

Emissioner i golvsystem med modern tät betong



Mätning i golvsystem med modern tät betong skapar två olika bilder av emissioner från alkalisk hydrolys under de två första åren efter mattläggning. Ovanför ytskiktet noteras inget som indikerar problem. Under ytskiktet sker en successiv ackumulering av emissioner till mycket höga nivåer trots ett klart godkänt fuktillstånd i underlaget enligt dagens kravställning. Det är dags att på allvar ställa sig frågan om vad som är en golvskada, då höga emissioner under ytskikt inte alls behöver bero på ett fuktproblem. Det måste även klargöras om och hur emissioner under ytskikt skall hanteras, så länge de inte kommer ut i större omfattning i omgivningen.



Marcin Stelmarczyk
Civilingenjör, The Green Dragon Magic



Ted Rapp
Civilingenjör, Byggföretagen,
Tekniskt sakkunnig RBK



Fredrik Gränne
Dr., NCC Sverige AB



Hans Hedlund
Dr., Adj. Prof. Skanska Sverige AB



Staffan Carlström
Swerock AB

Inom ramen för SBUF 13560 *Framtidens golvsystem med modern, tät betong* har det undersökts huruvida modern tät betong i kombination med en porös avjämnning kan snabba på byggprocessen och möjliggöra tidigare mattläggning utan att skapa fuktproblem. I den tidigare publicerade artikeln i B&t 4/2021 [1] redovisades de fuktrelaterade resultaten och det konstaterades att konceptet fungerar fuktmässigt. Kravställning av fuktnivåer syftar bland annat till att reducera risken för nedbrytning i lim och ytskikt genom alkalisk hydrolys med tillhörande bildning av emissioner. För att utvärdera om den delen av samverkan i golvsystemet påverkats av de nya materialen har även mätning av emissioner utförts inom SBUF 13560. Det är ett urval av resultaten från dessa mätningar som publiceras och diskuteras i denna artikel. För förståelsen förutsätts läsaren ha kännedom om innehållet i fuktartikeln ovan [1]. För detaljerade resultat från mätningarna samt mer utförlig analys hänvisas läsaren till rapporter publicerade på Byggföretagens webbsajt [2] samt [3].

Vilka mätningar utfördes?

Det fanns ett dubbelt syfte med emissionsmätningarna i projektet. Först ville man jämföra emissionsbilden med det referensverk, Helene Wengholt Johnssons licentiatavhandling, som anses ligga till grund för uttorkningskravet på 85 % RF på ekvivalent djup, [4]. För detta ändamål utfördes mätningar ovanpå ytskiktet med FLEC [5]. Då undersökningar visat att mätningar ovanpå ytskiktet inte alltid visar avvikelser för ett skadat golv [6], utfördes även mätningar med kammarmetoden på betong- och avjämningsprov uttagna med kärnborr under ytskiktet. För närmare specifikation se artikeln *Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?* i detta nummer av B&t [7]. Mätning enligt FLEC utfördes av Polygon | AK, kammarmätning av Chemik Lab AB och analys av resultat från bägge mätningarna av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

För att möjliggöra jämförelsen med [4]

kompletterades de tidigare beskrivna [1], golvplattorna med modern tät betong med två golvplattor med en betong liknande den som används i [4]. Betongen innehöll cementet Velox Slite, det vill säga ordinarie portlandcement med cirka 4 procent kalkstensfiller, inga andra tillsatsmaterial och hade ett vattencementtal (vct) på 0,66. En av plattorna, den torra referensen, torkades ut ensidigt till 84,6 +/- 2,0 % RF på ekvivalent djup (alltså utan påslag för mätosäkerhet). Detta eftersom de använda objekten i [4] konditionerades likadant. Den andra plattan, den blöta referensen, fick ligga förseglad i en månad efter gjutning och hade vid mattläggning 94,4 +/- 2,4 % RF på ekvivalent djup. Referensplattorna erhöll ingen avjämning utan ytskikten limmades direkt på betongen. Som lim användes samma produkt som för de övriga mätobjekten, det vill säga CascoProff Extra LE. När det gäller ytskikt användes en matta från Tarkett, IQ-Optima, på referensplattorna. Denna matta har ett ångmotstånd motsvarande den i [4] fast innehåller en annan mjukgörare.

Förväntade emissioner

Som tidigare konstaterats i [8] är det av vikt att förbereda tolkningen av de uppmätta emissionerna genom att analysera möjliga nedbrytningsprocesser och fastställa vilka ämnen som förväntas. För ytskikten framgår använda mjukgörare i byggarvudeklarationen. Limmen brukar inte vara dokumenterade i tillräcklig detalj för att dra säkra slutsatser om förväntade emissioner. Här ger en kammarmätning av egenemissioner en bra fingervisning om förväntade nedbrytningsresultat då samma ämnen brukar ingå som lösningsmedel. De förväntade ämnena i detta fall sammanfattas i *tabell 1*.

Mätresultat på ovansidan

Emissioner på ovansidan bjöd inte på några överraskningar och redovisas här

Tabell 1: Förväntade emissioner från lim samt ytskikt. *Observera att n-butanol förväntas som huvudemission från nedbrytning av lim och 2-etylhexanol endast som sidoemission, det vill säga i märkbart mindre omfattning än n-butanol.

Material	Mjukgörare	Förväntade emissioner		
		n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
CascoProff Extra LE	-	Ja*	(Ja)*	Nej
Tarkett IQ Granit	DINCH	Nej	Nej	Ja
Tarkett IQ Optima	DINCH	Nej	Nej	Ja
Forbo Sphera	DOTP	Nej	Ja	Nej

endast mycket sammanfattande. För detaljer hänvisas läsaren till [3]. Referensobjekten efterliknade väl försöken i [4] med den skillnaden att nonanoler erhöles från hydrolys av ytskiktet i stället för 2-etylhexanol som i den gamla undersökningen. Hög emissionsbild erhålls för den blöta referensbetongen och låg emissionsbild, väl inom labbets praktiska gränser, för den torra.

Plattorna med modern tät betong hade också en låg emissionsbild, inom labbets anmärkningsgränser. Då det tidigare konstaterats att det över lag inte föreligger fuktproblem i mätobjekten med modern tät betong, dvs RF överstiger inte kritiskt gränsvärde, i anslutning till lim och ytskikt [1][2], ser totalbilden av emissioner på ovansidan av betongplattorna rimlig ut.

Mätresultat på undersidan

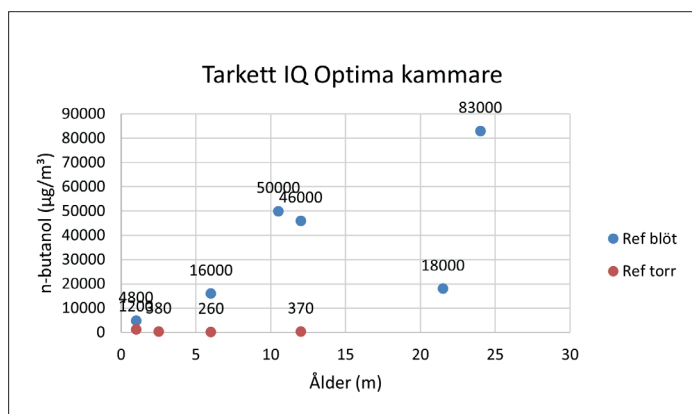
Emissionerna under ytskikten ger en mycket mer komplex bild än den på ovansidan. Emissionerna av n-butanol i referensplattorna är i princip enligt förväntning, se *figur 1*. För den blöta referensen erhålls mycket höga värden samtidigt som den torra ligger på en mycket lägre nivå. Här bör observeras att den tidiga toppen för den torra referensen (cirka 1200 µg/m³) rimligen bör vara kopplad till primär hydrolys på grund av limfukten. Dessa emissioner tycks sedan avta med tiden. Observera dock att värdet för 24 månader i den torra referensen saknas i analysen då det inte

hunnit mätas upp i skrivande stund. En liknande bild erhålls för 2-etylhexanolen, som för referensplattorna härstammar från limmen.

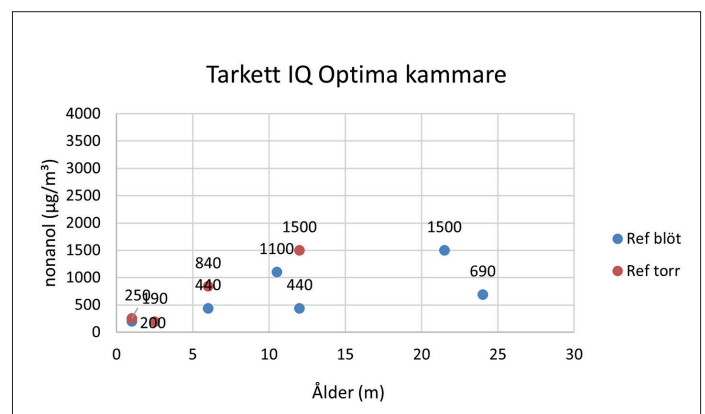
Emissionerna från ytskiktet i form av nonanoler för referensplattorna ges i *figur 2*. Här är skillnaden mellan den blöta och den torra plattan inte särskilt tydlig. Detta samtidigt som nivåerna är klart över gränsen för när laboratoriet normalt anmärker för enskilda ämnen i en kammarmätning (cirka 1000 µg/m³). Det bör dock observeras att labbet inte ser nonanoler som ett indikatorämne och det finns inget statistiskt underlag avseende gränsvärde för denna emission.

Betongplattorna med den moderna täta betongen erbjuder en viss utmaning när det gäller tolkning av emissionsbilden. Emissioner från lim redovisas i *figur 3* i form av n-butanol. Det finns en initial uppgång, antagligen kopplad till limfukten, därefter en minskning för att slutligen övergå i en långsiktig höjning av värdena. Nivån är jämförbar med emissioner av n-butanol från limfukten i den torra referensplattan.

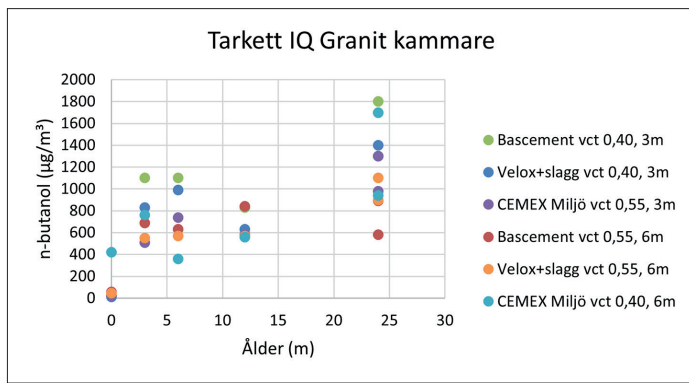
Emissioner från ytskikt för modern tät betong sammanställs i *figur 4* samt *figur 5*. Emissionerna av 2-etylhexanol från Forbo Sphera kommer ungefär samtidigt tidsmässigt som de för n-butanol. Det som skiljer är överraskande höga värden efter två år. Emissioner av nonanoler från Tarkett IQ Granit ser ut att växa successivt över tid, med tvåårsvärden oproportionerligt höga



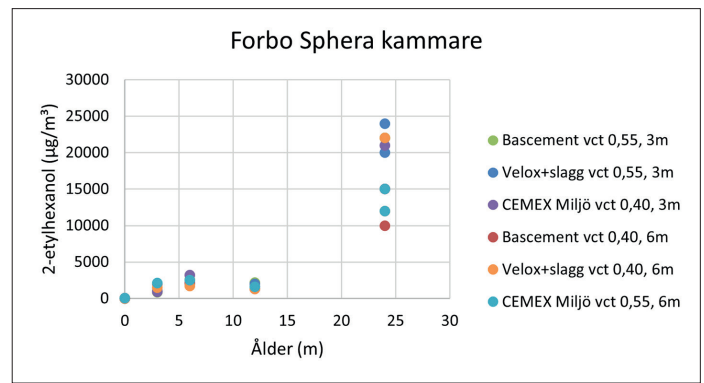
Figur 1: Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett IQ Optima som ytskikt.



