

BASCEMENT

Skäl att frångå ekvivalent mätdjup

Med modern betong med Bascement kan noggranna omfördelningsberäkningar förbättra fukthanteringen och förkorta tiden till mattläggning. Fuktsakkunnig Anders Sjöberg förklarar varför **den nya RBK-manualen ger skäl att frångå förenklingsregeln om ekvivalent mätdjup vid fuktmätning i betong.**

TEXT: ANDERS SJÖBERG



Före mattläggning behöver betongplattan torka till rätt fuktnivå. Branschpraxis är RF-mätning på ekvivalent djup enligt RBK. Men den nya manualen anger skäl att frångå denna förenklingsregel.

RBKS MÄTDJUP STÄMMER BARA FÖR VCT 0.7

Den nya RBK-manualen för fuktmätning i betong och golvavjämning har fått ett nytt avsnitt; 2.4 *Annan verifiering av uttorkning i golvsystem*¹. Det öppnar upp för detaljerad beräkning av fuktomfördelning och bjälklagets faktiska ekvivalenta mätdjup, med aktuella fuktdata avseende de material som

används i byggprojektet. Detta innebär i praktiken att ekvivalent mätdjup, 40% vid enkelsidig uttorkning, är en förenklingsregel som det finns skäl att frångå.

Ekvivalent mätdjup är beräknat för betong med vct 0,7 och OPC, *Ordinary Portland Cement*². Det stämmer inte med dagens material, utan kan betraktas som en tumregel på säkra sidan.

ÄNDRADE FÖRUTSÄTTNINGAR

Med modern tät betong finns det alltid skäl att frångå förenklingen med RBKS ekvivalenta mätdjup. I stället kan man räkna ut gällande mätdjup för objektet, med aktuella uppgifter och egenskaper för materialet som används. Beräkningen kan också

utföras efter RF-mätning. Mätvärdena används då som indata och resultatet visar högsta fuktnivå som uppkommer under limmad beläggning efter omfördelning. Detta jämförs med högsta tillåta fuktnivå, normalt 85% RF.

Förutom betongens täthet bidrar även avjämningsmassa och ångmotståndet, z-värdet (s/m), hos golvbeläggningen till ett gynnsammare beräknat resultat jämfört med RBKS förenklingsregel.

LÅNGSAM FUKTTTRANSPORT I MODERN TÄT BETONG

I modern tät betong är nämligen fukttransporten så långsam att omfördelning av fukt i många fall inte skapar några skadliga

fuktnivåer för den limmade golvbeläggningen.

Artiklar i Husbyggaren och i Bygg och teknik^{3,4} beskriver att täthet kan användas som ett slags fuktskydd, eftersom modern tät betong funktionellt sett är tätare än ytskiktet. Förmåga till buffring av limfukt är nästan obefintlig och avjämningsmassa behövs för direktlimning av ytskikt med vattenbaserat lim.

Omfördelningsberäkning visar att det inte är nödvändigt att använda RBKs förenklingregel för modern tät betong. Den behöver inte torka till 85% RF på ekvivalent mätdjup om golvbeläggningen limmas på 20 mm "normal" avjämningsmassa som fått torka ordentligt.

Det handlar helt enkelt om att limfukten tas upp och ryms i avjämningsmassan och att fuktflödet upp genom betongen är så långsamt att det inte kan däckas upp av en normalt tät golvbeläggning. Uttorkning genom en golvbeläggning är helt enkelt lika stor som uppfuktning från betongen och fuktnivån under mattan stiger inte till skadliga fuktnivåer på 85% RF eller mer.

Det finns ännu ingen vedertagen metod att dimensionera tätheten hos betongen i förhållande till golvbeläggningens täthet (Z-värde, s/m). RBK-manualen föreskriver att varje enskilt fall behöver kontrolleras genom beräkning med aktuella värden.

VARFÖR TÄTA BETONGER BLIR TÄTA

Portlandcement (CEM I), härefter OPC (Ordinary Portland Cement) innehåller bara ren cement.

Byggcimentet (CEM II/A-LL) introducerades 1999 och är en blandning av 80-94% cement, 6-20% mald kalksten och upp till 5% andra tillsatser. Trots att en del av cementen ersatts med mald kalksten så verkar sådan betong bli något tätare än betong med OPC.

