

Faktabaserad branschinformation kring fukt i modern betong

Slutrapport

**Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic
Ted Rapp, Byggföretagen
Hans Hedlund, Skanska Sverige AB**

2021-10-28

Förord

Projektets arbetsgrupp vill rikta ett stort och varmt tack till SBUF för finansiering av detta projekt.

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projektet SBUF 13873 *Faktabaserad branschinformation kring fukt i modern betong*. En bakgrund till projekten ges. Projektgenomförandet inklusive samarbetet med huvudsakligen SBUF 13560 samt 13711 beskrivs. Den resulterande informationsspridningen redovisas och framtagna rapporter samt artiklar bifogas som bilagor.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Sammanfattning.....	2
Innehållsförteckning.....	3
1 Inledning.....	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Rapportens struktur	4
2 Projektens genomförande.....	4
3 Resultat.....	5
3.1 Rapporter	5
3.2 Artiklar	5
Referenser	6
Bilageförteckning.....	6

1 Inledning

1.1 Bakgrund

SBUF 13873 *Faktabaserad branschinformation kring fukt i modern betong* startades som svar på ett ej förutsett informationsbehov till följd av publiceringen av projektresultat inom fuktområdet från SBUF 13140 *Tillämpningsmodellering av fuktfenomen i betong för modern uttorkningssimulering*, SBUF 13197 *Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong* samt SBUF 13198 *Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong*. Projektets syfte var att sakligt bemöta det ökade informationsbehovet, eventuell kritik riktad mot projektresultaten samt besvara ett intresse från journalister kopplad därtill.

1.2 Rapportens struktur

Rapporten är uppdelad i tre delar:

- Inledning – detta kapitel.
- Projektets genomförande – här redovisas det arbetet som utfördes under projektet.
- Resultat – här redovisas en övergripande bild av resultaten. För detaljer se rapportens bilagedel.

Rapporten innehåller även bilagor med publicerade artiklar i branschpress samt komprimerad utskrift av manualen till den resulterande versionen av PPB.

2 Projektets genomförande

Projektet genomfördes under ledning av Byggföretagen. Majoriteten av arbetet utfördes av The Green Dragon Magic (GDM). Arbetet genomfördes inom en relativt liten arbetsgrupp, vilket resulterade i en löpande kommunikation utan behov av formella styrgruppsmöten.

Under projektets gång justerades fördelningen av arbetet mellan projektmålen. Före projektstart riktades officiell kritik mot de tidigare publicerade projektresultaten i form av en utredningsrapport [1], publicerad på Fuktcentrums hemsida. Denna besvarades genom en publikation från Byggföretagen [2], även detta innan starten av detta projekt. Därefter har ingen mer officiell kritik framförts. Detta resulterade i att arbetet i aktuellt projekt kunde fokusera på en pedagogisk informationsspridning till branschen av mer allmän karaktär. Denna inriktade sig på både tidigare resultat samt resultat från pågående projekt:

- SBUF 13560 *Framtidens golvsystem med modern, tät betong*
- SBUF 13711 *Fuktomfördelning i golvsystem i Produktionsplanering Betong*

Även specifikt journalistintresse avtog vilket medförde omfokusering av denna ansträngning mot informationssupport av branschens andra ordinarie kanaler för löpande informationsspridning.

3 Resultat

Projektets arbete har resulterat i publikation av industriella rapporter samt artiklar i branschpress. Dessa publikationer har huvudsakligen inriktat sig på spridning av information från SBUF 13560 samt 13711. Då dessa projekt anknyter och baseras på resultaten av SBUF 13197, 13198, 13140 samt 13354 har även resultaten från dessa projekt berörts med hänvisningar till tidigare publikationer och slutrapporter.

3.1 Rapporter

Tre rapporter har publicerats på PPB:s webbplats www.byggforetagen.se/ppb hos Byggföretagen under rubriken "Öka din kunskap":

- *Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet*
 - Rapporten beskriver resultaten från SBUF 13711, dvs. senaste releasen av PPB med möjligheterna att simulera inte bara gjutning och uttorkning utan även avjämning och mattläggning vid produktionen av golvsystem.
 - Se bilaga 1
- *Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?*
 - Rapporten beskriver de fuktrelaterade resultaten från mätningar med skarpa plattor med avjämning och pålimmat ytskikt i SBUF 13560
 - Se bilaga 2
- *Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?*
 - Rapporten beskriver de resultaten från emissionsmätningar med skarpa plattor med avjämning och pålimmat ytskikt i SBUF 13560
 - Se bilaga 3

Svensk Byggtjänst Bygginfo har försetts med de publicerade rapporterna som underlag till deras informationspridning.

3.2 Artiklar

Två artiklar har publicerats och tre till håller på att publiceras i skrivande stund enligt följande:

- Bygg & teknik
 - *Är uttorkning av betong på ekvivalent djup fortfarande relevant?*
 - Artikel med ett urval av fuktrelaterade resultat från mätningar i SBUF 13560 med där tillhörande diskussion
 - Se bilaga 4
 - *Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?*
 - Artikel med en genomgång av den idag mest använda metod för mätning av emissioner under ytskiktet i golvsystem, förklaringar kring dess styrkor, svagheten och känslighet samt tillhörande diskussion kring tillämpning.
 - Se bilaga 5
 - *Emissioner i golvsystem med modern tät betong*
 - Artikel med ett urval av emissionsrelaterade resultat från mätningar i SBUF 13560 med där tillhörande diskussion
 - Se bilaga 6

- Husbyggaren
 - *Täthet som alternativ till uttorkning av betongbaserade golvsystem?*
 - Artikel med ett urval av fuktrelaterade resultat från mätningar i SBUF 13560 med där tillhörande diskussion
 - Se bilaga 7
 - *Förändrad emissionsbild i golvsystem med modern tät betong*
 - Artikel med ett urval av emissionsrelaterade resultat från mätningar i SBUF 13560 med där tillhörande diskussion
 - Se bilaga 8

Referenser

1. *Utredning kring PPBs uttorkningsmodul – Slutrapport 2020-02-06*, L.-O. Nilsson, K. Tuutti, Fuktcentrum 2020
2. *Teknisk granskning av "Utredning kring PPBs uttorkningsmodul – Slutrapport 2020-02-06"*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, www.sbuf.se/ppb 2020, numera www.byggforetagen.se/ppb under delen *Öka din kunskap*

Bilageförteckning

1. Rapport: *Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Byggföretagen Februari 2021
2. Rapport: *Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen Mars 2021
3. Rapport: *Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Byggföretagen September 2021
4. Artikel: *Är uttorkning av betong på ekvivalent djup fortfarande relevant?*, M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, Bygg och Teknik nr 4 2021
5. Artikel: *Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?*, M. Stelmarczyk, J. Kristensson, Bygg och Teknik nr 6 2021, layoutkorrektur ej publicerat i skrivande stund
6. Artikel: *Emissioner i golvsystem med modern tät betong*, M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, F. Gränne, S. Carlström, Bygg och Teknik nr 6 2021, layoutkorrektur ej publicerat i skrivande stund
7. Artikel: *Täthet som alternativ till uttorkning av betongbaserade golvsystem?*, M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, S. Carlström, Husbyggaren nr 2 2021
8. Artikel: *Förändrad emissionsbild i golvsystem med modern tät betong*, M. Stelmarczyk, H. Hedlund, T. Rapp, F. Gränne, S. Carlström, Husbyggaren nr 6 2021, material inskickat till tidningen ej publicerat i skrivande stund

Februari 2021

Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet

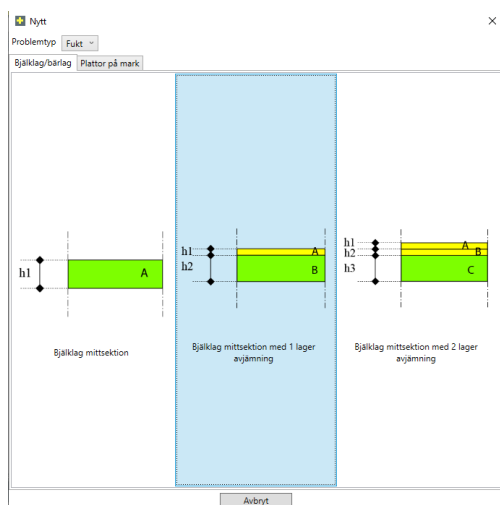
BYGGFÖRETAGEN
› Produktionsplanering betong

Få grepp om fukt under produktionen av hela golvsystemet

Nu är det möjligt att prediktera fuktförloppet under produktionen av hela golvet då Produktionsplanering Betong version 3.0 kan simulera både avjämning och golvläggning. Programmet har dessutom fått stöd för övervakning av uttorkningskrav i beräkningar samt jämförelse av prediktering med uppmätta fuktnivåer. Användargränssnittet har fått omfattande förbättringar avseende olika, inte bara fuktrelaterade funktioner. Manualen har blivit omarbetad och omfattar numera hela fuktdelen.

Avjämning

Tidigare beräknade PPB fuktillstånd endast för betong. Beräkningen startade vid gjutningen och omfattade hårdnandet samt senare uttorkning i olika faser. Detta har förändrats i version 3.0. Det är numera möjligt att låta beräkningen omfatta även senare steg i golvproduktionen. Om man vill ta med avjämningen i simuleringen finns det nya typfall för både bjälklag (se Figur 1) och platta på mark där avjämningssmassa kan läggas på i ett eller två lager.



Figur 1. Typfall för fuktberäkning för bjälklag, numera med möjlighet till avjämning.

Avjämningslagret hanteras som ett separat materialblock med sina resp. egenskaper, se Figur 2. De huvudsakliga valen handlar om vilken avjämningsmassa som används, huruvida primer används och i så fall vilken samt starttemperaturen för avjämningsmassan. Tidpunkten då avjämningsmassan läggs på kan anges på olika sätt. Man kan välja en fast tidpunkt. Det går också att koppla avjämningsmassan till uppfyllande av ett uttorkningskrav i den underliggande betongen och då beräknas tidpunkten automatiskt av PPB (se mer om uttorkningskrav längre ner i texten). Om man väljer att avjämna i två separata lager kan det andra lagrets avjämningsmassa anges med fördröjning efter det första. Detta är särskilt lämpligt då man låter PPB beräkna det första lagrets avjämningsmassa baserat på den underliggande betongens uttorkning.

Block: Avjämning

Ung betong

Hantera alla randsegment som en rand

Föreskrivna krav enligt handlingar

<input checked="" type="checkbox"/> RF <= (%)	75.0	Säkerhetsmarginal (%)	3.0	Medel
---	------	-----------------------	-----	-------

Nytt: RF <= X (%) på djup (mm) Ta bort

Blocktyp: Avjämning

Material

Avjämningsmassa: Weberfloor 130 Core (PPB 2020.11.11)

Använd primer: Weberfloor 4716 Primer (PPB 2020.11.11)

Avjämningsförfarande

Vid uppfyllande av uttorkningskrav för Bjälklag

Relativ fuktighet(ekvivalent djup) <= 82.0 (%)

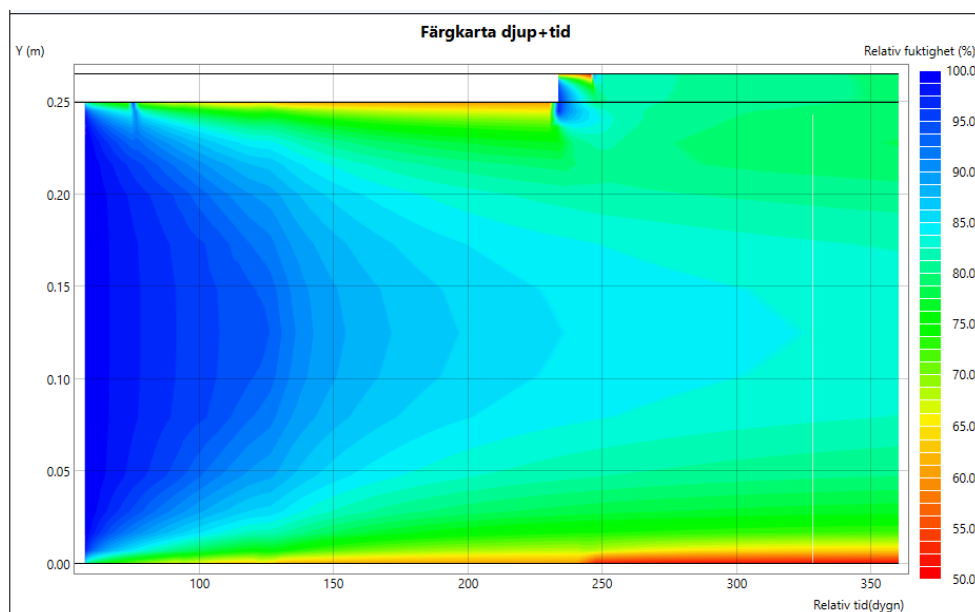
Fast tidpunkt: 8m

Startvillkor

Temp. (°C): 20

Figur 2. Specifikation av avjämningslager

Produktionsplanering betong kommer under simuleringen att beräkna temperatur- och fuktillståndet i avjämningsmassan. Detta inkluderar relativ fuktighet, ånghalt, partiellt ångtryck samt mängd fysikaliskt bundet vatten i avjämningsmassan. Presentationen av dessa resultat sker med samma diagram som för den underliggande betongen. Exempel på detta ges i Figur 3. Färgkartan har tiden på x-axeln och golvet tjocklek på y-axeln. Den är färgad efter RF. Vid ca 233 dygn ser man att avjämningsmassa läggs på och att simuleringen därefter omfattar hela golvet.



Figur 3. Färgkarta djup+tid avseende relativ fuktighet för ett 250 mm tjock bjälklag som belagts med 15 mm avjämnning vid uppfyllande av 82% RF på ekvivalent djup i betongen (ca 7 månader och 23 dygn efter betongens gjutning).

För närvarande finns det endast data för en avjämningsmassa men fler är på gång.

Golvläggning

En annan viktig del av hela golvsystemet är påläggning av ytskiktet. Täta ytskikt tillsammans med vattenbaserade lim påverkar fuktillståndet i de underliggande materialen, vilket kan bidra till risken för alkalisk nedbrytning av bindemedel i lim och/eller mjukgörare i ytskikt med oönskade effekter som följd. I PPB version 3.0 kan fuktillståndet efter golvläggning predikteras, se Figur 4.

The screenshot shows a software interface for specifying floor construction details. It includes a section for "Golvläggning" with the following options:

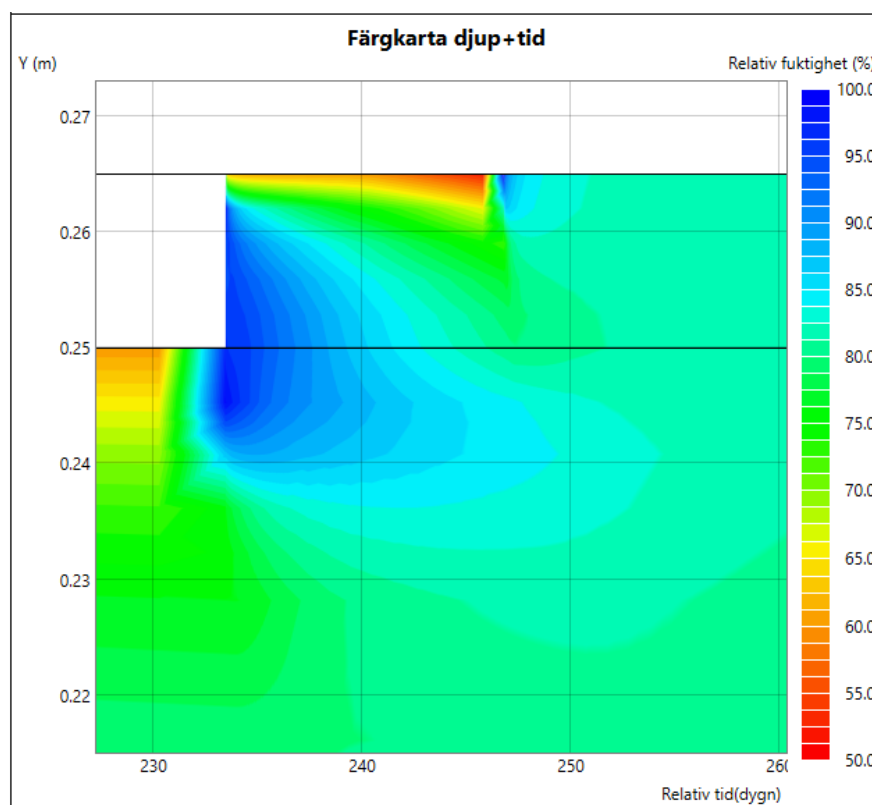
- Utför
- Ytskikt: Forbo Sphera (PPB 2020.11.04)
- Lim: CascoProff Universal (PPB 2020.11.04)
- Vid vald tidpunkt: 9m
- Vid uppfyllda uttorkningskrav

Below this, there is a section for "Uttorkningskrav för Avjämnning som styr golvläggning" with the following requirement:

- Relativ fuktighet(medel) <= 72.0 (%)

Figur 4. Specifikation av detaljer för beläggning av ytskikt.

Golvkonstruktionen kan beläggas med olika ytskikt.. Det är möjligt att applicera ytskiktet direkt på betong eller på avjämning. Man väljer mellan olika ytskikt och ev. limmer. I databasen finns det mer konventionella ytskikt som limmas men även lösliggande. När det gäller limmer finns det både vattenbaserade och icke vattenbaserade. Man anger tidpunkten för golvläggning på ett liknande sätt som för avjämning. Man kan välja en fast tidpunkt eller låta PPB beräkna tidpunkten baserat på när ett uttorkningskrav i det underliggande skiktet, betongen eller avjämningen är uppfyllt



Figur 5. Förstoring av figur 3 visandes fuktförlopp vid avjämning (ca 233 dygn) samt golvläggning (ca 246 dygn).

I Figur 5 visas inverkan av golvläggning som sker vid ca 246 dygn. Efter avjämning syns tydligt en uttorkning av avjämningsmassan mot luft ovanför samt spridning av dess fukt samt primerfukten ner i den underliggande betongen. Vid golvläggning förändras fuktillståndet i avjämningen. Den lilla blåa kilen vid 246 dygn är inverkan av limfukten som omfördelas för att senare övergå i långsammare uttorkning genom ytskiktet.

Krav på uttorkning

- PPB har tidigare erbjudit möjligheten att övervaka krav på bl.a.
- hållfasthetsutveckling, t.ex. hållfasthetsklass eller en specificerad hållfasthet i MPa.

Senaste versionen av mjukvaran erbjuder möjligheten att övervaka uttorkningskrav. Ett eller flera uttorkningskrav kan anges för betong och/eller avjämning, se Figur 6.

Dimensionerande exponeringsklass / vct_ekv: X0 / ---

T max (°C): 60.0

RF <= (%): 85.0 Säkerhetsmarginal (%): 3.0 Ekvivalent djup

Nytt: % av fordrad 28-d. hållf. Ta bort

Blocktyp: Hållfasthet X (MPa)

Material: Mognadsålder X (h)

RF <= X (%) på djup (mm)

Cementhalt: RF <= X (%) på djup (% av tjocklek) 397.0

Fcc28d (M): RF <= X (%) medel 40.0

Original (Originaldata)

Färska betongmassans temperatur i formen

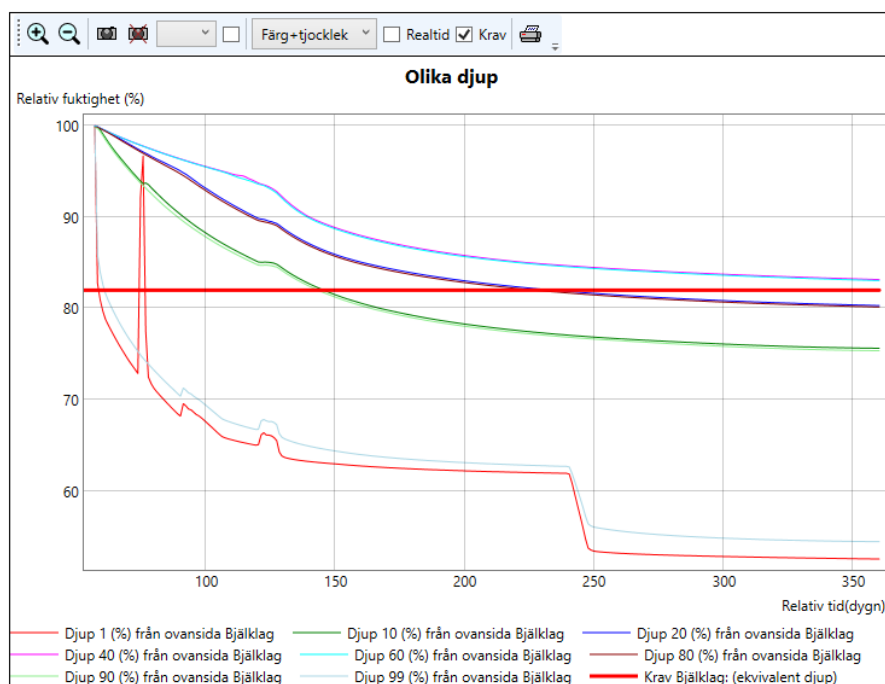
Figur 6. Specifikation av uttorkningskrav för betong, dels med standardkrav för ekvivalent djup och dels med möjlighet att lägga till fler egna krav.

Kraven kan specificeras för:

- Ett specifikt djup i konstruktionsdelen
 - ekvivalent djup i betong
 - mm eller % av tjockleken
 - används som standard för betong men kan användas även för avjämning
- Ett värde för hela konstruktionsdelen
 - snitt eller maximalt värde
 - används som standard för avjämning men kan användas även för betong

Kravnivån anges som % RF. Man får även ange en separat säkerhetsmarginal, som bör väljas med hänsyn till osäkerheten i mätmetoden man senare tänkt använda för verifiering av uttorkningen i den verkliga konstruktionen.

PPB övervakar de specificerade kraven under beräkningen och redovisar om och när de uppfylls i resultatlistan på samma sätt som andra krav redovisas. Man kan även visualisera de specificerade kravnivåerna i kurvdiagrammen för jämförelse med de beräknade resultaten, se Figur 7.



Figur 7. Kurvdiagram för RF med visualiserad nivå för uttorkningskrav.

Uppmätta fuktnivåer

Tidigare erbjöds för hållfasthetsberäkningar möjligheten att läsa in uppmätta temperaturförlopp för jämförelse av det predikterade och det verkliga hydrationsförloppet. På ett liknande sätt kan PPB numera hantera uppmätta fuktnivåer, se Figur 8.

Mätningar

Mätpunkter

Platta: Djup 40 (mm)

Ny mätpunkt... Ta bort mätpunkt

Mätpunkt i block: Platta

Beskrivning

Medel för blocket Djup (mm) 40

Tidpunkter

2021-03-30 09:00:00	Uppmätt RF (%)	85.3	Mätosäkerhet +/- (% RF)	2.1
2021-04-30 09:00:00	Uppmätt RF (%)	82.6	Mätosäkerhet +/- (% RF)	2.2

Ny tidpunkt... Ta bort tidpunkt

Figur 8. Inmatning av uppmätta fuktnivåer vid två olika tidpunkter för en och samma punkt i konstruktionen.

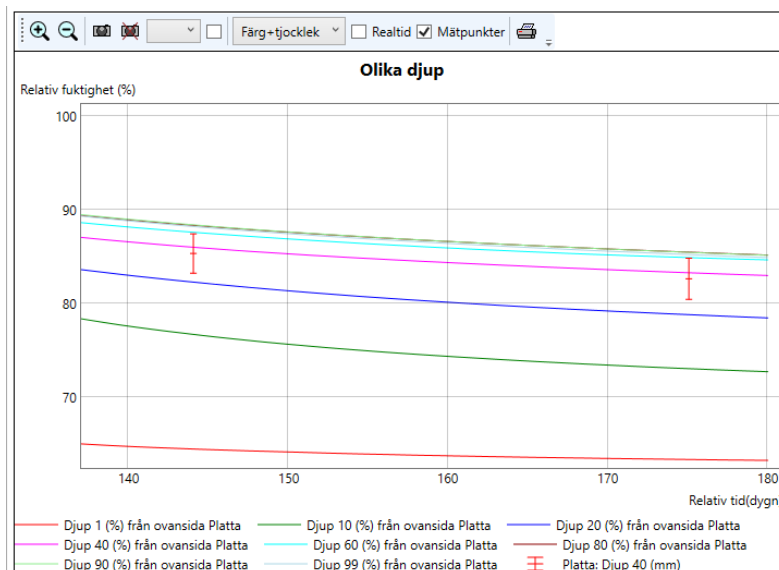
Man definierar en eller flera mätpunkter för konstruktionsdelar av betong och/eller avjämning. Varje mätpunkt har antingen ett djup i konstruktionen, vilket passar monterade givare i betong, eller motsvarar ett snittvärde för ett uttaget prov från avjämning. För varje mätpunkt kan man sedan ange uppmätt RF samt tillhörande mätosäkerhet vid en eller flera tidpunkter, beroende på hur många mätningar man gjort.

De uppmätta nivåerna sammanställs och jämförs med de beräknade i tabellform, se Figur 9.

Mätpunkter - sammanställning		
Platta: Djup 40 (mm)		
2021-03-30 09:00:00	Uppmätt RF 85.3 +/- 2.1 (%)	Beräknat RF 86.0 (%) vid 19.5 (°C)
2021-04-30 09:00:00	Uppmätt RF 82.6 +/- 2.2 (%)	Beräknat RF 83.3 (%) vid 19.5 (°C)

Figur 9. Jämförelse av predikterad och uppmätt RF.

Man kan också visa de uppmätta nivåerna med tillhörande mätosäkerhet i kurvdiagrammen för RF, se Figur 10.



Figur 10. Kurvdiagram för RF med visualiserade uppmätta nivåer.

Visualisering och justering av väderlek och miljö

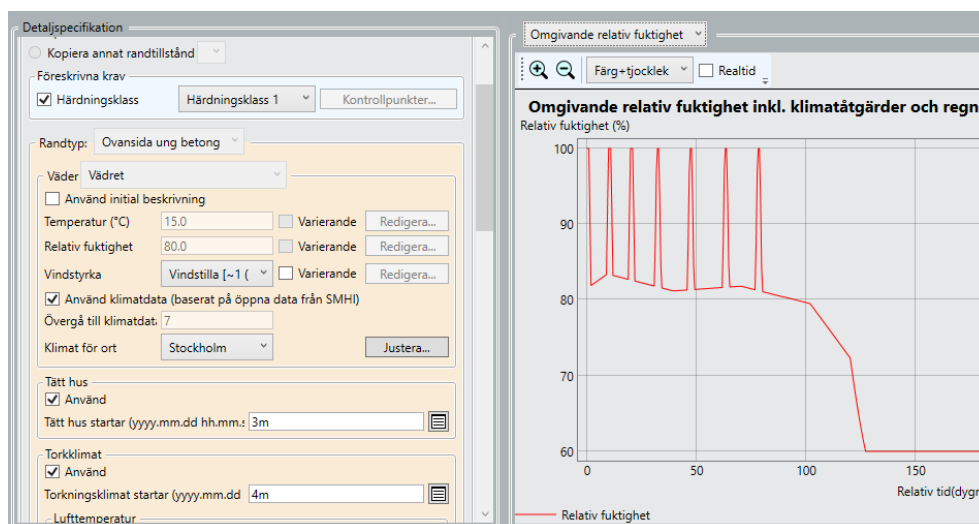
- Möjligheterna att specificera väderleken har förbättrats i den nya versionen av PPB.
- Det går numera att importera data från externa filer för användning i den egna beskrivningen av väderleken. Detta gäller både temperatur och relativ fuktighet, vilket medför att det lätt går att eftersimulera förlopp i miljöer där temperatur och RF loggats.

Det finns även förbättringar rörande inbyggda, ortbaserade klimatdata. Dessa kan både visas och justeras i detalj för den valda orten, se Figur 11.

Månad	Temperatur (°C)		Relativ fuktighet (%)		Regnmängd/månad (mm)		Regndagar/månad (-)	
	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring	Befintlig	Ändring
Jan	-2.9	0.0	81.8	0	39	0	12	0
Feb	-3.1	0.0	79.5	0	27	0	10	0
Mar	0.0	0.0	68.5	0	26	0	16	0
Apr	4.6	0.0	60.5	0	30	0	9	0
Maj	10.5	0.0	60.5	0	30	0	6	0
Jun	15.4	0.0	60.5	0	45	0	16	0
Jul	17.2	0.0	60.4	0	72	0	6	0
Aug	16.3	0.0	65.4	0	66	0	15	0
Sep	12.0	0.0	74.3	0	55	0	15	0
Okt	7.3	0.0	77.1	0	50	0	17	0
Nov	2.6	0.0	83.4	0	53	0	19	0
Dec	-1.1	0.0	81.2	0	46	0	23	0

Figur 11. Dialogruta med möjlighet att justera klimatdata för vald ort.

En annan funktion som underlättar specifikationen av den omgivande miljön är möjligheten att se vad man åstadkommer för temperaturer, vindstyrkor och relativa fuktigheter när samtliga uppgifter om eget väder, klimatdata samt åtgärder som tät hus, torkklimat och/eller inomhusklimat beaktats. Detta görs genom att man väljer vad bilden till höger om detaljspecifikationen för randen visar, se Figur 12. Som standard, visas där en konstruktionsbild med markering av vilket detalj i konstruktionen man arbetar med för tillfället. Man kan byta innehållet i bilden så att randvillkoren åskådliggörs med hjälp av diagram.



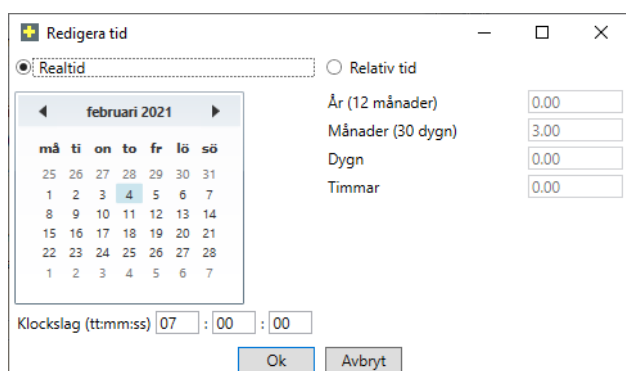
Figur 12. Inmatning av väder och miljö för en rand till vänster och visualisering av den resulterande miljön till höger.

Olika sätt att hantera tidsangivelser

Hela användargränssnittet har arbetats om för att möjliggöra ett mer flexibelt sätt att arbeta med tidsbaserade uppgifter, som t.ex. formrivning, täckning på eller av, tät hus mm. Alla tidsuppgifter kan numera specificeras som:

- relativ tid dvs. hur länge efter beräkningens start någonting händer
- realtid dvs. klockslag och datum

Dessa uppgifter kan anges direkt som text eller med hjälp av en bakomliggande dialogruta för bättre visualisering, se Figur 13. Man kan även växla mellan formaten efter att inmatning skett om så önskas. Detta gäller inte bara de enskilda tidsbaserade uppgifterna utan även tidsvarierande uppgifter så som t.ex. egen lista med omgivande temperaturer eller RF.



Figur 13. Dialog för detaljerad inmatning av tidsuppgift som antingen realtid eller tid relativ beräkningens start,

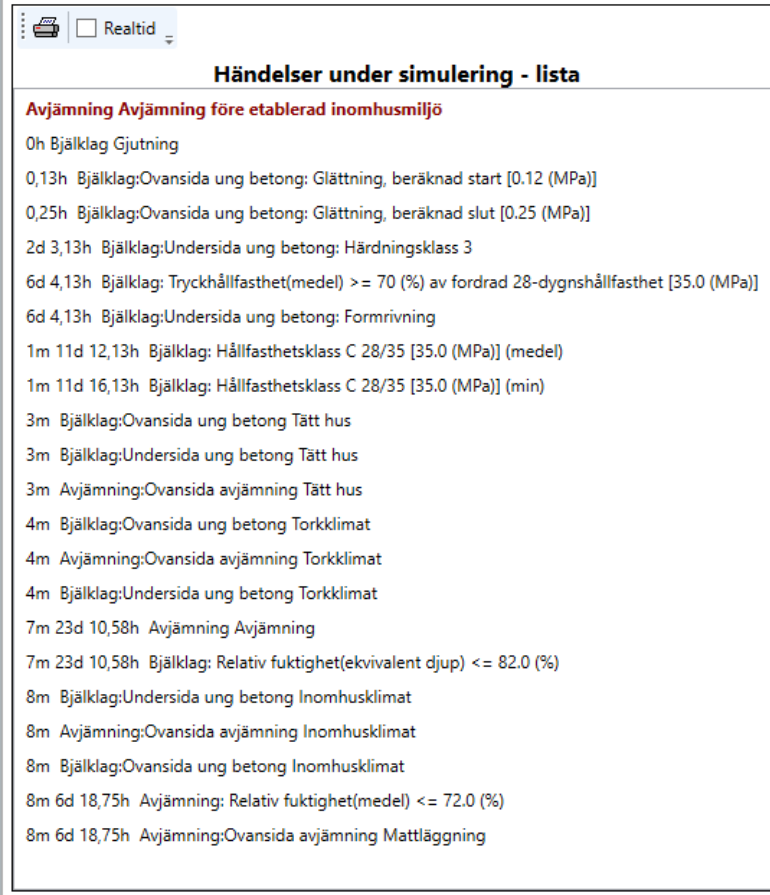
Denna förändring möjliggör ett flexibelt sätt att arbeta. Man kan välja att jobba i realtid då man planerar utförandet av en konstruktionsdel i ett specifikt projekt. Man kan också arbeta i relativ tid då man vill simulera ett mer generellt konstruktionsfall.

Tydligare beräkningsresultat

Ett flertal förbättringar och nyheter har tillkommit avseende hur resultat presenteras. Som tidigare visat i Figur 3 har en ny slags färgkarta tillkommit där resultatvärdet (färg) visas för de endimensionella typfallen som funktion tid (x-axel) och tjocklek (y-axel). Denna färgkarta ger en effektiv överblick förförloppet i hela konstruktionen. För visualisering av specifika detaljer kan zoomning i färgkartan användas, t.ex. så som i Figur 5. I samtliga färgkartor går det numera att själv styra färgskalan. Detta kan användas för att endast visa en del av de resulterande värdena, t.ex. temperatur eller RF över, under eller inom vissa värden av intresse.

Resultatlistan har blivit berikad med fler uppgifter. Där visas inte bara resultat av övervakade krav samt andra automatiskt beräknade händelser utan även tidsbaserade nyckeluppgifter så som gjuttidpunkt, tät hus mm. Detta ger en bra totalbild över vad

som händer under simuleringen, se Figur 14. Resultatlistan kan visas med tidsuppgifterna i antingen realtid eller relativ tid, dvs. tid efter beräkningens start.



Händelser under simulering - lista	
Avjämning Avjämning före etablerad inomhusmiljö	
0h	Bjälklag Gjutning
0,13h	Bjälklag:Ovansida ung betong: Glättning, beräknad start [0.12 (MPa)]
0,25h	Bjälklag:Ovansida ung betong: Glättning, beräknad slut [0.25 (MPa)]
2d 3,13h	Bjälklag:Undersida ung betong: Härdningsklass 3
6d 4,13h	Bjälklag: Tryckhållfasthet(medel) > = 70 (%) av fordrad 28-dygnshållfasthet [35.0 (MPa)]
6d 4,13h	Bjälklag:Undersida ung betong: Formrivning
1m 11d 12,13h	Bjälklag: Hållfasthetsklass C 28/35 [35.0 (MPa)] (medel)
1m 11d 16,13h	Bjälklag: Hållfasthetsklass C 28/35 [35.0 (MPa)] (min)
3m	Bjälklag:Ovansida ung betong Tätt hus
3m	Bjälklag:Undersida ung betong Tätt hus
3m	Avjämning:Ovansida avjämning Tätt hus
4m	Bjälklag:Ovansida ung betong Torkklimat
4m	Avjämning:Ovansida avjämning Torkklimat
4m	Bjälklag:Undersida ung betong Torkklimat
7m 23d 10,58h	Avjämning Avjämning
7m 23d 10,58h	Bjälklag: Relativ fuktighet(ekvivalent djup) < = 82.0 (%)
8m	Bjälklag:Undersida ung betong Inomhusklimat
8m	Avjämning:Ovansida avjämning Inomhusklimat
8m	Bjälklag:Ovansida ung betong Inomhusklimat
8m 6d 18,75h	Avjämning: Relativ fuktighet(medel) < = 72.0 (%)
8m 6d 18,75h	Avjämning:Ovansida avjämning Mattläggning

Figur 14. Resultatlista med olika tidsuppgifter för simulering av ett golvsystem med betong, avjämning och golvläggning.