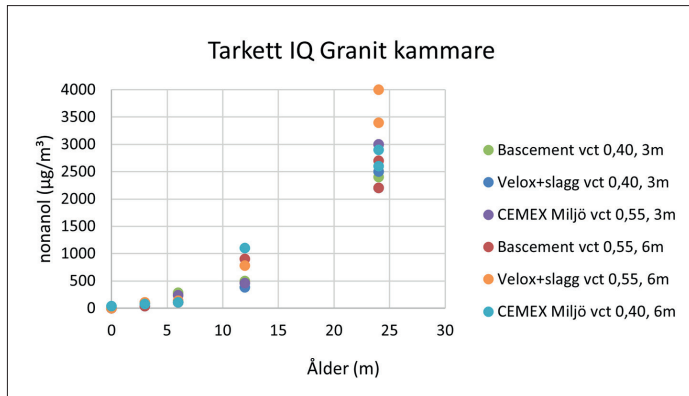
Figur 2: Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett IQ Optima som ytskikt.



Figur 3: Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Tarkett iQ Granit som ytskikt.



Figur 4: Emissioner av 2-etylhexanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Forbo Sphera som ytskikt.



Figur 5: Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Tarkett iQ Granit som ytskikt.

jämfört med år ett, dock inte i samma extrema nivå som för 2-etylhexanol.

Som jämförelse med emissionsnivåer ovan redovisas även värden för ytterligare en typ av objekt i tabell 2. Det är ett delobjekt där avjämning (cirka 17 mm tjock) lades ut på metallfolie, uttorkades till en nivå av 62,8 +/- 1,8 % RF och därefter limmades ytskikt (Forbo Sphera) på avjämningen. Objektet innehåller således inte någon betong, som potentiell källa till hydroxidjoner eller fukt. För detta objekt redovisas emissioner från kammarmätning. Här bör noteras att emissionsnivån för 2-etylhexanol från objektet utan betong är i samma höga storleksordning som emissionerna i figur 4.

Då mätningarna av fukt tillstånd i golvet samt emissioner ovanför ytskikten tycks ge en bild och mätningar av emissioner under ytskikten en annan är det av stor vikt att försöka förstå vad som egentligen händer i golvet och varför mätresultaten ser ut som de gör. Resultaten under ytskikten går inte att jämföra med [4] eller

andra undersökningar från den tiden då kammarmetoden inte användes på ett omfattande och systematiskt sätt. Den enda moderna undersökning som är av relevans [9] omfattar endast mätningar upp till 6 månader efter matläggning. Redovisade nivåer i [9] är jämförbara med ettårsvärden redovisade i denna artikel. Detta ger inte heller någon vägledning till förståelsen av de mer extrema emissionsvärdena två år efter matläggning för plattor med modern tät betong.

Ackumulering av emissioner i avjämningen

Som hjälp i tolkningen av dessa resultat behövs resonemang från artikeln om kammarmetoden [7]. Det centrala är förståelsen av två fenomen: dels att det alltid kommer att bildas emissioner och dels vad som händer med dem efter att de bildas. Både egenemissioner (från golvmaterial), primär hydrolys (kopplad till limfukt) samt sekundär hydrolys (kopplad till annan kvarvarande fukt i golvet, som

möjliggör transport av hydroxidjoner från underlaget) kan antas bidra till den uppmätta emissionsbilden i golvsystemet. När emissionerna väl bildats finns det tre alternativ för vad som kan hända med dem:

- Transport ut i luften genom ytskiktet
- Transport in i betongen och eventuellt genom betongen
- Inlagring i avjämningen

Låga emissionsnivåer ovanpå ytskikten tyder på mycket liten transport ut genom ytskikten. Den moderna täta betongen har väsentligt lägre transportförmåga för fukt än gammal betong med rent ordinarie portlandcement (OPC), vilket sannolikt försvårar transporten av emissioner. Skillnader i desorptionskurvor visar även att större total porvolym fördelas på porer med mindre öppningar, se figur 6. Skillnad i vattenhalt samt kurvornas lutning medför att en större del av porsystemet i den moderna betongen är blockerad med kondenserat vatten vid cirka 75–90 % RF. Detta försvårar ytterligare transporten av luftburna molekyler som inte är vattenlösliga, som 2-etylhexanol samt nonanoler. Det som återstår av möjligheterna är inlagring i avjämningens porsystem, som har gott om stora porer som inte är vätskefyllda. Denna slutsats stöds vidare av mätningarna i avjämningen som gjutits på metallfolie och uttorkats till cirka 63 % RF innan pålimning av ytskikt skett. I detta objekt saknas betong både i egenskap av källa till möjlig byggfukt samt som huvudsaklig källa för hydroxidjoner. Emissionsnivå för 2-etylhexanol efter dryga två år är fullt jämförbar med plattor med samma ytskikt på avjämning och modern tät betong. Detta bekräftar inlagring i avjämningen som huvudtolkning av vad som skett i golvsystemen.

Vidare bör skillnaden mellan ettårs- och tvåårsvärden kommenteras. Den mest sannolika förklaringen till denna är mättnad i avjämningens porsystem avseende

Tabell 2: Emissioner från enstaka mätningar avseende avjämning på metallfolie med pålimmad ytskikt.

Objekt / mätning	Ålder (m)	Emissioner (µg/m³)		
		n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
Avjämning på metallfolie med lim och Forbo Sphera, mitten / kammarmätning	27,5	990	14000	0
Avjämning på metallfolie med lim och Forbo Sphera, kant / kammarmätning	27,5	810	14000	0

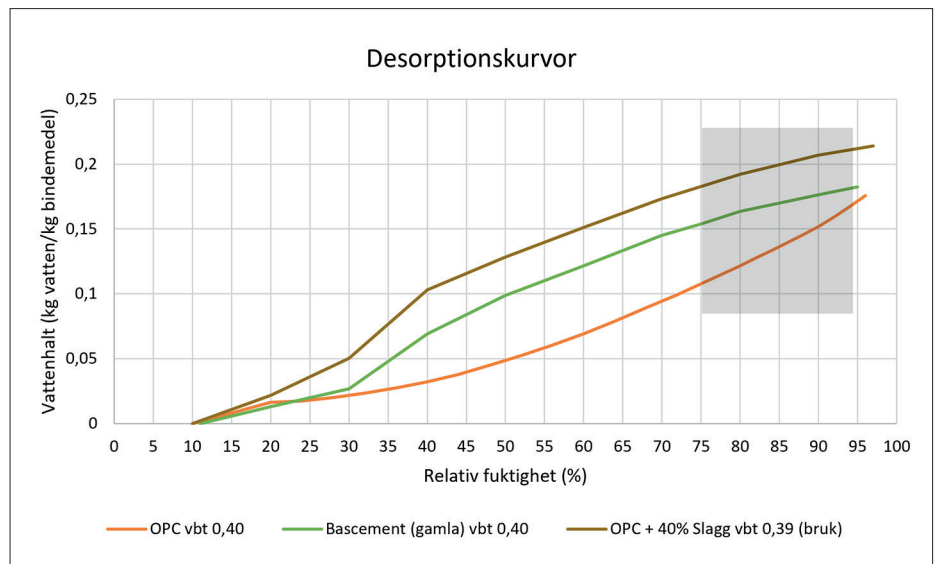
2-etylhexanol och nonanoler. När väggarna i porsystemet är mättade med adsorberade molekyler kommer ytterligare emissioner endast lagras in i luften i porsystemet. Detta kommer att resultera i mycket högre koncentrationer avlästa vid en kammarmätning. Till skillnad från de två större molekylerna är n-butanolen till viss del vattenlöslig. Detta möjliggör inlagring av n-butanol även i den vätskefyllda delen av porsystemet i avjämningen och lägre koncentrationer vid kammarmätning. För detaljer kring dessa fenomen se [7].

Inte ett utförandefel, men är det ett problem?

Dessa argument tillsammans med ett konstaterat oproblemiskt fuktillstånd i underlaget medför en överraskande slutsats. Summan av materialens egenemissioner såväl som emissioner på grund av både primär och sekundär hydrolys i golvsystem med både tätt ytskikt och tät betong kommer att ackumuleras i avjämningen. God uttorkning kan inte förhindra detta, även om dålig uttorkning kan förvärra läget.

Man kan tycka att så länge emissionerna inte kan mätas i större omfattning ovanpå ytskikten, vilket är fallet här, så finns det inget problem. Å andra sidan, att bortse från emissionsvärden under ytskikten som för 2-etylhexanolen överstiger labbets praktiska gränser för anmärkning med mer än faktor 10 förefaller allt annat än ansvarsfullt. De redovisade mätningarna omfattar endast två år av golvet livstid och en ökande tendens kan lätt ses i diagrammen i fråga. Eventuellt slitage och eller skador på ytskikten riskerar göra det lättare för emissionerna att hitta ut i rumsluften. Förr eller senare kommer man att vilja byta ytskikt och i samband med borttagning av det gamla ytskiktet kommer de tidigare ackumulerade emissionerna att frisläppas över tid från golvet. Är detta ett skadat golv? Skall man bara ventilera ut och limma på ett nytt ytskikt eller skall man även byta avjämning?

Möjligheter att undvika hela denna problemställning tycks spontant vara något begränsade. Uttorkning till en lägre RF än 85 % för betongen kommer inte att lösa problemet med emissioner under ytskiktet. Beviset på detta är emissionsmätningen under ytskiktet limmat på väl uttorkad avjämning med endast en metallfolie som underlag. Detta är ett underlag utan betong med dess höga pH och eventuellt byggfukt. Återgången till mer porös och öppen betong ser inte ut som ett praktiskt tänkbart alternativ när branschen går mot klimatförbättrad



Figur 6: Desorptionskurvor, vattenhalt (kg vatten / kg bindemedel) som funktion av relativ fuktighet (%) för betong med OPC vbt 0,40 från [10], betong med gamla bascementet vbt 0,40 från [11] samt bruk med OPC och 40% slagg vbt 0,39 från [12].

betong. På grund av trycket från miljökraven lär varken kalkstensfiller eller puzzolana/halvpuzzolana tillsatser kunna tas bort från betongrecepten. Den moderna täta betongen är här för att stanna. Det är en hög tid för en diskussion om vad som skall betraktas som en golvskada. Mätningarna i projektet visar tydligt på svårigheten att tolka resultat av kammarmätningar. Höga värden är inte nödvändigtvis ett bevis på pågående hydrolys, då de kan vara ackumulerade från den primära hydrolysen på grund av limfukten. Även mycket höga värden kan mätas upp utan att underlaget innehåller fukt som överskrider gängse gränsvärden. Att likställa förhöjda emissioner under mattan med ett fuktskadat golv är alltså direkt fel. Dessa kan bero på en fuktskada, men de kan även förekomma utan problem med fukt, vilket verifieras genom resultaten i SBUF 13560.