2013 introducerades Bascement (CEM II/A-V) som innehåller 80-94% cement, 6-20% flygaska (från till exempel elektrofilter i skorstenar), och upp till 5% andra tillsatser.

Den malda kalkstenen i Byggcement byttes ut mot flygaska, vilket gav modern betong helt andra, mycket tätare fuktegenskaper. Även självtorkningen förändrades och blev mer beroende av hydratationsförlöppets hastighet och temperatur.

Förändringen beror främst på att flygaska är reaktiv och bidrar till betongens hållfasthetstillväxt på ett sätt som som mald kalksten inte gör och som resulterar i en tätare betong.

Något förenklat, reagerar först cementen med vatten och bildar en cementgel (C-S-H-gel). Gelen är den struktur som binder ihop

2.4 ANNAN VERIFIERING AV UTTORKNING I GOLVSYSTEM

Ekvivalent mätdjup för fuktmätning i betongplattor baseras på beräkningar gjorda av Nilsson (1979)/17. I många fall kan det finnas skäl att frånga denna förenkling. Skälen kan vara:

- mer komplex konstruktion, till exempel två eller flera olika material
- material med andra egenskaper än gammal betong, till exempel modern tät betong eller golvavjämning
- hänsyn ska tas till inverkan av limfukt

Ur RBK-manualen, version 7 (2023)¹

ballasten och gör betong till ett starkt och hållbart material. I cementreaktionen uppstår biprodukten, kalciumhydroxid (Ca(OH)₂ som är upplöst i betongens porvätska. När flygaska kommer i kontakt med kalciumhydroxid sker en reaktion som bildar ytterligare cementgel (C-S-H-gel).

Bildligt uttryckt bildas först ett normalt porsystem av normala cementreaktioner. Därefter börjar flygaskan reagera och bildar ett slags andra generationens porsystem inne i det befintliga porstrukturen. De stora porerna som bildats under cementreaktionen blir, enkelt uttryckt, uppdelade i mindre porer när flygaskan reagerar.

Mätningar som gjorts på betong med Bascement visar entydigt på att den är betydligt tätare än betong med motsvarande vct och OPC. Det saknas fortfarande publicerade tillförlitliga mätningar för att fullständigt beskriva fuktegenskaper för betong med Bascement och andra reaktiva tillsatser.

SORPTIONSKURVOR BESKRIVER PORSYSTEMET

Förutom vct, vattencementtalet, så inver-

kar även cementsort och tillsatsmedel såsom silika, flygaska, slagg med flera på hur porsystemet utvecklas. Fuktbinding i betongen beskrivs ofta med en sorptionskurva, ett diagram som visar materialets fukthalt (w [kgvatten / kgcement]) vid olika fuktnivåer (% RF).

Sorptionskurvan ger även en god uppfattning om hur porernas storlek är fördelade. Enkelt uttryckt fylls små porer med fukt vid låg RF och stora porer fylls vid hög RF.

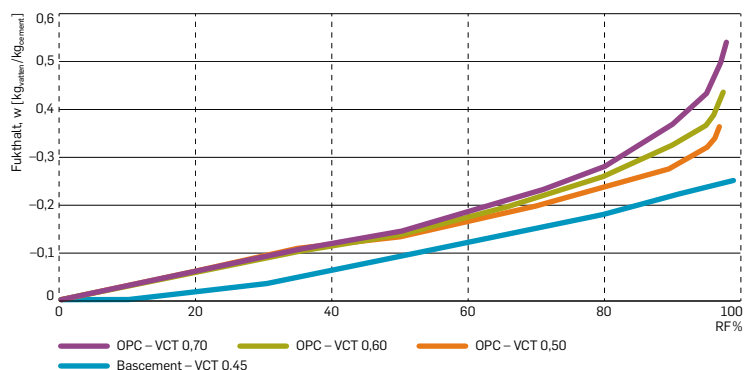
De flesta sorptionskurvor är väldigt låga vid de allra lägsta RF-nivåerna, ofta saknas värden under 10-20% RF, se figur 1. Det är svårt att mäta små porer som helst inte lämnar ifrån sig fukt, vilket behöver beaktas när uppmätta värden görs om till materialdata för beräkning.