Omarbetad manual

Slutligen har manualen fått en omfattande översyn. Hela fuktfunktionaliteten inkl. avjämning och golvläggning är numera dokumenterad i manualen så att den kan användas för självstudier. Manualen har för tydlighetens skull uppdelats i:

- En översikt
- En hållfasthetsdel med 9 kapitel
- En fuktdel med 5 kapitel
- En materialdel med 3 kapitel

Med programvaran bifogas även färdiga filer med räkneexempel från manualens olika delar.

Slutsatser

Produktionsplanering betong version 3.0 möjliggör nu även beräkning av fukttillstånd under produktionen av hela golvsystemet inkl. avjämning och golvläggning. Programmet har ett flexibelt stöd för övervakning av uttorkningskrav samt för jämförelse av predikterade fuktnivåer med uppmätta. I den senaste uppdatering ingår även en stor mängd andra förbättringar som underlättar arbete med både enkla och mer komplexa simuleringar vid produktion av betongkonstruktioner i allmänhet samt betongbaserade golvsystem.

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 / SBUF, PPB Koordinator

Staffan Carlström, Swerock AB

Mars 2021

Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betong- baserade golvsystem?



BYGGFÖRETAGEN
➤ Produktionsplanering betong

Kan täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?

Ja, det är möjligt! Det går att avjämna och lägga ytskikt med vattenbaserat lim på modern, tät betong innan uttorkningskravet på ekvivalent mätdjup är uppfyllt. Betongen måste dock vara tillräckligt tät, vilket ställer krav på ålder och vattencementtal för en relevant bindemedelssammansättning. I denna rapport redovisas ett antal försök där en RF-nivå på 85% i avjämningen under lim och ytskikt inte överskreds trots att RF i betongen på ekvivalent djup var högre än 85% vid mattläggningstillfället.

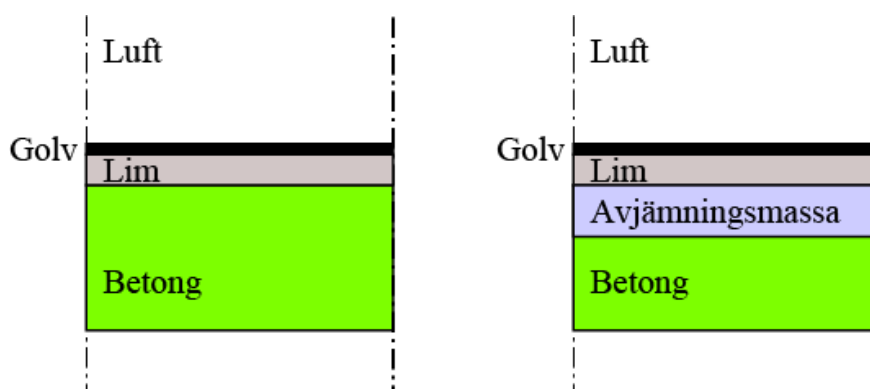
Ett betongbaserat golvsystem utan fuktproblem

Snabb och tillförlitlig produktion av betongbaserade golvsystem utan efterföljande fuktproblem, se exempel i Figur 1, kan betraktas som varje byggares dröm. För att möjliggöra detta krävs kunskap om betongens uttorkningsegenskaper samt tillförlitliga mätmetoder för att bestämma aktuellt fuktinnehåll. En metodik för att förebygga skadliga fuktnivåer orsakade av betongen 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 RBK:s 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. Naturballast ersätts i allt större omfattning med kross och nya tillsatsmedel har tagits i bruk. Detta har påverkat betongens egenskaper och vidare medfört att betonggolven fukttekniskt inte uppför sig som förr. Olika indikationer på problem med uttorkning har framkommit (se Svensson Tengberg 2018). Även mätmetoder för relativ fuktighet har fått justeras för att säkerställa tillförlitliga mätningar resulterande i revidering av Manual fuktmätning i betong från version 5 till version 6.



Figur 1. Nedbrytning av lim genom alkalisk hydrolys som resulterat i förtvålning.

Olika mätningar av betongens egenskaper (Stelmarczyk 2019b, Olsson m.fl. 2018, Saeidpour & Wadsö 2016) har tydligt visat på ökad täthet i betongens porsystem samt minskad förmåga till fukttransport, jämfört med tidigare (Hedenblad 1993). Detta har föranlett en teoretisk undersökning av konsekvenserna för fuksamverkan i betonggolvs redovisad i SBUF 13354. I projektet undersöktes huvudsakligen fuktförloppen i två typer av golv: ytskikt limmat direkt på betong eller på betong med avjämning, se Figur 2.



Figur 2. Ytskikt limmat direkt på betong (vänster) och på avjämningsmassa på betong (höger).

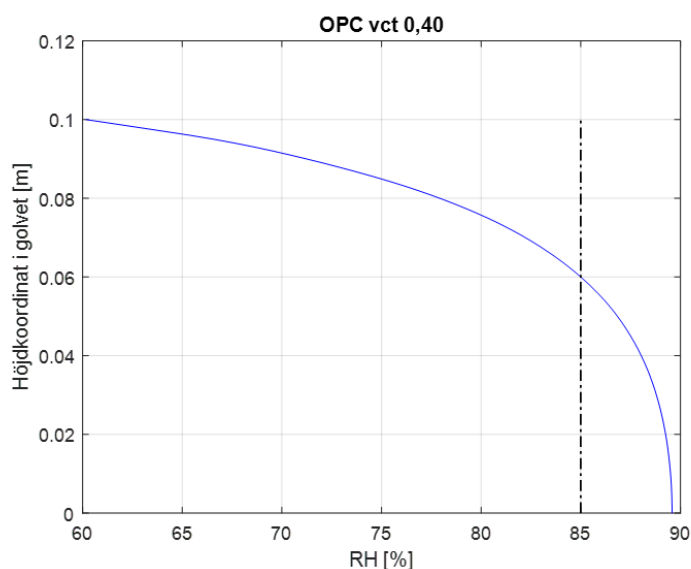
Simuleringar av både diffusionsuttorkning samt fuksamverkan mellan betongen och de omgivande materialen gav en djupare förståelse för vad som förändrats i golvets fuktfunktion. En rad både negativa och positiva resultat konstaterades. Till de negativa hör bl.a. en markant förlängning av tiden för diffusionsuttorkning. Förändringen är så stor att uttorkningsåtgärder vidtagna några månader efter gjutning knappt har någon verkan alls. Detta bekräftas av uttorkningsförsök (Carlswärd 2020) där uttorkning avstannar då betongen nått tillräcklig nivå av täthet, som byggs upp successivt efter gjutning. En annan negativ konsekvens uppstår vid direktlimning av ytskikt på betong

med vattenbaserat lim. Detta har tidigare endast setts som ett problem för betong med mycket låga vattencementtal (Wengholt Johnsson 1995). Idag kan även betong med högre vct bli så tät att limfukten inte kan fördelas ner i betongen utan stängs inne mellan betongen och ytskiktet. Detta resulterar i fuktmättnad i betongens övre skikt, med transport av hydroxidjoner till lim och ytskikt och alkalisk hydrolys som följd.

Nytt synsätt på fukt i betongbaserade golvsystem nödvändigt

Den mest intressanta frågan som ställdes under SBUF 13354 gällde dock inte problemen utan möjligheterna med den nya betongen. Finns det sätt att utnyttja tätheten konstruktivt under produktionen av golvsystem? Simuleringarna bekräftade att detta bör vara möjligt men förutsätter ett reviderat sätt att se på fukten i betongbaserade golvsystem.

Dagens sätt, på vilket vi arbetar med betongfukt i golv, är nära kopplat till en specifik typ av risk. Scenariot bygger på en betong med relativt god förmåga till fukttransport och ett relativt tätt ytskikt. När betongen torkar innan läggning av ytskiktet erhålls en typisk uttorkningsprofil, se Figur 3. När ytskiktet appliceras fungerar det som ett lock. En mindre fukttransport kommer att ske genom ytskiktet samtidigt som en mycket snabbare omfördelning av den kvarvarande fukten kommer att ske i betongen. Betongytan under ytskiktet kommer alltså att fuktas upp 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.

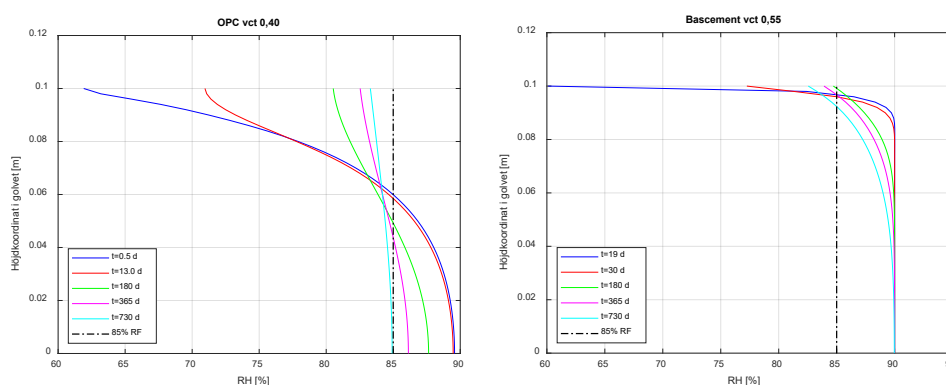


Figur 3. En typisk fuktprofil, relativ fuktighet för olika djup, efter ensidig uttorkning av 0.1m tjock betongplatta med relativt god fukttransportförmåga.

För att få kontroll över denna omfördelning och slutnivå för fukten i kontakt med ytskiktet används begreppet *ekvivalent djup*, som krävställer var man mäter relativ

fuktighet i betongen (RBK 2017). 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 och resultera i en konstant RF över hela tvärsnittet som överensstämmer med ursprunglig RF på ekvivalent djup. Detta uppnås först efter en total omfördelning av fukten. I Figur 3 blir det ekvivalenta djupet 4 cm från betongens övre yta, höjdkoordinaten 0.06m.

Detta resonemang bygger på 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. Nu har den moderna, täta betongen, med tidigare nämnda förändringarna i bindemedel, ballast mm., övertagit rollen som det funktionellt tätaste materialet i golvet. Jämförande simuleringar visas i Figur 4.

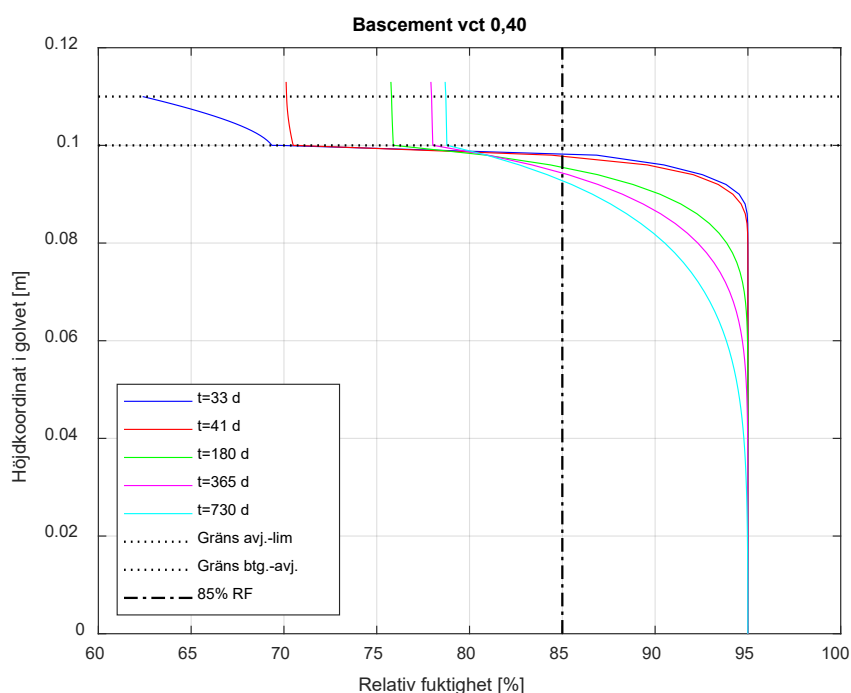


Figur 4. Visualisering av principen för omfördelning i betong med gammaldags OPC till vänster samt Bascement CEM II/A-V (gamla) till höger. Fuktomfördelning efter limning av ytskikt motsvarande Tarkett iQ Optima med icke vattenbaserat lim på betong, fuktprofiler vid olika tidpunkter efter limning. Vänster – betong med OPC vct 0,40 ensidigt uttorkad i till 85% RF på ekvivalent djup. Höger – betong med Bascement vct 0,55 ensidigt uttorkad i 20 dygn i 60% RF från antagen självuttorkningsnivå på 90% RF.

För betong med ren OPC ser vi inga nyheter precis. Där sker en typisk omfördelning och eftersom den relativa fuktigheten på ekvivalent djup, i detta fall 40 mm under ytan, var 85% vid matläggning leder omfördelningen inte till ett RF högre än 85% under ytskiktet. Tittar vi på exemplet med betong med Bascementet CEM II/A-V blir det plötsligt mer intressant. För det första framgår av figuren att en omfördelning (fuktprofilerna skär varandra) äger endast rum i de översta millimetrarna av konstruktionen. För övrigt ser betongen ut att torka långsamt. För det andra ser vi att RF under ytskiktet inte överstiger 85% trots att betongen var dåligt uttorkad och hade 90% på ekvivalent djup vid matläggning.

Hoppfulla simuleringsresultat

För att komma vidare med den nya betongen kan vi alltså bortse från vad som händer på ekvivalent djup, då det inte kommer att påverka det som händer på ytan nämnvärt, dvs. i närheten av ytskiktet. Det gamla kravet på 85% RF på ekvivalent djup syftade till att det inte skulle bli mer än 85% under limmet/ytskiktet efter omfördelning. Vad SBUF 13354 gjorde vidare var att simulera fuktförloppet i hela golvet med huvudfokus på om kravet på RF uppfylls i direkt anslutning till ytskiktet. Ett exempel på detta ges i Figur 5. Ett 10 cm tjockt betonggolvet med en antagen grad av självuttorkning till 95% uttorkas ensidigt under kort tid, endast för att initiera en fuktgradient i de två översta centimetrarna. Därefter jämnas betongen med 10 mm golvvajämning som får torka i två veckor vilket resulterar i en fuktnivå understigandes 70 % RF (se mörkblå linje i diagrammet). Slutligen limmas ett ytskikt (Tarkett iQ Optima) med vattenbaserat lim (CascoProof Universal) på avjämningen.



Figur 5. Fuktprofiler i konstruktionen för 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).

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 den kritiska RF. För mer detaljer kring dessa simuleringar se gärna Stelmarczyk m.fl. 2018 och/eller Stelmarczyk m.fl. 2019a.

Hur testade vi konceptet?

■ Då det i SBUF 13354 endast utfördes en teoretisk studie av hur den nya, täta
■ betongen fungerar ihop med resten av golvsystemet, startades ett nytt projekt, SBUF 13560, med uppgift 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. Bilder från tillverkningen av provkropparna visas i Figur 6. 110 mm tjocka betongplattor med olika betongrecept gjöts på pallar med krage. Efter en tid av självuttorkning i förseglat tillstånd utsattes toppytorna för en veckas diffusionsuttorkning. Därefter avjämnades plattorna med ca 15–19 mm Weberfloor 140 Nova. Efter ca 3 veckors uttorkning av avjämnningen limmades mattorna.



Figur 6. Tillverkning av provkroppar till undersökningen: gjutning (vänster), lagring inkl. själv- eller diffusionsuttorkning (mitten) samt avjämnning (höger)

Vi valde att testa tre olika sammansättningar av bindemedel:

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

Vi valde 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 plattorna hydratisera i förseglat tillstånd i 3 respektive 6 månader innan de avjämnades.

Uppmätta fuktnivåer i SBUF 13560

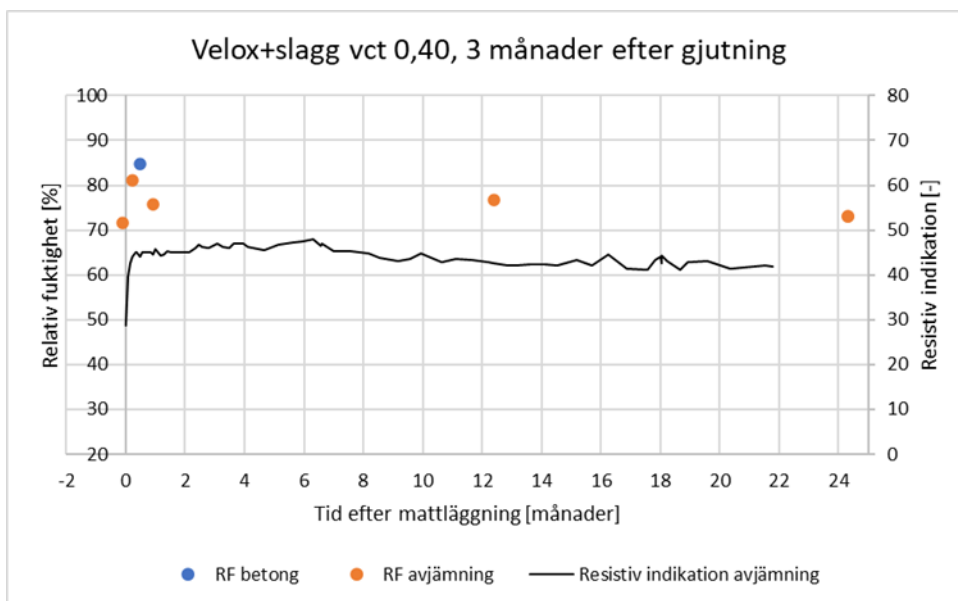
Fukt kontrollerades i provobjekten på olika sätt under projektets gång. RF i betong mättes på ekvivalent djup i enlighet med RBK 2017 med givare monterad i betongen se Figur 7 vänster. RF i avjämning mättes i enlighet med GBR 2017 med uttaget prov. Utöver detta monterades resistiva elektriska givare i avjämningen, se Figur 7 höger, 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.



Figur 7. Givare för avläsning av fuktnivå, Vaisala HMP40S för RF i betong (vänster) samt resistiv givare som gjöts in i avjämningen för fuktnivåindikation (höger).

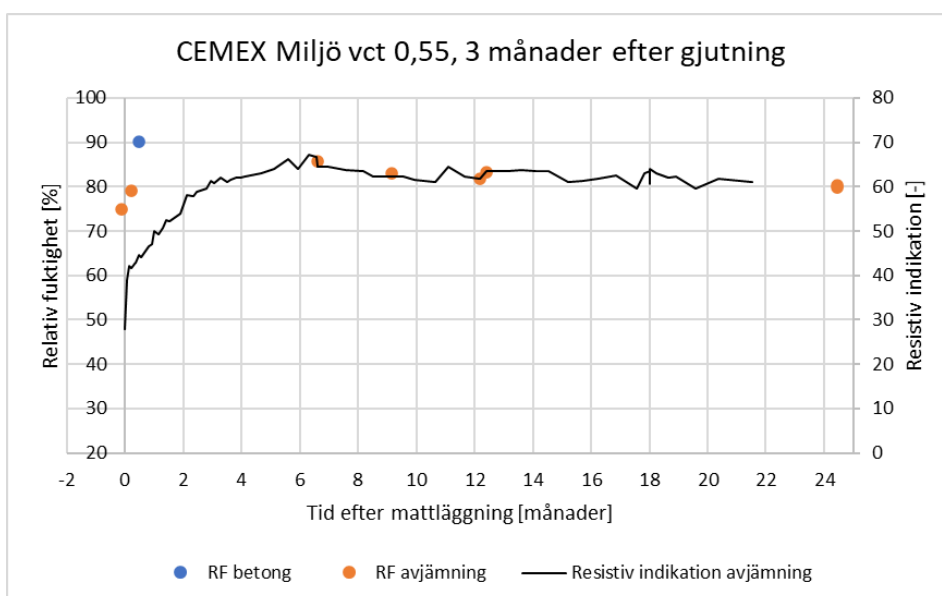
Det bör noteras att samtliga fuktnivåer i denna rapport redovisas utan mätosäkerheten pålagd som säkerhetsmarginal, dvs. inte som ett slutvärde enligt RBK. Detta för att lättare jämföra mot tidigare forskningsresultat, t.ex. Wengholt Johnsson 1995, från vilka det kritiska värdet av 85% baserar sig på. 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 plattorna visas i Figur 8. 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 predikterat av simuleringarna i SBUF 13354!



Figur 8. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Velox (OPC)+30% slagg, vct 0,40, självtorkad i 3 månader före avjämning.

Verkar alla kombinationer fungera? Nej. I projektet valdes medvetet att testa att avjämna efter två olika åldrar på betong med två olika vct. Då bägge parametrarna påverkar tätheten i betongen förväntades man kunna se någon av de tidiga objekten med höga vattencementtalen erhålla högre RF i avjämningen. Så var också fallet för objektet vars förlopp visas i Figur 9.



Figur 9. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med CEMEX Miljö, vct 0,55, självtorkad i 3 månader före avjämning.

Här verkar kombinationen av fuktinnehåll i betongen och dess täthet inte fungera för att RF i avjämningen inte ska stiga. En viss omfördelning sker och det resulterar i att RF i avjämningen överstiger kritisk RF på 85% en aning för att sedan övergå i långsam uttorkning. Då betongen fortfarande är tätare än motsvarande betong med gammaldags OPC med samma vct, erhålls ingen omfördelning av större vikt. Men den lilla ökning som 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.

En sammanfattning av de uppmätta nyckelvärdena för de berörda provobjekten ges i Tabell 1. För en detaljerad bild av fuktutvecklingen för samtliga betongplattor se bilaga i slutet av denna rapport.

Ålder (mån.) vid avjämning	Bindemedel	Vct (-)	Start RF (%) betong	Max RF (%) avjämning	
				Uppmätt	Uppskattad
3	Bascement CEM II-A/V	0,40	86,3	79,2	83
3	Bascement CEM II-A/V	0,55	88,5	80,7	85
3	CEMEX Miljö	0,40	86,8	78,6	80
3	CEMEX Miljö	0,55	90,1	85,6	-
3	Velox + 30% slagg	0,40	84,8	76,8	78
3	Velox + 30% slagg	0,55	88,2	79,4	81
6	Bascement CEM II-A/V	0,40	85,5	73,2	-
6	Bascement CEM II-A/V	0,55	86,8	76,4	-
6	CEMEX Miljö	0,40	86,2	73,4	-
6	CEMEX Miljö	0,55	88,7	80,1	-
6	Velox + 30% slagg	0,40	84,8	74,2	-
6	Velox + 30% slagg	0,55	86,4	75,8	-

Tabell 1. Jämförelse av uppmätt RF i betong och avjämning samt maximal RF i avjämning uppskattad ifrån både mätning av RF samt jämförelse med resistiv indikation för fuktutvecklingen. Om ingen uppskattad RF anges, anses den vara samma som den uppmätta.

De olika objekten hade inte endast skillnader i transportförmåga för fukt. De blev självuttorkade till olika nivåer. Det bör noteras att om mätosäkerheten adderas till redovisade resultat för RF i betongen så uppfyller ingen av plattorna kravet på 85% RF på ekvivalent djup vid tidpunkten för mattläggning

En av plattorna, 3 månaders CEMEX Miljö vct 0,55, har spräck kravet på max 85% RF i avjämningen och ytterligare en, 3 månaders Bascement CEM II/A-V vct 0,55, misstänks ligga i farozonen. Detta är inte förvånansvärt då bägge tillhör de blötare plattorna med högst förväntad transportförmåga avseende fukt. Detta 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. Försöken 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!

Blir det några emissioner?

Önskade emissioner, som följd av alkalisk hydrolys av limmets bindemedel och/eller ytskiktets mjukgörare, har också undersökts för ovanstående betongplattor under SBUF 13560. Ytterligare två plattor har använts i dessa mätningar som referensobjekt. Dessa har gjutits med Velox Slite vct 0,66. Bindemedlet är Ordinarie Portlandcement utan inblandning av puzzolaner eller halvpuzzolaner som flygaska eller slagg. Betongen i dessa plattor får anses vara det närmaste vi kommer idag till den gamla betongen som användes i t.ex. Wengholt Johnsson 1995. Undersökningen omfattar en jämförelse av mätningar både ovan ytskiktet och under. Resultaten därav kommer att presenteras i nästa rapport.

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 uppnås 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 utan att dessa utsätts för högre RF än tillåtet.

Samtidigt skall man ha klar för sig att dessa resultat endast skall ses som validering av ett koncept. Vad vi visat med testerna i SBUF 13560 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. När kravet som ställs på betongen skiftar från uttorkning till täthet, bör detta på något sätt kunna valideras under produktion av golvkonstruktioner i skarpa projekt.

Referenser

Carlswärd 2020 – J. Carlswärd, *Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong*, Bygg & Teknik Nr 6 2020

Hedenblad 1993 – G. Hedenblad, *Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste*, TVBM-1014, Lund Institute of Technology 1993

GBR 2017 – *Bestämning av relativ fuktighet, RF i golvavjämning*, Utgåva 2:2017, GBR

Olsson m.fl. 2018 – 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.

RBK 2017 – *RBK, Manual – Fuktmätning i betong*, version 6, kap 2.3

Saeidpour & Wadsö 2016 – M. Saeidpour, L. Wadsö, *Moisture diffusion coefficients of mortars in absorption and desorption*, Cement and Concrete Research, 2016

Stelmarczyk m.fl. 2018 – 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

Stelmarczyk m.fl. 2019a – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*, SBUF 13354 Slutrapport, 2019

Stelmarczyk m.fl. 2019b – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, *Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Bascement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong*, SBUF 13197 & 13198 Slutrapport, 2019

Svensson Tengberg 2018 – C. Svensson Tengberg, *Inventering av uttorkning av betonggolv, Betong med mineraliska tillsatsmaterial*, SBUF 13358 Slutrapport, 2018

Wengholt Johnsson 1995 – H. Wengholt Johnsson, *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*, Chalmers Tekniska Högskola 1995,

Författare

Civ.ing. Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic

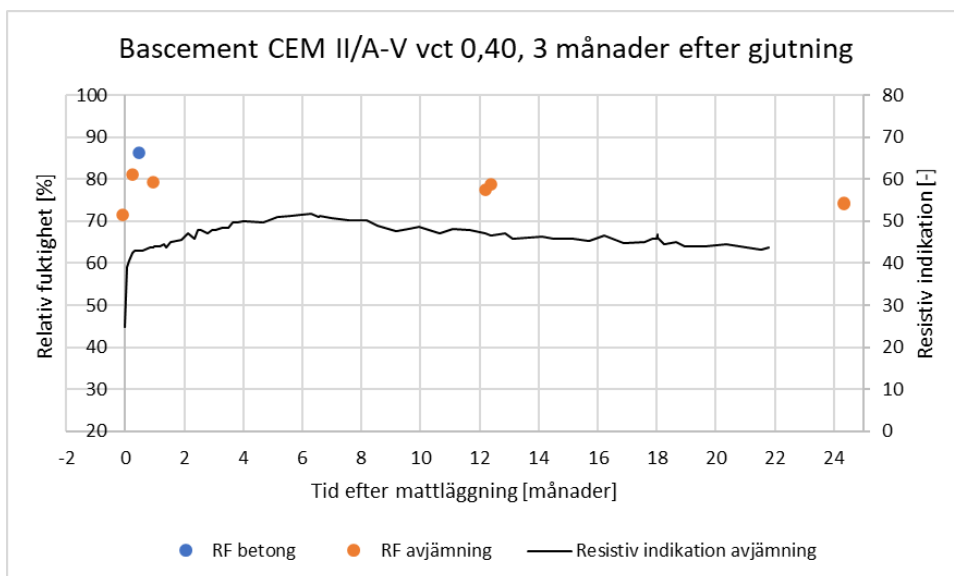
Civ.ing. Ted Rapp, Byggföretagen, Tekniskt sakkunnig RBK

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

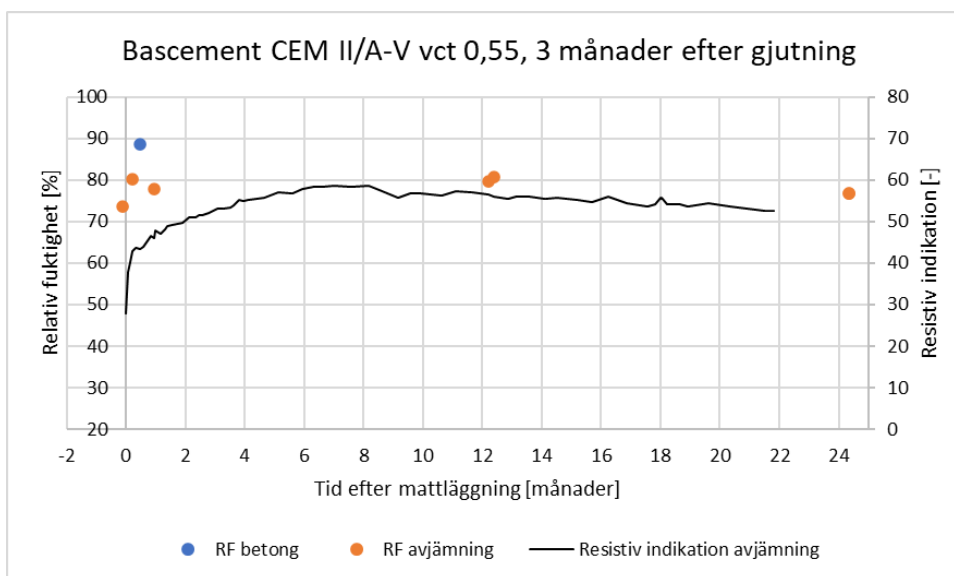
Dr. Fredrik Gränne, NCC Sverige AB

Staffan Carlström, Swerock AB

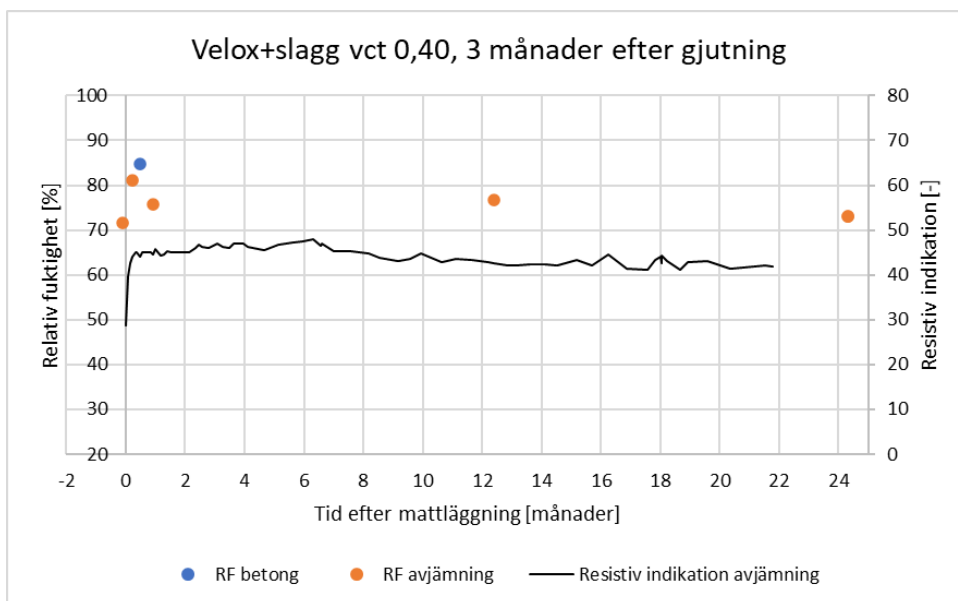
Bilaga Mätresultat



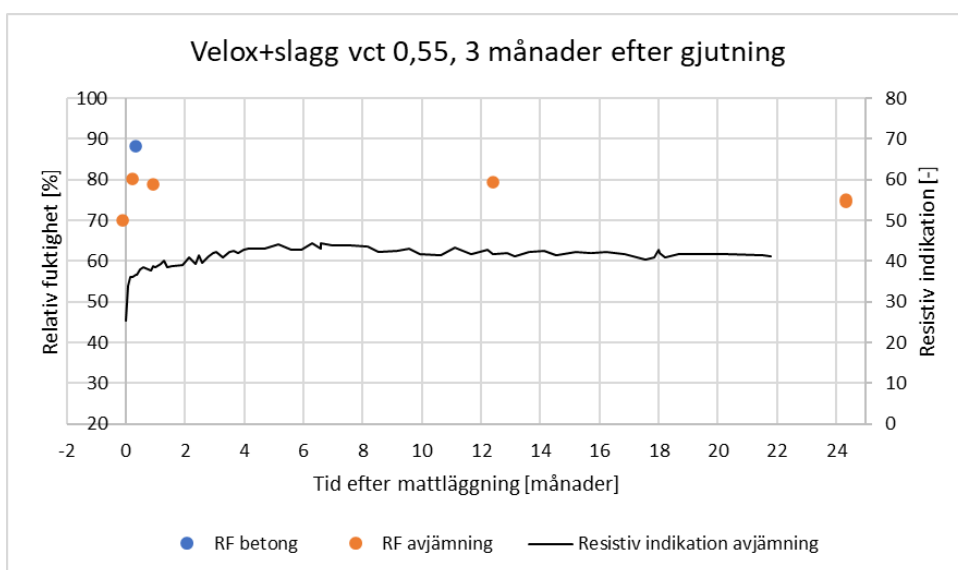
Figur 10. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,40, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



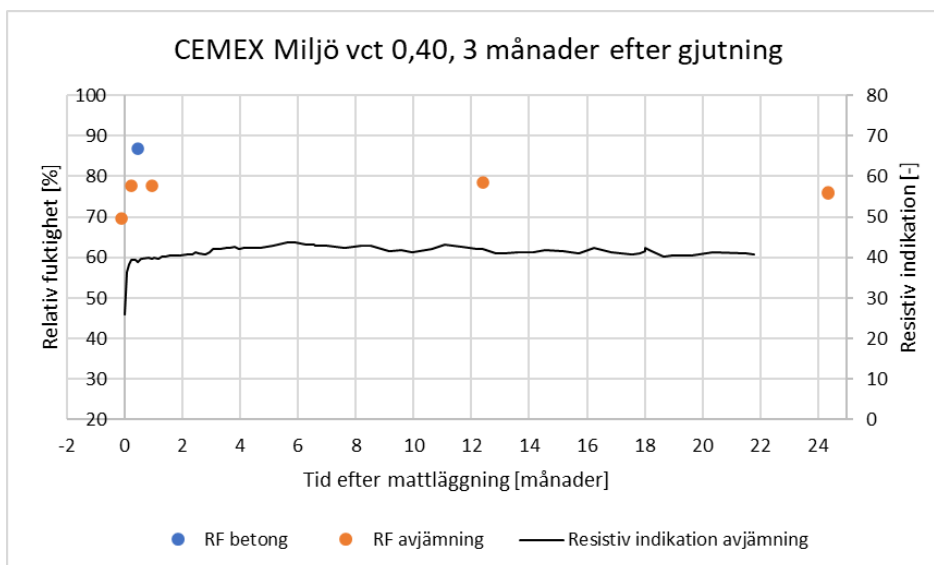
Figur 11. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,55, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