Slutsatser

Emissionsmätningar, utförda i enlighet med hur dagens uttorkningskrav är framtagna (FLEC), tillsammans med mätning av fuktillstånd [1][2] bekräftar att den moderna täta betongens låga transportförmåga kan utnyttjas för framtagning av fuktsäkra golvsystem utan att uttorkningskrav på ekvivalent djup i betongen uppfyllts. Samtidigt ger mätningar under ytskiktet anledning till oro och bör föranleda vidare arbete inom branschen, även om de inte bedöms vara direkt fuktrelaterade. Initialt kan konstateras att utvärdering av resultat från kammarmätning av emissioner under ytskiktet kan vara svår att utföra även med god kunskap om de förväntade emissionerna från alkalisk nedbrytning

av lim och ytskikt. Detta på grund av att mätmetodens resultat är beroende av många faktorer, vilket kan göra att två olika mätningar i princip är ojämförbara, [7]. En kammarmätning med förhöjd eller till och med mycket förhöjda emissioner bevisar inte en fuktskada. Ett exempel på detta är projektets kammarmätning med mycket höga resultat cirka 27 månader efter mattläggning i ett stycke avjämning på metallfolie, uttorkat till cirka 63 % RF innan mattläggning.

Vidare visar kammarmätningarna att en ackumulation av emissioner sker över tid i avjämningen. Detta gäller främst de större molekylerna, det vill säga 2-etylhexanol samt nonanoler. Mellan ett och två års tid efter mattläggning observeras en skarp höjning av nivåerna, vilket tyder på mättnad av avjämningens adsorptionsförmåga för ämnen i fråga. Även om den höga inlagringen av emissionerna under ytskiktet inte ser ut att påverka emissionerna ovanför under studerad tidsperiod kan den inte avfärdas som oproblematiske. Detta potentiella problem är inte fuktrelaterat. Det är mycket sannolikt att det förvärras av fuktproblem i golvet men det kommer att finnas där även vid god fuktsäkerhet. Det är av vikt att branschen i närtid adresserar två öppna frågeställningar:

- Hur skall det potentiella problemet med ackumulerade emissioner i golvet under ytskiktet hanteras? Skall man försöka förhindra att de uppstår och i så fall hur? Uttorkning och fuktsäkerhet löser inte detta problem. Eller skall man planera för att leva med emissionerna? I så fall på vilket sätt och på vems bekostnad?
- Vad är en golvskada och när för-

anleder den reparationsansvar från entreprenören? En kammarmätning under mattan i ett golv utan fuktproblem kan ändå ge höga emissionsvärden. Detta är inte nog bevis för en golvskada med påföljande skadeansvar från utförarens sida.

Det är hög tid att sluta fokusera enbart på specifika uttorkningskrav på ekvivalent djup i betongen, till exempel 85 % RF. Som visas inom SBUF 13560 går det att uppnå god fuktsäkerhet med moderna material utan att uppfylla dessa. Samtidigt räcker inte ett uppfyllande av nu gällande uttorkningskrav för att förhindra bildning och ansamling av emissioner i golvsystemet. Uttorkningskravet på ekvivalent djup har spelat ut sin roll och bör ersättas av andra metoder, då begränsning av emissioner från alkalisk hydrolys samt god fuktsäkerhet fortfarande är viktiga för ett sunt byggande. Den aktuella problemställningen tycks vara kopplad till golvkonstruktionens uppbyggnad och egenskaper för de ingående materialen. En enskild aktör kommer sannolikt inte att lösa detta problem utan det krävs en tvärsatsning inom bygg- och golvbranschen. ■

Referenser

- [1] *Är uttorkning av betong på ekvivalent djup fortfarande relevant?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Bygg & teknik Nr 4 2021
- [2] *Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen Mars 2021, www.byggforetagen.se/ppb
- [3] *Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen September 2021, www.byggforetagen.se/ppb
- [4] *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*, H. Wengholt Johnsson, Chalmers Tekniska Högskola 1995
- [5] *BUILDING MATERIALS:EMISSION OF VOLATILE COMPOUNDS - On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC)*, NT Build 484, Approved 1998-11, ISSN 0283-7153, NORDTEST
- [6] *Mönsteranalys av inomhusluft*, C.-G. Bornehag, R23:1994 Bygghälsorådet
- [7] *Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?*, M. Stelmarczyk, J. Kristensson, Bygg & teknik Nr 6 2021
- [8] *Framtidens golvsystem med modern, tät betong*, Slutrapport del 1, långsiktig del: en

gedigen grund för framtiden, M. Stelmarczyk, T. Rapp, SBUF 13560, 2020

[9] *Minimera kemiska golvsador*, Slutrapport SBUF 13599 samt 13752, J. Grantén, D. Granlund, 2020 SBUF

[10] *Betonghandboken*, fig. 14.3:6, 1980

[11] *Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Immätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong*, M. Stelmarczyk, Rapp T., Hedlund H., Carlström S., Slutrapport SBUF 13197 & 13198, 2019

[12] *Moisture transport and sorption in cement based materials containing slag or silica fume*, N. Olsson, L.-O. Nilsson, M. Åhs, samt V. Baroghel-Bouny, Cement and Concrete Research, 2018

Täthet som alternativ till uttorkning av betongbaserade golvsystem?

Ja, konceptet fungerar fuktmässigt både i teorin och praktiken! Den moderna, täta betongen medför att **man kan avjämna och limma matta med vattenbaserat lim innan uttorkningskravet på ekvivalent djup är uppfyllt**. Detta fungerar dock inte generellt utan ställer vissa krav på betongens ålder och sammansättning, så att erforderlig täthet hinner utvecklas och fukttransportförmågan minska tillräckligt.

TEXT MARCIN STELMARCYK, TED RAPP, HANS HEDLUND & STAFFAN CARLSTRÖM

FUKTRELATERADE PROBLEM I betongbaserade golvsystem kan lätt leda till skador och emissioner av irriterande ämnen. För att förebygga dessa problem måste fukten i betongen hanteras på ett sätt som inte medför fara för alkalisk nedbrytning av lim och ytskikt. En metodik för att åstadkomma just detta togs fram under 1990-talet och början av 2000-talet baserat på dåtidens betong och dess egenskaper. Det är dessa arbeten som ligger till grunden för dagens innehåll avseende fuktmätning och kritiska gränsvärden i Rådet för Bygg-

kompetens, RBKs fuktmättningsmanual samt AMA Hus. Sedan dess har cementens sammansättning förändrats. Med huvudsyfte att minska koldioxidbelastningen har de primära bindemedlen i Ordinarie Portlandcement (OPC) spåtts ut med t.ex. kalkstenfiller, flygaska och slagg. Detta har påverkat betongens egenskaper och vidare medfört att betonggolven fukttekniskt inte uppför sig som förr. Olika indikationer på problem med uttorkning har framkommit¹. Även mätmetoder för relativ fuktighet har fått justeras för att säkerställa tillförlitliga mätningar så som revidering av *Manual fuktmätning i betong* från version 5 till version 6.

BETONGEN ÄR INTE SOM FÖRR

De senaste åren har olika inmätningar av betongens egenskaper utförts²⁻⁴. Dessa visar tydligt att en ökad täthet uppstått i betongens porsystem med minskad förmåga till fukttransport, jämfört med tidigare⁵. Betongens porositet verkar inte ha ändrats. Den rymmer lika mycket fukt som tidigare. Däremot verkar flaskhalsarna i porsystemet blivit trängre med lägre fukttransport och långsammare diffusionsuttorkning och fuktutbyte med andra material som följd. Upptäckten av detta föranledde en teoretisk undersökning av konsekvenserna för fuksamverkan i betonggolvi SBUF-projektet 13354. I projektet utfördes

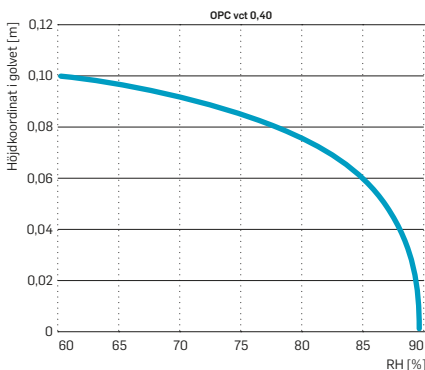
→ simuleringar av fuktförloppen i två typer av golv: ett bestående av ytskikt limmat på betong och ett annat då ytskiktet limmats på betong med avjämning, se Figur 1.

Materialdata för olika moderna betonger användes i simuleringarna. Beräkningar av diffusionsuttorkning samt fuktsamverkan mellan betongen och de omgivande materialen utfördes. En rad både negativa och positiva resultat konstaterades. Till de negativa hör bl.a. en markant förlängning av tiden för diffusionsuttorkning. Förändringen är så stor att uttorkningsåtgärder vidtagna några månader efter gjutning knappt har någon verkan alls. Detta bekräftas i utförda uttorkningsförsök⁶ där uttorkningen avstannar då betongen nått tillräcklig nivå av täthet, vilken byggs upp successivt efter gjutning. En annan negativ konsekvens har att göra med direktlimning av ytskikt med vattenbaserad lim på betong. Detta har tidigare endast setts som ett problem för betong med mycket låga vattencementtal⁷. Idag kan även betong med högre vct bli så tät att limfukten inte kan tränga ner i betongen utan stängs inne mellan betong och ytskiktet. Detta resulterar i fuktmättnad i betongens övre skikt, med transport av hydroxidjoner till lim och ytskikt med alkalisk hydrolys som följd.

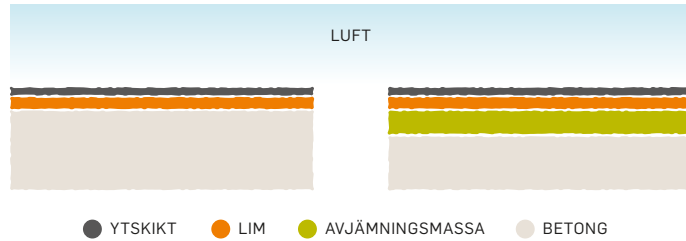
Undersökningen gav även en djupare förståelse i vad som förändras i golvets fukt-funktion. Baserat på detta ställdes frågan huruvida den nya betongens egenskaper kan leda till något positivt. Finns det sätt att utnyttja tätheten konstruktivt under produktionen av betongbaserade golvssystem? Simuleringarna bekräftade att detta bör vara möjligt men förutsätter ett reviderat sätt att se på fukten i betonggolv.

ÄR DET FUKTNIVÅN ELLER FUKTTTRANSPORTEN SOM ÄR PROBLEMET?

Det sätt som betongfukt i golv hanteras idag, är nära kopplat till en specifik typ av



Figur 2. En typisk fuktprofil, relativ fuktighet för olika djup, efter ensidig uttorkning av 0.1 m tjock betongplatta med relativt god fukttransportförmåga.