I intervallet 40-85% RF skiljer sig de olika cementsorterna från varandra. Sorptionskurvor för betonger med OPC eller Byggcement är normalt konkava och stiger brant vid höga fuktnivåer (≥ 80% RF), eftersom det finns många stora porer. Betong med Bascement har ofta ett rakare utseende, det vill säga linjärt ökande med RF⁵⁻⁶.

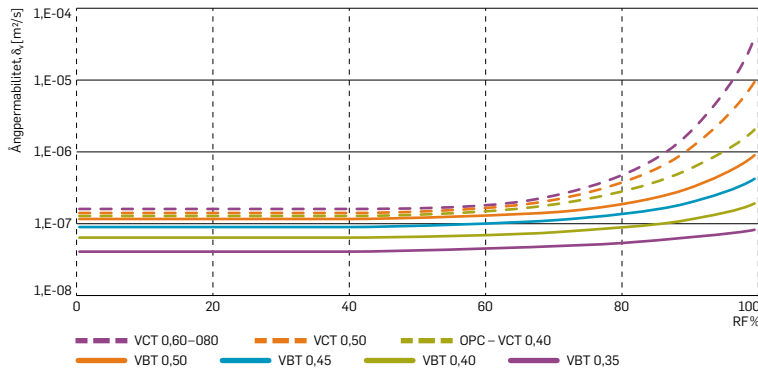
PORSYSTEMET BESTÄMMER TORKHASTIGHETEN

Betongens fuktransportförmåga anges ofta som ångpermeabilitet (δ, m²/s) och bestäms av porsystemets utseende. Den är en följd av porstorleksfördelningen och kan bedömas ungefärligt genom sorptionskurvans utseende

För de flesta betongsorter är fuktransportegenskaperna konstanta upptill ca 65-80% RF. Under denna nivå är i princip all fuktransport i betongplattan ångdiffusion och sker med skillnader i ånghalt, på olika djup, som drivande potential. Beräkningar av uttorkning och omfördelning handlar vanligtvis om högre fuktnivåer och där inverkar ytterligare en transportprocess, kapillär sugning. Detta är en snabbare process som alltid sker från området med hög fukthalt till lägre fukthalt och



Figur 1. Sorptionskurva för några betonger, sambandet mellan fukthalt (w) och RF.



Figur 2. Ångpermeabilitet för några betonger, ett mått på ångtäthet vid olika RF.

→ påverkas inte av temperaturskillnader.

När det inte finns någon nämnvärd temperaturgradient sker båda processerna åt samma håll. Därför är kapillär sugning och ångdiffusion vanligtvis hopslagna till en enda term för fuktransport, ångpermeabilitet (δ , m^2/s) vilket förenklar beräkningen avsevärt.

Betong med OPC eller Byggcement har ett porssystem med många stora porer och därför också hög ångpermeabilitet (δ , m^2/s), speciellt i höga RF-nivåer. De tre streckade kurvorna (figur 2) visar att betong med OPC/Byggcement har ungefär samma värde upp till ca 65% RF, oberoende av vct. Däröver är ångpermeabiliteten större för betong med högt vct, eftersom den har fler och större porer (figur 1).

Heldragna linjer i figur 2 visar ångpermeabilitet (δ , m^2/s) för betong med Basement. Den är mycket tätare även vid låga RF och de olika vct verkar skilja sig åt i hela fuktområdet (0-100% RF) enligt Linderoth⁵.

Det saknas fortfarande tillräckligt med publicerade tillförlitliga mätningar för området över ca 85% RF, men permeabiliteten bedöms öka enligt figur 3, ref.⁶

SKÅL ATT FRÅNGÅ RBKs FÖRENKLINGSREGEL

Ekvivalent mätdjup på 40% av tjockleken bygger, som tidigare nämnts, på en omfördelningsberäkning från 1979 för betong med OPC och vct 0,70². Än så länge finns det inga motsvarande *generella anvisningar* om ekvivalent mätdjup för andra cementer eller vct.