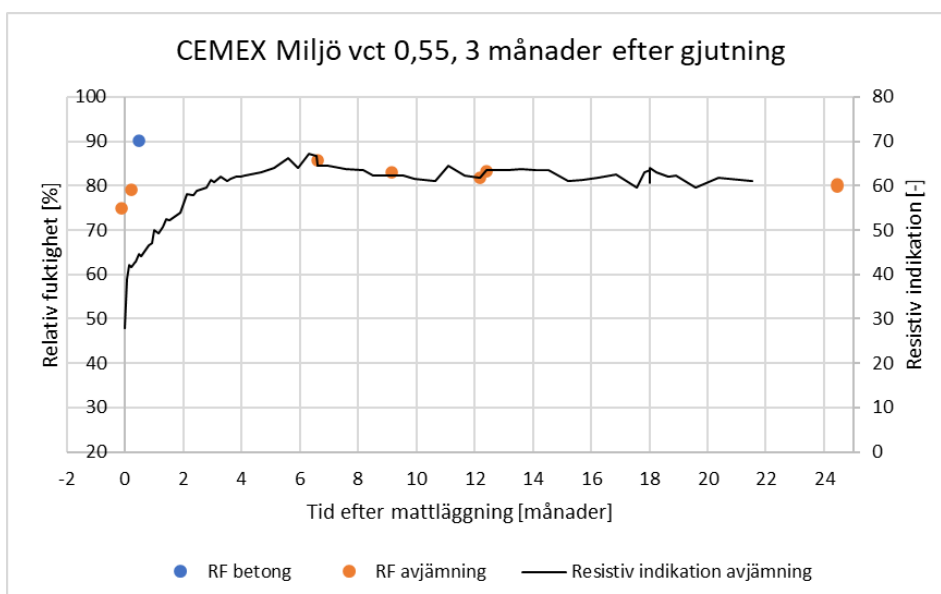
Figur 12. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Velox(OPC)+30% slagg, vct 0,40, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



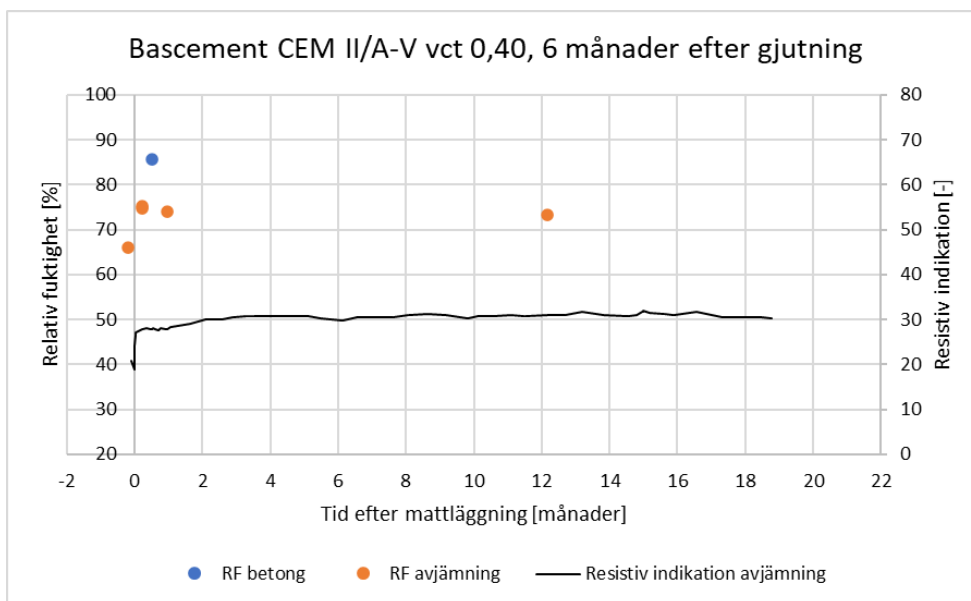
Figur 13. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Velox(OPC)+30% slagg, vct 0,55, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



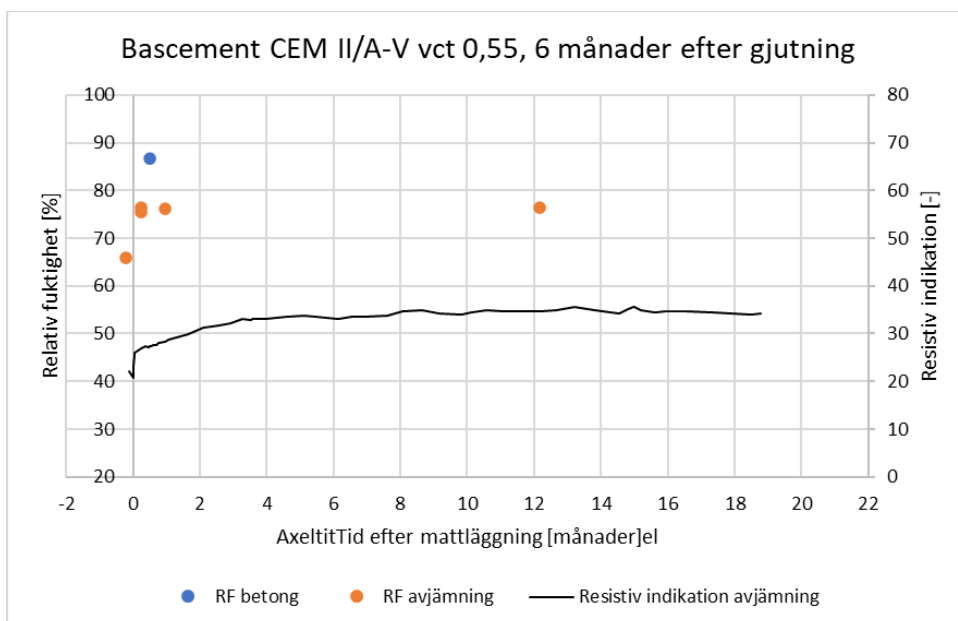
Figur 14. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med CEMEX Miljö, vct 0,40, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



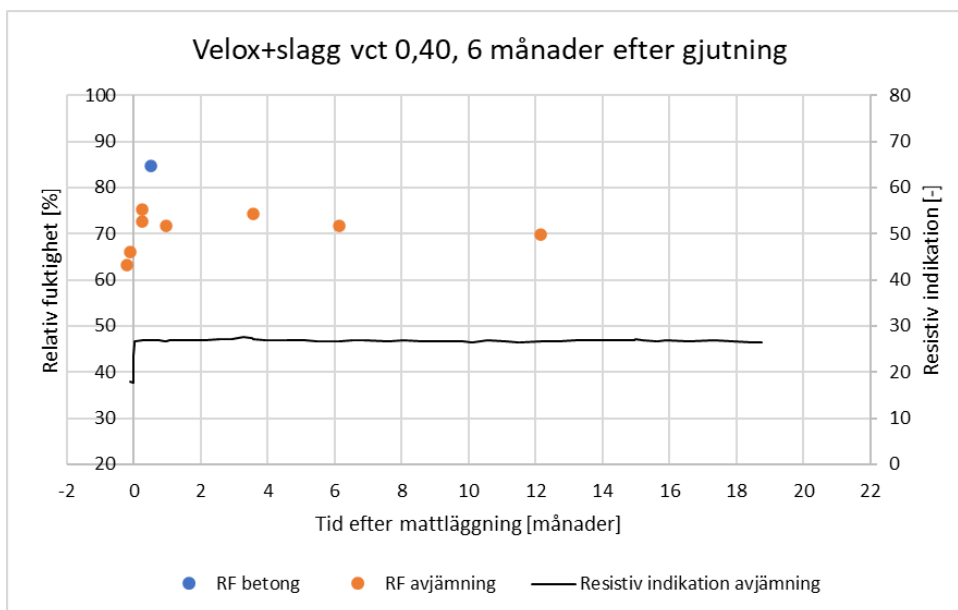
Figur 15. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med CEMEX Miljö, vct 0,55, självuttorkad i 3 månader före avjämning.



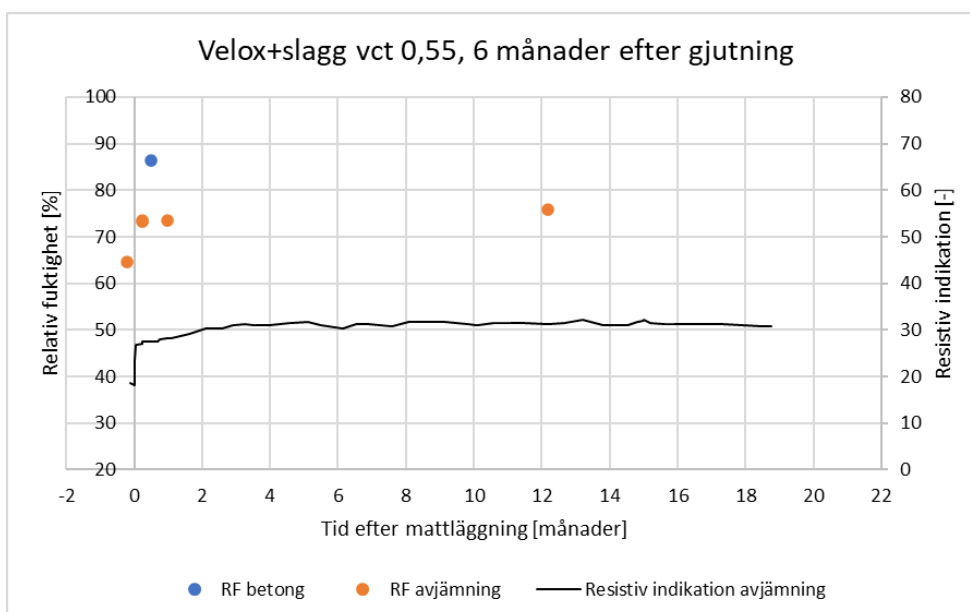
Figur 16. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,40, självuttorkad i 6 månader före avjämning.



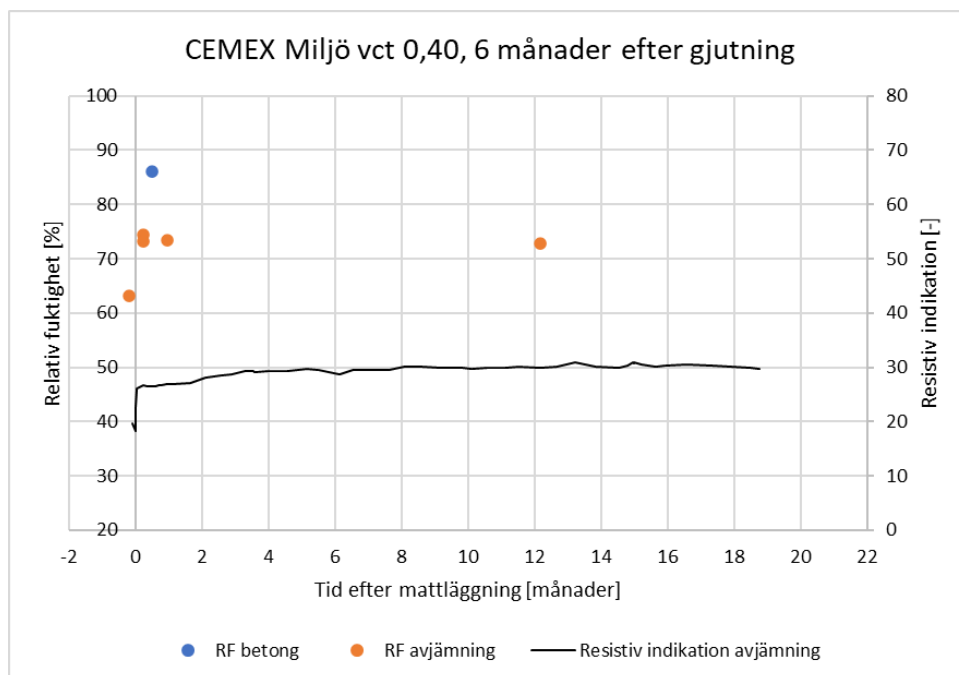
Figur 17. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,55, självuttorkad i 6 månader före avjämning.



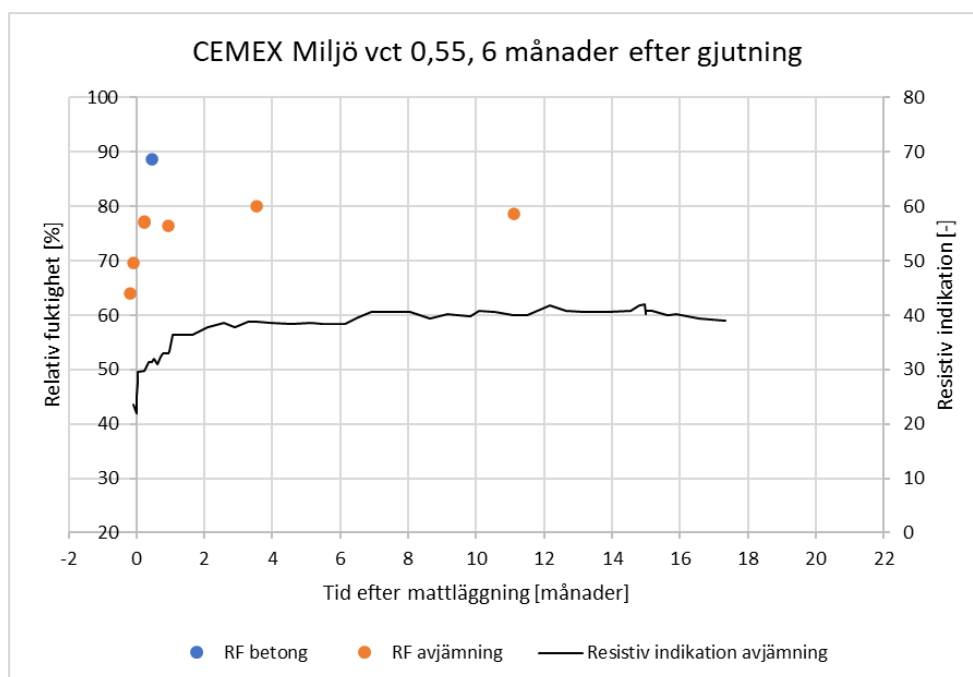
Figur 18. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter matlaggning för betong med Velox(OPC)+30% slagg, vct 0,40, självtorkad i 6 månader före avjämning.



Figur 19. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter matlaggning för betong med Velox(OPC)+30% slagg, vct 0,55, självtorkad i 6 månader före avjämning.



Figur 20. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med CEMEX Miljö, vct 0,40, självuttorkad i 6 månader före avjämning.



Figur 21. Relativ fuktighet i betong, avjämning samt resistiv fuktindikation i avjämning som funktion av tid efter mattläggning för betong med CEMEX Miljö, vct 0,55, självuttorkad i 6 månader före avjämning.

September 2021

Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?



BYGGFÖRETAGEN
➤ Produktionsplanering betong

Förekommer emissioner i golvsystem med modern tät betong?

Det beror på var man mäter! Mätt på ytskiktets ovansida fungerar modern tät betong utmärkt så länge den kombineras med ett lager av väl uttorkad avjämning. På undersidan samlas det med tiden rikligt med emissioner, trots ett klart godkänt fuktillstånd i golvet. Det finns anledning att misstänka att det även tidigare bildades emissioner vid godkända fuktillstånd men att de fördelade sig annorlunda i golvsystemet och att en striktare syn på fukt inte kommer att eliminera dessa. 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 en fuktskada, samt hur emissioner under ytskikt skall hanteras, så länge de inte kommer ut i större omfattning i omgivningen.

Ger torr avjämning under limmade ytskikt ett emissionsfritt golv?

Inom ramen för SBUF 13560 *Framtidens golvsystem med modern, tät betong* har undersökts huruvida modern tät betong kombinerad med porös avjämning kan snabba på byggprocessen och möjliggöra tidigare mattläggning utan att skapa fuktproblem. I den tidigare publicerade rapporten Stelmarczyk m.fl. 2021 ges det en fullständig bakgrund till undersökningen inkl. syfte, upplägg samt resultat avseende fuktillstånd i de undersökta konstruktionerna. Där konstaterades det att konceptet fungerar fuktmässigt i de allra flesta fall. Ett beroende till betongens uppnådda täthet vid avjämning och mattläggning observerades i enlighet med tidigare misstanke. Två av de undersökta betongplattorna med yngre betong med högre vattenbindemedelstal (vbt) låg på gränsen för kritisk RF i avjämningen eller överskred den något efter avjämning och mattläggning. Samtliga av de övriga betongplattorna konstaterades fungera fuktmässigt då de hade en god till mycket god marginal till det ställda kravet. Detta bekräftar tidigare slutsatser baserade på simuleringar inom SBUF 13354. Där påvisade beräkningsresultaten att den låga transportförmågan för fukt i modern tät betong i princip sätter den klassiska omfördelningen av fukten i betongen ur spel. Då denna rapport skall ses som en fortsättning på Stelmarczyk m.fl. 2021, förutsätts att läsaren har kännedom om innehållet i publikationen i fråga.

Att kravställda fuktnivåer är uppnådda påvisar inte om golvet är problemfritt eller ej. För hög fuktnivå möjliggör en transport av hydroxidjoner från betong och/eller avjämning till limmet och ytskiktet. Detta i sin tur förorsakar alkalisk hydrolys av bindemedel i limmet samt mjukgörare i ytskiktet och resulterar i emissioner av flyktiga ämnen som kan påverka människor negativt. Förebyggande av för höga fuktnivåer i betong som leder till emissioner sker genom en metodik som togs fram under 1990-talet och början av 2000-talet baserat på dåtidens betong och dess egenskaper, se huvudsakligen Wengholt Johnsson 1995. Det är dessa arbeten som ligger till grunden för dagens innehåll avseende fuktmätning och kritiska gränsvärden i RBK:s fuktmätningmanual samt AMA Hus. Då betongen idag är annorlunda utfördes även emissionsmätningar inom SBUF 13560 som komplettering till fuktmätningar. Avsikten med mätningarna var att få en mer komplett bild av vad som sker i de undersökta betongplattorna. Syftet var att kontrollera om underskridande av kritiskt RF i avjämningen ger en emissionsbild som motsvarar den accepterade emissionsbilden i Wengholt Johnsson 1995.

Hur mättes emissioner?

De primära mätobjekten, dvs. betongplattorna gjutna med modern tät betong med ovanpåliggande avjämning samt pålimmat ytskikt, beskrivs i detalj i den tidigare rapporten Stelmarczyk m. fl. 2021. För att säkerställa en rimlig jämförelse av resultaten med Wengholt Johnsson 1995 togs även två referensobjekt fram. Dessa plattor bestod av 110 mm betong utan ovanpåliggande avjämning. Som bindemedel i betongen valdes Velox Slite från Cementa, dvs. Ordinarie Portlandcement (OPC) utan tillsatser av slagg eller flygaska. Cementet hade en specifik yta på 375 m²/kg. Detta cement motsvarade bäst cementet som användes i den tidigare undersökningen. En skillnad föreligger dock. Velox Slite har en inblandning av ca 4% kalkstensfiller, vilket inte var brukligt 1995. Detta misstänks ge en tätare betong i enlighet med resonemang i Stelmarczyk m.fl. 2020a samt resultat i Linderoth & Johansson 2019. Vbt för betongen valdes till samma som i den tidigare undersökningen, dvs 0,66. Ett utav referensobjekten uttorkades till 85% RF på ekvivalent djup innan mattläggning och kallas fortsättningsvis *den torra referensen*. För det andra objektet utfördes mattläggning en månad efter gjutning, då objektet fått hydratisera i förseglat tillstånd. RF på ekvivalent djup vid mattläggning var ca 94%. Det objektet kallas vidare för *den blöta referensen*. 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. Denna matta har ett ångmotstånd motsvarande den i den tidigare undersökningen fast innehåller en annan mjukgörare. Observera att RF redovisas utan påslag för mätosäkerhet, på samma sätt som i Wengholt Johnsson 1995. För mätosäkerheter i resp. mätning samt andra detaljer se bilagor för resp. betongplatta.

Emissionsmätning för jämförelse mot den tidigare utredningen utfördes på ovasidan av mätobjekten, mot ytskiktets yta enligt FLEC, se Figur 1. Mätningen av emissioner utfördes av Polygon | AK och vidare analys av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. För detaljer kring FLEC se bilaga 1 och för analysen se bilaga 3. Som komplettering utfördes även kammarmätning på uttaget prov under ytskikten. För samtliga

betongplattor utom referenserna bestod provet av avjämning, ca 30–40 g. För referensobjekten bestod provet av betong närmast lim och ytskikt, ca 60 g. Provtagningen utfördes av Polygon | AK, kammarmätning av Chemik Lab AB och analys av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. För detaljer kring kammarmätningen se bilaga 2 och för analysen se bilaga 3. Kompletterande mätningar av bakgrundsemissioner, egenemissioner samt emissioner från delobjekt och specialbehandlade objekt har också utförts i projektet. Bakgrunds- och egenemissionerna visade inte några anmärkningsvärda resultat och redovisas inte i denna rapport. Emissioner från vissa delobjekt samt specialbehandlade objekt redovisas då de tillför värde i analysen av resultaten. För samtliga resultat hänvisas läsaren till den kommande slutrapporten för SBUF 13560, del 2.



Figur 1. Mätning av emissioner ovanpå ett ytskikt med FLEC. Foto: Polygon | AK.

Förväntade nedbrytningsprodukter

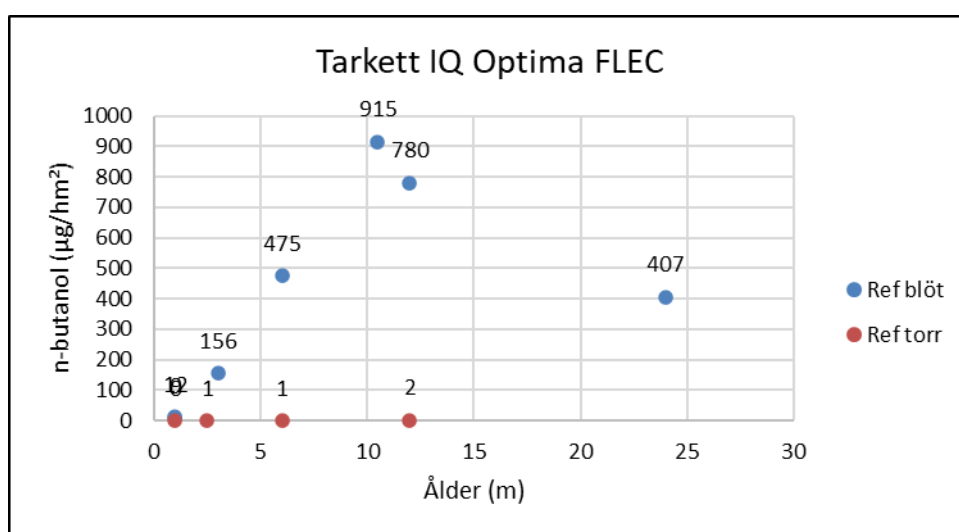
Som tidigare konstaterat i Stelmarczyk m.fl. 2020b (slutrapport SBUF 13560 del 1) är det av vikt att förbereda tolkningen av de uppmätta emissionerna genom att analysera möjliga nedbrytningsprocesser och fastställa vilka slutprodukter man förväntar sig från alkalisk hydrolys. För detta krävs kunskap om ingående delmaterial i golvsystemet, inkl. bindemedel, lösningsmedel samt mjukgörare i lim och ytskikt. För ytskikten är detta relativt lätt då mjukgörare framgår av byggvarudeklarationen. I detta fall handlar det om DINCH, med nonanoler, respektive DOTP, med 2-etylhexanol, som förväntade emissioner. Limmen brukar vara polymerdispersioner, där de ingående monomererna vanligen domineras av butylakrylat. Byggvarudeklarationen för limmen brukar tyvärr inte specificera ingående monomerer 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 ingår som lösningsmedel. De förväntade ämnena i detta fall sammanfattas i tabellen nedan.

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

Tabell 1. Förväntade emissioner från alkalisk hydrolys av lim resp. ytskikt. *Observera att n-butanol förväntas som huvudemission från nedbrytning av lim och 2-etylhexanol endast som sidoemission, dvs. i märkbart mindre omfattning än n-butanol.

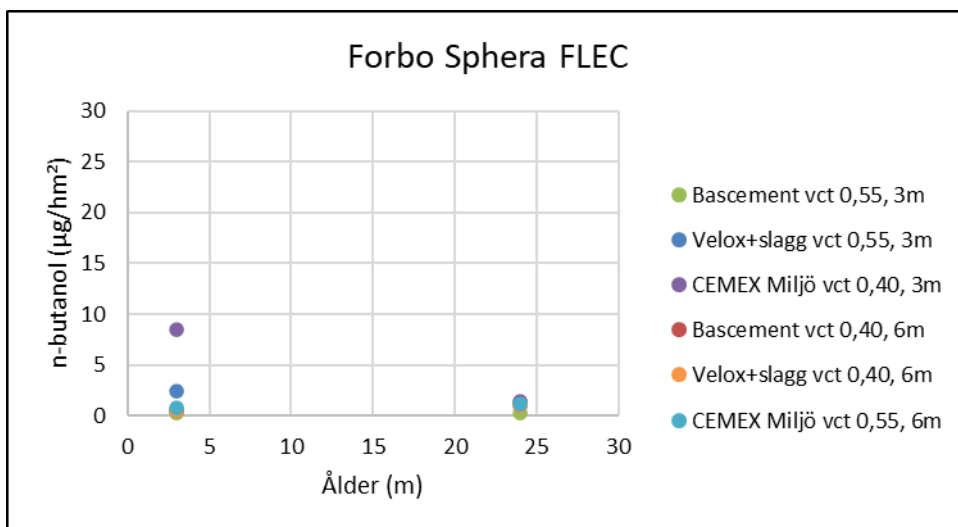
Hur gick det på ovansidan?

Emissioner på ovansidan av referensobjekten efterliknade väl försöken i Wengholt & Johnsson 1995. Ett exempel ges i Figur 2, där emissioner för n-butanol visas. Den blöta referensen visar höga värden som toppar vid ca ett år för att sedan avta något. Den torra referensen ligger väldigt lågt, nästan i nivå med bakgrundsemissioner. 2-etylhexanolen liknar n-butanol, men håller en lägre totalnivå för den blöta referensen, vilket är förväntat då den kommer från limmet och inte från ytskiktet. Emissioner av nonanoler från ytskiktet utvecklas för den blöta referensen något senare i tid än limemissionerna. Den torra referensen har för 2-etylhexanol samt nonanoler lika låg emissionsbild som i Figur 2. Observera att i sammanställningen nedan visas endast vissa diagram, som åskådliggör huvudtrender i mätningen. För fullständiga detaljer se bilaga för respektive betongplatta. Det bör även påpekas att den torra referensen har i skrivande stund inte uppnått en ålder motsvarande 24 månader efter mattläggning, varför motsvarande mätvärden saknas i diagrammen. Detta ger en god överensstämmelse med den tidigare undersökningen, trots vissa skillnader i de ingående materialen.



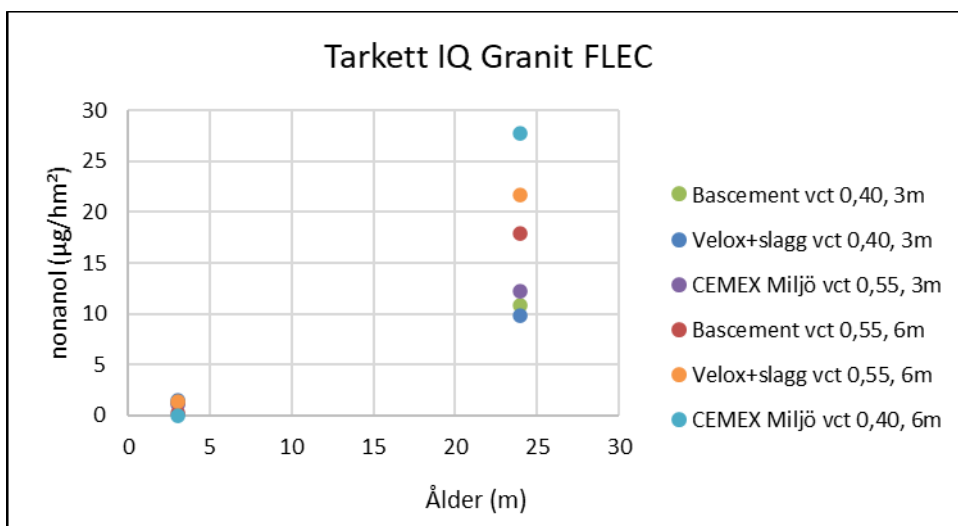
Figur 2. Emissioner av n-butanol på ovansidan (FLEC) av referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.

När det kommer till mätobjekten med modern tät betong är emissionerna av n-butanol sam 2-etylhexanol på ovansidan (FLEC) också mycket låga. Exempel på detta ges i Figur 3 med n-butanol, som förväntas från limmets hydrolys, för samtliga betongplattor med Forbo Sphera som ytskikt.



Figur 3. Emissioner av n-butanol på ovansidan (FLEC) av mätobjekt med modern tät betong och Forbo Sphera som ytskikt.

Emissioner av nonanoler från ytskikt med DINCH som mjukgörare, se Figur 4, är också under laboratoriets praktiska gräns för anmärkning, se bilaga 3 för detaljer om gränser. Här finns dock en möjlig växande tendens (då det endast finns resultat vid två tidpunkter får man vara något försiktig avseende slutsatser om tendens).

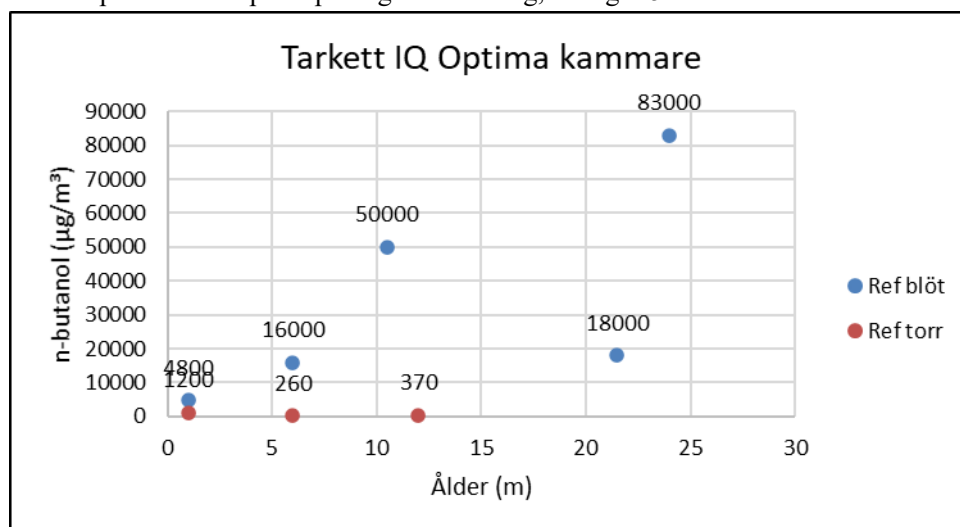


Figur 4. Emissioner av nonanoler på ovansidan (FLEC) av mätobjekt med modern tät betong och Tarkett iQ Granit som ytskikt.

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 ser totalbilden av emissioner på ovansidan av betongplattorna rimlig ut.

Hur gick det på undersidan?

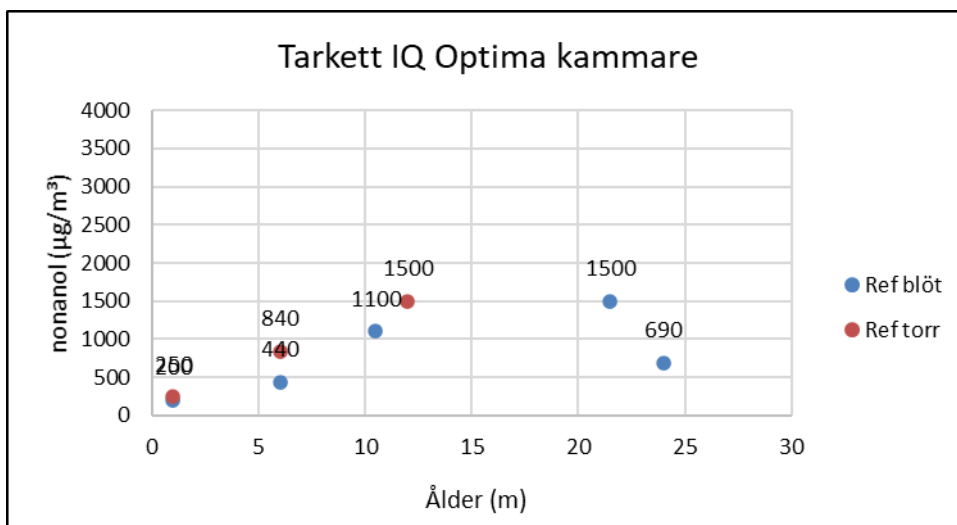
Bilden av emissionerna under ytskikten är mycket mer komplex än den på ovansidan. Den går inte heller att jämföra med Wengholt Johnsson 1995 då sådana mätningar inte utfördes i den undersökningen. Emissionerna av n-butanol i referensplattorna är i princip enligt förväntning, se Figur 5.



Figur 5. Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett IQ Optima som ytskikt.

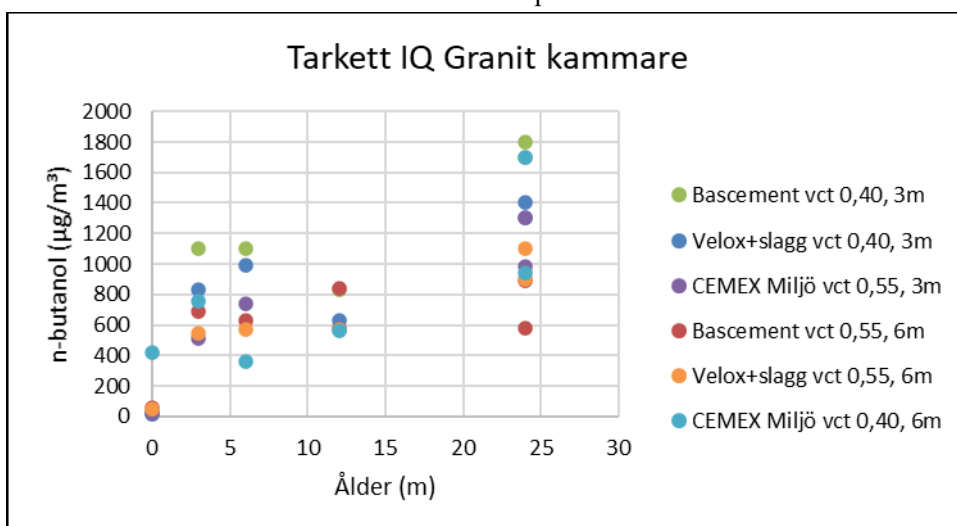
För den blöta referensen erhålls mycket höga värden samtidigt som den torra ligger på en mycket mer acceptabel nivå. Här bör observeras att den tidiga toppen för den torra referensen (ca 1200 µg/m³) rimligen bör vara kopplad till primär hydrolys p.g.a. limfukten. Dessa emissioner tycks avta sedan med 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 visas i Figur 6. 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.