Figur 1. Ytskikt limmat direkt på betong (vänster) och på avjämningsmassa med underliggande betong (höger).

risk. Scenariot bygger på en betong med relativt god förmåga till fukttransport belagd med ett relativt tätt ytskikt. När betongen torkar innan läggning av ytskiktet erhålls en typisk uttorkningsprofil, se Figur 2. När ytskiktet appliceras fungerar det som ett lock. En mindre fukttransport kommer att ske genom ytskiktet, men en väsentligt snabbare omfördelning av den kvarvarande fukten kommer att ske i betongen. En mycket fuktigare betongyta än under uttorkningen erhålls efter påläggning av ytskiktet, även utan inverkan av limfukt. Detta kan medföra en direkt risk för ytskiktet och limmet då hög fuktnivå i betongen möjliggör alkalitransport och kan resultera i hydrolys av bindemedel i limmet och/eller mjukgörare i ytskiktet och där tillhörande emissioner.

För praktisk hantering av denna omfördelning och slutnivån för fukten i kontakt med ytskiktet används begreppet ekvivalent djup, som krävställer på vilket djup man mäter relativ fuktighet i betongen⁸. Det ekvivalenta djupet är valt så att vid en klassisk uttorkningsprofil, skall den större mängden fukt under det ekvivalenta djupet och den mindre mängden fukt ovanför jämnas ut. Resultatet blir en konstant RF över hela tvärsnittet vilken överensstämmer med ursprunglig RF på ekvivalent djup. Detta uppnås först efter en total omfördelning av fukten över tvärsnittet. I Figur 2 är det ekvivalenta djupet 4 cm från betongens övre yta, höjtkoordinat 0.06 m.

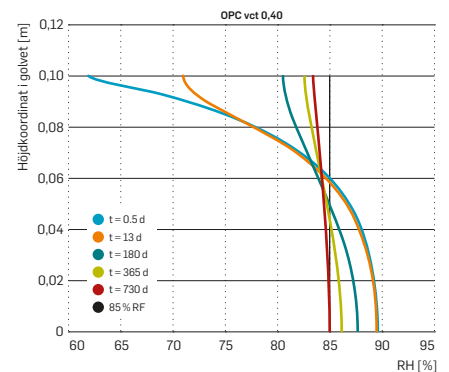
Mätning på ekvivalent djup och resone-mangent bakom bygger på det faktum att ytskiktet är så mycket tätare än betongen så att det blir flaskhalsen i fukttransporten i hela golvet. Så var också fallet i gammaldags betong med Ordinarie Portlandcement som enda bindemedlet utan några mineraliska tillsatser. Cementen har dock ändrats sedan dess och nu är det betongen som blivit det funktionellt tätaste materialet i golvet. Jämförande simuleringar visas i Figur 3.

Betongen med ren OPC bjuder inte på några överraskningar. Där sker en typisk

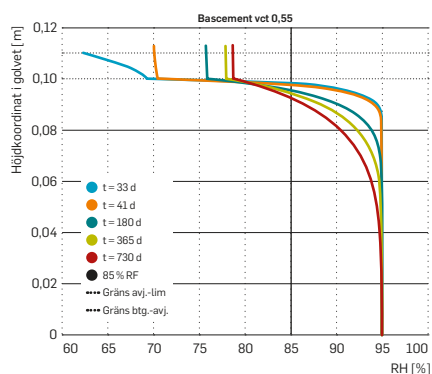
omfördelning och eftersom den relativa fuktigheten på ekvivalent djup, i detta fall 40 mm under ytan, var 85% vid mattläggning leder omfördelningen inte till ett RF högre än 85% under ytskiktet. Exemplet med betong med det gamla Bascementet följer däremot ett helt annorlunda förlopp. Figuren visar att en omfördelning (fuktprofilerna skär varandra) endast äger rum i de översta millimetrarna av konstruktionen för Bascementet. För övrigt ser betongen ut att torka långsamt. Man bör även observera att RF under ytskiktet håller sig under 85% trots att betongen var dåligt uttorkad och hade 90% på ekvivalent djup vid mattläggning.

TÄTHET IHOP MED AVJÄMNING BORDE KUNNA FUNGERA

Ekvivalent djup känns alltså inte särskilt relevant för den nya, täta betongen. Den relativa fuktigheten på detta djup kommer inte vara representativt för vad som händer vid ytan, dvs. i närheten av ytskiktet. Det gamla kravet på 85% RF på ekvivalent djup syftade till att det inte skulle bli mer än 85% i lim och ytskikt efter omfördelning. Vad SBUF 13354 gjorde vidare var att simulera fuktförloppet i hela golvet med huvudfokus på om kravet på kritiskt RF uppfylls i direkt



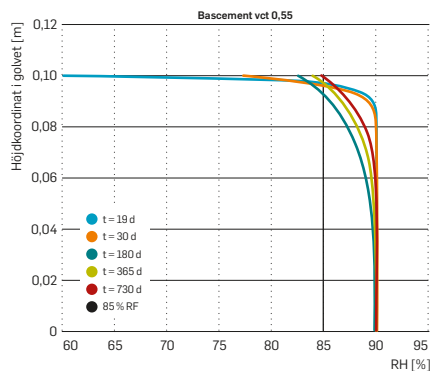
Figur 3. Visualisering av principen för fuktomfördelning i en 100 mm tjock betongplatta med gammaldags OPC till vänster samt Bascement CEM II/A-V (gamla) till höger. Fuktomfördelning efter limning av ytskikt motsvarande Tarkett iQ Optima med icke vattenbaserat lim på betong, fuktprofiler vid olika tid-



Figur 4. Fuktprofiler i konstruktionen vid olika tidpunkter under fuktomfördelning. Betong med Basement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, RF vid start (t=0d) är 95%, därefter uttorkning mot luft med RF 60%, samt avjämning (t=20d) och vattenbaserad limning av ytskikt (t=34d).

anslutning till ytskiktet. Utöver detta förut-sattes ett lager väl uttorkad avjämning vara nödvändigt för att hantera limfukten. Ett exempel på en sådan strategi redovisas i Figur 4. Ett 10 cm tjockt betonggolvet med en antagen grad av självuttorkning till 95% uttorkas ensidigt under kort tid. Detta för att initiera en fuktgradient i de två översta centimetrarna. Därefter avjämnas betongen med 10 mm golvavjämningen som får torka i två veckor, vilket resulterar i en fuktnivå understigande 70% RF i avjämningen (se mörkblå linje i diagrammet). Slutligen limmas ett ytskikt (Tarkett IQ Optima) med vattenbaserat lim (CascoProff Universal) på golvavjämningen

Fuktprofilerna i diagrammet visar att en typisk omfördelning inte äger rum och att RF i avjämningen inte överstiger 80%. Detta innebär att ytskiktet och limmet aldrig kommer i kontakt med ett cementbaserat underlag i närheten av kritisk RF. För mer detaljer kring dessa simuleringar se gärna ⁹ och ¹⁰.



punkter efter limning. Vänster – betong med OPC vct 0,40 ensidigt uttorkad i till 85% RF på ekvivalent djup. Höger – betong med Basement CEM II/A-V vct 0,55 ensidigt uttorkad i 20 dygn i 60% RF från antagen självuttorkningsnivå på 90% RF.

TEORIN ÄR FIN, MEN FUNKAR DET I PRAKTIKEN?

För att verifiera simuleringens resultat från den teoretiska studien i SBUF 13354 krävdes skarpa försök med ytskikt limmade på tät betong belagd med golvavjämning. Då startades ett nytt projekt, SBUF 13560, med syftet att bl.a. verifiera det nya fuktkonceptet praktiskt. Upplägget gick i princip ut på att upprepa det som simulerades i SBUF 13354 fast denna gång i verkligt utförande med skarpa provkroppar. Ett antal betongplattor med tjockleken 110 mm gjöts på pallar med krage. Efter en tid av självuttorkning i förseglat tillstånd fick betongplattornas ytor diffusionstorka under ca en veckas tid. Därefter avjämnades plattorna med ca 15-19 mm Weberfloor 140 Nova. Efter ca tre veckors uttorkning av avjämningen limmades mattorna.

Betongens täthet går att åstadkomma på olika sätt. I projektet valdes att testa tre olika sammansättningar av bindemedel, framtagna med hänsyn till tillgängliga cement samt miljöhänsyn, dvs. med relevant inslag av mineraliska tillsatser som drar ner betongens koldioxidbelastning:

- Cementa Basement CEM II/A-V, ca 15% flygaska, (gamla Basementet)
- CEMEX Miljö, ca 42,5% slagg
- Cementa Velox Slite (OPC) + 30% slagg

Vi valde vidare att testa två vattencementtal för varje bindemedelssammansättning: 0,40 samt 0,55. Då vi inte visste hur fort tätheten etableras i den hårdnande betongen valde vi att låta betongplattorna hydratisera i förseglat tillstånd i 3 resp. 6 månader innan de avjämnades.

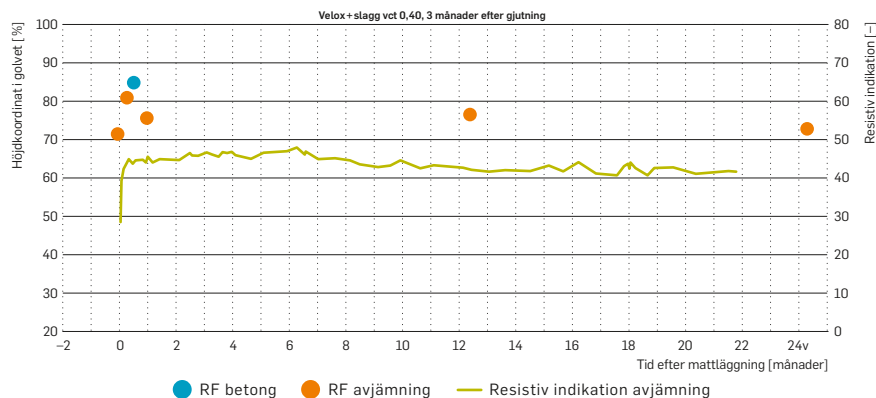
Fukt kontrollerades i provkropparna på olika sätt under projektets gång. RF i betong mättes i enlighet med ⁸ med givare monterad i betongen. RF i avjämning mättes i enlighet med ¹¹ med uttaget prov. Utöver detta monterades resistiva elektriska givare i avjämningen som avlästes på kontinuerlig

basis. Då dessa värden inte kalibrerades mot kända RF-nivåer skall de endast ses som en indikering på hur fuktnivån rör sig i avjämningen och inte tolkas ensamma utan jämförelse med RF uppmätt i uttaget prov. Det bör noteras att samtliga fuktnivåer i denna rapport redovisas utan mätosäkerheten pålagd som säkerhetsmarginal, dvs. inte som ett slutvärde enligt RBK. Detta för att lättare jämföra mot tidigare forskningsresultat, t.ex. Wengholt Johnsson 1995, från vilka det kritiska värdet av 85% baserar sig på. I nedanstående fall var mätosäkerheterna 2,0% RF för betong och 1,7-1,8% RF för avjämning. Den som önskar jämföra mätningarna nedan med slutvärden bör själv lägga på respektive mätosäkerhet. Den resistiva indikationen uppvisade en hög känslighet med avseende på omgivande temperatur. Då temperaturen varierade något i förvaringsutrymmet bör den långsiktiga trenden i indikationen beaktas och inte mindre variationer.