Om man använder en annan betong än vct 0,70 med OPC så anger RBK-manualen att det finns skäl att frånga förenklingsregeln. I stället räknar man ut det aktuella mätdjupet med byggprojektets förutsättningar. RBK-manualen kan tolkas som att detta behöver göras i varje enskilt fall, med relevanta och aktuella fuktdata avseende de byggmaterial som används i byggprojektet.

Resultat och erfarenheter i denna artikel är praktiska exempel, som bygger på hundratals omfördelningsberäkningar, och visar värden som normalt kan förekomma. De data som presenteras här stämmer inte med något specifikt objekt och figurerna visar endast vad som kan åstadkommas med en omfördelningsberäkning. De är inte avsedda att användas generellt utan behöver anpassas till objekten.

OMFÖRDELNINGSBERÄKNING, OPC MED VCT 0,50-0,70

RBKs förenkling motsvarar ungefär omfördelningsberäkningen i figur 3, det tjocka svarta strecket visar en fuktprofil med 86% RF på ekvivalent mätdjup, liknande den som Nilsson använde vid sina beräkningar 1979².

Vid omfördelningsberäkning med helt tät golvbeläggning visar resultatet att högsta RF under limmad beläggning blir 86% RF om betongen har vct 0,70. Om betongen är något tätare, vct 0,50 så blir högsta beräknade RF i stället 85% RF

Om beläggningen är en PVC-matta med $z = 2$ miljoner s/m blir högsta beräknade RF

under den limmade beläggningen 83% RF för vct 0,70 och 81% RF för vct 0,50. Beräkningar med linoleummatta ($Z=0,5$ miljoner s/m) ger högsta RF 77% för vct 0,70 och 74% RF för vct 0,50.

I samtliga dessa fall finns skäl att frånga RBKs förenkling av ekvivalent mätdjupet. Resultaten i figur 3 visar att beräknad fuktnivå blir 1-12% RF lägre med aktuella fuktenskaper för objektets material.

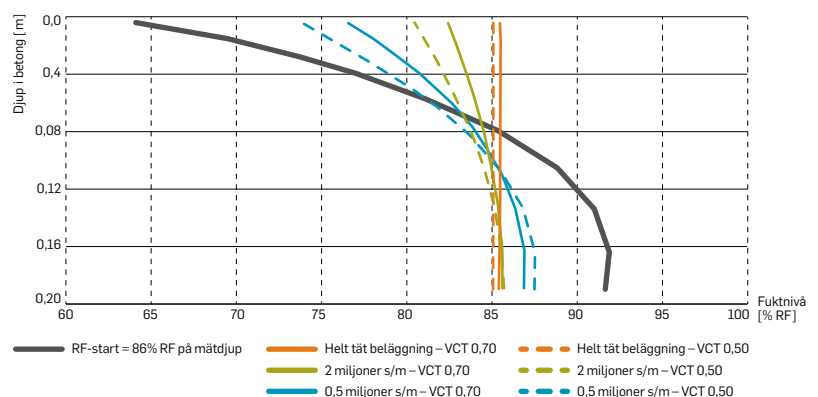
OMFÖRDELNINGSBERÄKNING, MODERN TÄT BETONG

Resultaten från omfördelningsberäkning i tät betong Basement och vct 0,35 redovisas i figur 4. Det tjocka svarta strecket visar en fuktprofil med 93% RF på ekvivalent mätdjup. Mätvärdet är inte ovanligt och kan utgöra en mindre katastrof för bygget, speciellt om mattläggning är nära föreliggande.