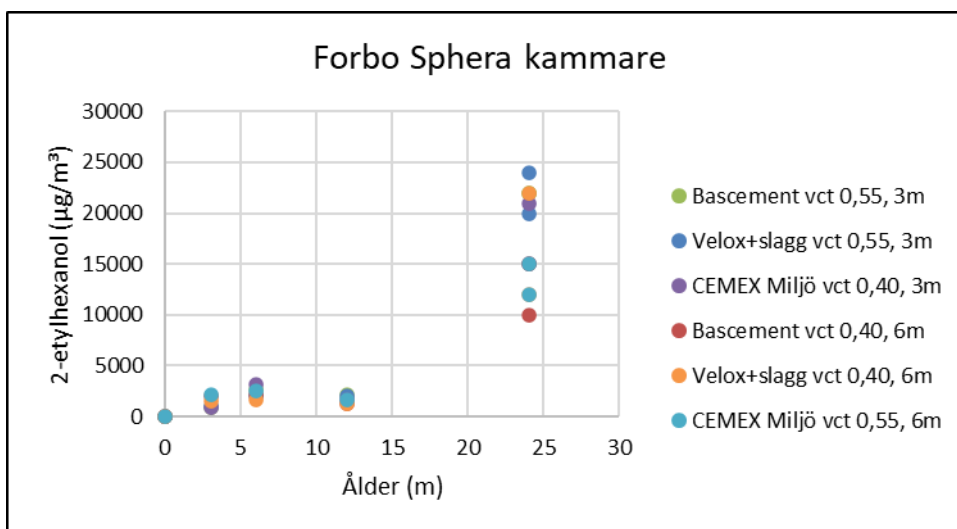
Figur 6. Emissioner av nonanoler under ytskiktet (kammarmätning) för referensobjekten med Tarkett iQ Optima som ytskikt.

För betongplattorna med den moderna täta betongen är emissionsbilden inte lika enkel att tolka. När det gäller emissioner från lim ges i Figur 7 en bild av n-butanol. Det finns en initial uppgång, antagligen kopplad till limfukten, därefter en minskning för att slutligen övergå i en långsiktig höjning av värden. Nivån är jämförbar med emissioner av n-butanol från limfukten i den torra referensplattan.

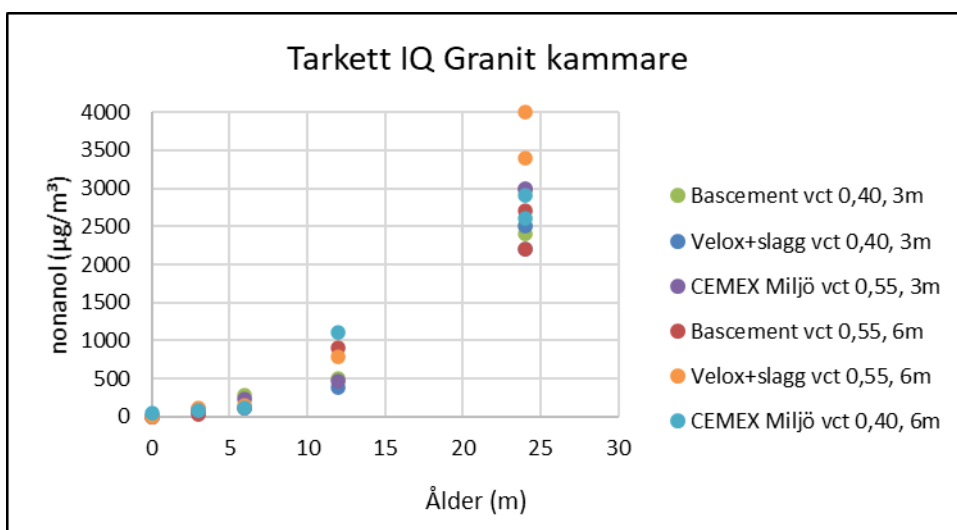


Figur 7. Emissioner av n-butanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Tarkett iQ Granit som ytskikt.

Emissioner från ytskikt för modern tät betong sammanställs i Figur 8 samt Figur 9. 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 8. Emissioner av 2-etylhexanol under ytskiktet (kammarmätning) för plattor med modern tät betong och Forbo Sphera som ytskikt.



Figur 9. 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 två typer av objekt. Det första 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. De andra två värdena är FLEC-mätningar ovanpå plattor med modern tät betong med höga emissionsvärden under ytskiktet där en punktering av ytskiktet initierats med hjälp av ett ca 2 cm långt hugg med ett stämjärn.

Objekt / mätning	Ålder (m)	Emissioner		
		n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
Avjämnning på metallfolie med lim och Forbo Sphera, mitten / kammarmätning	27,5	990 µg/m ³	14000 µg/m ³	0 µg/m ³
Avjämnning på metallfolie med lim och Forbo Sphera, kant / kammarmätning	27,5	810 µg/m ³	14000 µg/m ³	0 µg/m ³
3 månaders Velox + slagg vct 0,55 med Forbo Sphera, snittad / FLEC	27,5	26 µg/hm ²	41 µg/hm ²	0 µg/hm ²
3 månaders Basement vct 0,40 med Tarkett iQ Granit, snittad / FLEC	27,5	18 µg/hm ²	3 µg/hm ²	22 µg/hm ²

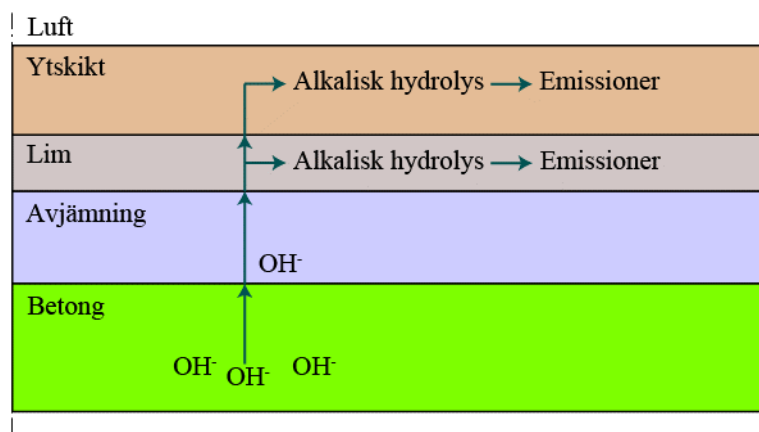
Tabell 2. Emissioner från enstaka mätningar på specialobjekt. Observera att de översta två raderna är kammarmätning och redovisas som koncentration, till skillnad från de två nedersta som är en FLEC-mätning och redovisas som emissionsfaktor.

Här bör noteras att emissionsnivån för 2-etylhexanol från objektet utan betong är i samma höga storleksordning som emissionerna i Figur 8. När det gäller de punkterade ytskikten med höga emissionsvärden under, framgår en omedelbar höjning av emissioner på ovansidan för n-butanol och 2-etylhexanol men inte för nonanoler, där sådana förväntas.

Vad händer egentligen under ytskikten?

Emissionsbilden ovanför ytskikten är förväntad och samstämmig med resultaten av fuktmätningarna i betongplattorna. Referenserna uppför sig som i Wengholt Johnsson 1995 och den nya moderna betongen, som inte uttorkats till 85% på ekvivalent djup, tillsammans med väl uttorkad avjämnning fungerar som koncept. Detta motsvarar väl underlaget på vilket dagens krav på 85% RF på ekvivalent djup är framtaget.

Tittar man under ytskikten blir bilden mycket mer komplex och svårtolkad. Någon hjälp i jämförelse och tolkning från Wengholt Johnsson 1995 eller andra undersökningar från den tiden fås inte då man inte mätte systematiskt under ytskikten. Tolkningen av dessa resultat underlättas av en teoretisk analys av vad som kan hända i golvsystemet. Den schematiska bilden i Figur 10. visar förutsättningar för alkalisk hydrolys i lim och ytskikt.



Figur 10. Alkalisk hydrolysis i lim och ytskikt i golvsystem och tillhörande transport av hydroxidjoner från underliggande delar av golvsystemet.

Vad som alltid kommer att inträffa då vattenbaserat lim används på cementbaserat underlag är en s.k. **primär hydrolysis**. Det stora fuktmängden från limmet kommer initialt att mätta porsystemet i det översta skiktet av underlaget (betong eller avjämning). Detta öppnar upp transportvägar för hydroxidjoner som vandrar från underlaget in i limmet och möjligen vidare in i ytskiktet. Limfukten kvarstannar inte i hög koncentration i den översta delen av underlaget utan fördelas vidare in i golvet. Efter en tid har den spritts ut och fuktigheten har återgått till lägre nivåer där transporten av hydroxidjoner inte är lika hög och den primära hydrolysen avtar i intensitet. Detta förlopp påverkas av det underliggande materialet:

- hur mycket fukt som kan lagras in i det
- hur torrt/blött det är innan limning
- dess transportförmåga för fukt
- dess pH

Man kan genom användning av porös avjämning mellan betong och lim samt god uttorkning av avjämningen inför limning förkorta perioden av primär hydrolysis och möjligen begränsa dess intensitet. Det är däremot svårt att eliminera den helt och hållet.

När vågen av limfukt är omfördelad kvarstår det alltid fukt i golvet under limmet och avjämningen. Transporten av hydroxidjoner är beroende av tillgång på kondenserat vatten som medium. Hur mycket av fukten i betongen och avjämningen som finns i form av kondenserat vatten beror dels på RF och dels på materialets sorptionsegenskaper. Tyvärr är det inte rimligt att innan matläggning torka ut dessa material så att allt kondenserat vatten i respektive porsystem elimineras. Detta skulle kräva uttorkning till RF-nivåer långt under dagens krav och kan inte betraktas som praktiskt genomförbart. Som resultat av detta måste man acceptera att det alltid kommer att finnas helt vätskefyllda vägar i porsystemen hos betong och avjämning där transport av hydroxidjoner äger rum. Detta innebär att **sekundär hydrolysis**, alltså den som är kopplad till fukt från den underliggande golvkonstruktionen och inte från

limmet, i princip alltid kommer att uppstå. Ju torrare golvet är desto lägre intensitet kommer denna process att ha men det är inte rimligt att förvänta sig att denna intensitet är noll även i ett golv som uppfyller dagens uttorkningskrav. Till detta tillkommer det faktum att lim och ytskikt är behäftade med **egenemissioner**, åtminstone initialt. Det är alltså klart att eliminering av emissioner från alkalisk hydrolys inte är praktiskt möjligt genom uttorkning och fuktsäkerhetstänk för betong och avjämning i golvsystemet. Vad händer då med dessa emissioner och när blir de till ett problem?

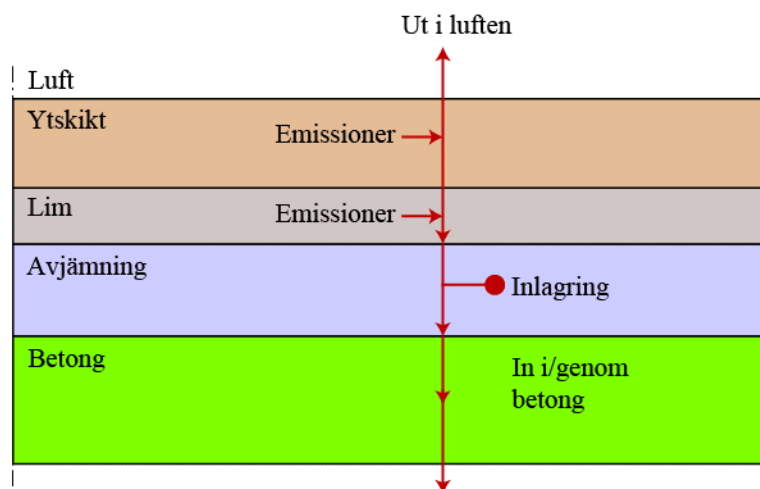
Det kommer alltid att bildas emissioner under ytskiktet

∨ Som framgår av Figur 11 finns det tre saker som kan hända med emissioner från alkalisk hydrolys i lim och/eller ytskikt:

- **Ut genom ytskiktet** – emissionerna kan penetrera ytskiktet och ta sig ut i luften ovanför golvet. Det är den delen av emissionerna som mäts med hjälp av FLEC.
- **Ner i/genom golvet** – emissionerna kan transporteras ner i avjämningen/betongen under limmet och fördelas inom golvet och/eller komma ut på andra sidan. Flera kammarmätningar på varierande djup kan ge en bild av denna process.
- **Ackumulering/inlagring i avjämningen** – om betongen under är mycket tät och inte transporterar emissioner särskilt väl kommer de att ackumuleras i anslutning till var de bildas. Då porös avjämning normalt sett kombineras med tät betong för att få bukt med limfukten kommer emissionerna att ackumuleras just där. Kammarmätning av avjämningen ger en bild av detta.

I denna undersökning kan konstateras att utflöde av emissioner genom ytskiktet inte är särskilt högt baserat på de låga emissionsnivåerna som erhöles vid FLEC-mätningarna, utom för den blöta referensen. Då mätningarna av RF i underlaget, se Stelmarczyk m.fl.2021, inte heller gav resultat som visar på att fuktproblem förekommer, utom för den blöta referensen är denna bild logisk och samstämmig med Wengholt Johnsson 1995.

Eftersom samtliga betongplattor med avjämning är gjutna med modern tät betong är det rimligt att förvänta sig en försämrad transportförmåga hos betongen jämfört med gammaldags betong. Detta gäller inte bara för fukt utan även för andra, särskilt större molekyler. Detta bör innebära att transportförmågan för n-butanol, en kedja med fyra kolatomer, bör vara reducerad i förhållande till gammaldags betong med ren OPC. För 2-etylhexanol, med åtta kolatomer, och nonanoler, med nio kolatomer, bör transportförmågan vara ännu mer reducerad. Detta leder till misstanken att emissionerna i princip inte transporteras in i betongen utan ackumuleras i avjämningen.



Figur 11. Schematisk bild över vad som kan hända med emissioner i golvsystem

Varför syns n-butanolen före de andra emissionerna? N-butanol är den primära emissionen från nedbrytning av lim. När hydroxidjoner transporteras från underlaget når de lim innan de når ytskiktet. Transportvägen tillbaka för n-butanolen är också kortare från lim än från ytskiktet till underliggande material. Vidare är n-butanol en mindre molekyl än de som bildas vid de två andra emissionerna, vilket bör föranleda en lättare/snabbare transport.

Varför blir tvåårsvärden för 2-etylhexanol och nonanoler så oproportionerligt stora jämfört med vid ett år? Den mest sannolika förklaringen till detta är mättnad i avjämningsens porsystem avseende dessa molekyler. När väggarna av porsystemet är mättade med adsorberade molekyler kommer mer emissioner endast lagras in i luften i porsystemet. Detta kommer att resultera i mycket högre koncentrationer avlästa genom en kammarmätning. För detaljer kring detta fenomen se bilaga 2.

Varför blir tvåårsvärden för n-butanol inte lika extrema som vid mätning av de andra emissionerna? N-butanolen är till viss del vattenlöslig, vilket de andra ämnena inte är. Detta möjliggör en annan inlagring av n-butanol i avjämnningen och lägre koncentrationsvärden vid kammarmätning. För detaljer kring detta fenomen se bilaga 2. Detta fenomen misstänks även kunna bidra till andra störande effekter vid mätning av emissioner, se Grantén & Granlund 2020. Vidare är n-butanolen mindre som molekyl, vilket borde kunna bidra till att den fördelas lättare till resten av golvet.

Kan man vara säker på att detta inte beror på omfattande sekundär hydrolys?

Att hävda detta med fullständig säkerhet baserat på befintligt mätunderlag bedöms inte som möjligt. Fukttillståndet i underlaget är inte så högt att det borde orsaka en omfattande sekundär hydrolys. Samtidigt är det tyngsta argumentet mot omfattande sekundär hydrolys resultatet från emissionsmätningen i avjämnning på metallfolie med limmad matta. Resultatet från mätningen av 2-etylhexanolen vid 27,5 månader är i samma storleksordning som tvåårsvärdena för betongplattorna med samma ytskikt. Detta gäller alltså för ett underlag som inte innehåller den största källan till

hydroxidjoner och annan möjlig byggfukt, dvs. betongen. Dessutom för en avjämning som innan mattläggning uttorkats till ca 63% RF. De gemensamma egenskaperna mellan detta objekt och en avjämning på underliggande betongplatta är dock tätheten under avjämningen, vilket stöder tolkningen avseende ackumulering av emissioner samt mätnad i avjämningen.

Har mattor och lim fått högre egenemissioner och/eller blivit känsligare avseende alkalisk hydrolys? Denna fråga går inte att besvara baserat på resultaten i detta projekt. Syftet med mätningarna var att undersöka betongens och avjämningens inverkan på resultatet. De undersökta ytskikten är homogena mattor, valda för att representera genomsnittliga volymprodukter på marknaden. Inte heller limvalet medger en jämförelse. Olika ytskikt och lim kommer att ge olika inverkan på emissionsbilden, vilket redovisas i Grantén & Granlund 2020. För att ovanstående fråga skall kunna besvaras krävs ytterligare undersökning.

Kan man jämföra dessa resultat med andra studier? Möjligheterna är tyvärr rätt begränsade. Den huvudsakliga jämförelsen med Wengholt Johnsson 1995, som redovisas ovan, täcker endast FLEC-mätningar på ovansidan då kammarmätning inte utfördes i den tidigare undersökningen. Andra systematiska undersökningar av större omfattning från den tiden, t.ex. Sjöberg 2001, Alexandersson 2000 eller 2004, använder också FLEC som huvudsaklig metod. Det förekommer undantag, t.ex. Sjöberg som använder kammarmätning på olika djup för att uppskatta betongens transportförmåga för emissioner, men de är av för liten omfattning för att möjliggöra en jämförelse. När det gäller mer moderna studier är naturligtvis Grantén & Granlund 2020 av intresse. Där används kammarmätning på ett systematiskt sätt och även avjämning utan betong under förekommer som underlag till limning av ytskikt. Det som däremot begränsar jämförelsen mellan undersökningarna är att Grantén & Granlund 2020 endast mäter emissioner t.o.m. sex månader efter mattläggning. Dessa mätningar gav resultat avseende emissioner under ytskiktet i samma storleksordning som mätresultaten i denna undersökning upp till ett år efter mattläggning. Jämförelsen kan dock inte säga någonting om vidare ackumulering och mätnadsfenomenet då sex månader inte räcker för att kunna observera detta.

Den sannolika bilden är att det alltid finns emissioner under ytskikten, även om få har mätt dem tidigare på ett systematiskt sätt. Vidare är det mycket sannolikt att den förändrade tätheten i dagens betong medför en annan spridning och inlagring av emissioner i ett golvsystem. Om den relativa fuktigheten i golvet är för hög blir hydrolysen så intensiv att emissionerna går igenom ytskiktet och kan mätas med FLEC på ovansidan. Vid godkända fuktförhållanden finns det också sekundär hydrolys men i mycket mindre omfattning. Huruvida en kammarmätning föranleder en anmärkning från analyslaboratoriet verkar idag vara kopplat till inlagringen, dvs. golvet konstruktion samt materialegenskaperna och inte bara till förekomsten av sekundär hydrolys. Observeras bör att gränser som tillämpas av laboratorier vid bedömning av emissioner i kammarmätning bygger på tidigare statistik och inte är absoluta. Då material och konstruktion utvecklas, t.ex. betongen blir tätare och avjämning används oftare än tidigare, kommer de statistiska gränserna under en period att vara baserade på

material och konstruktion som inte motsvarar verkligheten. Detta problem är tyvärr oundviklig med statistiskt betingade gränser.

Ytterligare en begränsning i denna undersökning är att testerna har fokuserat på endimensionellt flöde av fukt och emissioner genom golvsystemet, dvs. längs med golvet djupdimension. Provkropparna har tillverkats och hanterats så att inverkan av kanteffekter minimerats. I verkligheten tillkommer naturligtvis inverkan av spridning av både fukt och emissioner i tre dimensioner beroenden på hur golvkonstruktionen ansluter till väggar och hörn.

Är detta ett problem eller...?

En möjlig åsikt är att det som finns under ytskiktet inte är relevant utan att det endast är emissionerna som kommer ut i luften ovan golvet som räknas. Resonemanget är rimligt så till vida att så länge emissionerna inte finns i luften i lokalen kan de inte påverka människor som vistas där. I enlighet med detta är det endast resultat av mätning ovan golvet med FLEC som är intressanta och det är denna typ av emissionsevaluering som uttorkningsgränsen på ekvivalent djup på 85% RF bygger på. Samtliga FLEC-mätningar är inom av labbet tillämpade praktiska gränsvärden. Den samlade bilden av fuktförhållanden i golven med modern tät betong understiger 85% RF under limmet och ytskikten, utom för ett eller två av de minst täta objekten. Detta ger ett klart godkännande till det undersökta konceptet där täthet i betongen utnyttjas för att slippa invänta uppfyllt uttorkningskrav på ekvivalent djup innan avjämning och limning av matta. Samtidigt får man inte glömma att det förekommer kritik mot ovanstående där det menas att en FLEC-mätning inte alltid ger hela bilden. Analysen av emissioner från mätning omfattar endast s.k. indikatorämnen och inte allt som påverkar människor. Det finns redovisade exempel då människor har mått illa i utrymmen där FLEC inte visat förekomsten av emissioner, se Bornehag 1994. Detta har bidragit till att man allt oftare mäter under ytskikten med t.ex. kammarmätning för att utröna om en golvskada föreligger eller ej.

Hur man än ställer sig till mätningarna på ovansidan av betongplattorna bör mätresultaten från undersidan föranleda en vidare analys. Det finns tre potentiella problemställningar baserat på de uppmätta emissionerna under ytskikten:

- **Allt högre koncentration** - Tidsutvecklingen av mätvärdena under ytskikten tyder på fortsatt ackumulering även efter två år. Detta kan med tiden ge allt högre koncentrationer av emissionerna under ytskikten. Då transport av dessa genom ytskiktet ut i luften ovan drivs av skillnader i just koncentration, kan även transporten öka med tiden. Risken finns att detta efter ytterligare en tid blir mätbart även med FLEC på ovansidan av ytskikten.
- **Skadat ytskikt** - Även om transporten genom ett obrutet ytskikt inte blir ett problem, finns det risk att emissionerna läcker ut vid eventuell skada, t.ex. punktering av ytskikt med vasst föremål. Ett enkelt test avseende detta har utförts i projektet med blandat resultat. För två av ämnena erhöles en klar ökning av emissionerna på ovansidan av ytskiktet, för det tredje observerades

ingen större skillnad. I vilket mån detta verkligen blir ett problem återstår att se då effekten av enstaka skador på ytskikten kommer att spädas ut i rumsluften över hela golvet och emissionsfaktorer uppmätta över snittat ytskikt inte kan jämföras med genomsnittlig emissionsfaktor för hela golvet.

- **Byte av ytskikt** - Ytterligare en problemställning kopplad till ackumulerade emissioner i avjämnningen är underhåll av lokalen i fråga. Förr eller senare blir ytskiktet slitet och man kommer att vilja byta ut det. 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 ventileras ut och limma på ett nytt ytskikt? Skall man även byta avjämnning?

Vad kan man göra åt detta?

■ Möjligheter att undvika hela denna problemställning tycks spontant vara något begränsade. En sak som är enkel att konstatera är att uttorkning till en lägre RF än 85% inte kommer att lösa problemet med emissioner under ytskiktet. Beviset på detta är emissionsmätningen under ytskiktet limmat på väl uttorkad avjämnning med endast en metallfolie som underlag, alltså utan betong med dess höga pH och ev. byggfukt. Den begränsade spridningen av emissioner inom golvet är tillräcklig för att skapa ackumulering av emissioner i avjämnningen även vid mycket fördelaktiga fuktförhållanden. Vad kan man annars göra:

- Återgången till mer porös och öppen betong ser inte ut som ett praktiskt tänkbart alternativ, åtminstone för tillfället. Under trycket från miljökraven lär varken kalkstensfiller eller puzzolana/halvpuzzolana tillsatser kunna tas bort från betongrecepten. Den moderna täta betongen är att betrakta som något man får lov att leva med.
- Man skulle kunna lägga tjockare avjämnning för att sprida ut emissionerna. Detta kommer att reducera koncentrationen av dem men då det fortfarande kommer att finnas tät betong under, kommer emissionerna ändå att stanna i avjämnningen. Detta kan vara ett sätt att reducera problemets omfattning men det kommer inte att ta bort det. Kvar blir frågan om vad som skall ske med avjämnningen vid byte av matta.
- Kan en löslagd matta var ett alternativ? Frånvaro av limfukt och mindre kontakt mellan ytskikt och det potentiellt alkaliska underlaget kan reducera den låga intensiteten hos den sekundära hydrolysen ytterligare. Huruvida en sådan reduktion är tillräcklig för att få bort de höga emissionsnivåerna under ytskiktet och inga andra förändringar i golvsystemet bidrar i motsatt riktning återstår dock att visa genom en praktisk undersökning som bör omfatta ett tillräckligt långt tidsspänn för att kunna jämföras med resultaten från detta projekt.
- Man kan också bestämma sig för att leva med problemställningen. I ett sådant fall bör man planera för hur inlagring av emissioner i avjämnning skall hanteras i samband med byte av matta.

Hur man än ser på dessa alternativ är det 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 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

➤ Emissionsmätningar, utförda i enlighet med hur dagens uttorkningskrav är framtagna (FLEC), bekräftar att den moderna täta betongens låga transportförmåga kan utnyttjas för framtagning av fuktsäkra golvsystem utan att uttorkningskrav på ekvivalent djup i betongen uppfyllts. Konceptet, där detta utnyttjas i kombination med väl uttorkad avjämning, föreslogs ursprungligen baserat på simuleringar av fuktförhållanden i SBUF 13354, se Stelmarczyk m.fl. 2019. Nu, inom SBUF 13560, har konceptet undersökts i praktiken och resultaten bekräftas av både fuktmätningar och emissionsmätningar på ovansidan av de undersökta golvsystemen.

Samtidigt har det inom SBUF 13560 utförts omfattande mätningar av emissioner under ytskikten. Resultaten, även om de inte bedöms vara direkt fuktrelaterade, ger anledning till oro och bör föranleda vidare arbete inom branschen. Initialt kan konstateras att utvärdering av resultat från kammarmätning av emissioner under ytskikten kan vara svår att utföra även med god kunskap om de förväntade emissionerna från alkalisk nedbrytning av lim och ytskikt. Detta beror på att mätmetodens resultat är beroende av många faktorer, vilket kan göra att två olika mätningar i princip är ojämförbara. Det krävs god kunskap om både metodens beroenden samt golvkonstruktionen och de ingående materialen i kombination med flera mätningar för att kunna förstå vad som pågår i golvet. **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.**

Vidare visar kammarmätningarna att en ackumulation av emissioner sker över tid i avjämningen. Detta gäller främst de större molekylerna, dvs. 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. Den höga inlagringen av emissionerna under ytskikten ser inte ut att påverka emissionerna ovanför ytskikten under samma tidsperiod. Detta kan dock vara en potentiellt problem över tid eftersom:

- Möjlig växande koncentration under mattan med tiden kommer att medföra ökad transport genom mattan ut i luften ovan.
- Eventuell skada på mattan kan öppna upp en mer direkt väg för de lagrade emissionerna att komma ut.

- Byte av matta kan resultera i frisläppande av stora emissionsmängder.

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. Beviset för detta är ovan nämnda emissionsmätning under matta limmat på väl uttorkad avjämning på metallfolie i stället för på betong. **Om en nivå av uttorkning i avjämningen på 63% RF, utan närvaro av betong som extra källa till hydroxidjoner och ev. byggfukt, inte räcker till för att förhindra en ansamling av emissioner under matta så kommer detta problem definitivt inte att lösas med åtgärder gällande fukt i golvet.**

Den moderna täta betongen fungerar fuktsäkerhetsmässigt väl i kombination med väl uttorkad avjämning. Detta förhindrar dock inte att tätheten på annat sätt bidrar med utmaningar för hantering av emissioner från alkalisk nedbrytning av lim och ytskikt i golvsystem. Den successiva ackumuleringen av emissioner från så väl primär som lågintensiv sekundär hydrolysis samt materialens egenemissioner bygger upp en ansamling i avjämningen som redan idag överskrider labbens praktiska gränser för anmärkning med mer än en tiopotens. Detta kan även medföra fler problem på sikt. Det är av vikt att branschen i närtid adresserar två öppna frågeställningar, som gjorts gällande genom undersökningen i SBUF 13560:

- **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 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.**

Det är hög tid att sluta fokusera enbart på specifika uttorkningskrav på ekvivalent djup i betongen, t.ex. 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 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 hydrolysis samt god fuktsäkerhet fortfarande är viktiga för ett sunt byggande.

Referenser

Alexanderson 2000 – J. Alexanderson, *Secondary emissions from alkali attack on adhesives and PVC floorings*, AMA-nytt 1/2000

Alexanderson 2004 – J. Alexanderson, *Emissioner vid nedbrytning av limmade golvbeläggningar*, Lund 2004

Bornehag 1994 – C.-G. Bornehag, *Mönsteranalys av inomhusluft*, R23:1994
Byggeforskningsrådet

Grantén & Granlund 2020 – J. Grantén, D. Granlund, *Minimera kemiska golvsador*,
Slutrapport SBUF 13599 samt 13752, 2020 SBUF

Linderoth & Johansson 2019 – Linderoth O, Johansson P., *Fuktegenskaper hos
cementbundet material med flygaskainblandning*, Bygg & Teknik nr 7, 2019

Sjöberg 2001 – A. Sjöberg, *Sekundära emissioner från betonggolv med limmade
golvmaterial*, Chalmers Tekniska Högskola 2001

Stelmarczyk m.fl. 2019 – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, *Utredning av
funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*, SBUF 13354
Slutrapport, 2019

Stelmarczyk m.fl. 2020a – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, *Teknisk granskning
av "Utredning kring PPBs uttorkningsmodul – Slutrapport 2020-02-06"*,
www.sbuf.se/ppb 2020, numera www.byggforetagen.se/ppb

Stelmarczyk m.fl. 2020b – M. Stelmarczyk, T. Rapp, *Framtidens golvsystem med
modern, tät betong*, Slutrapport del 1, långsiktig del: en gedigen grund för framtiden,
SBUF 13560, 2020

Stelmarczyk m.fl. 2021 – M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, *Kan
täthet ersätta uttorkning i produktion av betongbaserade golvsystem?*, Byggföretagen
2021, www.byggforetagen.se/ppb

Wengholt Johansson 1995 – H. Wengholt Johansson, *Kemisk emission från golvsystem
– effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*, Chalmers Tekniska Högskola 1995,

Erkännanden

Författarna vill rikta ett stort tack till följande personer för deras bidrag till
projektresultaten i allmänhet och tolkningen av dessa i synnerhet:

Ingrid Johansson, Polygon | AK
Jan Kristensson, Chemik Lab AB
Liselott Egelrud, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

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

Bilaga 1, Mätmetod FLEC

Beskrivning

Emissionsmätning mot ytor har utförts enligt Nordtests fältapplikation för FLEC-mätning (NT Build 484) med några modifieringar, vilka listas nedan. Uppmätta halter vid FLEC-mätning anges som emissionsfaktor, EF, vilket är emissionshastighet per yta och tidsenhet med enheten $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$.

FLEC är en mätcell i rostfritt stål som möjliggör riktad mätning av kemiska ämnen som emitteras från en materialyta genom att filtrerad luft tillförs mätcellen via en spalt längs dess perimeter och evakueras via den centralt belägna utgången genom en adsorbent, vilken sedan analyseras. Mätningen inväntar alltså inte jämviktsförhållanden mellan mätobjekt och den analyserade luften utan bygger på ett specifikt mätförfarande som upprepas på samma sätt vid varje mätning.

Provytan avgränsas mot omgivningen genom att mätcellens egen tyngd pressar ner tätningsskivan av silikon, som löper längs ytterkant på mätcellens undersida, tätt mot underlaget. För att säkerställa att mätning görs på luft som passerat över provytan utan okontrollerade bidrag från omgivningen skapas ett övertryck i mätcellen genom att tilluftsflödet, som filtreras genom en koladsorbent, överstiger provtagningsflödet. Restflödet leds ut genom en av kopplingarna vid utgången.

En mätserie består av att systemet monteras mot den aktuella provytan som ventileras med filtrerad luft under 60 minuter varefter provtagning utförs. I detta projekt har provtagning utförts på tenaxadsorbent (Tenax TA) under 30 minuter med ett tilluftsflöde på 110 ml/min och ett provtagningsflöde på 80 ml/min. Mätningarna har utförts med två FLEC-utrustningar. Bakgrundsmätning mot en plåt av rostfritt stål har utförts med aktuell utrustning vid varje mättillfälle. Provytan torkades av med torrt papper innan systemet monterades. Mellan mätningarna torkades FLEC:ens undersida av med torrt papper. Efter provtagning har tenaxadsorbenterna lämnats till IVL för VOC-analys.

Följande modifieringar av metoden har gjorts vid mätning:

- vid provtagning har adsorbenten monterats på den mittre av de 3 kopplingarna på utgång med restflödet kopplat till en av de andra, istället för tvärtom
- restflödets storlek har inte bestämts under mätning, däremot har det kontinuerligt verifierats under varje mätning att restflöde, och därmed övertryck i mätkammaren, föreligger
- vid mätning mot skrovliga ytor, såsom ren betong- respektive avjämningsyta, uppnåddes inte övertryck i mätcellen med stabilt restflöde med tätningsskivan av silikon varför tätning istället utfördes med latex-slang vid de inledande mättillfällena – i dessa fall utfördes även bakgrundsmätningen på samma sätt

- några mätningar med tilluftsflöde 115 ml/min, i syfte att åstadkomma ett övertryck i mätcellen

Referenser

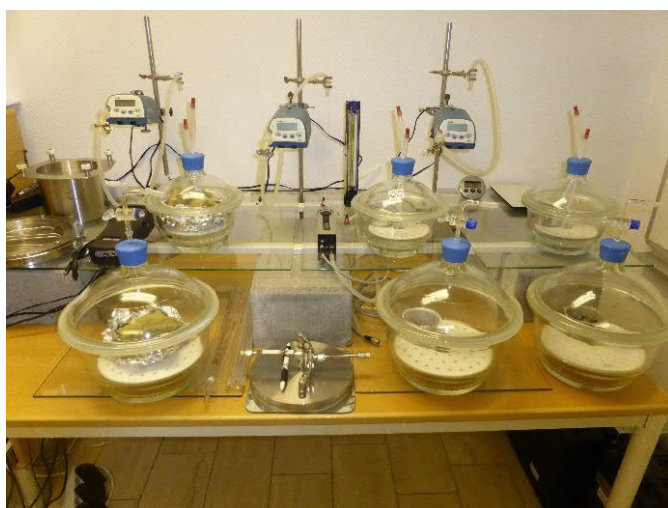
NT Build 484– *BUILDING MATERIALS:EMISSION OF VOLATILE COMPOUNDS - On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC)*, NT Build 484, Approved 1998-11, ISSN 0283-7153, NORDTEST

Bilaga 2, Mätmetod kammarmätning med uttaget prov av avjämning eller betong

Beskrivning

Kammarmätning är en form av s.k. *Static Headspace-Gas Chromatography (HS-GC)*, för detaljer se Kolb & Etre 2006. I kammarmätningen inväntar man inte jämvikt vid utbyte av emissionerna mellan provet och den omgivande luften. Man baserar mätningens jämförbarhet på att processen utförs likadant varje gång. Mätningen utförs på prover av avjämning och/eller betong under golvbeläggningen, vilka tas ut med kärnborr. För exempel på mätuppställning se Figur 12. Mätningar utförs enligt följande procedur:

- Provbitar på ca 30–60 gram lades vid provtagningen i flera lager aluminiumfolie samt plastpåse för transport till labbet.
- Materialprov i aluminiumfolie och påse temperaturkonditioneras i laboratorielokalen under minst 1 dygn.
- Därefter placerades provet i en mätkammare vid ca 23°C i 3 timmar, innan ett luftprov tas ur kammaren. Provet placeras på ett ”hyllplan” mitt i kammaren. Botten förses med 100ml destillerat vatten för att skapa en RF på 100% i kammaren under mätningen.
- Kammaren tillförs renad luft med 100ml/min och luftprovet fångas på en adsorbent, Tenax TA, med ett flöde av 100ml/min i 30 min.
- Adsorbenten sänds till IVL för gaskromatografisk analys med identifiering av ämnen och haltbestämning med masspektrometer.