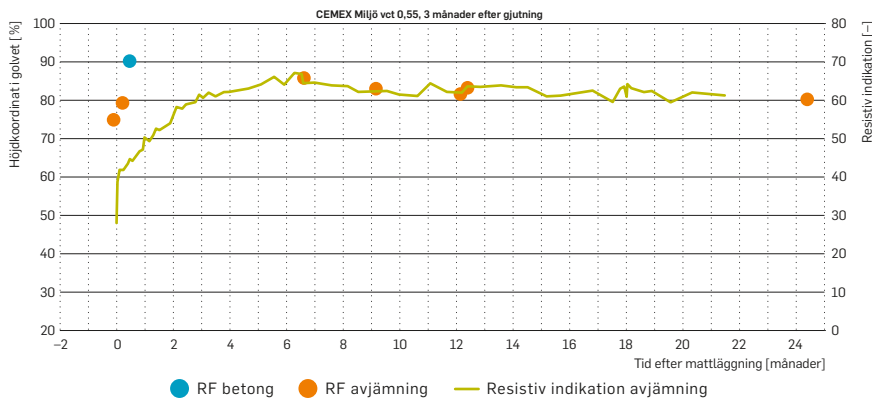
HUR GICK DET DÅ?

En typisk bild av förloppet i en av betongplattorna visas i Figur 5. Vi ser att det initialt sker en ökning av RF i avjämningen. Detta är förväntat då fukten från limmet måste ta vägen någonstans och tränger då ner i avjämningen. Sedan ser vi att RF stabiliseras under 80% för att därefter övergå i väldigt långsam uttorkning genom det täta ytskiktet. Detta är exakt som predikerat av simuleringarna i SBUF 13354 och motsvarande resultat erhöles för de flesta övriga betongplattorna.

Verkar alla kombinationer fungera? Nej. I projektet valdes medvetet att testa betongplattor avjämnade vid två olika åldrar och för två olika vct. Då bägge parametrarna påverkar tätheten i betongen förväntades man kunna se något av de tidiga objekten med högt vattencementtal ge högre RF i



Figur 5. Relativ fuktighet i betong och avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning. Betong med Velox (OPC)+30% slagg, vct 0,40, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



Figur 6. Relativ fuktighet i betong och avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning. Betong med CEMEX Miljö, vct 0,55, självuttorkad i 3 månader före avjämning.

→ avjämningen. Så var också fallet för objektet vars förlopp visas i Figur 6.

Här verkar kombinationen av fuktinnehåll i betongen och dess täthet inte fungera för att RF i avjämningen inte ska stiga på grund av fuktillskott från betongen. En viss omfördelning sker och det resulterar i att RF i avjämningen precis stiger överkritisk RF på 85% för att sedan övergå i långsam uttorkning. Då betongen fortfarande är tätare än motsvarande betong med samma vct och gammaldags OPC erhålls ingen fortsatt omfördelning av större betydelse. Den lilla ökning, som ändå sker, kan fortfarande vara för mycket för att undvika alkalisk hydrolys. Man bör också komma ihåg att de redovisade RF-nivåerna inte innehåller några säkerhetsmarginaler.

För samtliga fuktresultat från denna undersökning se¹². Den övergripande bilden av resultaten sammanfattas nedan:

- De olika provkropparna hade inte endast skillnader i transportförmåga för fukt utan blev även självuttorkade till olika RF-nivåer. Det bör dock konstateras att om osäkerheten i mätningen i betong beaktas (2,0% RF adderas till mätresultaten) uppfyller ingen av betongplattorna kravet på 85% RF på ekvivalent djup vid avjämning.
- En av plattorna, 3 månaders CEMEX Miljö vct 0,55, har spräck kravet på max 85% RF i avjämningen. Ytterligare ett, 3 månaders Basement CEM II/A-V vct 0,55, misstänks ligga i farozonen. Detta är inte förvånansvärt då bägge tillhör de fuktigare provkropparna med högst förväntat transportförmåga för fukt. Resultaten är en indikation på att det finns en gräns avseende täthet för när konceptet inte fungerar.
- För de övriga plattorna har kravet på kritiskt RF i avjämningen uppnåtts med upp till 10% RF som marginal, även med pålagt mätosäkerhet, för att därefter

övergå i långsam uttorkning. Detta trots att ingen av plattorna uppfyllde dagens krav på uttorkning inför mattläggning. Försöksresultaten bekräftar simuleringsresultaten från SBUF 13354. Det går alltså att utnyttja den nya betongens täthet i kombination med väl uttorkad avjämning för att undvika att en RF på 85% uppkommer i lim och ytskikt. Detta trots att betongens RF överskrider 85% på ekvivalent djup vid tillfället för mattlimning!

SLUTSATSER

Skarpa försök visar att den låga förmågan till fukttransport i den moderna, täta betongen kan utnyttjas tillsammans med avjämning för att undvika att kritisk RF överskrider i anslutning till lim och ytskikt. Detta trots att betongen inte är uttorkad till kritisk RF på ekvivalent djup innan ett ytskikt appliceras. Denna effekt är beroende av betongens täthet, vilket i sin tur ställer vissa krav på betongens ålder och sammansättning. Tillvägagångssättet skulle kunna användas med syfte att förkorta tiden som behövs för betonguttorkning inför limning av ytskikt med vattenbaserat lim. Detta utan att lim och matta utsätts för högre RF än tillåtet.

Samtidigt skall man ha klart för sig att dessa resultat endast skall ses som validering av ett koncept. Vad vi visat med testerna i SBUF 3560 är att konceptet mycket väl kan ge det önskade resultatet. Detta är dock inte att jämföra med en färdigutvecklad och kvalitetssäkrad arbetsmetodik som hjälper utföraren att undvika eventuella risker. En sådan återstår att utveckla. Då kravet man ställer på betongen flyttas från uttorkning till täthet, bör tätheten på något sätt kunna valideras med en kvalitetssäkrad metod under produktionen av golvkonstruktioner i skarpa projekt. ■

Referenser

1. C. Svensson Tengberg, Inventering av uttorkning av betonggolv. Betong med mineraliska tillsatsmaterial, SBUF 13358 Slutrapport, 2018
2. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Basement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong, SBUF 13197 & 13198 Slutrapport, 2019
3. N. Olsson, L.-O. Nilsson, M. Åhs, V. Baroghel-Bouny, Moisture transport and sorption in cement based materials containing slag or silica fume, Cement and Concrete Research, 2018.
4. M. Saeidpour, L. Wadsö, Moisture diffusion coefficients of mortars in absorption and desorption, Cement and Concrete Research, 2016
5. G. Hedenblad, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, TVBM-1014, Lund Institute of Technology 1993
6. J. Carlswärd, Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong, Bygg & Teknik Nr 6 2020
7. H. Wengholt Johnsson, Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning, Chalmers Tekniska Högskola 1995,
8. RBK 2017 – RBK, Manual – Fuktmatning i betong, version 6, kap 2.3
9. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, Finns det någon fördel med modern, tät betong?, www.sbuf.se/ppb 2017, numera www.byggforetagen.se/ppb
10. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial, SBUF 13354 Slutrapport, 2019
11. Bestämning av relativ fuktighet, RF i golvavjämning, Utgåva 2:2017, GBR
12. M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, M. Gunnarsson, Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?, www.byggforetagen.se/ppb, 2021

MARCIN STELMARCZYK
Civ.ing.
The Green Dragon Magic



TED RAPP
Civ.ing. Byggföretagen
Tekniskt sakkunnig RBK



HANS HEDLUND
Dr., Adj. Prof.
Skanska Sverige AB



STAFFAN CARLSTRÖM
Swerock AB



Förändrad emissionsbild i golvsystem med modern tät betong



Emissioner i golvsystem till följd av alkalisk hydrolys har tidigare kopplats till fuktproblem i det betongbaserade underlaget. Så behöver det inte vara i ett golv med modern tät betong och porös avjämning. Under ytskikten sker en successiv ackumulering av emissioner till mycket höga nivåer trots ett klart godkänt fukttillstånd i underlaget enligt dagens kravställning. Samtidigt noteras inget som indikerar problem ovanför ytskiktet. Det är dags att ställa sig frågan om vad som egentligen är en golvskada. Höga emissioner under ytskikt behöver inte bero på fuktproblem.

I artikeln *Täthet som alternativ till uttorkning av betongbaserade golvsystem?* i Husbyggaren nr 2 2021, [1], redovisades delar av undersökningen av hur modern tät betong fungerar i golvsystem. Då presenterades de fuktrelaterade resultaten. Det konstaterades att den moderna betongens täthet i kombination med en porös avjämning kan snabba på byggprocessen och möjliggöra tidigare mattläggning utan att skapa fuktproblem. Denna artikel redovisar de återstående delarna av undersökningen i SBUF-projektet 13560 *Framtidens golvsystem med modern, tät betong*. För att utröna om andra aspekter av samverkan i golvsystemet påverkats av de nya materialen har även mätning av emissioner utförts. Det är ett urval av resultaten från dessa mätningar som publiceras och diskuteras i denna artikel. För förståelsen förutsätts

läsaren ha kännedom om innehållet i fuktartikeln ovan [1]. För detaljerade resultat från mätningarna samt mer utförlig analys hänvisas läsaren till rapporter publicerade på Byggföretagens webbsajt [2] samt [3] alternativt till den kommande slutrapporten avseende SBUF-projekt 13560.

Mätmetoder och eftersökta emissionsämnen

Emissionsmätningar har utförts både på ovansidan av ytskikten samt under. På ovansidan användes FLEC som mätmetod enligt [4], se ingressbild för mätuppställning. Mätningen på undersidan utfördes med kammarmetoden på materialprov (avjämning eller betong) uttaget med kärnborr, se [5] för detaljerad beskrivning samt Figur 1 för mätuppställning. Mätning enligt FLEC utfördes av Polygon | AK, kammarmätning av Chemik Lab AB och analys av resultat från bägge mätningarna av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.



Figur 1. Mätuppställning för kammarmetoden med uttaget prov.

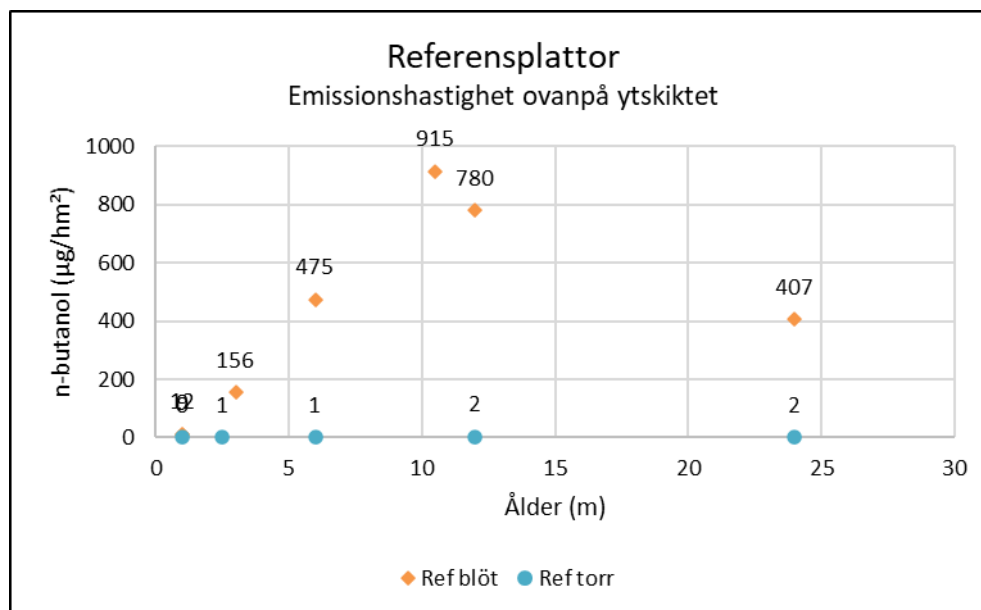
Inom projektet ville man möjliggöra en relevant jämförelse med grunden till dagens uttorkningskrav på 85 % RF på ekvivalent djup, som huvudsakligen baseras på Helene Wengholt Johnssons licentiatavhandling [6]. För att möjliggöra detta kompletterades de tidigare beskrivna [1], golvplattorna med modern tät betong med två golvplattor med en betong liknande den som används i [6]. Betongen innehöll cementet Velox Slite, dvs. ordinarie portlandcement med ca 4% kalkstensfiller, inga andra tillsatsmaterial och hade ett vattencementtal (vct) på 0,66. En av plattorna, den torra referensen, torkades ut ensidigt till 84,6 +/- 2,0 % RF på ekvivalent djup (alltså utan påslag för mätosäkerhet). Detta eftersom de använda objekten i [6] konditionerades likadant. Den andra plattan, den blöta referensen, fick ligga förseglad i en månad efter gjutning och hade vid mattläggning 94,4 +/- 2,4 % RF på ekvivalent djup. Referensplattorna erhöll ingen avjämning utan ytskikten limmades direkt på betongen. Som lim användes samma produkt som för de övriga mätobjekten, dvs. CascoProff Extra LE. När det gäller ytskikt användes en matta från Tarkett, IQ-Optima, på referensplattorna. Denna matta har ett ångmotstånd motsvarande den i [6] fast innehåller en annan mjukgörare.

