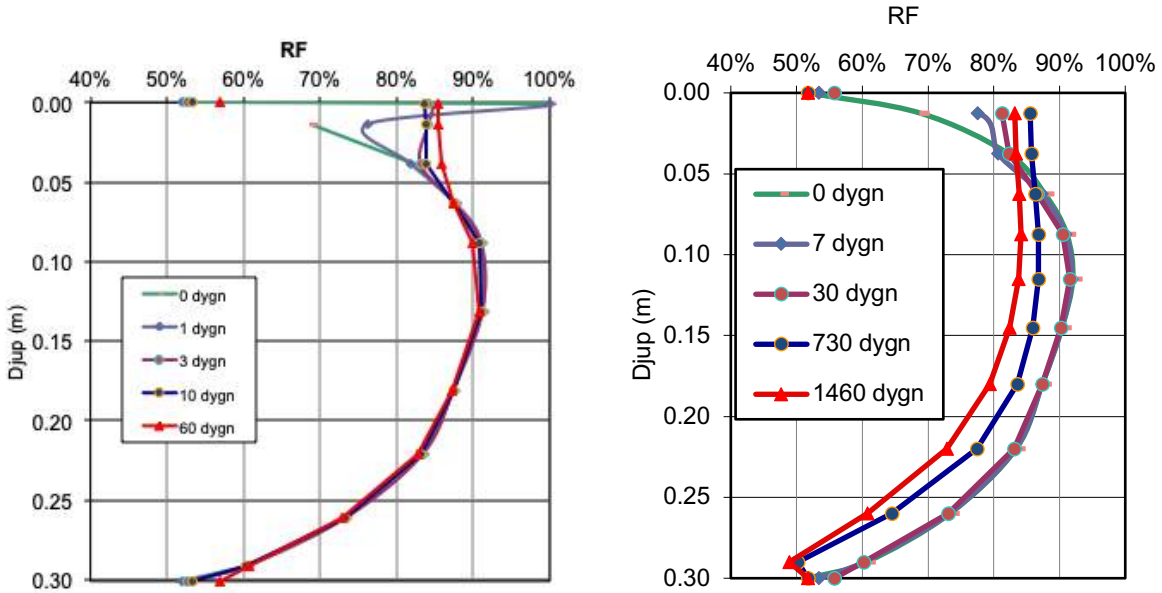
I beräkningsverktyget REDIST används individuella skanningkurvor för varje beräkningscell, dvs kurvorna beräknas med hänsyn både till positionen i konstruktionen och med hänsyn till rådande fukttillstånd och fukthistorien. Användaren kan ange hur många celler modellen skall omfatta, dock minst tre celler i varje materialskikt. Inmatning av initialprofil görs med en matematisk kurva eller med manuell inmatning, beroende på beräkningens förutsättningar. Fuktflöden beräknas med δ_v som transportegenskap, dvs med ånghalten som drivande potential. Beräkningarna beaktar inte effekter av värmeflöden eller temperaturgradienter.

9 Resultatredovisning

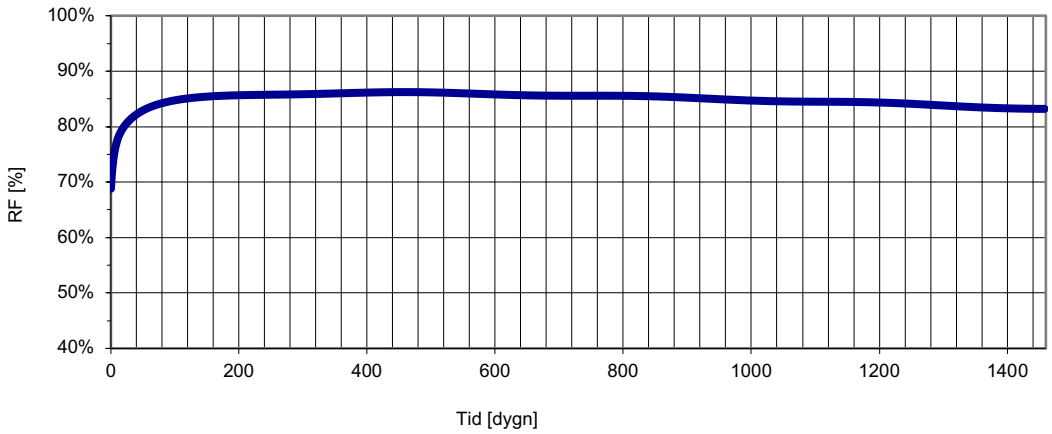
Resultaten av en fuktomfördelningsberäkning redovisas som

A. RF-profiler vid några väl valda tidpunkter, inklusive den initiala RF-profilen och RF-profilen då maximal RF råder under ytskiktet.
B. RF som funktion av tiden under hela omfördelningsperioden, för relevanta djup i konstruktionen, inklusive RF närmast under golvbeläggningen.

