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.

TEXT MARCIN STELMARCZYK, TED RAPP, HANS HEDLUND, FREDRIK GRÄNNE & STAFFAN CARLSTRÖM

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 tidigare nämd fuktartikel[1]. För detaljerade resultat från mätningarna samt mer utförlig analys hänvisas läsaren till rapporter publicerade på Byggföretagens webbsajt[2+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 referens 4, se ingressbild för mätuppställning. Mätningen på undersidan utfördes med kammarmetoden på materialprov (avjämning eller betong) uttaget med kärnborr, se referens 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.

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 referens 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 referens 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 referens 6 fast innehåller en annan mjukgörare.

Som tidigare konstaterats[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*

Figur 1. Mätuppställning för kammarmetoden med uttaget prov.

FÖRUTSÄGBAR EMISSIONSBILD OVANPÅ YTSKIKTEN

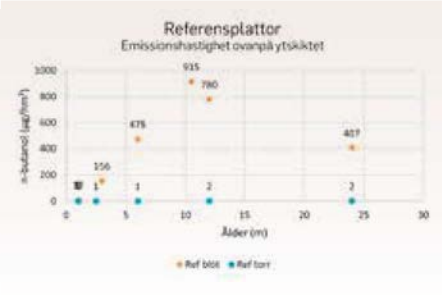
Emissioner på ovansidan bjöd inte på några överraskningar. Referensobjekten efterliknade väl försöken i referens 6 med den skillnaden att nonanoler erhölls från hydrolys av ytskiktet i stället för 2-etylxhexanol som i den gamla undersökningen. Hög emissionsbild erhålls för den blöta referensbetongen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

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.

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 referens 3.

KOMPLEX EMISSIONSBILD UNDER YTSKIKTEN

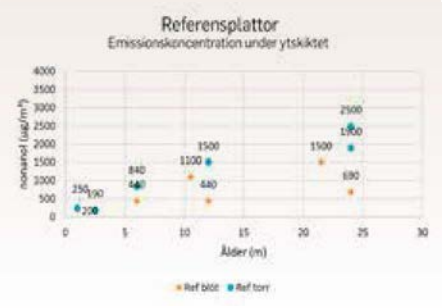
Under ytskikten erhålls en emissionsbild



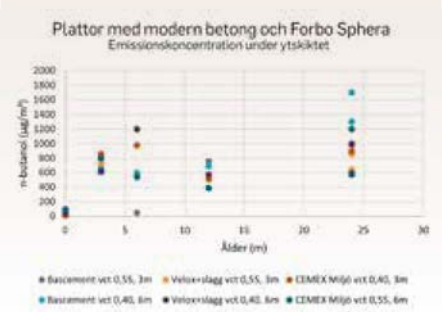
Figur 2. Emissioner av n-butanol ovanpå ytskiktet (FLEC) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.

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

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



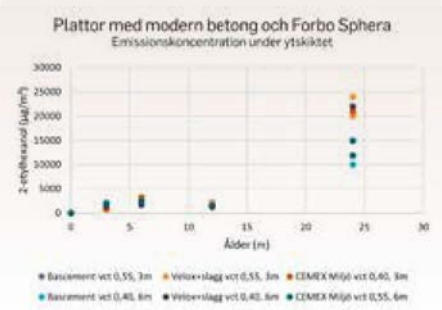
Figur 5. Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.



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

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

Tabell 1. Emissioner från enstaka kammarmätningar avseende avjämning på metallfolie med pålimmad 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 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 g/m³) rimligen bör vara kopplad till primär hydrolys 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 g/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 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.

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.

Mätningarna av fukttillstånd 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 referens 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 referens 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.

ACKUMULERING AV EMISSIONER I AVJÄMNINGEN

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

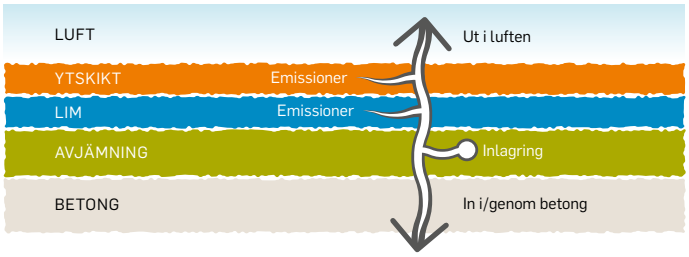
- **Primär hydrolys** Alkalisk nedbrytning av mjukgörare i ytskikt och/eller bindemedel i lim där transporten av hydroxidjoner från underlaget beror på fuktvågen från limmet.
- **Sekundär hydrolys** Alkalisk nedbrytning av mjukgörare i ytskikt och/eller bindemedel i lim där transporten av hydroxidjoner 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 materialen. 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.

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 referens 5.



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

INGEN FUKTSKADA ELLER UTFÖRANDEFEL, MEN ÄR DET EN GOLVSKADA?

Ett tidigare konstaterat oproblematiskt fukttillstånd 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 golvets 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 fukttillstånd.[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 referens 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 oproblematisk. 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 kravställa 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

MARCIN STELMARCZYK
Civ. ing.,
The Green Dragon Magic

HANS HEDLUND
Dr, Adj. Prof.
Skanska Sverige AB

TED RAPP
Civ. ing. Byggföretagen,
Tekniskt sakkunnig RBK

FREDRIK GRÄNNE
Dr, NCC Sverige AB

STAFFAN CARLSTRÖM
Swerock AB