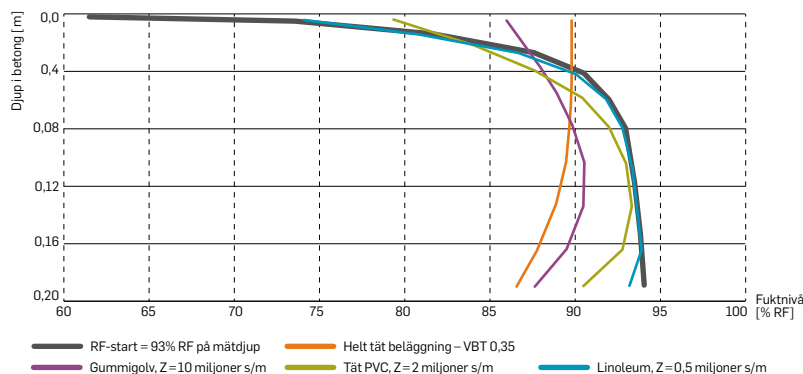
Omfördelningsberäkning visar att i detta fall är ekvivalent mätdjup bara 20% av betongtjockleken, eftersom omfördelningen med helt tät golvbeläggning (röd linje) korsar startprofilen (svart linje) på djupet 0,04 meter. Högsta beräknad RF under limmad (helt tät) beläggning blir i detta fall 90% RF (röd linje), vilket är en sänkning/hemräkning på 3% RF genom att använda aktuella fuktenskaper för objektets betong.

Störst effekt har dock ångmotståndet, Z -värdet (s/m), hos golvbeläggningen. Vid beräkning med gummigolv ($Z=10$ miljoner s/m) blir högsta beräknade RF ungefär 86% RF (gul linje), med PVC-matta (2 miljoner s/m) ungefär 79% RF (grön linje) och med Linoleum-matta ($Z=0,5$ miljoner s/m) omkring 74% RF (blå linje).

Genom att frånga RBKs förenklingsregel kan en omfördelningsberäkning visa att betonggolvet är tillräckligt torrt för mattläggning trots att mätvärdet på ekvivalent mätdjup (förenklingsregeln) visade 93% RF.



Figur 3. Fuktomfördelning i betong med OPC, vct 0,50-0,70.



Figur 4. Fuktomfördelning i tät betong med Bascement, vct 0,35.

I realiteten är det inte ovanligt att ”räkna hem” i storleksordningen 3-7% RF med PVC-matta och 8-12% RF för linoleummatta

Det är alltså tillåtet enligt RBK-manualen att frånga ekvivalent mätdjup på 40% av betongtjockleken och i stället utföra en omfördelningsberäkning. Anvisningar för hur omfördelningsberäkning skall utföras och dokumenteras är sammanställda i SBUF-rapport 13701⁷, främst den fristående bilaga 9 till denna rapport⁸.

LIMMA PÅ TORKAD AVJÄMNING

Vid limning direkt på modern tät betong finns risk för problem med vidhäftning och avgasning från limmet. Detta beror på att betongen är så tät att den inte kan ta emot och omfördela limfukten. Detta fenomen och dess effekter beskrivs bland annat i undertecknads doktorsavhandling⁹.

Vid omfördelningsberäkning tillförs 100 gram/m² limfukt, som behöver hanteras av golvet direkt under mattan. Fuktnivån i ytan ökar då momentant med ca 10-20% RF

som sedan långsamt omfördelas ner under laget.

Den bästa lösningen för modern tät betong är att använda ca 20 mm normal avjämning som får torka ut till RF ≤ 75% RF. Eftersom avjämningsmassa är porösare än betong går det relativt fort att torka ut avjämningen och förbättrat torkklimat fungerar ofta bra.

Så kallad ”snabb-” eller ”självtorkande” avjämning utgör en risk, det finns inga belägg för att den torkar snabbare än normal avjämning. Tvärt om har det visats i SBUF-projekt att snabb (självtorkande) avjämning kan torka långsammare än normal avjämning [10]. Detta beror av allt att döma på att snabb/självtorkande avjämning har snabb hållfasthetstillväxt, så att den snabbt kan beträdas.

OMFÖRDELINGSBERÄKNING AV HDF

Vid omfördelningsberäkningar av pågjutna HDF-bjälklag finns två olika problemställningar att beakta. För det första, uttorkning

och omfördelning av fukt i själva pågjutningen. Man behöver där ta hänsyn till tjockaste pågjutningen. Vanligtvis är detta kanten av HDF-bjälklaget, medan ritningen kan ange minsta tjocklek, vilket ofta är i mitten av de överspända plattorna.

För det andra igjutningar som görs vid infästningar vid upplagen och i längsgående skarvar. De längsgående skarvarna är i allmänhet relativt smala, ca 50 mm och fukten i dem torkar ofta fort in i HDF-plattan, troligtvis på grund av mikrosprickor. Längsgående igjutningar har därför sällan någon större inverkan på högsta fuktnivå efter omfördelning.