Figur 12. Mätuppställning för kammarmätning. Foto: J. Grantén.

Känslighet i tillämpning och jämförelse av mätresultat

Kammarmätning ger inte ett kvantitativt resultat som är ett direkt mått på hur mycket av det uppmätta ämnet som finns inlagrat i provkroppen. Mätvärdet är inte proportionerligt mot innehållet av emissionen i fråga i provkroppen. Mätningen ger endast ett semikvantitativt resultat som under specifika förutsättningar kan jämföras med andra kammarmätningar. Detta är delvis kopplat till grundutförande hos HS-GC och dels till att metoden i kammarmätningen inte tillåts uppnå jämvikt mellan provkroppen och luften i kammaren. Kammarmätningen fungerar alltså annorlunda än FLEC som ger ett mer direkt mått på hur mycket som emitteras genom en viss yta under en viss tid.

I sitt grundutförande inväntar HS-GC jämvikt mellan provkroppen och luften i kammaren avseende koncentrationen av emissionerna som man mäter. Då detta kan vara en mycket tidsödande procedur när emissioner skall mätas i betong eller avjämning utförs kammarmätningen på ett snabbare sätt där jämvikt inte inväntas. För att förstå vad en mätning verkligen mäter och vad den påverkas av är det lämpligt att ta en närmare titt på bägge varianter av metoden. Redan den jämviktsbaserade HS-GC påverkas av hur ämnen vars koncentration man mäter lagras in i provkroppen i fråga. För porösa material som betong och avjämning sker inlagringen av emissionerna i porsystemet. Det finns huvudsakligen tre sätt för inlagring:

- I luften i den icke vätskefyllda delen av porsystemet
- Adsorberat till porväggar i den icke vätskefyllda delen av porsystemet
- Om ämnet är vattenlösligt, som t.ex. butanol, löst i vatten eller andra lösningsmedel i det vätskefyllda delen av porsystemet

I kammarmätningen mäter man koncentration av emissionerna i en del av luften i kammaren. Man uppskattar att förfarandet ovan låter ca 70% av kammarens ursprungliga luftvolym på 3 liter passera Tenax-adsorbenten. Den ursprungliga mängden av emissioner, inlagrade på olika sätt i provkroppen kommer vid mätögonblicket att fördela sig mellan luften i kammaren och provkroppen med sina respektive inlagringssätt. Man tömmer alltså inte provkroppen på alla emissioner utan snarare en del av dem – hur stor del beror på bl.a. hur inlagringen sker, hur mycket som finns i provkroppen, hur porsystemet ser ut och hur mycket av porsystemet som är vätskefyllt. Detta kan ge upphov till en rad problem vid jämförelse av mätvärden:

- Om mätvärdet för olika ämnen i ett och samma prov är lika behöver det inte innebära att det finns lika mycket av dessa ämnen i provet. Detta beror på att olika molekyler lagras in i materialet på olika sätt. För kvantifiering av innehållet av de mätta ämnena behövs sorptions samband mellan dessa och porsystemen i materialet och dessa är inte kända.
- Om prov från golv A ger ett mätvärde dubbelt så stort, för ett specifikt ämne, som prov från golv B behöver det inte innebära att golv A innehåller dubbelt så mycket av ämnet som golv B. Detta beror snarare på att golven inte består av samma material. Proven från de två golvsystemen har olika porsystem

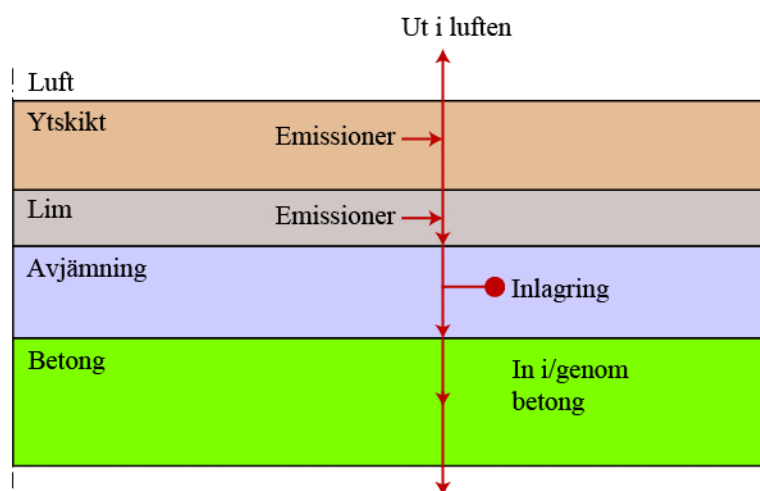
vilket ger skilda inlagringsegenskaper för samma emissioner som i sin tur påverkar mätningen.

- Om prov X ger ett mätvärde dubbelt så stort som prov Y från samma material, t.ex. samma golv vid senare tidpunkt, behöver det inte innebära att prov X innehåller dubbelt så mycket av ämnet som prov Y. En anledning till detta kan vara skillnaden i hur vätskefyllt porsystemet är i respektive prov. Om golvet torkat eller blivit uppfuktat under tiden mellan att proverna tagits uppstår skillnad i hur stor del av porsystemet som är tillgänglig för inlagring i luft och adsorption av ämnet i fråga samt hur mycket vatten som finns för inlagring om ämnet är vattenlösligt.
- Om prov X ger ett mätvärde dubbelt så stort som prov Y från samma material med samma vatteninnehåll i porsystemet, behöver det inte innebära att prov X innehåller dubbelt så mycket av ämnet som prov Y. En anledning till detta kan vara att inlagring genom, t.ex. adsorption på porväggar, inte kan fortgå på grund av att prov X har blivit mättat. I ett sådant fall sker fortsatt inlagring endast i luften i porsystemet, vilket påverkar sorptionsegenskaperna och resultatet av mätningen.
- Temperaturen har också inverkan på utbytet av ämnen mellan provet och luften i kammaren. Samtliga mätningar har utförts vid konstant temperatur, 23°C, vilket eliminerar denna effekt.
- Även RF i luften i kammaren påverkar utbytet vilket har hanterats genom närvaro av vatten i kammaren, som skapar 100% RF i den omgivande luften.

Vid kammarmätningen inväntas inte jämvikt vid utbytet av emissionerna mellan provet och luften. Mätningen bygger på att man ger hela uppställningen lika mycket tid för utbyte varje gång man mäter. Detta gör att metodens resultat blir beroende av faktorer som påverkar hastigheten för utbytet i fråga. Transportegenskaper för emissionerna i provet är en sådan faktor. Provets storlek och fördelning är en annan. Här försöker man hålla de olika provernas vikt någorlunda konstant, men detta påverkar inte hur vikten är fördelad. Ett prov kan bestå av en stor bit samtidigt som ett annat kan vara fördelat i flera mindre bitar. Denna fördelning påverkar hur stor yta hos provet som exponeras mot luften i kammaren, vilket i sin tur påverkar hastigheten för utbyte av emissioner mellan provet och luften i kammaren. Man skulle kunna krossa varje prov till små bitar av ungefär samma storlek för att eliminera stora skillnader i transporten mellan prov och luft, men då krossandet tillför värme till själva provkroppen och skulle påverka provets temperatur har man valt att inte påverka provkropparna mekaniskt.

Ytterligare en källa som kan påverka en jämförelse mellan kammarmätningar är möjliga skillnader i golvkonstruktioner och egenskaper hos de olika materialen. Emissionerna som bildas kan transporteras ut från, eller lagras in i golvet, se schematisk bild i Figur 13. Vad som sker beror på skillnader i materialens transportegenskaper för emissioner. Mattans täthet påverkar hur mycket som transporteras ut i luften ovanför golvet. Betongens täthet påverkar hur mycket som transporteras in i golvet och ut på andra sidan av konstruktionen. Kombinationen av tät

matta och tät betong kan t.ex. resultera att emissioner ackumuleras i avjämningen och väldigt liten del av den lämnar golvet. Detta kan t.ex. resultera i höga mätvärden vid kammarmätning även vid väldigt låg intensitet på alkalisk hydrolys om man låtit emissionerna ackumuleras i avjämningen under en längre tid. I ett golv med öppnare betong och/eller matta kan höga mätvärden mycket väl vara en klar indikation på högintensiv pågående alkalisk hydrolys.



Figur 13. Schematisk bild över vad som kan hända med emissioner i golvsystem

Avslutningsvis bör understrykas att ovanstående svårigheter vid jämförelse och tolkning av resultat från kammarmätningar inte bör resultera i att metoden diskvalificeras för mätningar av emissioner i golvsystem. Visserligen verkar emissionsfaktorn, uppmätt med FLEC på ytskiktets ovansida, enklare i tolkning och jämförelse, men denna metod bygger heller inte på jämviktsförhållanden och levererar endast semi-kvantitativa resultat. Den uppmätta emissionshastigheten är inte heller ett bra mått på kvaliteten i inomhusluften då emissionerna späds ut i rummet ovanför ytskiktet och påverkas även av ventilation.

Kammarmätning på uttaget prov från golvsystem är idag den mätmetod som ger den bästa bilden av vad som pågår emissionsmässigt under ytskikten. Utmaningarna ovan bör resultera i att man anstränger sig för att eliminera störande effekter så långt som möjligt. Slutsatser bör inte dras av enstaka resultat. Tolkning av kammarmätningar är en krävande uppgift som förutsätter kunskap om golvsystemets konstruktion, de ingående materialerna samt dess tillstånd. En anmärkning/kommentar i protokollen från ett analyslaboratorium, som baseras på statistiskt underlag, är inte ett absolut konstaterande om en golvskada. Detta bör stället föranleda vidare undersökning och analys innan en slutgiltig tolkning.

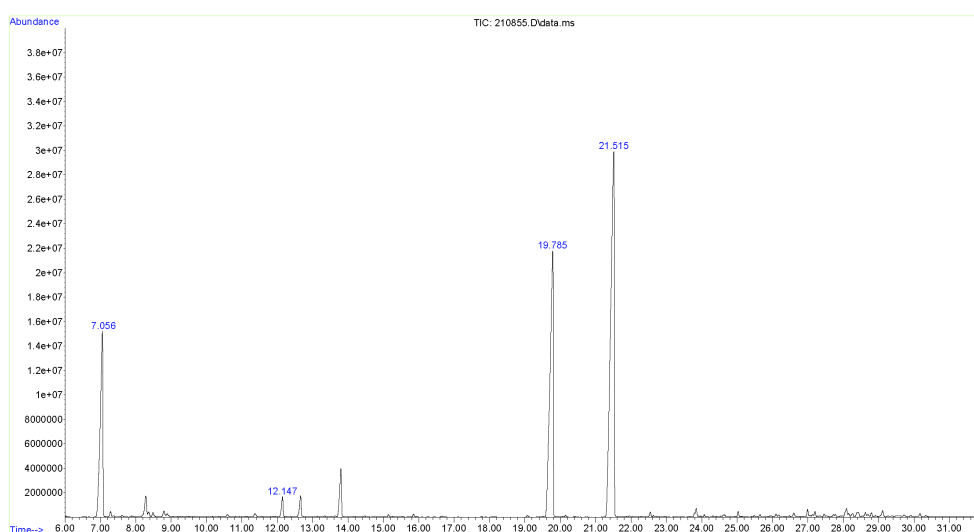
Referenser

Kolb & Etre 2006 – B. Kolb, L. S. Etre, *Static Headspace-gas Chromatography*, John Wiley & Sons Inc.2006

Bilaga 3, Analysmetod

Beskrivning

Prover från kammarmätning samt FLEC som insamlats på fast adsorbent, Tenax TA, desorberas termiskt och genomgår gaskromatografisk analys. Med denna metod kan man analysera ämnen med kokpunkter från ca. 50°C till ca. 300°C. Resultaten för varje prov redovisas i form av tabell och kromatogram, se Figur 14.



Figur 14. Exempel på ett kromatogram med intensiteter uppmätta för ämnen med olika retensionstider.

De specifika ämnena vars halter anges, är beräknade i absoluthalter dvs. med kända halter av det specifika ämnet som referens vid kalibrering. Uträkning av totalhalten nonanoler för SBUF-projektet 13560 utförs på följande sätt:

- 1-nonanol är en av de fyra nonanolerna som ingår i totalhalt nonanoler.
- De övriga tre nonanolerna har retentionstider i kromatogrammet nära 1-nonanol.
- 1-nonanol användes för att kvantifiera totalhalten nonanoler.
- Kalibreringskurva för 1-nonanol upprättades och faktor gentemot toluen beräknades.
- Den sammanslagna halten av de fyra nonanolerna, som misstänks vara nedbrytning från mjukgöraren DINCH, baseras på kalibreringen för 1-nonanol och redovisas numeriskt i tabellform.

Totalhalter av flyktiga organiska ämnen, TVOC, anges i toluenkvivalenter.

Detta innebär att beräkningarna har gjorts som om alla flyktiga organiska ämnen var enbart toluen. Detta görs för att man ska få en uppfattning om totalkoncentrationens

storlek. Observera att TVOC är ett mycket ospecifikt värde, som inte kan kopplas till medicinska hälsoeffekter. Man måste även bedöma de enskilda ämnena. Samtliga provresultat kompenseras för bakgrundvärden från analys av ett blankprov.

Den gräns, som används praktiskt för TVOC i inomhusluft, är $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket motsvarar ca $102 \mu\text{g}/\text{hm}^2$ för emissioner enligt FLEC. Gränserna gäller för icke-industriell inomhusluft. För enskilda ämnen tillämpas gränsen $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket motsvarar ca $34 \mu\text{g}/\text{hm}^2$ för emissioner enligt FLEC.

Den gräns, som används praktiskt för TVOC i materialprover från kammarmätning är $3000 - 5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Även för materialprover är ämnesfördelningen av stor betydelse för bedömningen. För enskilda ämnen tillämpas gränsen $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Den provtagnings- och analysmetod som används följer de anvisningar och förslag som kommer från EU och WHO (World Health Organisation) (SIS ISO 16000 serien). Analysen är utförd under IVL:s ackreditering, men inte provtagningen eftersom den inte har utförts av IVL:s personal. Mer information om provtagningsmetoder och bedömningar av provresultat finns på IVL:s hemsida, www.ivl.se.

Bilaga 4, Mätresultat Ref blöt, Velox vct 0,66

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox Slite, vct 0,66
Uttorkning	1 månad förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	94,4 +/- 2,4 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Optima

Tabell 3, Mätobjektgenskaper

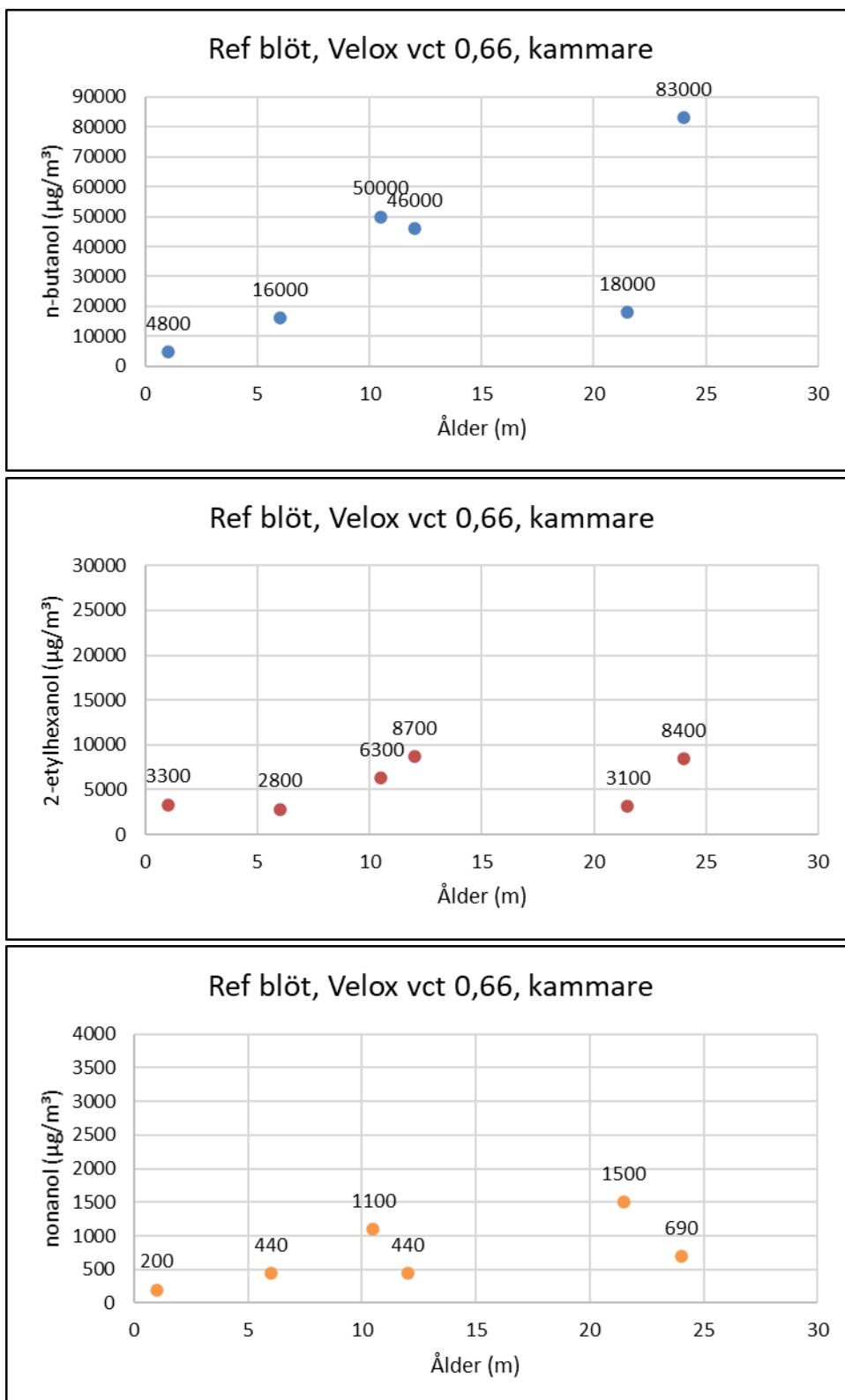
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
1	7400	4800	3300	200
6	12000	16000	2800	440
10,5	41000	50000	6300	1100
12	28000	46000	8700	440
21,5	17000	18000	3100	1500
24	31000	83000	8400	690

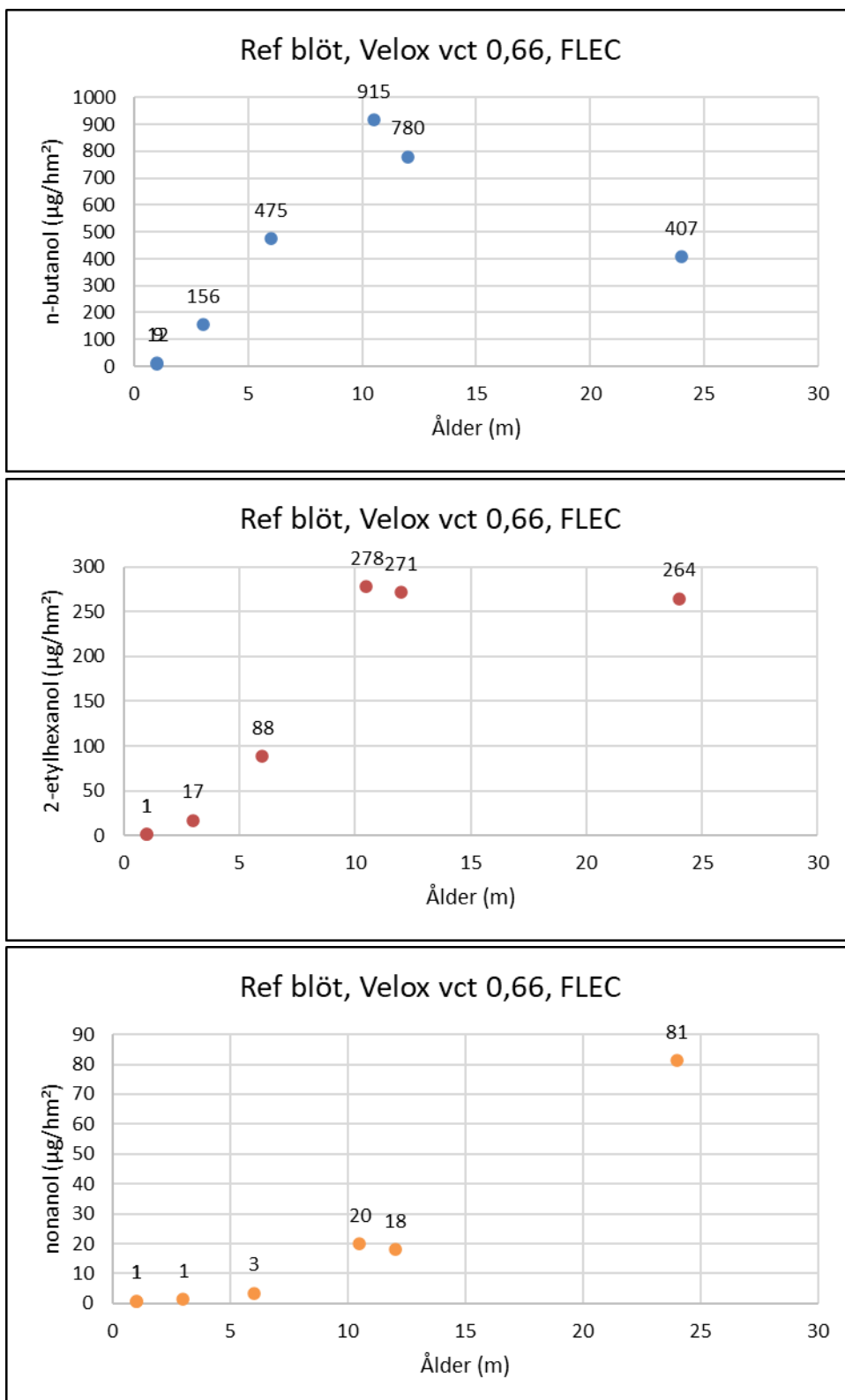
Tabell 4, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i μg toluenekvivalenter/ m^3 , övriga halter anges i $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
1	32	12	1	1
1	22	9	1	1
3	142	156	17	1
6	373	475	88	3
10,5	746	915	278	20
12	576	780	271	18
24	373	407	264	81

Tabell 5, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i μg toluenekvivalenter/ hm^2 , övriga halter anges i $\mu\text{g}/\text{hm}^2$



Figur 15. Kammarmätning av emissioner i Ref blöt, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning. **OBSERVERA avvikande skala från andra diagram.**



Figur 16. FLEC-mätning av emissioner i Ref blöt, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (yttskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning. OBSERVERA avvikande skala från andra diagram.

Bilaga 5, Mätresultat Ref torr, Velox vct 0,66

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox Slite, vct 0,66
Uttorkning	Ensidig fram till 85% utan påslag för mätosäkerhet på ekvivalent djup
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	84,6 +/- 2,0 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Optima

Tabell 6, Mätobjektgenskaper

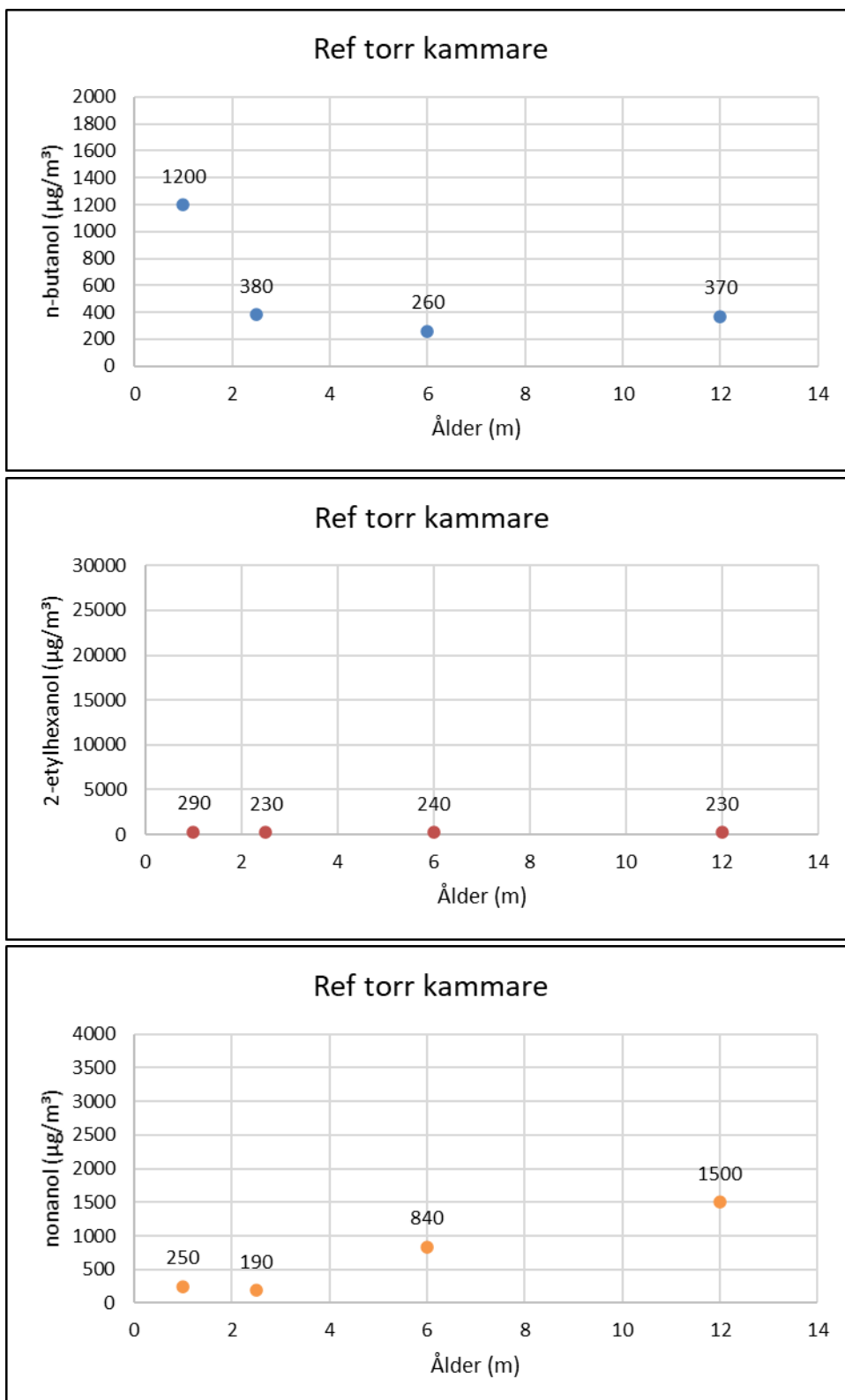
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
1	5500	1200	290	250
2,5	3100	380	230	190
6	3300	260	240	840
12	6400	370	230	1500

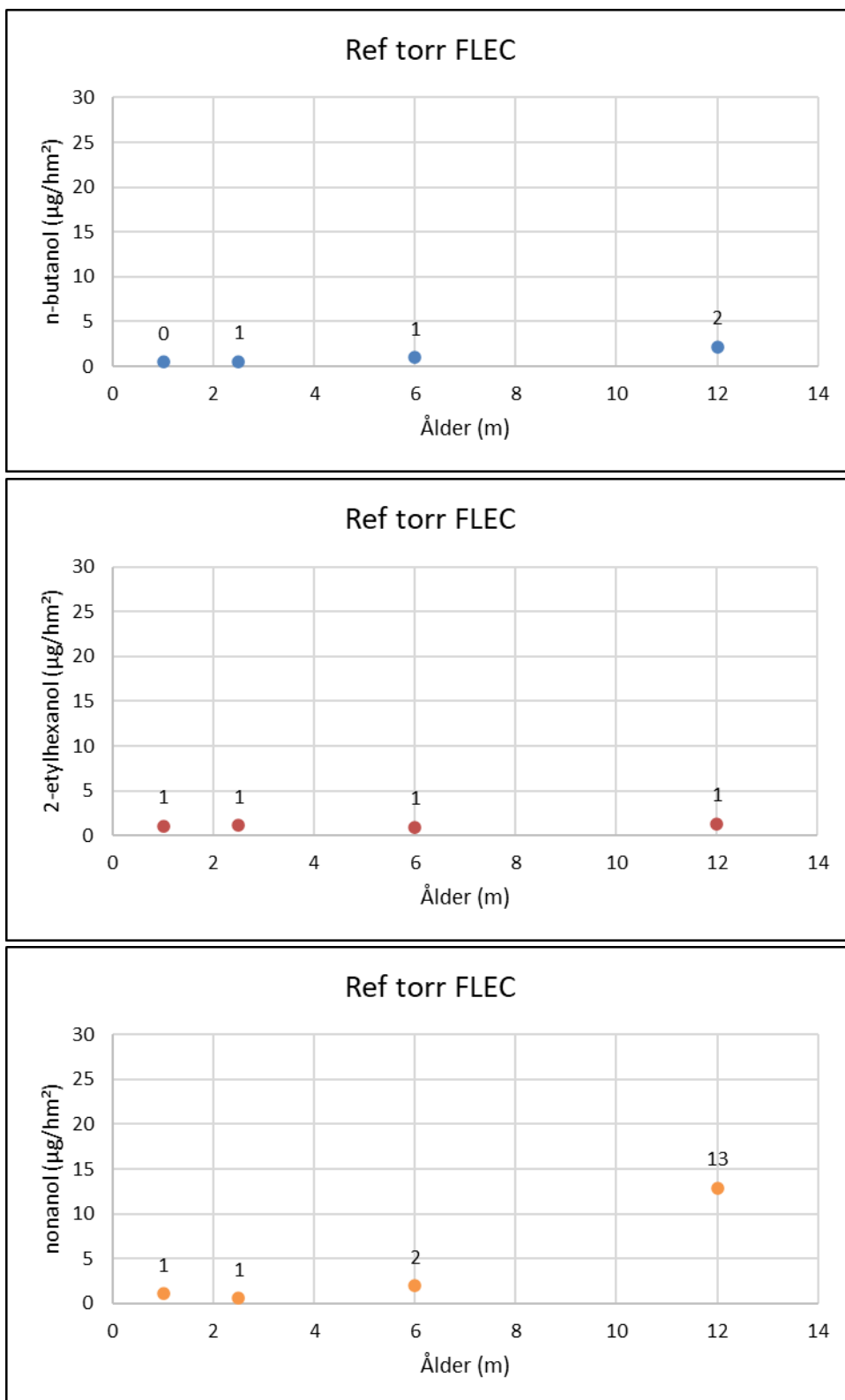
Tabell 7, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i μg toluenekvivalenter/ m^3 , övriga halter anges i $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
1	16	0	1	1
2,5	12	1	1	1
6	26	1	1	2
12	64	2	1	13

Tabell 8, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i μg toluenekvivalenter/ hm^2 , övriga halter anges i $\mu\text{g}/\text{hm}^2$



Figur 17. Kammarmätning av emissioner i Ref torr, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 18. FLEC-mätning av emissioner i Ref torr, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 6, Mätresultat Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,40
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	86,3 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	71,6 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 9, Mätobjektgenskaper

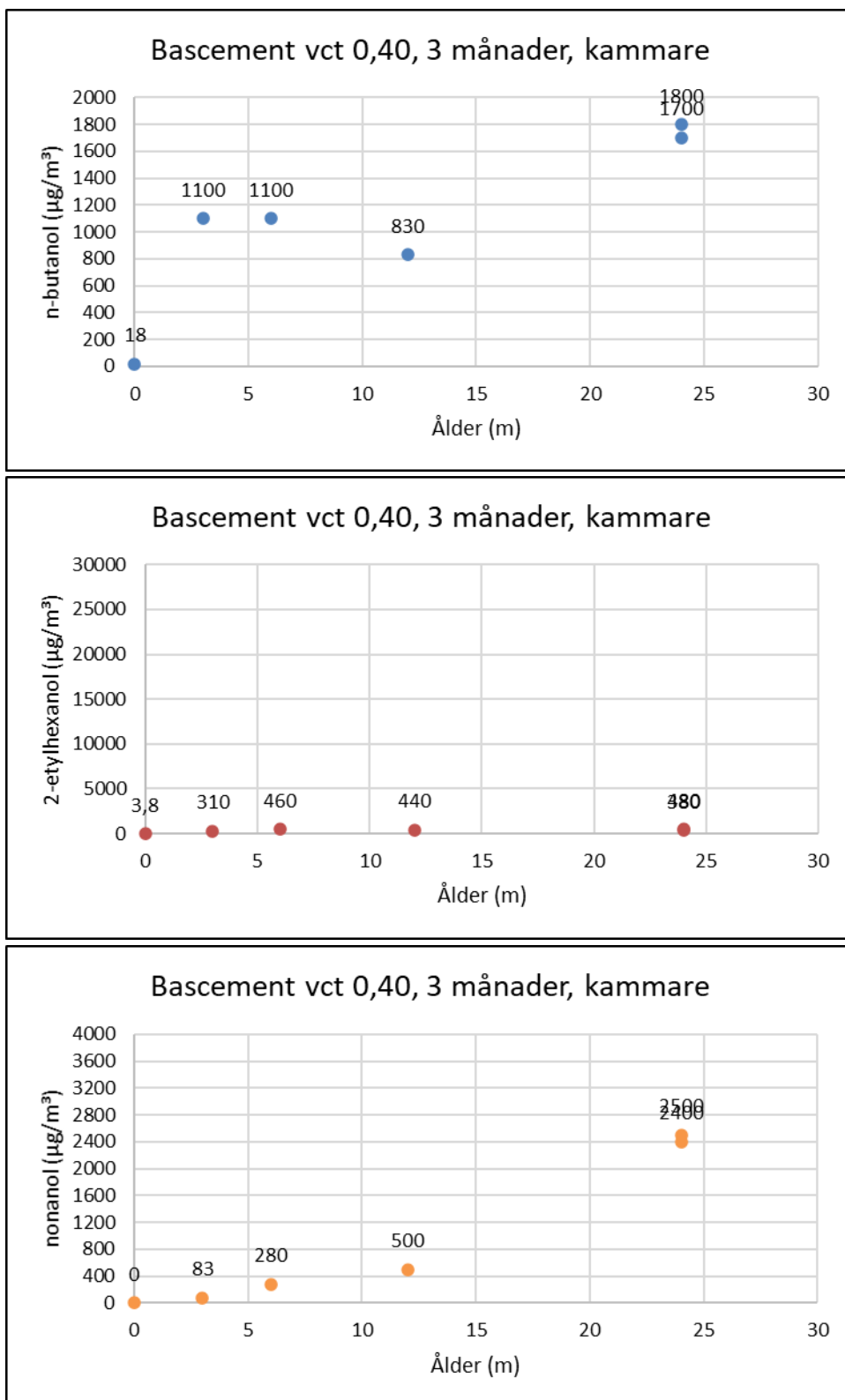
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	250	18	3,8	0
3	4900	1100	310	83
6	6700	1100	460	280
12	4600	830	440	500
24	15000	1800	380	2400
24	17000	1700	480	2500