Exempel på dessa två diagram ges i figur 8 och 9.



Figur 8. Exempel på beräknade RF-fördelningar under fuktomfördelning efter mattläggning på ett mellanbjälklag av 250 mm betong och 50 mm avjämning. Diagram med två olika tidskalor för de första två månaderna. Diagrammen visar max 86 % RF (bortsett från de första två dygnen) under mattan och RF = 92 % på ett djup av 0.10 m, dvs mätdjup 50 mm (=20 %) i betongen vid mattläggning.



Figur 9. Exempel: RF-utvecklingen under mattan i figur 8, som funktion av tid. Högst påfrestning efter ca 400 dygn. Inverkan av limfukt sker bara de första dygnen (ej synligt i diagrammet).

9.1 Jämförelse med Högsta tillåtna fukttillstånd

Observera att beräkningsresultaten ges som ”verkliga” fukthalter och relativa fuktigheter RF. Resultaten ska oftast jämföras med ett ”Högsta tillåtet fukttillstånd” RF_{OK}, t ex 85 % RF för undersidan av många limmade plastmattor, med en viss varaktighet (detta överskrids dock alltid tillfälligt av limfukt).

Det bör förtydligas att acceptabelt RF för undersidan av en linoleummatta inte är 90 % som är det värde som anges på ekvivalent djup utan snarare 75 % RF, pga. mikrobiologisk påväxt i juteväven, eller 85 % RF m a p alkalisk påverkan på mattlimmet.

Beräkningsresultaten ska jämföras med Högsta tillåtet fukttillstånd RF_{OK} minus beräkningsosäkerheten. Beräkningsosäkerheten är för närvarande inte kvantifieringsbar annat än då alla parametrar konsekvent valts på ”säkra sidan” då den sättas till noll.

Här finns mycket att vinna i framtiden. När beräkningsosäkerheten kan kvantifieras kan avgörande parametrar identifieras och kunskapen om dem förbättras. På så sätt kan högre fuktnivåer accepteras vid golvläggning utan att riskerna för fuktskador blir för stora.

9.2 Jämförelse med kritiskt fukttillstånd

För att förklara en uppkommen skada ska beräkningsresultaten jämföras med det kritiska fukttillståndet RF_{krit}, t ex 90 % RF för många limmade plastmattor. Vid kontroll av om detta överskridits i det aktuella betonggolvet ska beräkningsresultatet jämföras med det aktuella mätvärdet, utan att inkludera mätosäkerheten.

10 Dokumentation av beräkningarna

Beräkningen dokumenteras genom att resultaten av punkterna i kapitel 3–7 beskrivs i detalj, med angivande av källor till de olika uppgifterna och med en redovisning av på vilket sätt eventuella antaganden och förenklingar gjorts. Avgörande materialegenskaper bör redovisas

med angivande av värden hos indataparametrar om detta inte framgår av dokumentation i diagramform. En särskild ***Dokumentationsinstruktion*** har utarbetats för detta syfte.

I vissa beräkningsverktyg finns det möjlighet att enkelt göra en kopia av alla indataparametrar. Sådana kopior kan bifogas beräkningsrapporten och göra det möjligt för en granskare att exakt upprepa beräkningen. Exempel på sådan dokumentation för olika beräkningsverktyg ges i Bilaga 1.

Referenser

Anderberg, A. (2004) *Moisture properties of self-levelling flooring compounds*. Rapport TVBM-3120, Avd. Byggnadsmaterial, LTH

Hedenblad, G. (1993) *Moisture permeability of mature concrete and cement paste*. Rapport TVBM-1014, Avd. Byggnadsmaterial, LTH

Anders Kumlin, Sture Lindmark, Mathias Lindskog, S. Olof Mundt-Petersen, Lars-Olof Nilsson, Nilla Olsson, Mikael Oxfall, Johan Tannfors (2021) *Fuktomfördelningsberäkningar. Slutrapport*. SBUF 13701

Lindmark, S. (2019) *Verktyget REDIST för fuktomfördelningsberäkningar,* FuktCom, Lund

Lindmark, S. (2020) *Verktyget SimScan för skanningkurvor*, FuktCom, Lund

Nilsson, L.-O. & Bergström, K. (2020) *The tin can method for determining moisture transport properties of concrete*. Nordiskt Symposium för Byggnadsfysik, Tallin 7-9 september 2020

Nilsson, L.-O. (2021) *Fukt och betong. Avsnitt 17.6:4 Fukttransportkoefficienter för ung betong*. Betonghandboken, del 2. Under publicering 2021.