Som tidigare konstaterats i [7] är det av vikt att förbereda tolkningen av de uppmätta emissionerna genom att analysera möjliga nedbrytningsprocesser och fastställa vilka ämnen som förväntas. För ytskikten framgår använda mjukgörare i byggvarudeklarationen. Limmen brukar inte vara dokumenterade i tillräcklig detalj för att dra säkra slutsatser om förväntade emissioner. En kammarmätning av egenemissioner ger en bättre fingervisning om förväntade nedbrytningsprodukter då samma ämnen brukar ingå som lösningsmedel. Följande ämnen förväntades som emissioner från materialen i detta projekt:

- Lim: **n-butanol** som huvudemission och **2-etylhexanol** som sidoemission i klart mindre omfattning än huvudemissionen
- Ytskikt Forbo Sphera: **2-etylhexanol**
- Ytskikt Tarkett iQ Optima samt iQ Granit: **nonanoler**

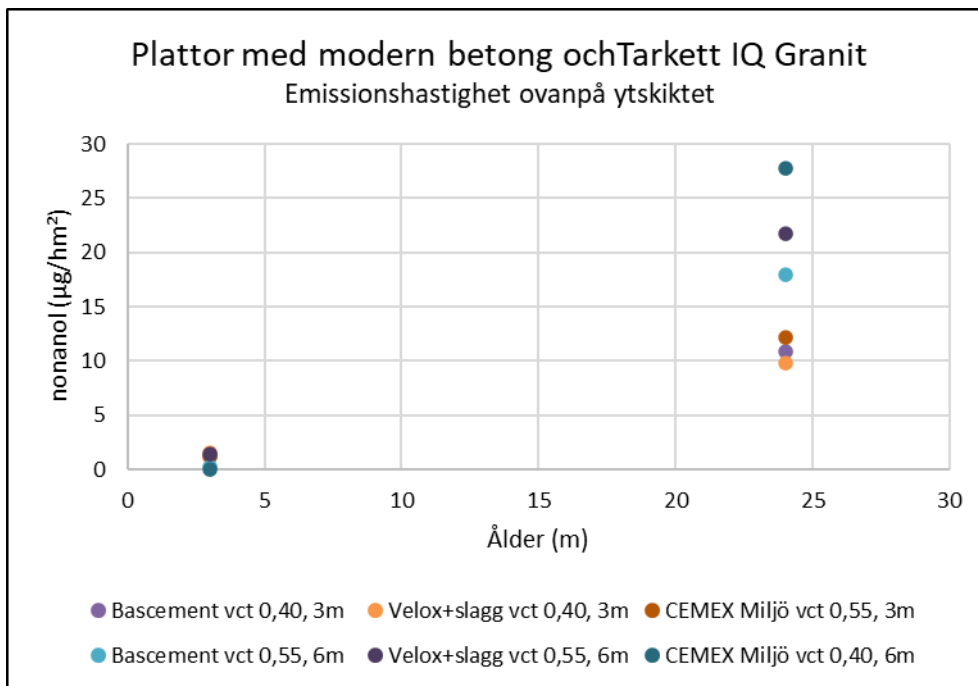
Förutsägbar emissionsbild ovanpå ytskikten

Emissioner på ovansidan bjöd inte på några överraskningar. Referensobjekten efterliknade väl försöken i [6] med den skillnaden att nonanoler erhöles från hydrolys av ytskiktet i stället för 2-etylhexanol som i den gamla undersökningen. Hög emissionsbild erhålls för den blöta referensbetongen och låg emissionsbild väl inom labbets praktiska gränser (ca 34 µg/hm²) för den torra, för n-butanol se Figur 2.



Figur 2. Emissioner av n-butanol ovanpå ytskiktet (FLEC) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.

Plattorna med modern tät betong hade också en låg emissionsbild, inom labbets anmärkningsgränser vid mätning ovanpå ytskiktet. En växande trend observerades dock för emissioner av nonanoler från plattor med Tarkett iQ Granit, se Figur 3. Detta resultat skall dock inte överskattas då FLEC-mätningarna på plattor med modern betong endast utfördes vid två tidpunkter.



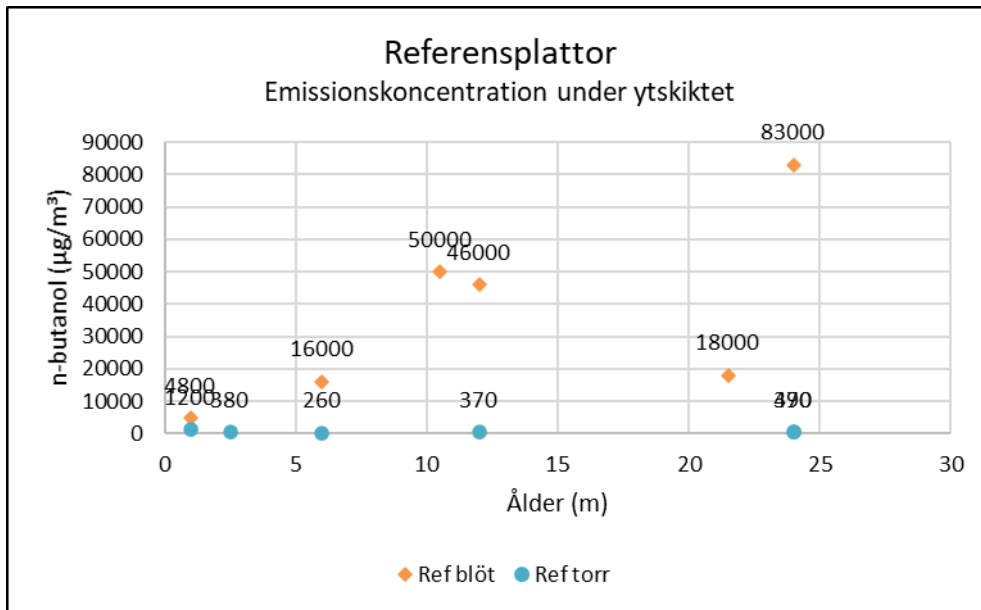
Figur 3. Emissioner av nonanoler ovanpå ytskiktet (FLEC) för plattor med modern tät betong med Tarkett iQ Granit som ytskikt.

Då det tidigare konstaterats att det över lag inte föreligger fuktproblem i mätobjekten med modern tät betong, dvs RF överstiger inte kritiskt gränsvärde, i anslutning till lim och ytskikt [1][2], ser totalbilden av emissioner på ovansidan av betongplattorna rimlig ut. För samtliga detaljer hänvisas läsaren till [3].

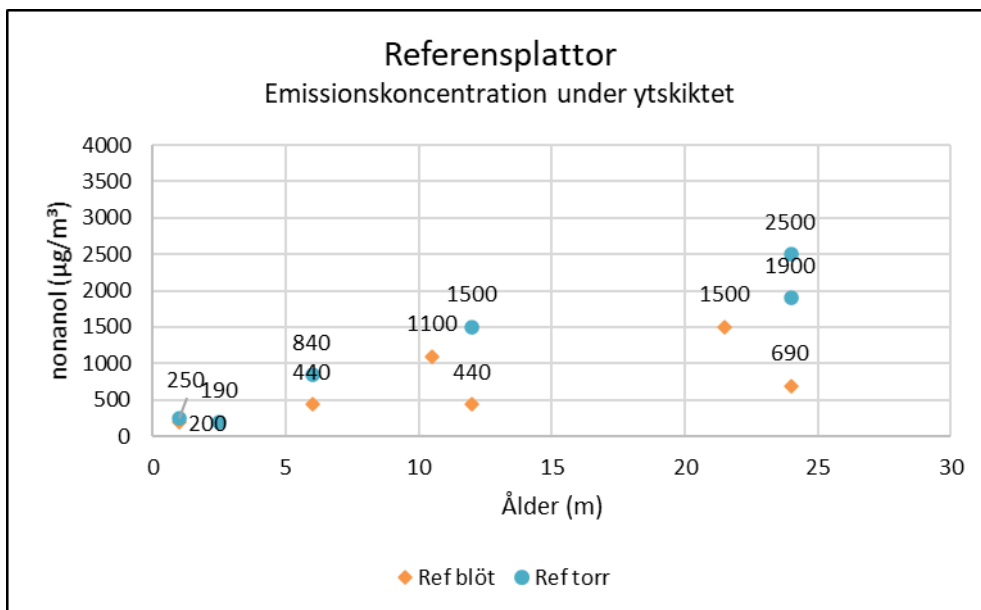
Komplex emissionsbild under ytskikten

Under ytskikten erhålls en emissionsbild som inte kan anses lika förväntad eller enkel. Emissionerna av n-butanol i referensplattorna är i princip enligt förväntning, se Figur 4. För den blöta referensen erhålls mycket höga värden samtidigt som den torra ligger på en mycket lägre nivå. Här bör observeras att den tidiga toppen för den torra referensen (ca 1200 µg/m³) rimligen bör vara kopplad till primär hydrolysis p.g.a. limfukten. Dessa emissioner tycks sedan avta med tiden. En liknande bild erhålls för 2-etylhexanolen, som för referensplattorna härstammar från limmet.

Emissionerna från ytskiktet i form av nonanoler för referensplattorna visas i Figur 5. Här är skillnaden mellan den blöta och den torra plattan inte särskilt tydlig. Detta samtidigt som nivåerna är klart över gränsen för när laboratoriet normalt anmärker för enskilda ämnen i en kammarmätning (ca 1000 µg/m³). Det bör dock observeras att labbet inte ser nonanoler som ett indikatorämne och det finns inget statistiskt underlag avseende gränsvärde för denna emission.