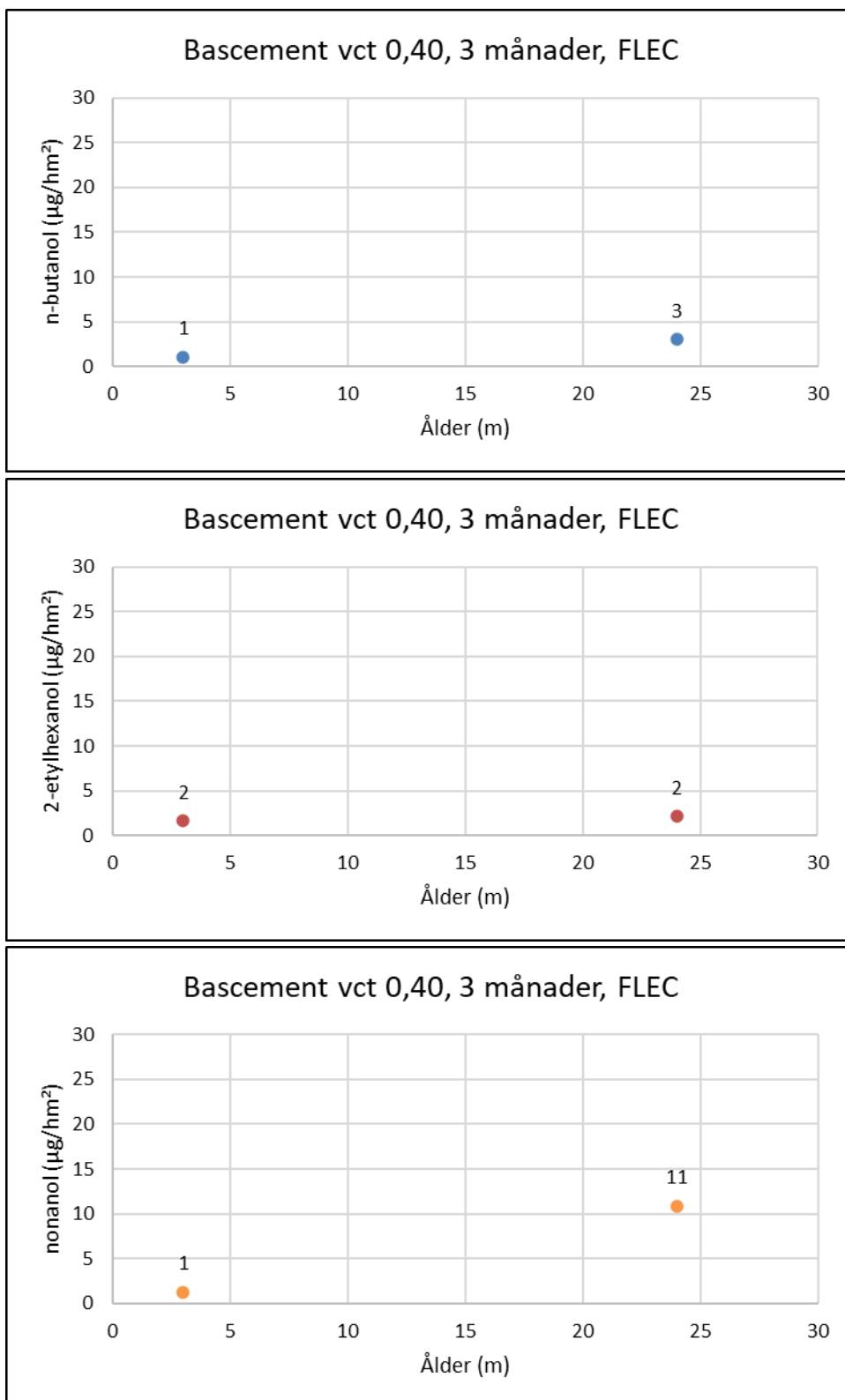
Tabell 10, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	37	1	2	1
24	44	3	2	11

Tabell 11, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/ hm², övriga halter anges i µg/ hm²



Figur 19. Kammarmätning av emissioner i Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 20. FLEC-mätning av emissioner i Basement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 7, Mätresultat Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,55
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	88,2 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före matläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	73,5 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 12, Mätobjekttegenskaper

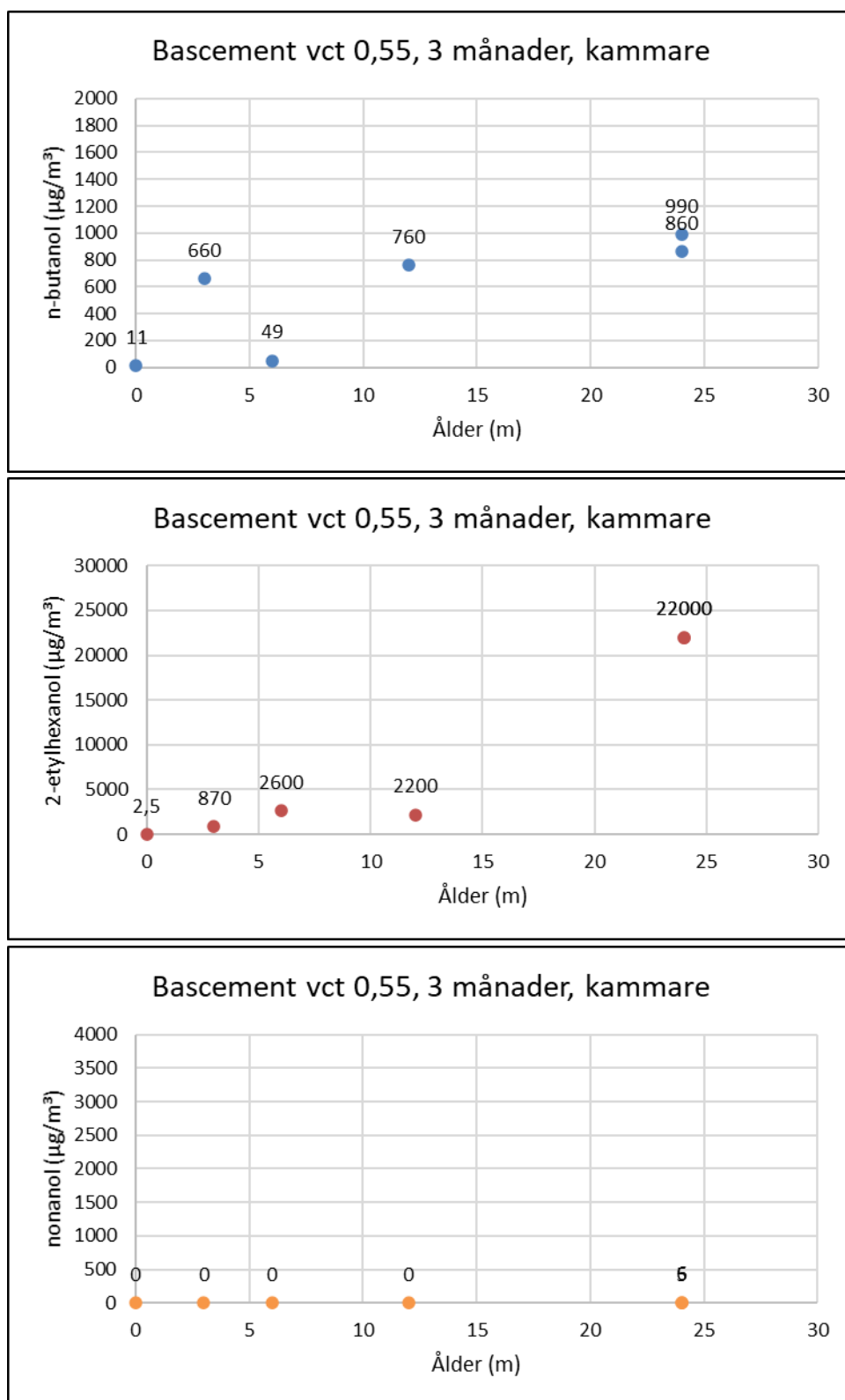
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
0	260	11	2,5	< 1
3	5600	660	870	< 1
6	10000	49	2600	< 1
12	6800	760	2200	< 1
24	25000	860	22000	5
24	27000	990	22000	6

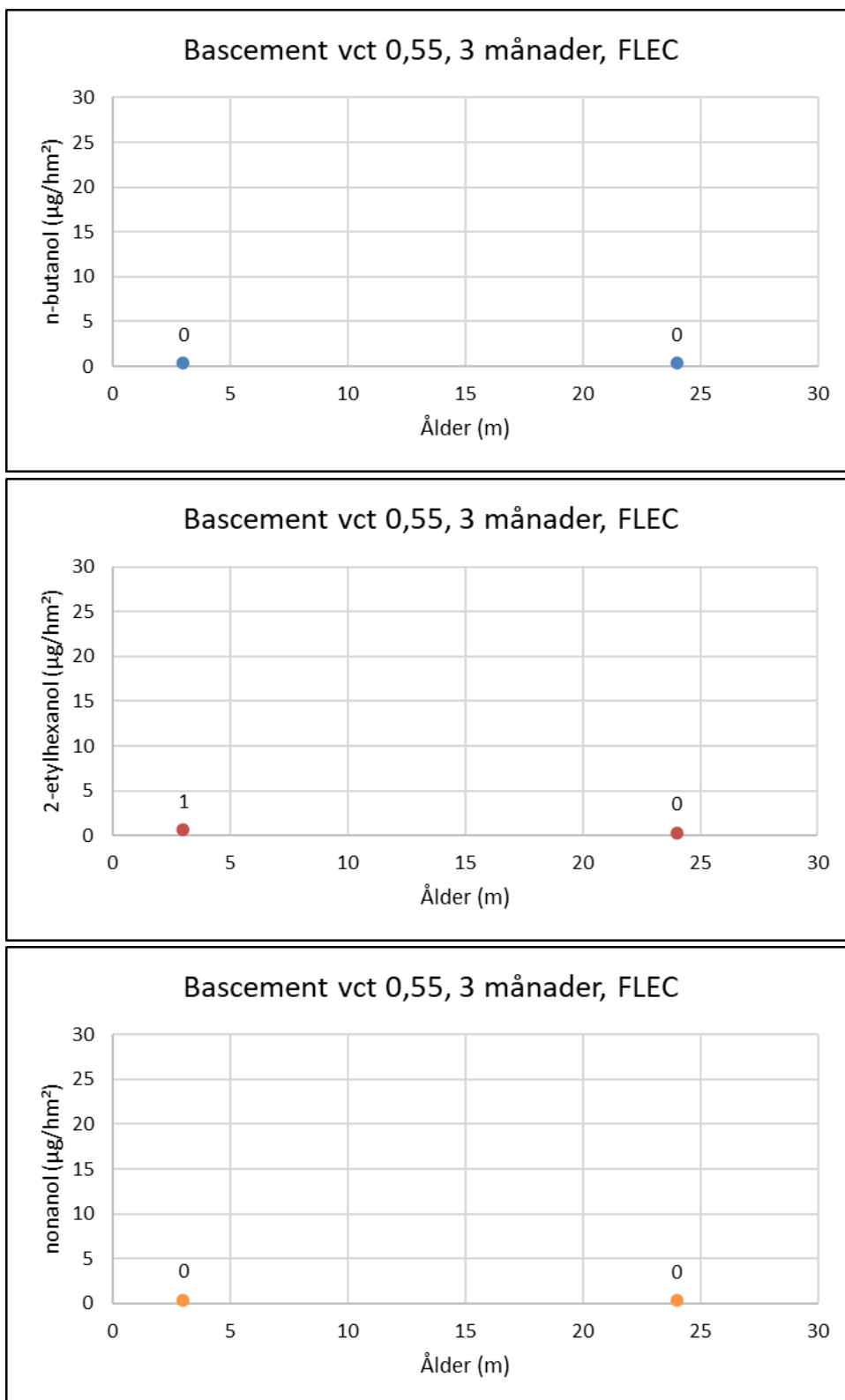
Tabell 13, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. matläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenkvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
3	21	0	1	0
24	1	0	0	0

Tabell 14, FLEC, ålder anges fr.o.m. matläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenkvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 21. Kammarmätning av emissioner i Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 22. FLEC-mätning av emissioner i Basement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 8, Mätresultat Velox + 30% slagg vct 0,40, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox + 30% slagg, vct 0,40
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	84,8 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	71,7 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 15, Mätobjekttegenskaper

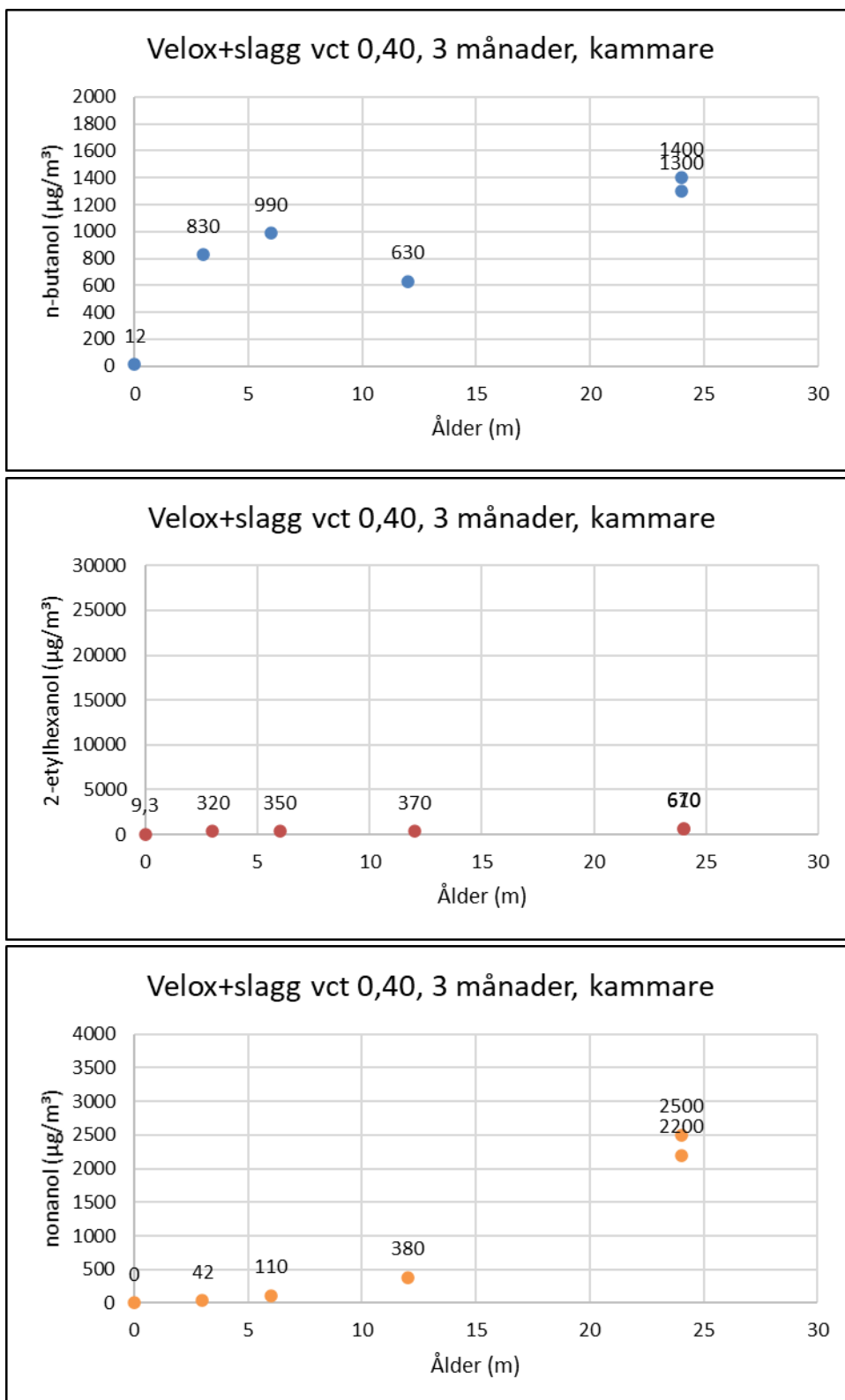
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
0	610	12	9,3	0
3	4800	830	320	42
6	6000	990	350	110
12	4000	630	370	380
24	17000	1300	670	2500
24	15000	1400	610	2200

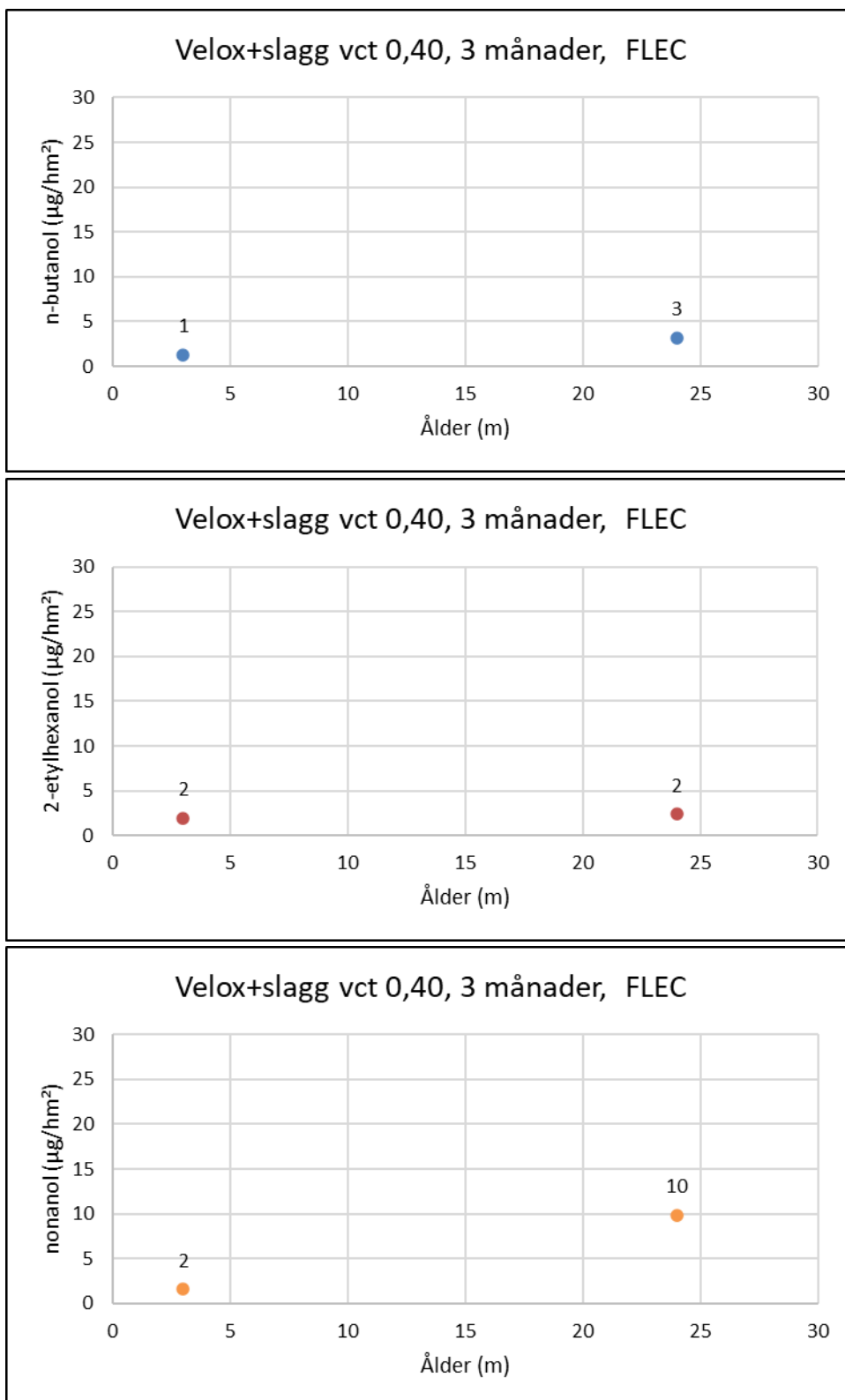
Tabell 16, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
3	54	1	2	2
24	41	3	2	10

Tabell 17, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 23. Kammarmätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 24. FLEC-mätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 9, Mätresultat Velox + 30% slagg vct 0,55, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox + 30% slagg, vct 0,55
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	88,2 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	69,9 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 18, Mätobjekttegenskaper

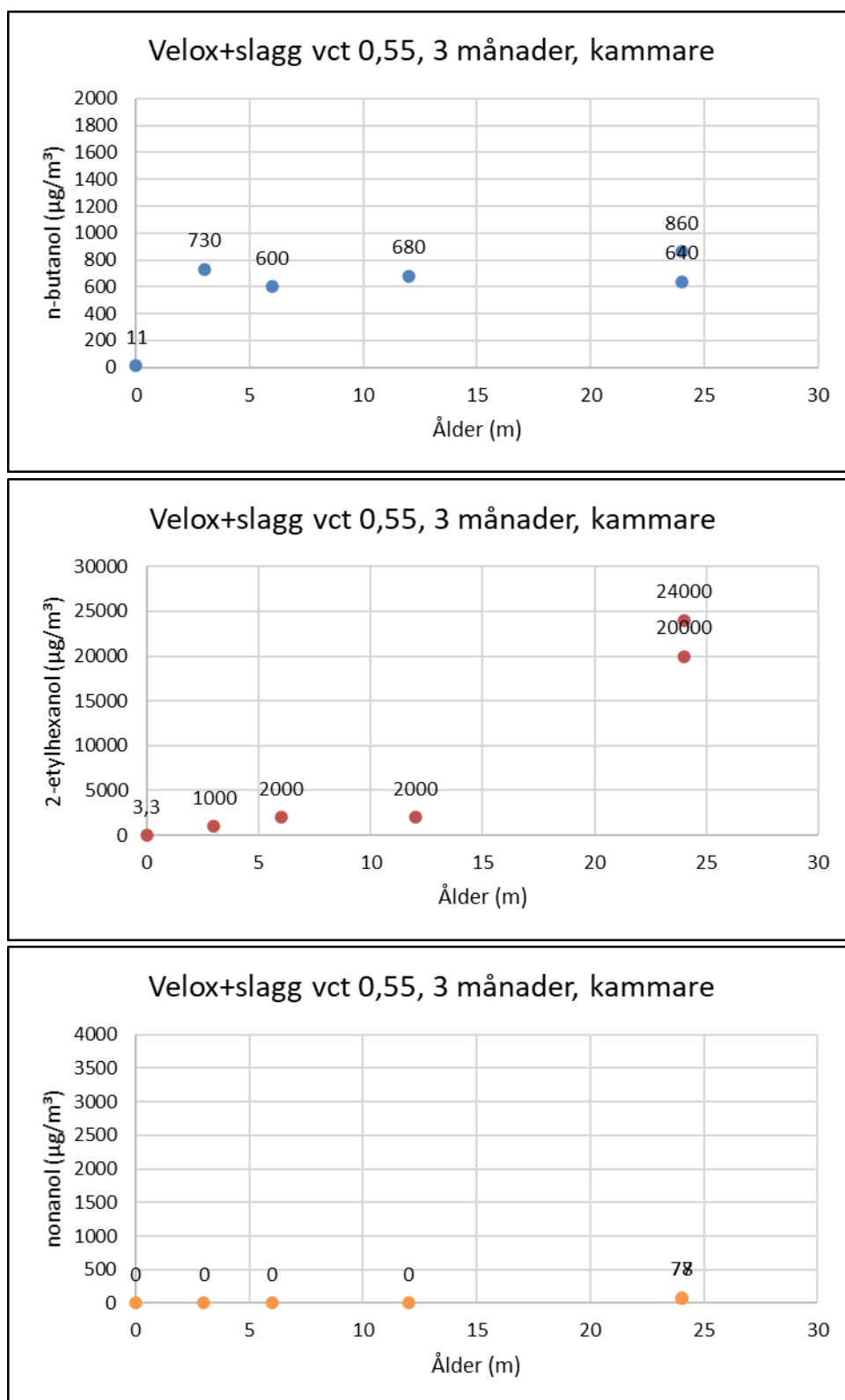
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
0	230	11	3,3	0
3	6200	730	1000	0
6	8700	600	2000	0
12	7200	680	2000	0
24	28000	640	24000	78
24	26000	860	20000	77

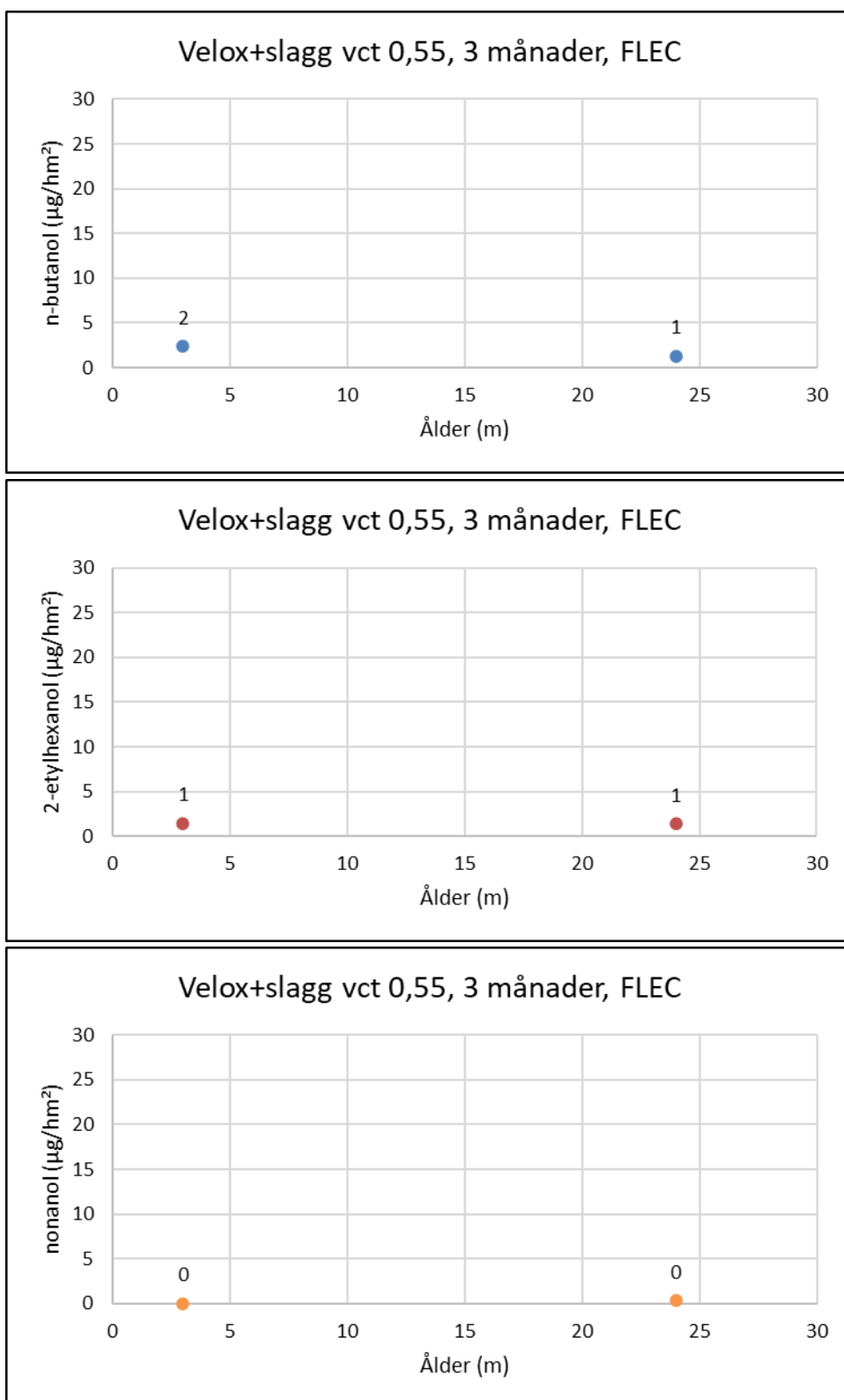
Tabell 19, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
3	24	2	1	0
24	9	1	1	0

Tabell 20, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 25. Kammarmätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 26. FLEC-mätning av emissioner i Velox + 30% slaggt vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 10, Mätresultat CEMEX Miljö vct 0,40, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	CEMEX Miljö, vct 0,40
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	86,5 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	69,7 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 21, Mätobjekttegenskaper

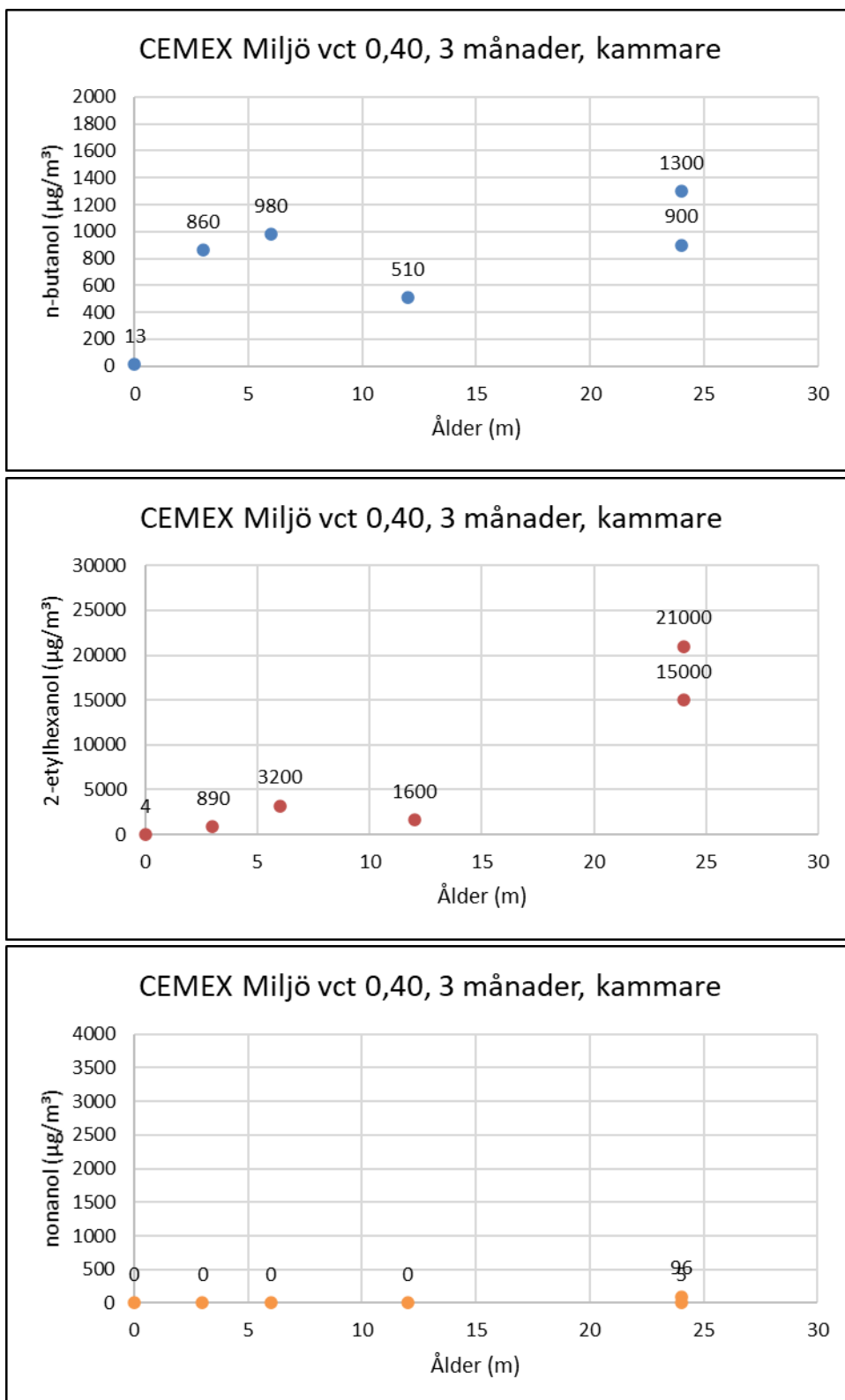
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	170	13	4	0
3	6100	860	890	0
6	12000	980	3200	0
12	5700	510	1600	0
24	27000	900	21000	96
24	23000	1300	15000	5

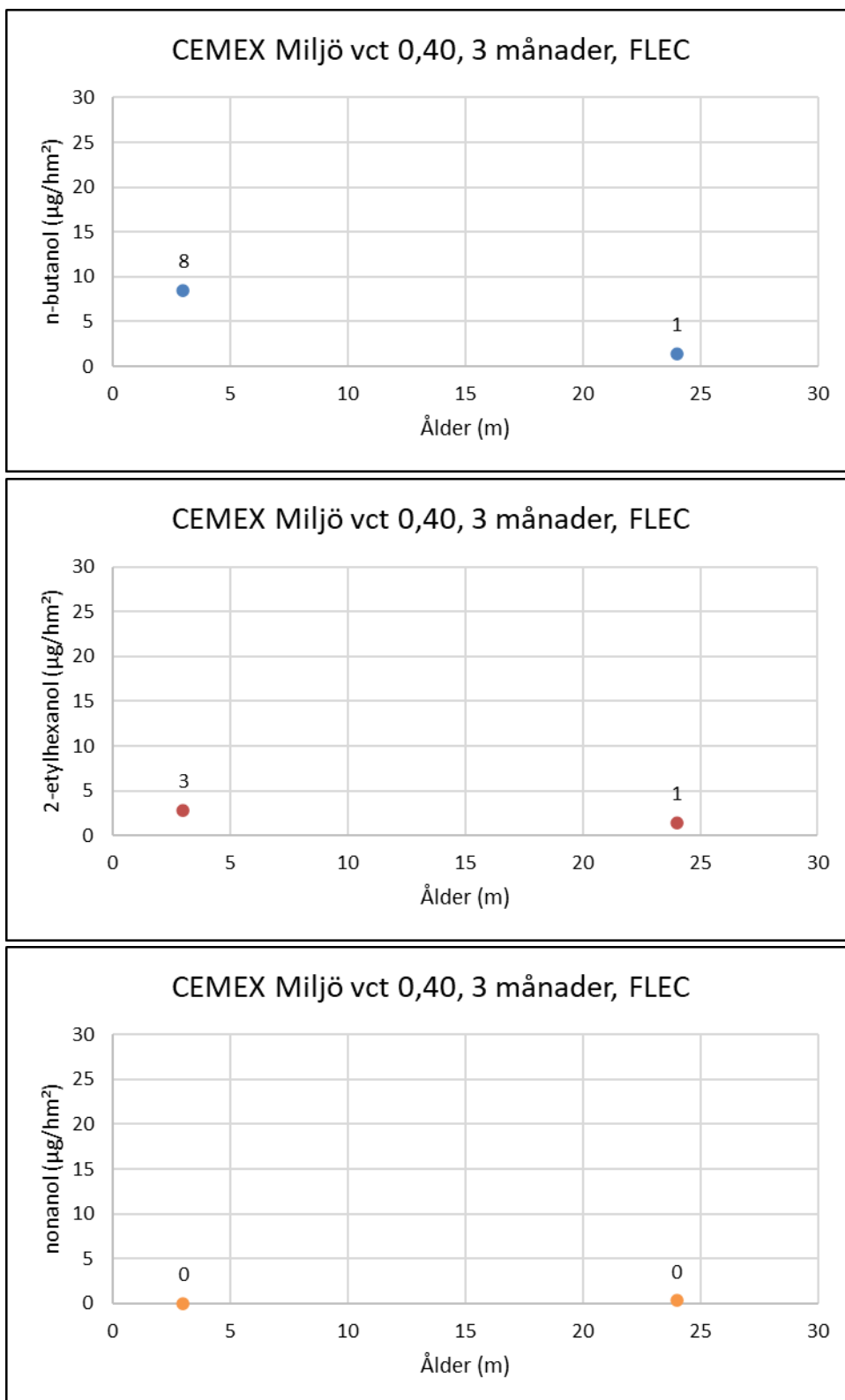
Tabell 22, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	33	8	3	0
24	8	1	1	0

Tabell 23, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 27. Kammarmätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 28. FLEC-mätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,40, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 11, Mätresultat CEMEX Miljö vct 0,55, 3 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	CEMEX Miljö, vct 0,55
Uttorkning	3 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	90,4 +/- 2,1 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	74,9 +/- 1,8 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 24, Mätobjekttegenskaper