Tannfors, J. (2021) Fuktmotstånd hos plastmattor testade i olika RF-intervall. Personlig kommunikation.

Åhs, M. (2011) *Redistribution of moisture and ions in cement-based materials*. Rapport TVBM-1028, Avd. Byggnadsmaterial, LTH

Bilagor

Bilaga 1A. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med Wufi.
Bilaga 1B. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med KFX
Bilaga 1C. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med VaDau

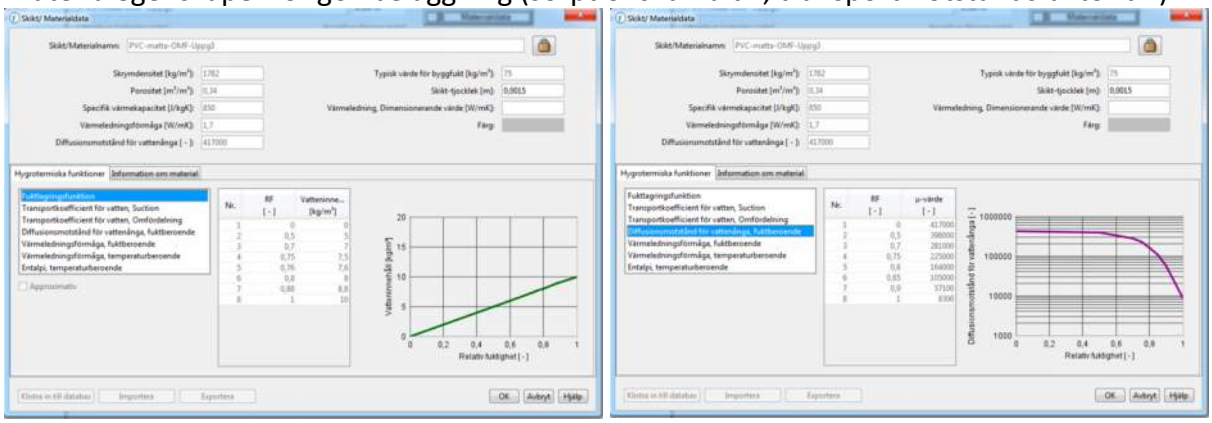
Bilaga 1A. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med Wufi.

Geometri, material och initial fukthaltsprofil

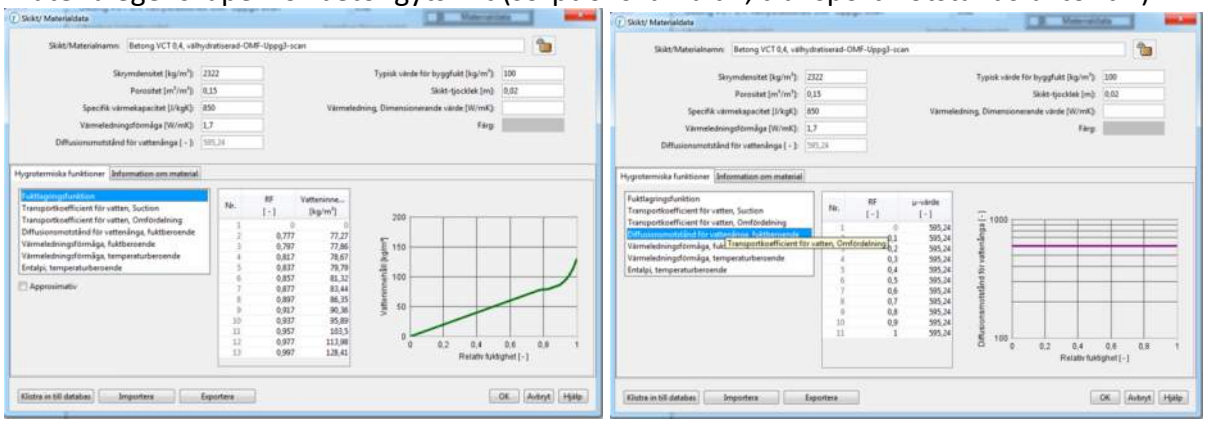
Begynnelsefukthalt i olika skikt

Nr.	Material Skikt	Tjocklek [m]	Vatten innehåll [kg/m³]
1	PVC-matta-OMF-Uppg3	0,0015	7
2	Avjämningsmassa-OMF-Uppg3	0,02	28
3	Avjämningsmassa-OMF-Uppg3 - upplåst	0,02	23,9
4	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3-scan	0,02	77,3
5	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3	0,02	93,3
6	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3 (Kopiera)	0,04	100
7	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3 (Kopiera) (Kopiera)	0,02	100,4
8	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3 (Kopiera) (Kopiera) (Kopier	0,04	100,3
9	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3 (Kopiera) (Kopiera) (Kopier	0,04	96,3
10	Betong VCT 0,4, välhydratiserad-OMF-Uppg3 (Kopiera) (Kopiera) (Kopier	0,02	72,8

Materialegenskaper för golvbeläggning (sorptionskurva t v, transportmotståndsfaktor t h)



Materialegenskaper för betongytskikt (sorptionskurva t v, transportmotståndsfaktor t h)



Osv. för alla materialskikt.