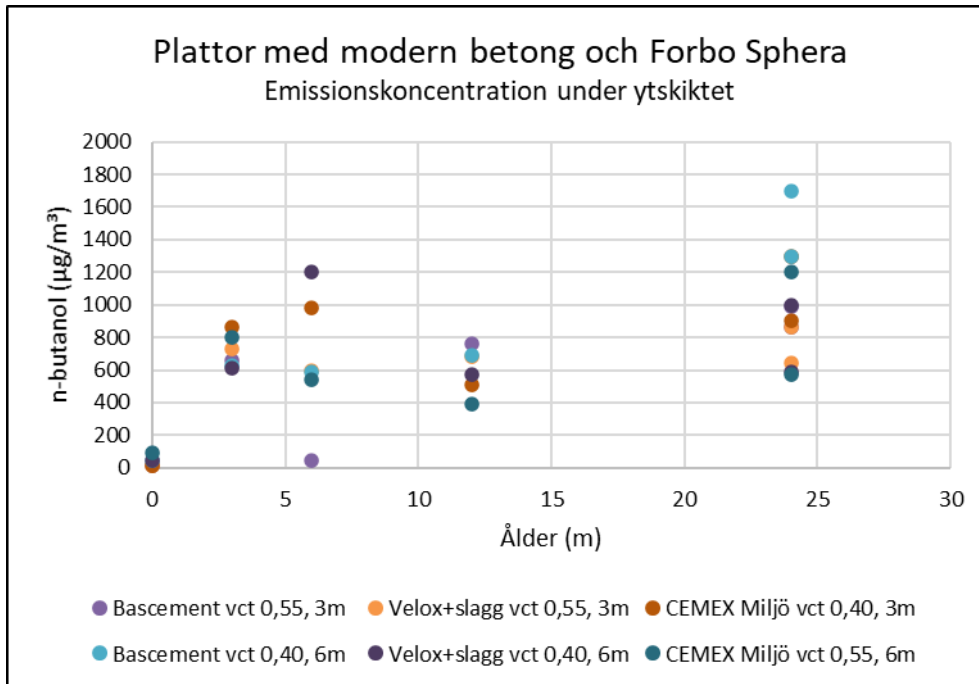
Figur 4. Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.



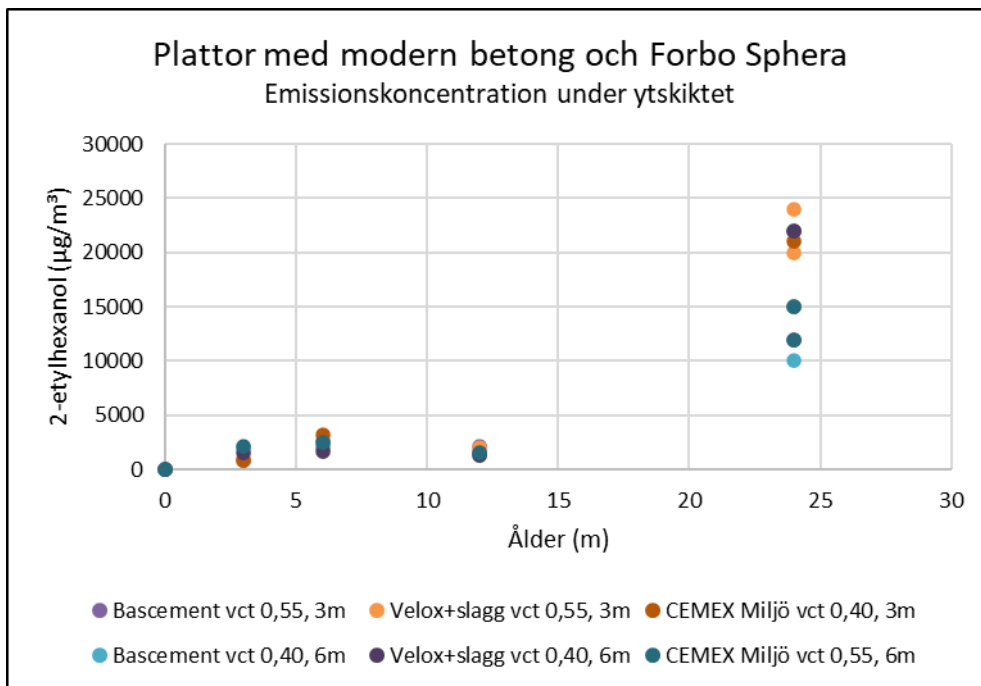
Figur 5. Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.

Betongplattorna med den moderna täta betongen erbjuder en viss utmaning när det gäller tolkning av emissionsbilden. Emissioner från lim redovisas i Figur 6 i form av n-butanol. Figuren visar emissioner för plattor med Forbo Sphera som ytskikt men mycket snarlik bild erhålls även för plattor med Tarkett iQ Granit. Det finns en initial uppgång, antagligen kopplad till limfukten, därefter en minskning för att slutligen övergå i en långsiktig höjning av värdena. Nivån är jämförbar med emissioner av n-butanol från limfukten i den torra referensplattan.

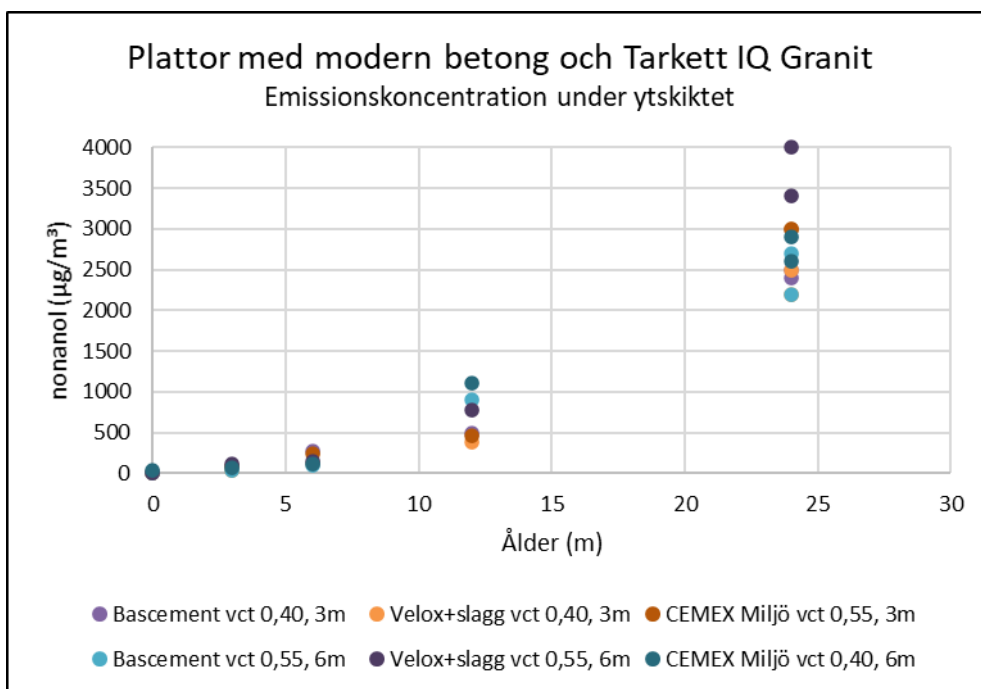
Emissioner från ytskikt för modern tät betong sammanställs i Figur 7 samt Figur 8. Emissionerna av 2-etylhexanol från Forbo Sphera kommer ungefär samtidigt tidsmässigt som de för n-butanol. Det som skiljer är överraskande höga värden efter två år. Emissioner av nonanoler från Tarkett iQ Granit ser ut att växa successivt över tid, med tvåårsvärden oproportionerligt höga jämfört med år ett, dock inte i samma extrema nivå som för 2-etylhexanol.



Figur 6. Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Forbo Sphera som ytskikt.



Figur 7. Emissioner av 2-etylhexanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Forbo Sphera som ytskikt.



Figur 8. Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Tarkett iQ Granit som ytskikt.

Som jämförelse med emissionsnivåer ovan redovisas även värden för ytterligare en typ av objekt i Tabell 1. Det är ett delobjekt där avjämning (ca 17 mm tjock) lades ut på metallfolie, uttorkades till en nivå av 62,8 +/- 1,8 % RF och därefter limmades ytskikt (Forbo Sphera) på avjämningen. Objektet innehåller således inte någon betong, som potentiell källa till hydroxidjoner eller fukt. För detta objekt redovisas emissioner från kammarmätning. Här bör

noteras att emissionsnivån för 2-etylhexanol från objektet utan betong är i samma höga storleksordning som emissionerna i Figur 7.

Objekt	Ålder (m)	Emissioner ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		n-butanol	2-etylhexanol
Avjämnings på metallfolie med lim och Forbo Sphera, mitten	27,5	990	14000
Avjämnings på metallfolie med lim och Forbo Sphera, kant	27,5	810	14000

Tabell 1. Emissioner från enstaka kammarmätningar avseende avjämnings på metallfolie med pålimmad ytskikt

Mätningarna av fuktillstånd i golvet samt emissioner ovanför ytskikten ger en bild, mätningar av emissioner under ytskikten en annan. Det blir en viss utmaning att förstå vad som egentligen händer i golvet, varför mätresultaten ser ut som de gör och hur de kan beskriva samma verklighet. Resultaten under ytskikten går inte att jämföra med [6] eller andra undersökningar från den tiden då kammarmetoden inte användes på ett omfattande och systematiskt sätt. Den enda moderna undersökning som är av relevans [8] omfattar endast mätningar upp till 6 månader efter mattläggning. Redovisade nivåer i [8] är jämförbara med ettårsvärden redovisade i denna artikel. Detta ger inte heller någon vägledning till förståelsen av de mer extrema emissionsvärdena som uppmätts två år efter mattläggning för plattor med modern tät betong.

Akkumulering av emissioner i avjämnings

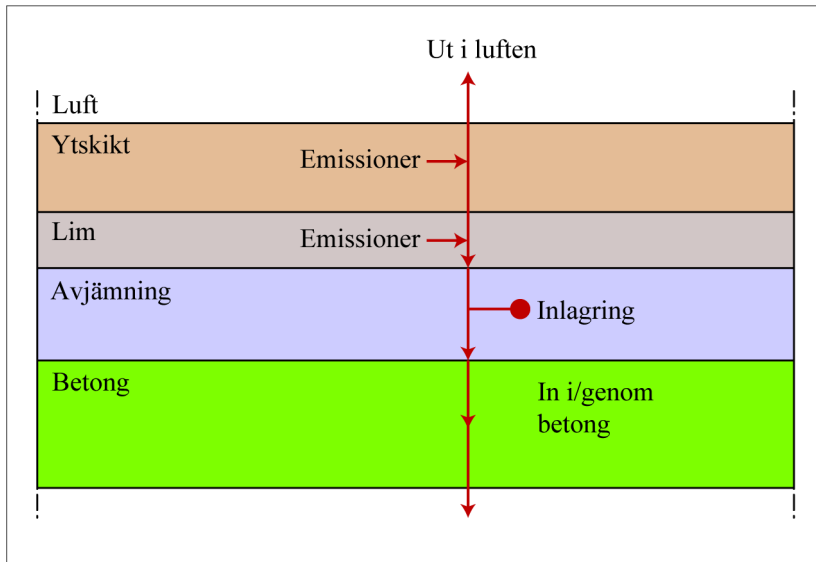
Källor till emissioner i golvsystem kan delas in i tre huvudsakliga grupper:

- **Primär hydrolys** – alkalisk nedbrytning av mjukgörare i ytskikt och/eller bindemedel i lim där transporten av hydroxidjoner från underlaget beror på fuktvågen från limmet.
- **Sekundär hydrolys** – alkalisk nedbrytning av mjukgörare i ytskikt och/eller bindemedel i lim där transporten av hydroxidjoner från underlaget beror på hög fuktnivå i underlaget som inte kopplas till limfukten, t.ex. dålig initial uttorkning.
- **Egenemissioner** – emissioner från lim eller matta som inte beror på alkalisk hydrolys, t.ex. lösningsmedel som lämnar lim vid uttorkning.