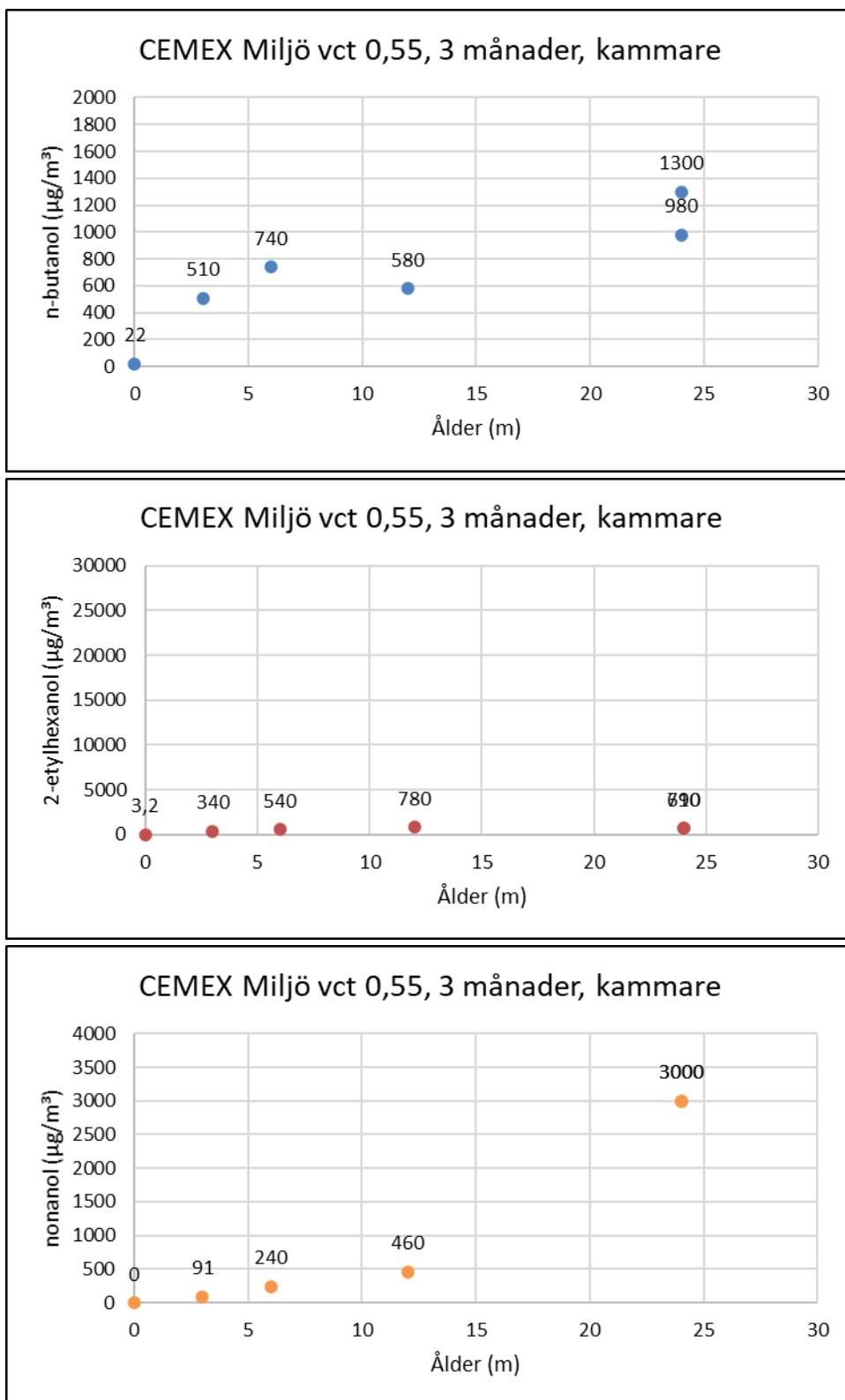
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	250	22	3,2	< 1
3	4300	510	340	91
6	6200	740	540	240
12	4700	580	780	460
24	13000	980	710	3000
24	14000	1300	690	3000

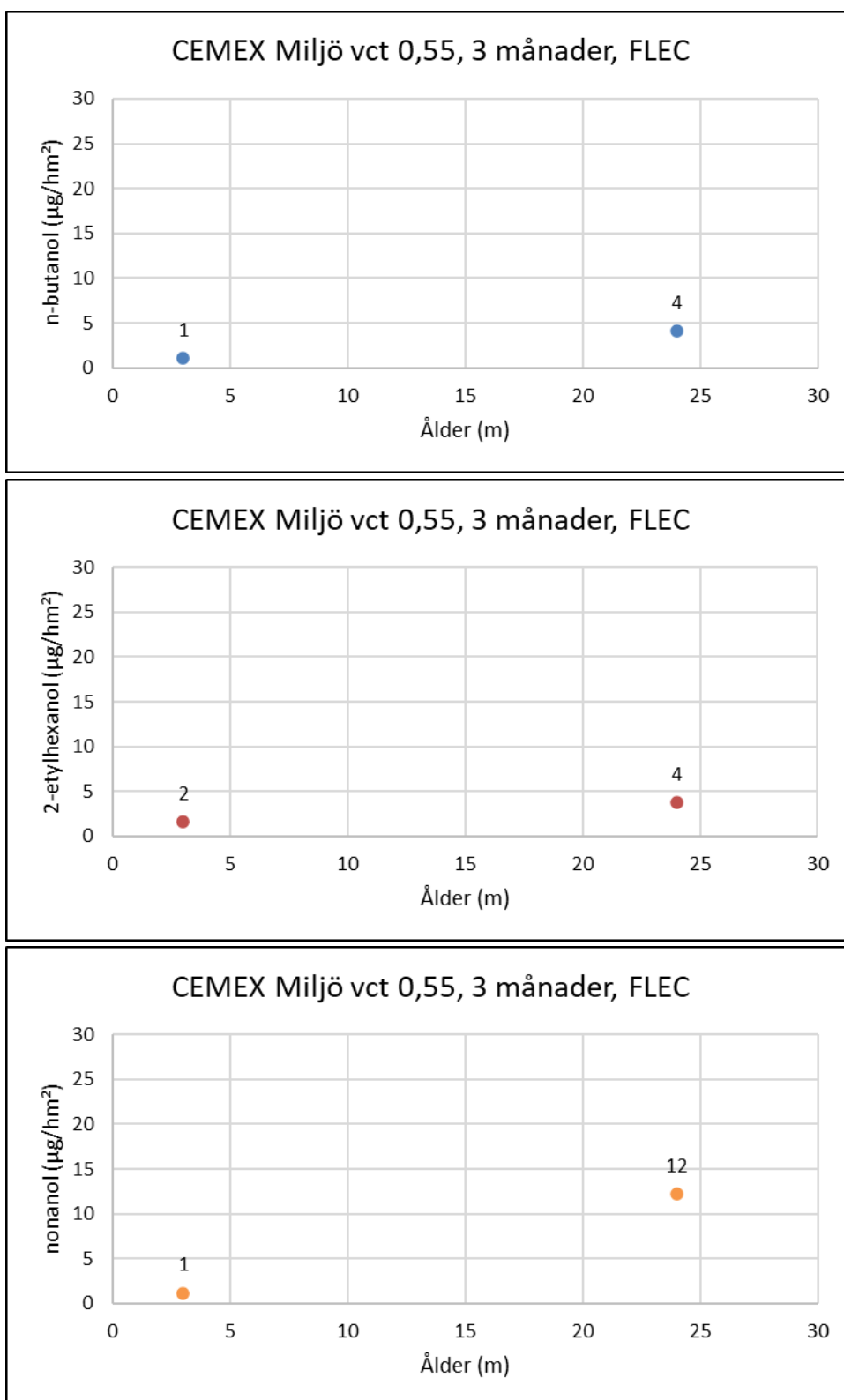
Tabell 25, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	32	1	2	1
24	51	4	4	12

Tabell 26, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 29. Kammarmätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 30. FLEC-mätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,55, 3 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 12, Mätresultat Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,40
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	85,3 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	66,0 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 27, Mätobjekttegenskaper

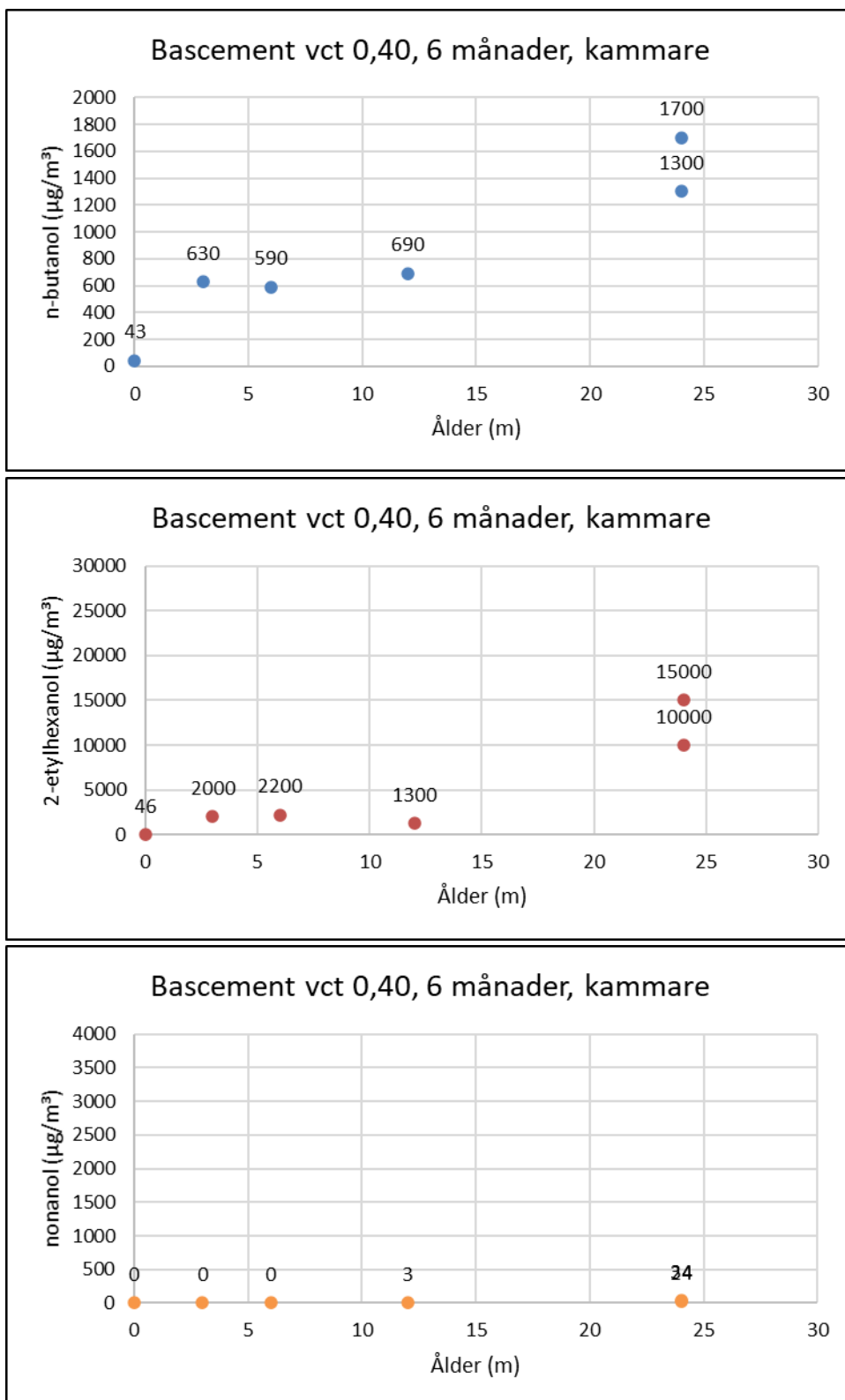
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	520	43	46	0
3	8800	630	2000	0
6	9500	590	2200	0
12	7600	690	1300	3
24	21000	1700	10000	24
24	25000	1300	15000	34

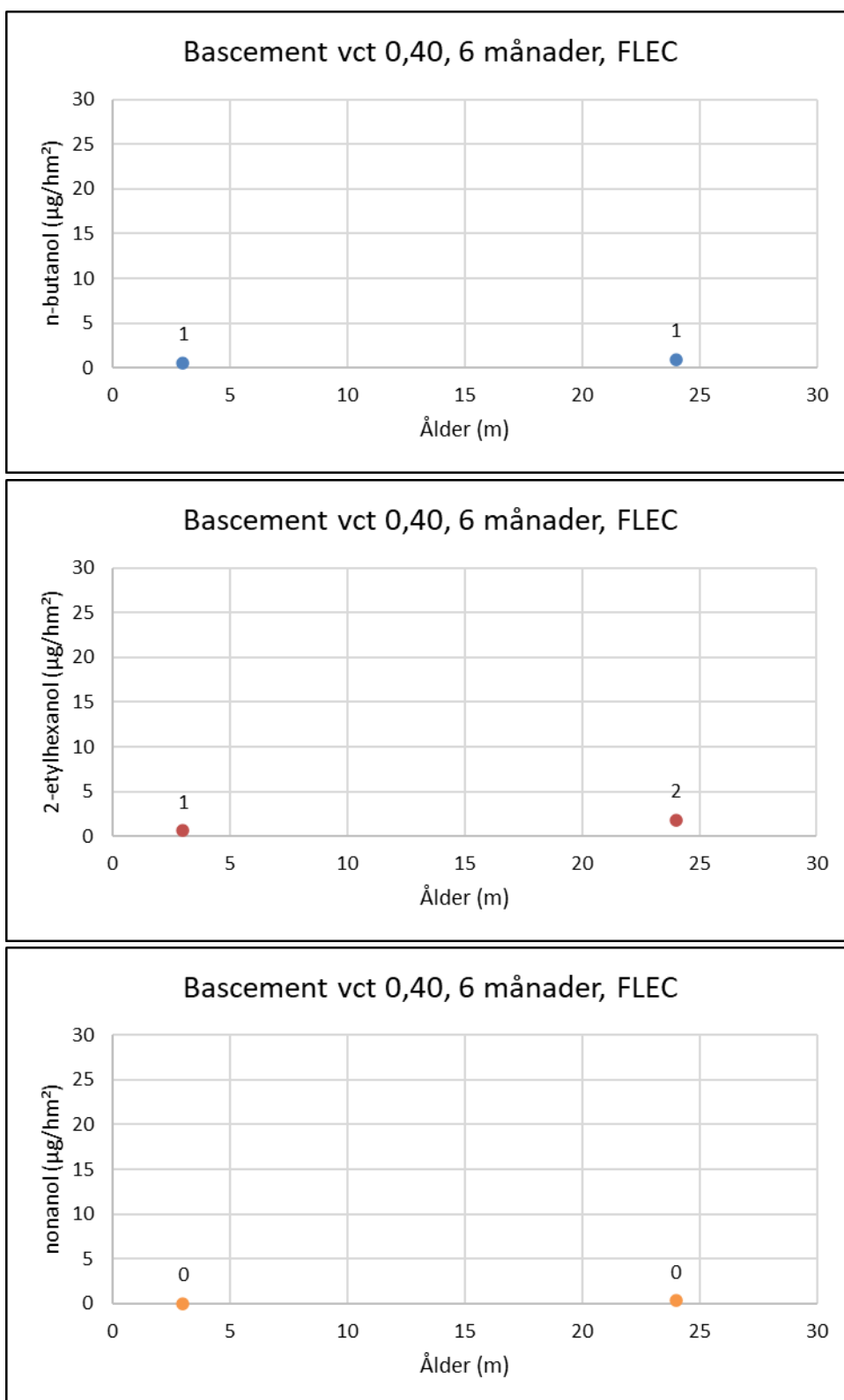
Tabell 28, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	10	1	1	0
24	9	1	2	0

Tabell 29, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 31. Kammarmätning av emissioner i Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 32. FLEC-mätning av emissioner i Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 13, Mätresultat Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Bascement CEM II/A-V (gamla), vct 0,55
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	86,8 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	65,9 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 30, Mätobjekttegenskaper

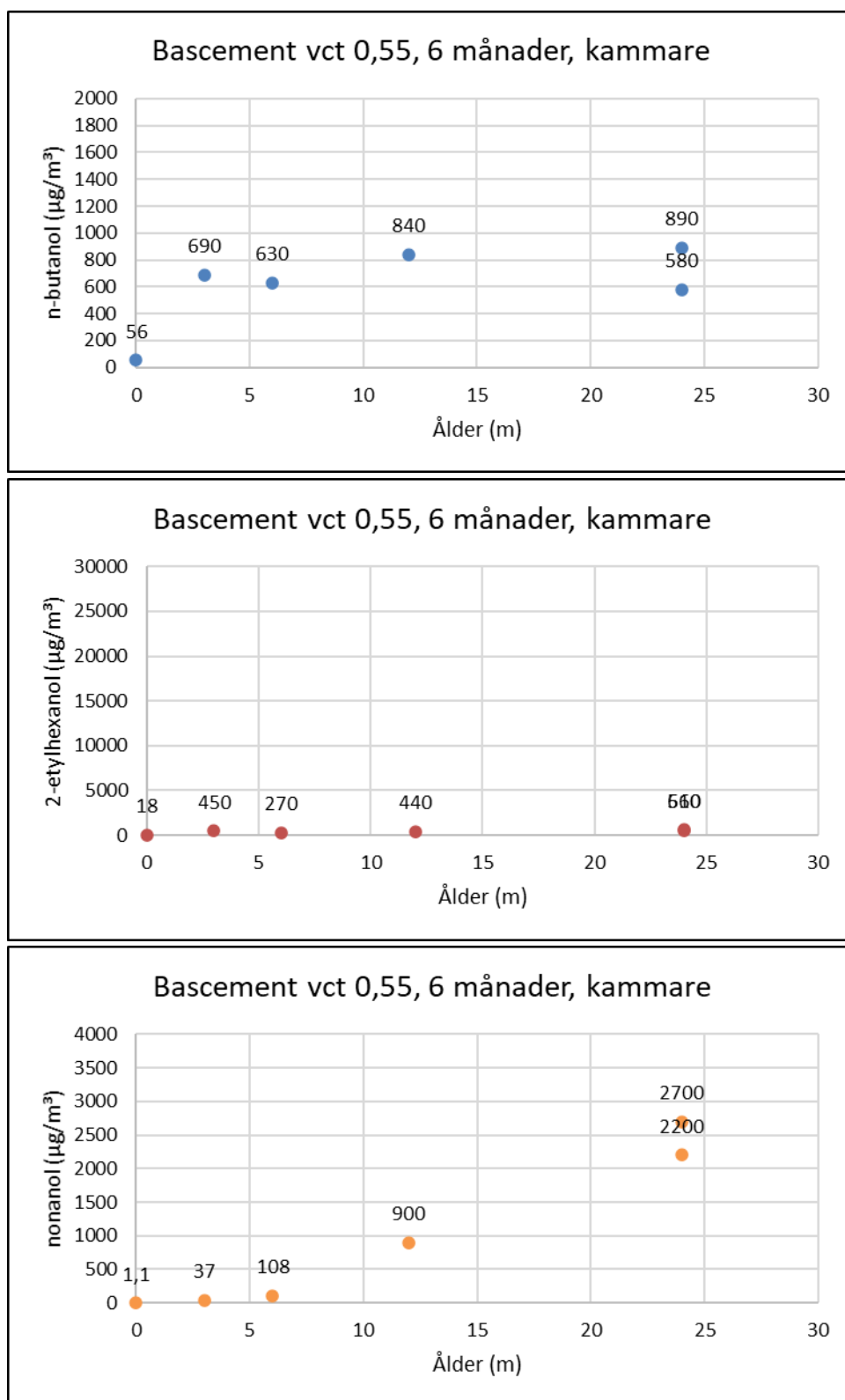
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	760	56	18	1
3	5200	690	450	37
6	5300	630	270	108
12	7100	840	440	900
24	9400	580	560	2700
24	11000	890	610	2200

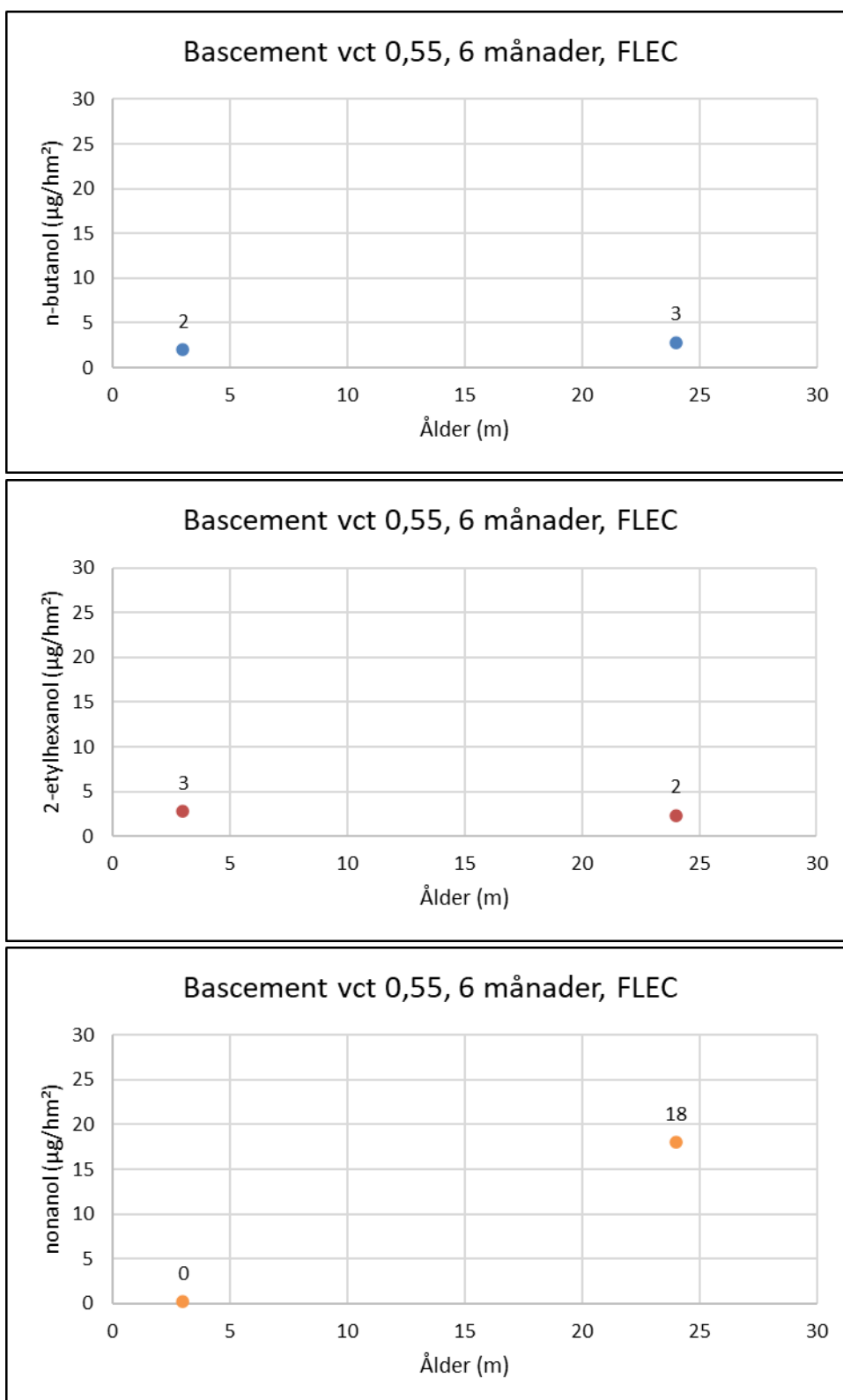
Tabell 31, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	37	2	3	0
24	32	3	2	18

Tabell 32, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 33. Kammarmätning av emissioner i Bascement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 34. FLEC-mätning av emissioner i Basement CEM II/A-V (gamla) vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 14, Mätresultat Velox + 30% slagg vct 0,40, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox + 30% slagg, vct 0,40
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	84,5 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	66,0 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 33, Mätobjekttegenskaper

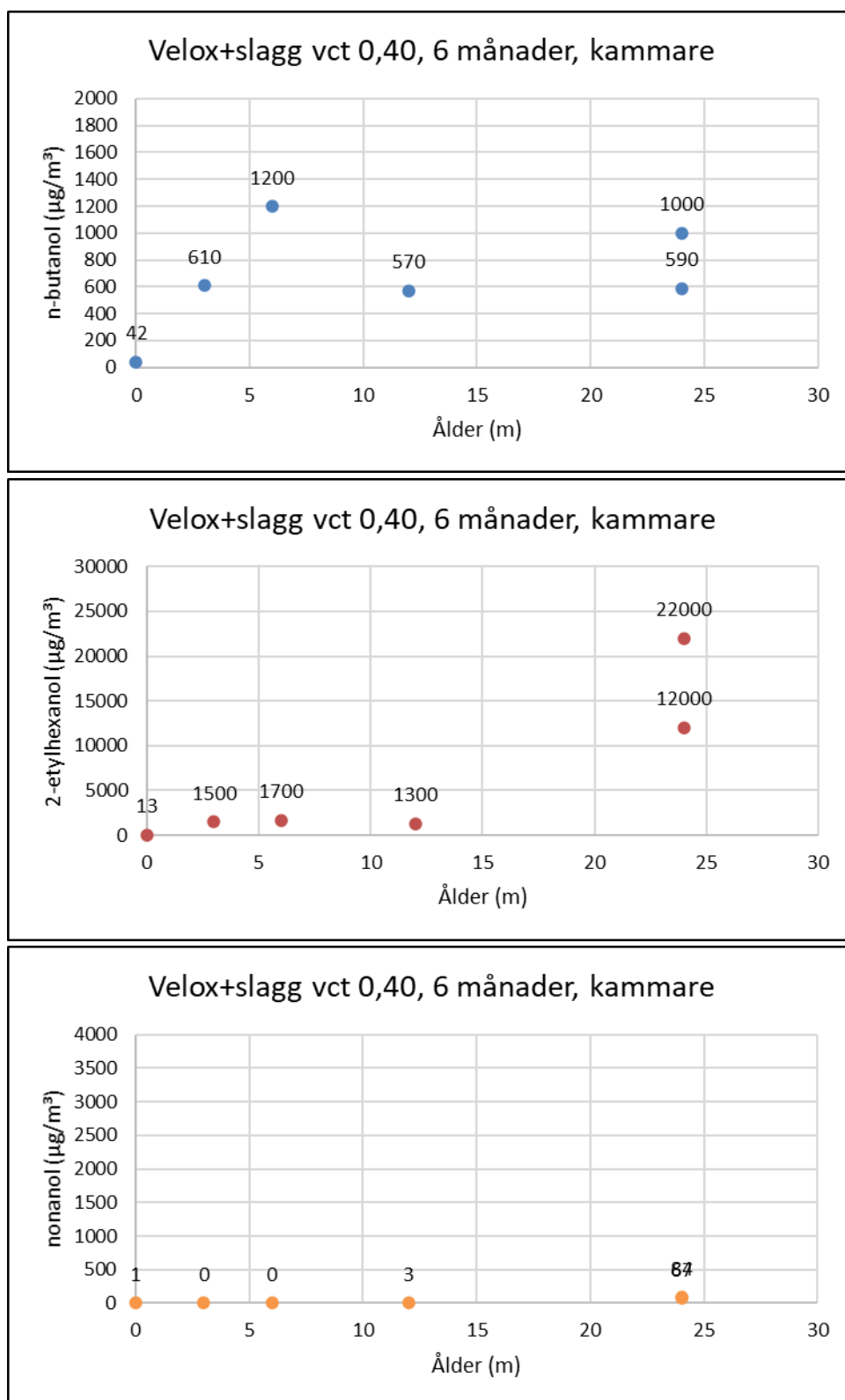
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
0	440	42	13	1
3	8600	610	1500	< 1
6	9400	1200	1700	< 1
12	6900	570	1300	3
24	19000	590	12000	84
24	29000	1000	22000	67

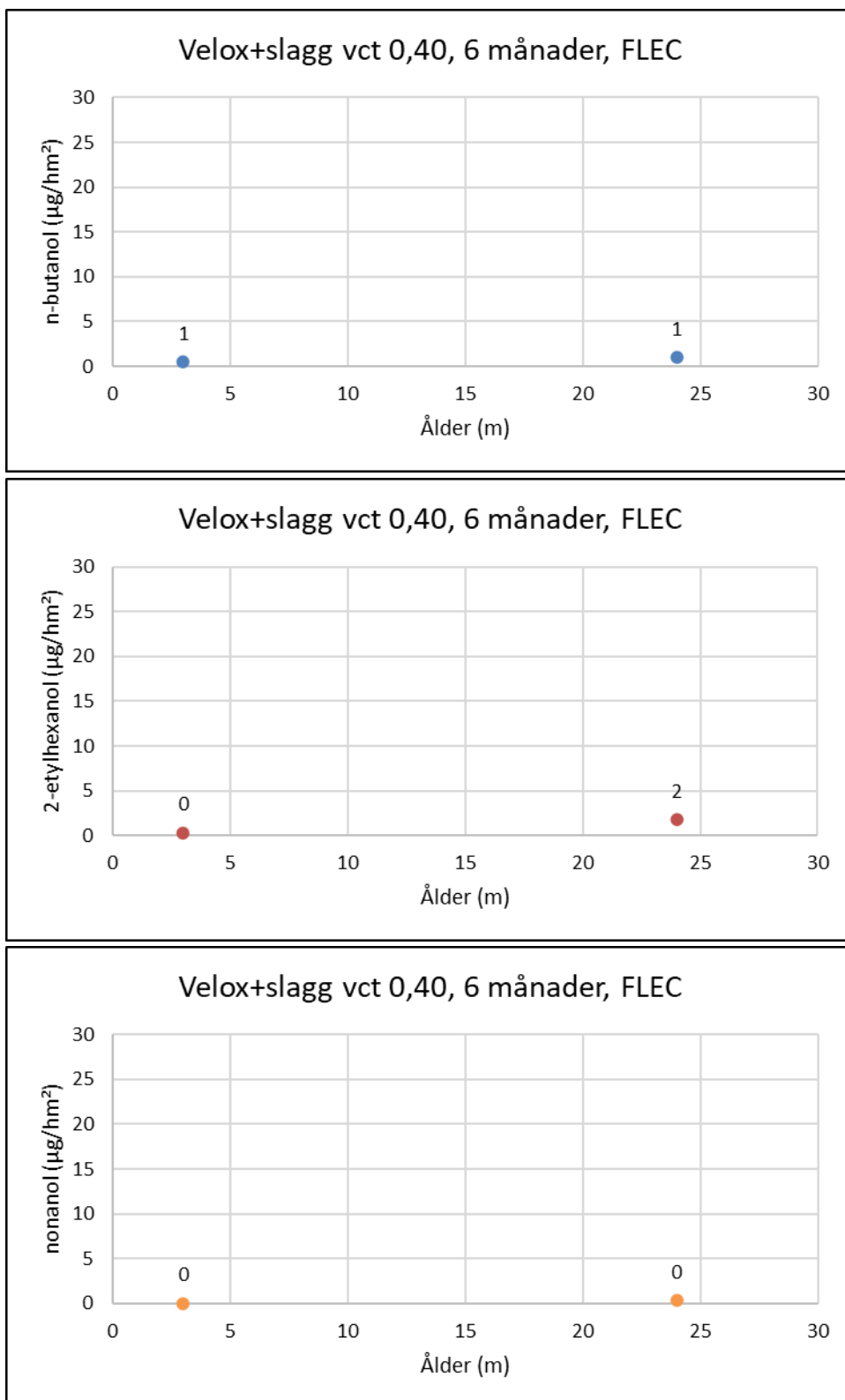
Tabell 34, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-ethylhexanol	nonanoler
3	19	1	0	0
24	11	1	2	0

Tabell 35, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 35. Kammarmätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 36. FLEC-mätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 15, Mätresultat Velox + 30% slagg vct 0,55, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	Velox + 30% slagg, vct 0,55
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	86,4 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	64,6 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 36, Mätobjekttegenskaper

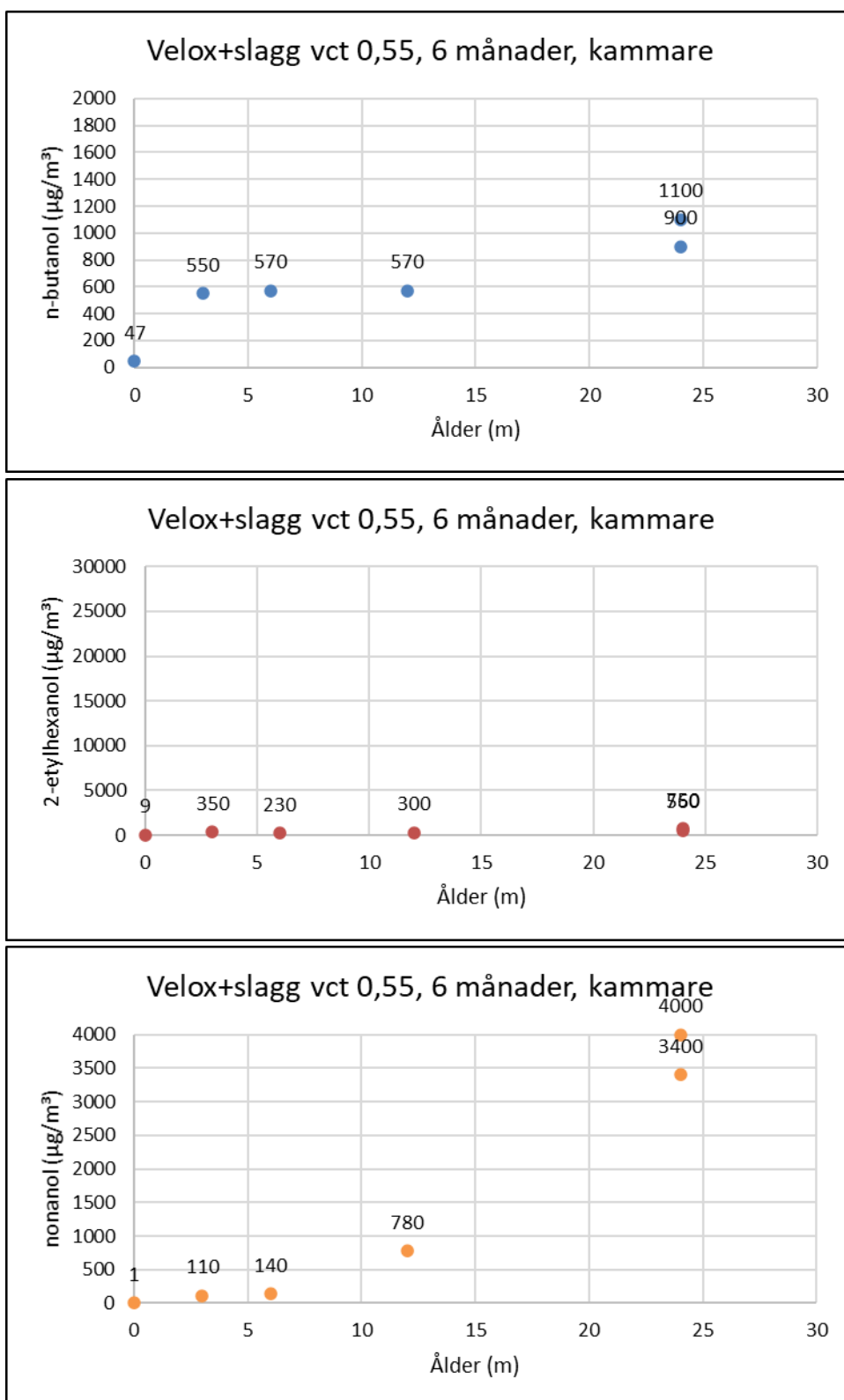
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	450	47	9	1
3	4900	550	350	110
6	5100	570	230	140
12	5500	570	300	780
24	11000	900	560	3400
24	13000	1100	750	4000