Bilaga 1B. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med KFX

Detta är en skärmdump av indatabladet för KFX.

		Sida I	I, yta	Element 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II, yta	Sida II
Material				AVJ	AVJ	AVJ	BTG0.36	BTG0.36	BTG0.36	BTG0.36	BTG0.36	BTG0.36	BTG0.36		
We_{60}	[kg/m³]			13	13	24	64	64	64	64	64	64	64		
We_{100}	[kg/m³]			28	28	44	118	118	118	118	118	118	118		
We_{max}	[kg/m³]			120	100	100	137	137	137	137	137	137	137		
a, formfaktor				6	6	6	3	3	3	3	3	3	3		
δ_0	[m²/s]			8.0E-06	3.0E-07	3.0E-07	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07		
δ_{95}	[m²/s]			8.0E-06	4.4E-06	4.4E-06	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07	6.5E-07		
δ_{100}	[m²/s]			8.0E-06	8.0E-06	8.0E-06	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07		
λ	[W/mK]			1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70		
Elementtjocklek	[m]			0.001	0.025	0.025	0.025	0.025	0.060	0.040	0.040	0.040	0.020		
W, initiellt				113.0	14.2	29.9	95.9	101.3	101.4	95.3	89.5	77.1	64.6		
R, övergångsmotstånd	[m²K/W]		0.05											0.12	
Z, övergångsmotstånd	[s/m]		60											360	

Mellan element		I - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5-6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - II
Z_ ångspärr	[s/m]	2.50E+06										

		Sida I	Sida II alt. 1	Sida II alt. 2		
T_{medel}	[°C]	22.5	22.5	T_{II}	[°C]	
$T_{amplitud}$	[°C]	1.5	1.5	Max RF_{II}		75%
T_{fas} (för T_{min})	[dygn]	145	145	$\Delta v = v_I - v_{II}$	[kg/m³]	0.004
RF_{medel}		45.0%	45.0%			
$RF_{amplitud}$		12.0%	12.0%			
RF_{fas} (för RF_{min})	[dygn]	145	145			
I_{medel}	[W/m²]	0	0			
$I_{amplitud}$	[W/m²]	0	0			
I_{fas} (för I_{min})	[dygn]	0	0			

Tid		
Period	[dygn]	365
Start i perioden	[dygn]	271
Tidssteg, (Δt)	[tim]	1
Tid per resultat	[tim]	2
Tid totalt	[dygn]	60

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

0.000 0.050 0.100 0.150 0.200 0.250 0.300 0.350

Beräkna

Med detta blad kan beräkningen upprepas exakt av någon som har tillgång till beräkningsverktyget. Det behövs ingen annan information än denna.

Bilaga 1C. Exempel på dokumentation av en fuktomfördelningsberäkning med Vadau

Exempel på skärmdumpar av alla indatafiler med 20 x 20 celler:

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	IMR		ISR	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3				95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3				60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	IMA		IXY	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.03																							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.60																							

Materialdata för använda material:

```
M:  1  por% ****  iax *****  iay *****  ica *****  dens ****  Betong K40
 K40  16        1.7       1.7       950       2250
We  ------   ------   ------   ------   ------   ------   ------
   30   60   80   88   92   96   98
   20   40   57   75   99   110   125
   20   40   57   75   99   110   125
Dv  ------   ------   ------   ------   ------   ------   ------
   30      60      80      88      92      96      98
   2.3e-7  2.0e-7  1.7e-7  1.5e-7  1.3e-7  0.9e-7  0.7e-7
   2.3e-7  2.0e-7  1.7e-7  1.5e-7  1.3e-7  0.9e-7  0.7e-7
Kp  ------   ------   ------   ------   ------   ------   ------
   30      60      80      88      92      96      98
   4.0e-18 2.6e-17 1.2e-16 3.6e-16 0.9e-15 3.5e-15 0.6e-14
   4.0e-18 2.6e-17 1.2e-16 3.6e-16 0.9e-15 3.5e-15 0.6e-14
```

Osv för alla material