Breda igjutningar, ca 500-600 mm vid infästningar och upplag innehåller vanligtvis mycket mer betong. Där hålen i HDF-bjälklaget blottlagts och fyllts med betong är uttorkningstiden vanligtvis längst. Omfördelningsberäkning av stora igjutningar kan med fördel utföras 2-dimensionellt för att fånga upp effekten av horisontell uttorkning in i HDF-bjälklaget.

Byggfukten i dessa stora igjutningar vid upplagen kan orsaka golvsador där doften av nedbrytningsprodukter bara kan förnimmas utefter väggarna. Resten av golvet har torkat tillräckligt innan mattläggning och därmed inte skadats.

GOLVVÄRME

Betonggolvet med värmeslingor har en temperaturgradient som komplicerar omfördelningsberäkningar. Betong med temperaturgradient har kapillär sugning som är motriktad diffusionstransporten. Speciella beräkningsverktyg, som hanterar termer för ångtransport och kapillär sugning separat, behöver då användas. Dessutom behövs materialdata som är anpassade för dessa, vilket inte finns allmänt tillgängligt idag.

Undersökningar utförda på Chalmers tekniska Högskola samt på Lunds Tekniska Högskola visar att det är gynnsamt att använda golvvärmen för uttorkning av betongen, och att RBKs förenklingsregel med fuktmätning på 40% av mätdjupet kan användas för betong med Byggcement^{11,12}. Men det finns skäl att frånga förenklingsregeln även vid golvvärme, speciellt vid lågt vct och med betong som innehåller Bascement. ■

Referenser

- 1 RBK, Rådet för byggkompetens, Byggföretagen. (2023) Fuktmättningsmanual – Betong & Golvavjämning, version 7.
- 2 Nilsson, L.-O. (1979) Fuktmätning. Rapport TVBM-3008, avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH, Lund.
- 3 Stelmarczyk M., Rapp T., Hedlund H., Carlström C. (2019) Uttorkning och modern betong. Bygg & Teknik nr 7, 2019
- 4 Stelmarczyk M., Rapp T., Hedlund H., Carlström C. (2021) Täthet som alternativ till uttorkning av betong baserade golvsystem? Husbyggaren nr 2, 2021.
- 5 Linderoth, O. (2020). Hydration, pore structure, and related moisture properties of fly ash blended cement-based materials: Experimental methods and laboratory measurements. Department of Building and Environmental Technology, Lund University.
- 6 Linderoth, O. & Johansson, P. (2019), Fuktegenskaper hos cementbundet material med flygaskainblandning, Bygg & Teknik 7/19.
- 7 Kumlin A., Lindmark S., Lindskog M., Mundt-Petersen S.O., Nilsson L.-O., Olsson N. Oxfall M., Tannfors J. (2021) Praktiska vägledningar för säkrare uttorkningstider hos betongbjälklag – Fuktomfördelningsberäkningar. SBUF-projekt nr 13701.
- 8 Nilsson L.-O. (2021) Vägledning för fuktomfördelningsberäkningar i betonggolvkonstruktioner. Bilaga 9, SBUF-projekt nr 13701.
- 9 Sjöberg A. (2001) Sekundära emissioner från betonggolvet med limmade golvmaterial. Publikation P01-4, Inst Byggnadsmaterial, CTH.
- 10 Grantén J. (2004) - Fuktsäkerhet vid limning på lågalkalisk avjämning. SBUF-projekt nr 11427.
- 11 Sjöberg A., Nilsson L.-O., Rapp T. (2002) Fuktmätning i betonggolvet med golvvärme. Etapp I: Förstudie. Publikation P-02:1. Inst. För Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola.
- 12 Sjöberg A., Nilsson L.-O. (2007) Fuktmätning i betonggolvet med golvvärme. Etapp II: Täta golvbeläggningar. TVBM-3140. Avd Byggnadsmaterial & FuktCentrum, Lunds Tekniska Högskola.

ANDERS SJÖBERG
Tekn. dr byggnadsmaterial
AFEM konsult AB