Det är i princip omöjligt att eliminera den primära hydrolysen. Fuktvågen från ett vattenbaserat lim kommer alltid fuktmässigt att mätta de översta millimetrarna av underlaget och frisläppa hydroxidjoner. Man kan heller inte göra något åt egenemissionerna. De behöver helt enkelt lämna de ingående materialerna. Bägge dessa fenomen är dock av övergående karaktär. De startar vid mattläggning, men avtar därefter med tiden. Sekundär hydrolys brukar normalt pekas ut som huvudkälla till emissioner då golvet är fuktskadat. Vid sådana fall, som t.ex. i den blöta referensplattan, blir emissionsnivåerna mycket höga. Samtidigt skall man ha klar för sig att trots att ett golv uppfyller dagens uttorkningskrav elimineras inte en sekundär hydrolys. För detta skulle krävas uttorkningsnivåer som inte är praktiskt möjliga att uppnå under byggprocessen. Detta innebär att en lågintensiv sekundär emission är något som alltid

förekommer. Det kommer alltså alltid att bildas emissioner i den typen av golvsystem, även om det är utfört enligt gällande krav, dock med relativt låg intensitet.

När emissionerna väl bildats kan de transporteras ut i luften genom ytskiktet, transporteras in i betongen och eventuellt genom betongen ut på andra sidan golvet eller lagras in i avjämningen, se Figur 9.



Figur 9. Vad som kan hända med emissioner som bildas i golvsystem.

Låga emissionsnivåer ovanpå ytskikten tyder på mycket liten transport ut genom ytskikten. Den moderna täta betongen har väsentligt lägre transportförmåga för fukt än gammal betong med rent ordinarie portlandcement (OPC), vilket sannolikt försvårar transporten av emissioner in i betongen. Det finns även andra faktorer som ytterligare försvårar transporten av luftburna molekyler som inte är vattenlösliga, som 2-etylhexanol samt nonanoler, se kommande slutrapport för SBUF 13560. Det som återstår av möjligheterna är inlagring i avjämningens porsystem, som har gott om stora porer som inte är vätskefyllda. Denna slutsats stöds vidare av mätningarna i avjämningen som gjutits på metallfolie och uttorkats till ca 63 % RF innan pålimning av ytskikt skett. I detta objekt saknas betong både i egenskap av källa till möjlig byggfukt samt som huvudsaklig källa för hydroxidjoner. Däremot är möjligheten till transport ner förhindrad av metallfolien på ett liknande sätt som av den täta betongen i de skarpa plattorna. Emissionsnivå för 2-etylhexanol efter dryga två år är fullt jämförbar med plattor med samma ytskikt på avjämning och modern tät betong. Detta bekräftar inlagring i avjämningen som huvudtolkning av vad som skett i golvsystemen. Anledningen till att man inte kunde se detta fenomen tidigare är att gammaldags betong möjliggjorde en viss nivå av transport av emissioner in i golvet. Detta medförde att så länge intensiteten för den sekundära hydrolysen var låg, dvs. golvet var inte fuktskadat, så samlades inte emissionerna under ytskiktet.

En annan sak som bör förklaras är den stora skillnaden mellan ettårs- och tvåårsvärden för emissioner. Den mest sannolika förklaringen till denna är mättnad i avjämningens porsystem avseende 2-etylhexanol och nonanoler. När väggarna i porsystemet är mättade med

adsorberade molekyler kommer ytterligare emissioner endast lagras in i luften i porsystemet. Detta kommer att resultera i mycket högre koncentrationer avlästa vid en kammarmätning. Till skillnad från de två större molekylerna är n-butanolen till viss del vattenlöslig. Detta möjliggör inlagring av n-butanol även i den vätskefyllda delen av porsystemet i avjämningen och lägre koncentrationsvärden vid kammarmätning. För detaljer kring dessa fenomen se [5].

Ingen fuktskada eller utförandefel, men är det en golvskada?

Ett tidigare konstaterat oproblematiskt fuktillstånd tillsammans med analysen ovan ger något överraskande slutsatser. Plattorna med modern tät betong fungerar fuktmässigt. Samtidigt som den lågintensiva sekundära hydrolysen som mycket sannolikt alltid har uppkommit resulterar i en ackumulering av emissioner i avjämningen, då de inte kan transporteras bort. God uttorkning kan inte förhindra detta, även om dålig uttorkning kan förvärra läget.

Å ena sidan kan man tycka att så länge emissionerna inte kan mätas i större omfattning ovanpå ytskikten, vilket är fallet här, så finns det inget problem. Å andra sidan, att bortse från emissionsvärden under ytskikten som för 2-etylhexanolen överstiger labbets praktiska gränser för anmärkning med mer än faktor 10 förefaller allt annat än ansvarsfullt. De redovisade mätningarna omfattar endast två år av golvet livstid och en ökande tendens kan lätt ses i diagrammen i fråga. Eventuellt slitage och eller skador på ytskikten riskerar göra det lättare för emissionerna att hitta ut i rumsluften. Förr eller senare kommer man att vilja byta ytskikt och i samband med borttagning av det gamla ytskiktet kommer de tidigare ackumulerade emissionerna att frisläppas över tid från golvet. Är detta ett skadat golv? Skall man bara ventilera ut och limma på ett nytt ytskikt eller skall man även byta avjämning?

Som ovan konstaterats, uttorkning till en lägre RF än 85% för betongen kommer inte att lösa problemet med emissioner under ytskiktet. Beviset på detta är emissionsmätningen under ytskiktet limmat på väl uttorkad avjämning med endast en metallfolie som underlag. Detta är ett underlag utan betong med dess höga pH och ev. byggfukt. Återgången till mer porös och öppen betong ser inte ut som ett praktiskt tänkbart alternativ när branschen går mot klimatförbättrad betong. På grund av trycket från miljökraven lär varken kalkstensfiller eller puzzolana/halvpuzzolana tillsatser kunna tas bort från betongrecepten utan snarare öka i omfattning. Den moderna täta betongen är här för att stanna. Det är alltså hög tid att ifrågasätta vad som skall betraktas som en golvskada. Mätningarna i projektet visar tydligt på svårigheten att tolka resultat av kammarmätningar. Höga värden är inte nödvändigtvis ett bevis på pågående hydrolys, då de kan vara ackumulerade från den primära hydrolysen p.g.a. limfukten. Även mycket höga värden kan mätas upp utan att underlaget innehåller fukt som överskrider gängse gränsvärden. Att likställa förhöjda emissioner under mattan med ett fuktskadat golv är alltså direkt fel. Dessa kan bero på en fuktskada, men de kan även förekomma utan problem med fukt.

Slutsatser

Fuktsäkra golvsystem med modern tät betong och porös avjämning kan tas fram utan att uttorkningskrav på ekvivalent djup är uppfyllt. Konceptet fungerar och detta bekräftas av

såväl emissionsmätningar ovanpå ytskikten, utförda i enlighet med hur dagens uttorkningskrav är framtagna (FLEC) som mätning av fuktillstånd [1][2].

Samtidigt ger mätningar under ytskikten anledning till oro och bör föranleda vidare arbete inom branschen, även om de inte bedöms vara direkt fuktrelaterade. Dels observeras att utvärdering av resultat från kammarmätning av emissioner under ytskikten kan vara svår att utföra. En kammarmätning med förhöjd eller t.o.m. mycket förhöjda emissioner bevisar inte en fuktskada. Ett exempel på detta är projektets kammarmätning med mycket höga resultat ca 27 månader efter mattläggning i ett stycke avjämning på metallfolie, uttorkat till ca 63% RF innan mattläggning. Det finns även andra skäl till att kammarmätningar kan vara svåra att tolka och jämföra, se [5]. Ett förhöjt emissionsvärde i en kammarmätning är alltså nödvändigtvis inte lika med en fuktskada.

Vidare visar kammarmätningarna i de undersökta plattorna en ackumulation av emissioner över tid i avjämningen. Även om den höga inlagringen av emissionerna under ytskikten inte ser ut att påverka emissionerna ovanför under studerad tidsperiod kan den inte avfärdas som oproblematiske. Detta potentiella problem är inte fuktrelaterat. Det är mycket sannolikt att det förvärras av fuktproblem i golvet men det kommer att finnas där även vid god fuktsäkerhet. Mot bakgrund av ovanstående bör branschen på allvar ställa sig följande frågor:

- **Hur skall ackumulerade emissioner i golvet under ytskiktet hanteras?** Skall man försöka förhindra att de uppstår och i så fall hur? Uttorkning och fuktsäkerhet löser inte detta problem. Eller skall man planera för att leva med emissionerna? I så fall på vilket sätt och på vems bekostnad?
- **Vad är en golvskada och när föranleder den reparationsansvar från entreprenören?** En kammarmätning under mattan i ett golv utan fuktproblem kan ändå ge höga emissionsvärden. Detta är inte nog bevis för en golvskada med påföljande skadeansvar från utförarens sida.

Sammanfattningsvis kan konstateras att uttorkningskravet på ekvivalent djup har spelat ut sin roll och bör ersättas av andra metoder. Det går att uppnå god fuktsäkerhet med moderna material utan att krävställa RF på ekvivalent djup. Samtidigt räcker inte ett uppfyllande av nu gällande uttorkningskrav för att förhindra bildning och ansamling av emissioner i golvsystemet. Eftersom begränsning av emissioner från alkalisk hydrolys samt god fuktsäkerhet fortfarande är viktiga för ett sunt byggande bör andra metoder för att säkerställa dessa tas fram.

Referenser

- [1] *Täthet som alternativ till uttorkning av betongbaserade golvsystem?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Husbyggaren nr 2 2021
- [2] *Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen Mars 2021, www.byggforetagen.se/ppb under delen *Öka din kunskap*

- [3] *Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen September 2021, www.byggforetagen.se/ppb under delen *Öka din kunskap*
- [4] *BUILDING MATERIALS:EMISSION OF VOLATILE COMPOUNDS - On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC)*, NT Build 484, Approved 1998-11, ISSN 0283-7153, NORDTEST
- [5] *Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?*, M. Stelmarczyk, J. Kristensson, Bygg & Teknik Nr 6 2021
- [6] *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*, H. Wengholt Johnsson, Chalmers Tekniska Högskola 1995
- [7] *Framtidens golvsystem med modern, tät betong, Slutrapport del 1, långsiktig del: en gedigen grund för framtiden*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, SBUF 13560, 2020
- [8] *Minimera kemiska golvskador, Slutrapport SBUF 13599 samt 13752*, J. Grantén, D. Granlund, 2020 SBUF

Författare

Civ.ing. Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic
Civ.ing. Ted Rapp, Byggföretagen, Tekniskt sakkunnig RBK
Dr., Adj. Prof. Hans Hedlund, Skanska Sverige AB
Dr. Fredrik Gränne, NCC Sverige AB
Staffan Carlström, Swerock AB