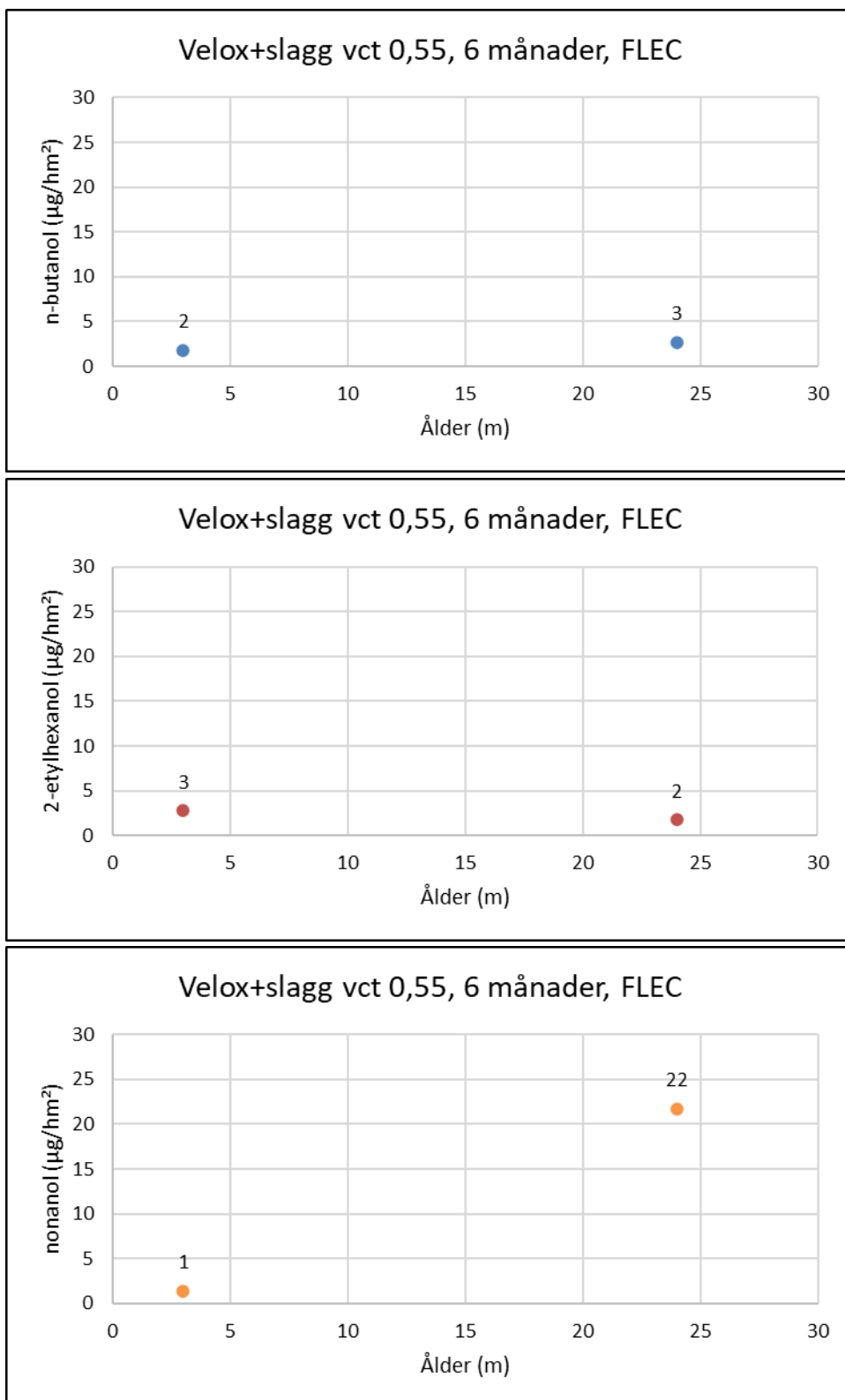
Tabell 37, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	47	2	3	1
24	31	3	2	22

Tabell 38, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 37. Kammarmätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 38. FLEC-mätning av emissioner i Velox + 30% slagg vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 16, Mätresultat CEMEX Miljö vct 0,40, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	CEMEX Miljö, vct 0,40
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	86,1 +/- 2,0 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	63,2 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Tarkett IQ Granit

Tabell 39, Mätobjekttegenskaper

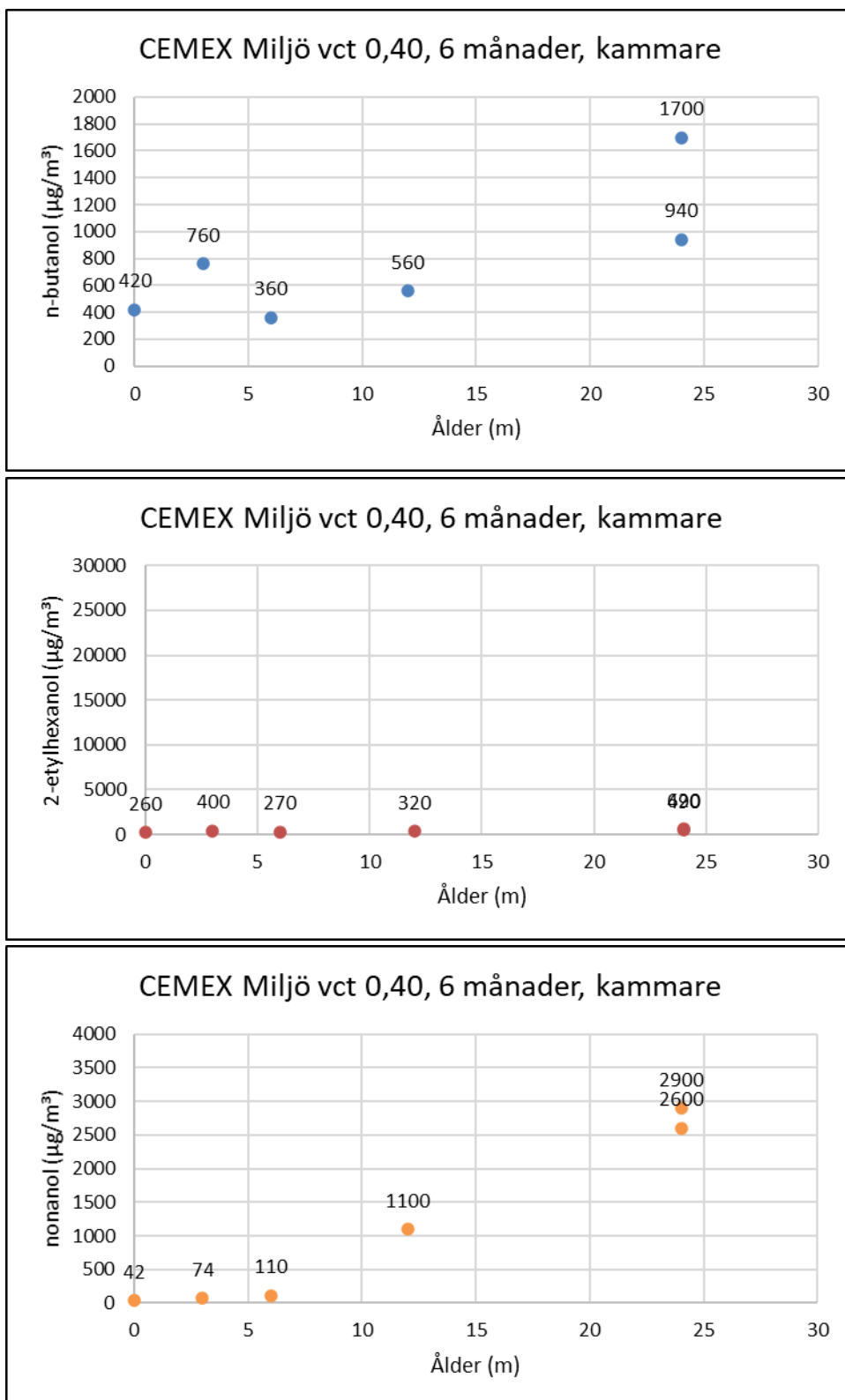
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	1500	420	260	42
3	5400	760	400	74
6	4400	360	270	110
12	5700	560	320	1100
24	12000	940	490	2900
24	14000	1700	620	2600

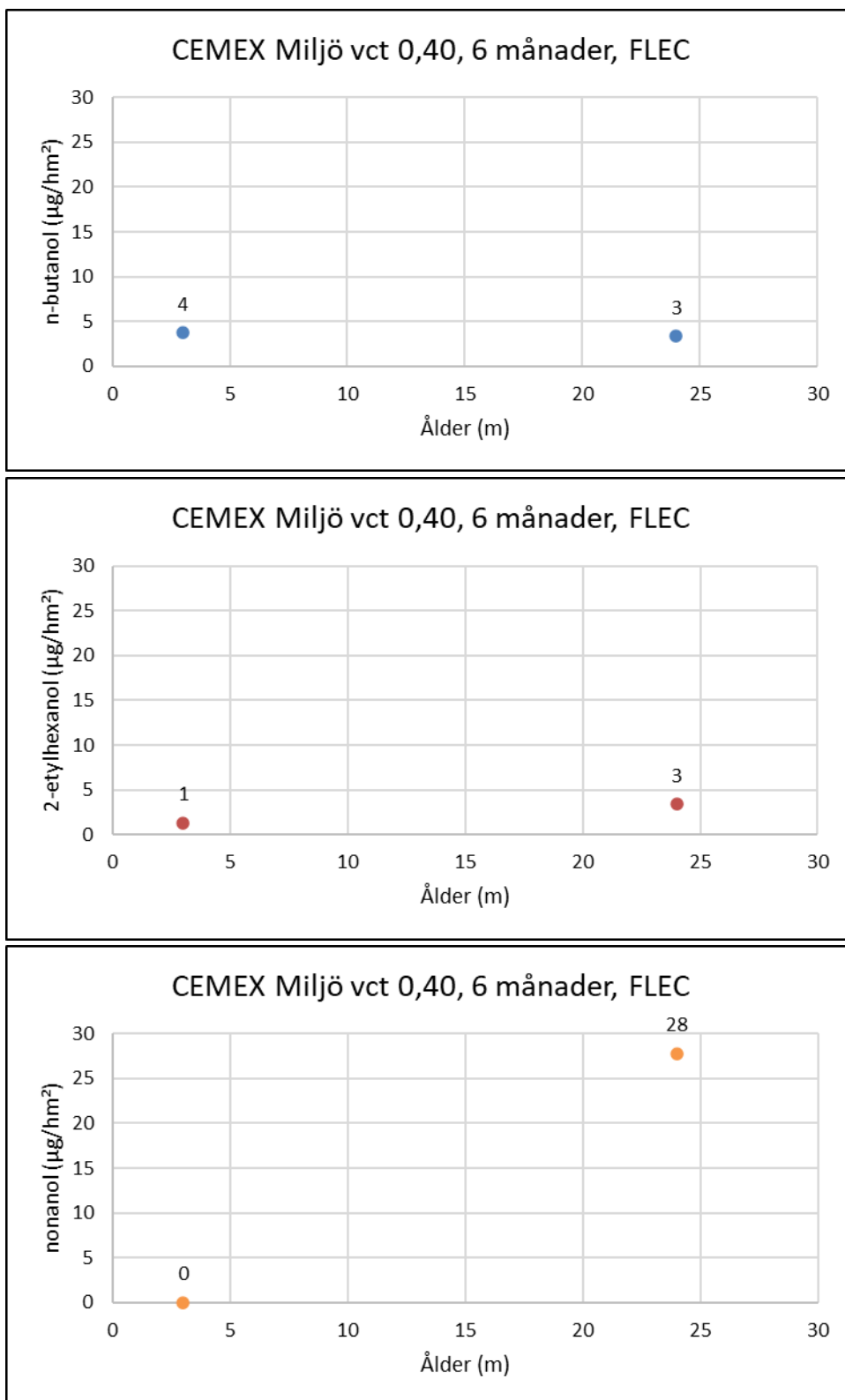
Tabell 40, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	14	4	1	0
24	47	3	3	28

Tabell 41, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²



Figur 39. Kammarmätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.



Figur 40. FLEC-mätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,40, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 17, Mätresultat CEMEX Miljö vct 0,55, 6 månaders

Mätobjekt

Mätobjektet är en platta bestående av 110 mm betong, ca 15–19 mm avjämning, samt lim och matta enligt tabell nedan:

Betongsammansättning	CEMEX Miljö, vct 0,55
Uttorkning	6 månader förseglad
RF ekvivalent djup (utan påslag för mätosäkerhet)	88,7 +/- 2,1 % RF
Avjämning	Weberfloor 140 Nova
RF i avjämning före mattläggning (utan påslag för mätosäkerhet)	69,6 +/- 1,7 % RF
Lim	CascoProff Extra LE
Ytskikt	Forbo Sphera

Tabell 42, Mätobjekttegenskaper

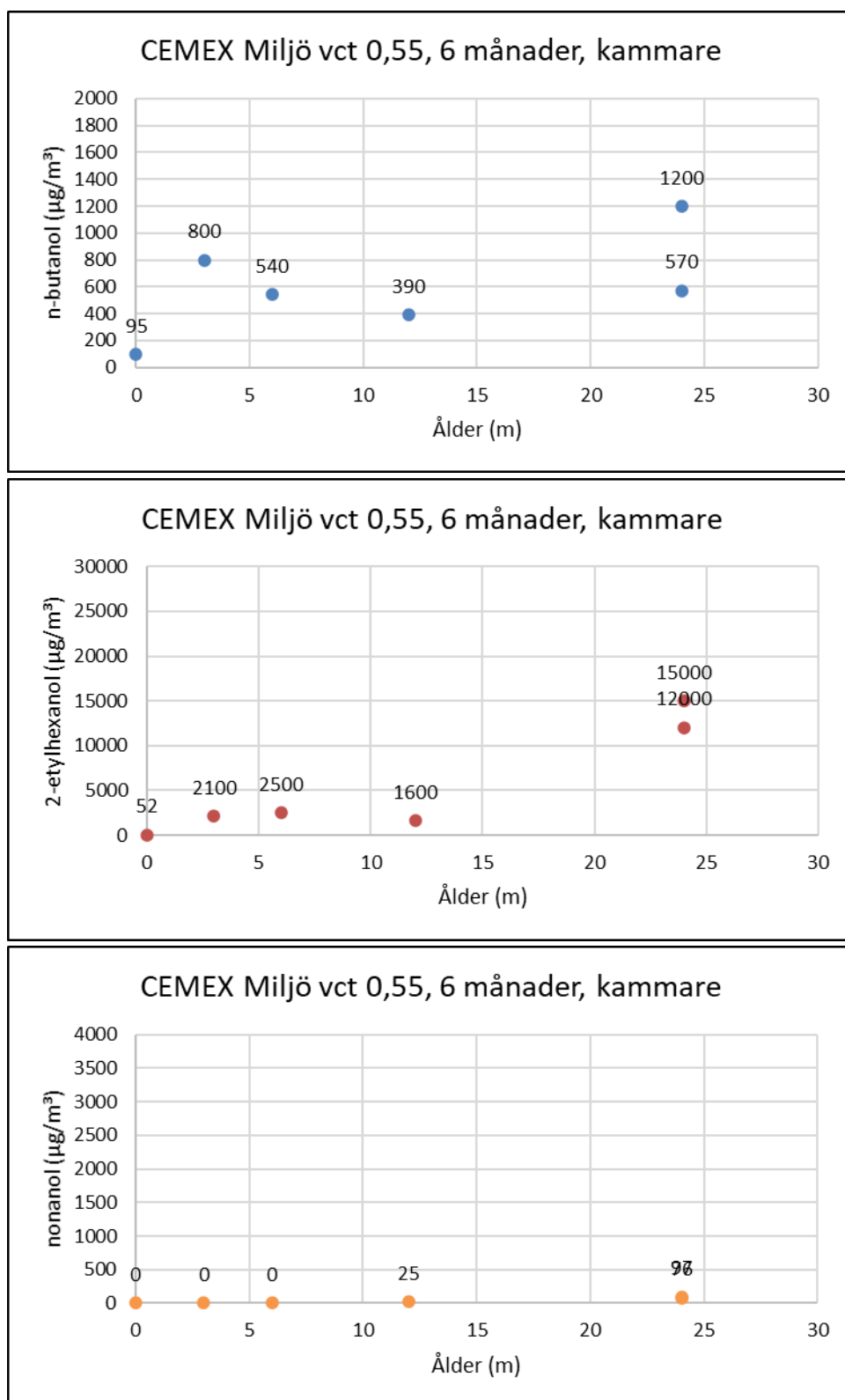
Uppmätta emissioner

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
0	530	95	52	0
3	11000	800	2100	0
6	8600	540	2500	0
12	7500	390	1600	25
24	18000	570	12000	97
24	24000	1200	15000	76

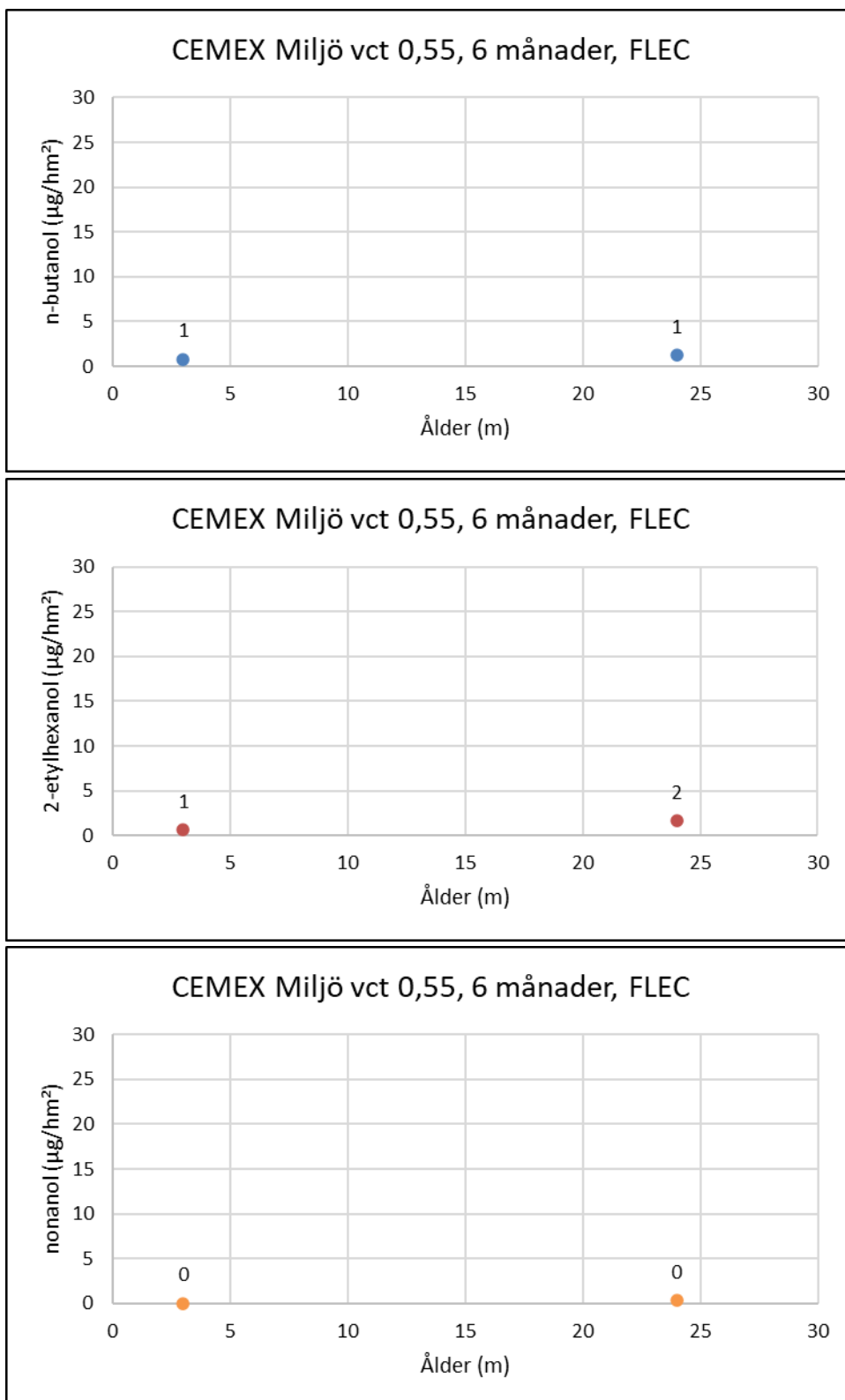
Tabell 43, Kammarmätning, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/m³, övriga halter anges i µg/m³

Ålder (m)	TVOC*	n-butanol	2-etylhexanol	nonanoler
3	16	1	1	0
24	20	1	2	0

Tabell 44, FLEC, ålder anges fr.o.m. mattläggning, *halt för TVOC anges i µg toluenekvivalenter/hm², övriga halter anges i µg/hm²

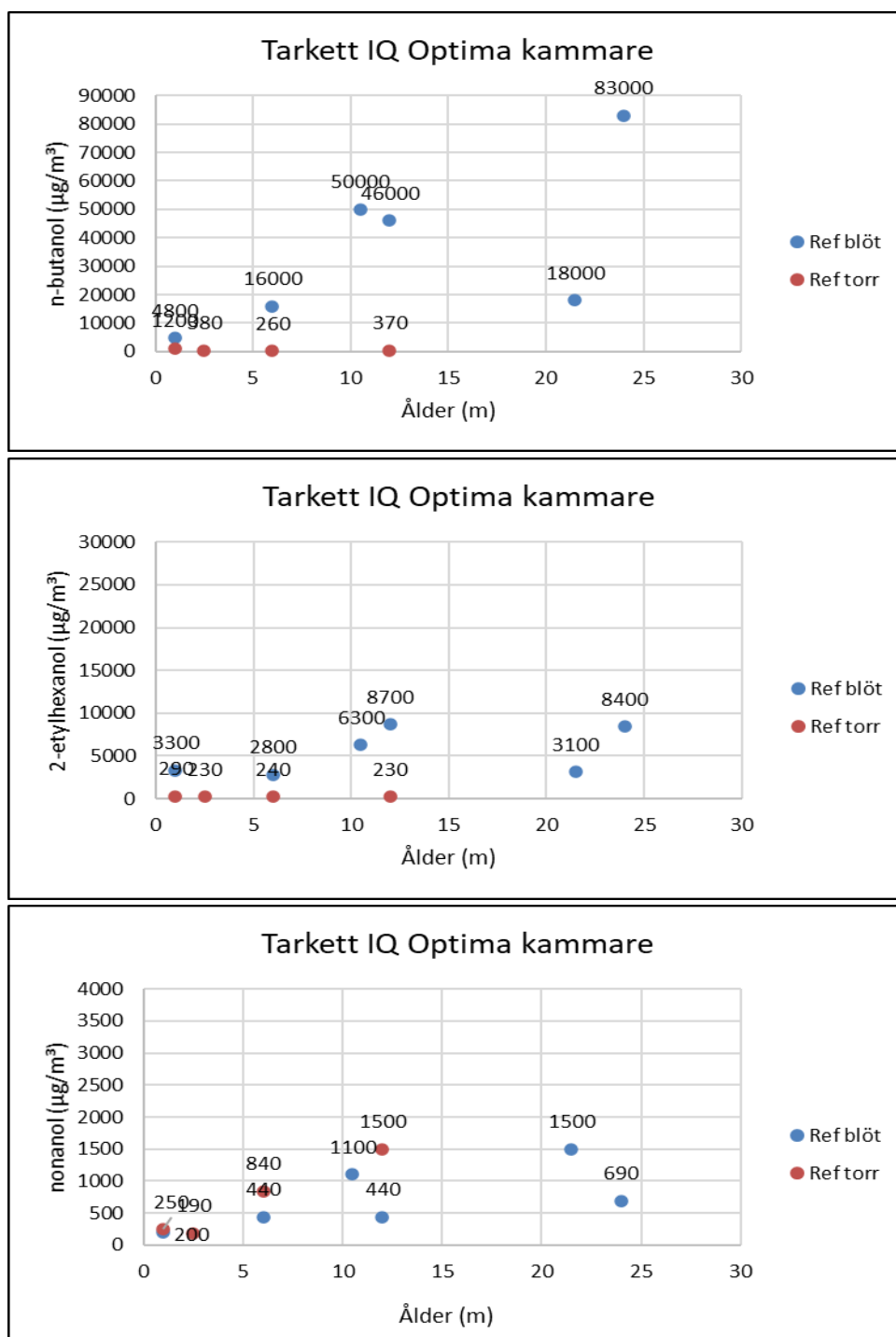


Figur 41. Kammarmätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

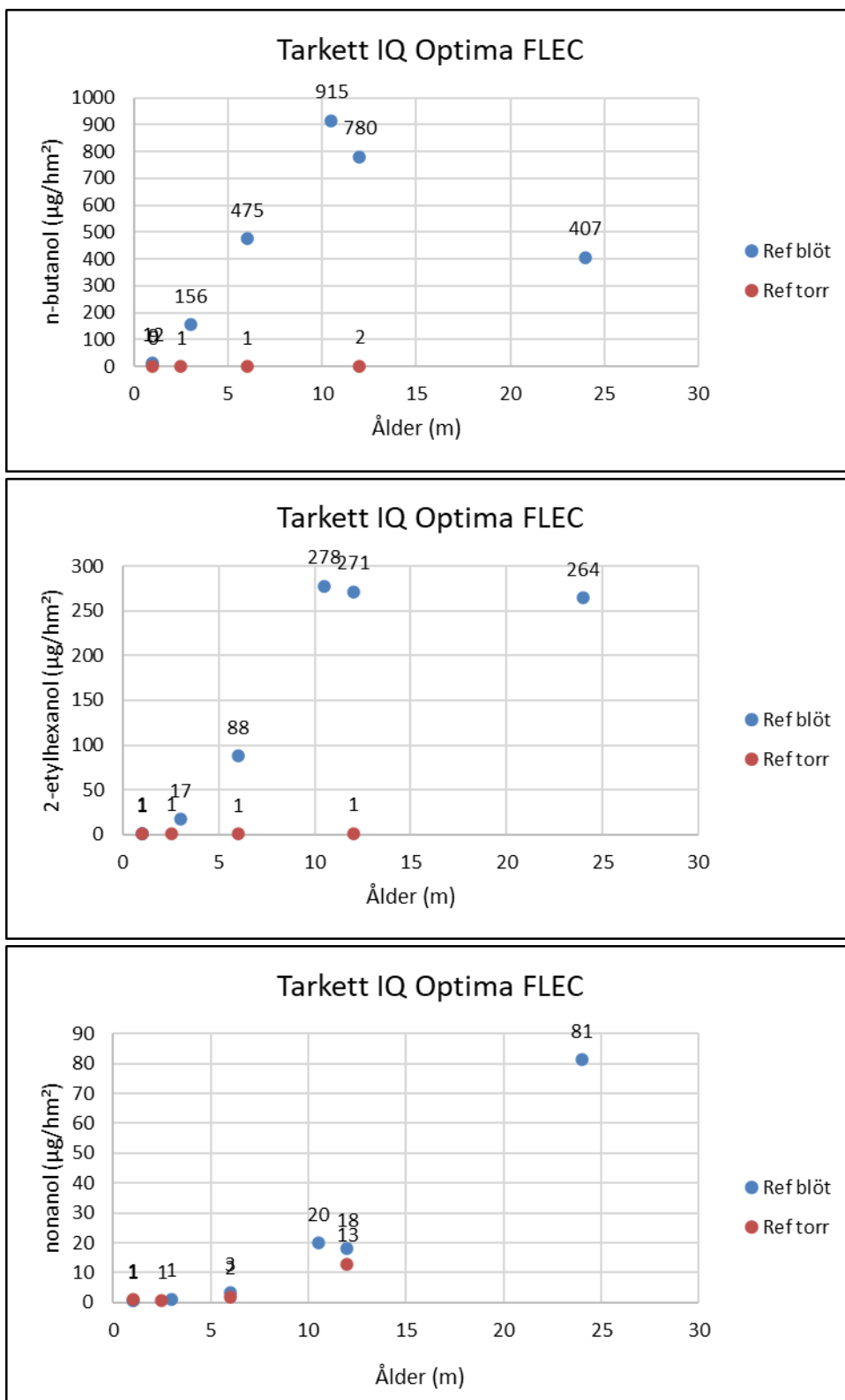


Figur 42. FLEC-mätning av emissioner i CEMEX Miljö vct 0,55, 6 månaders, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 18 Sammanställning mätresultat för plattor med Tarkett iQ Optima som ytskikt

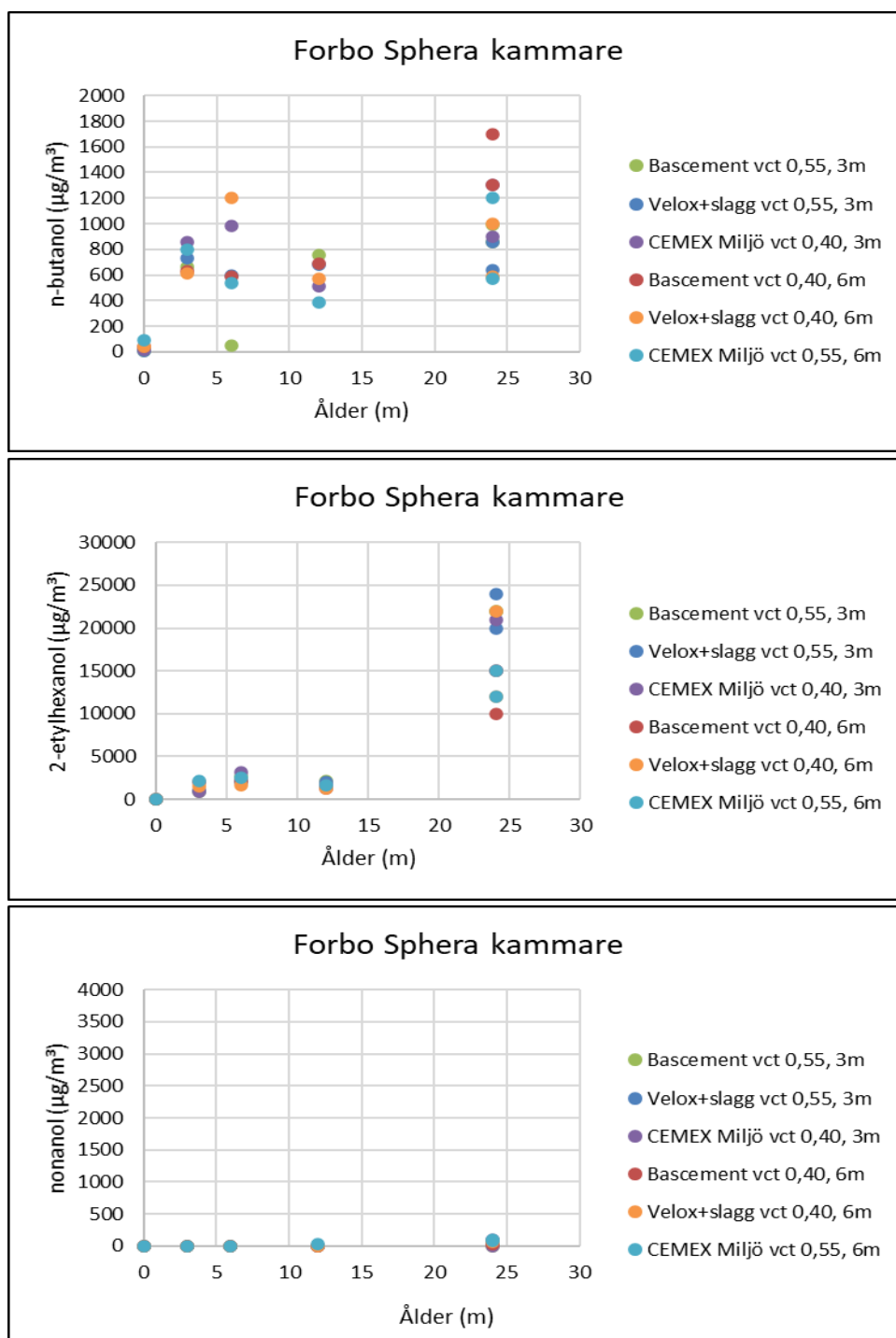


Figur 43. Kammarmätning av emissioner i plattor med Tarkett iQ Optima, n-butanol (lim), 2-ethylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

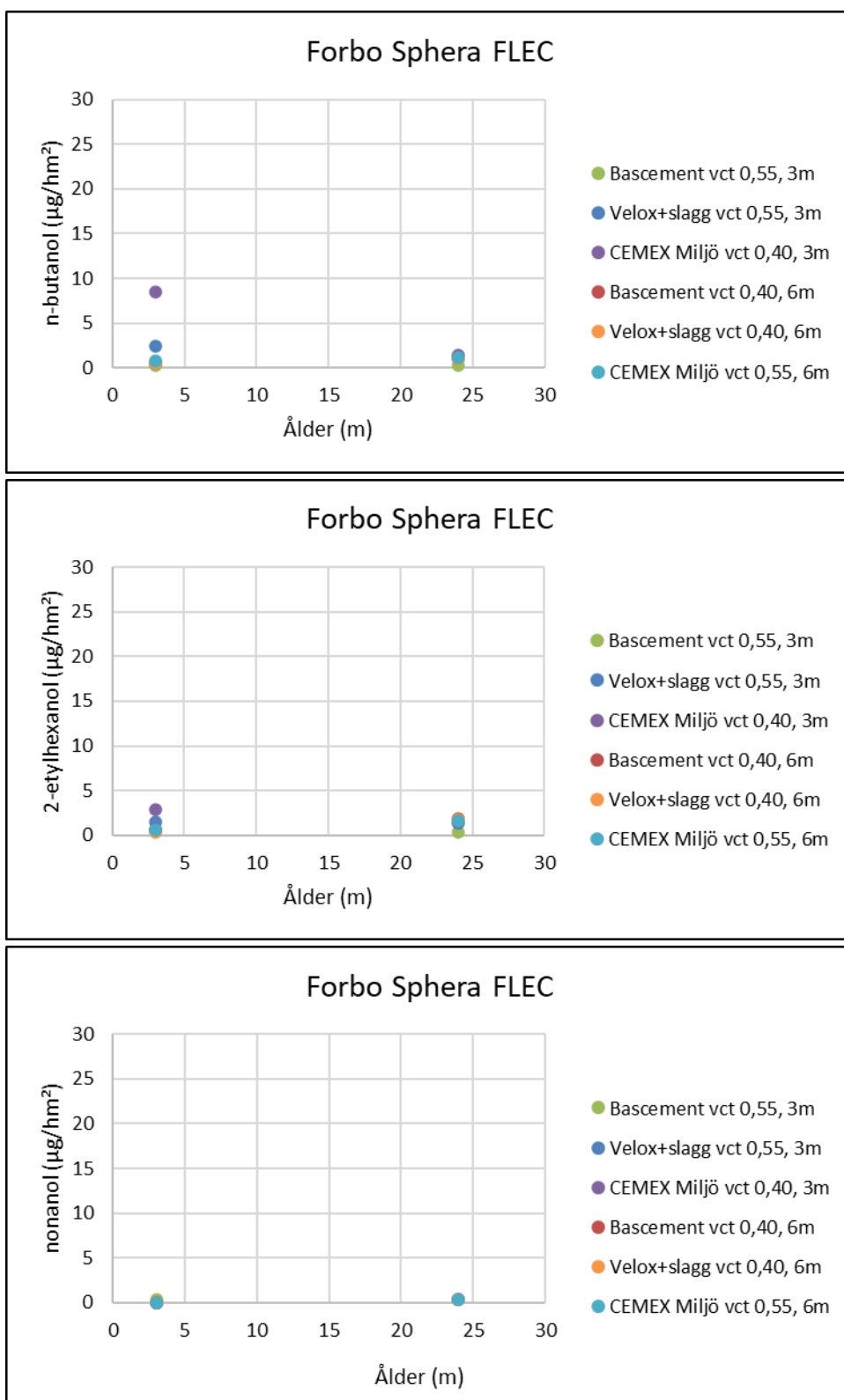


Figur 44. FLEC-mätning av emissioner i plattor med Tarkett iQ Optima, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 19 Sammanställning mätresultat för plattor med Forbo Sphera som ytskikt

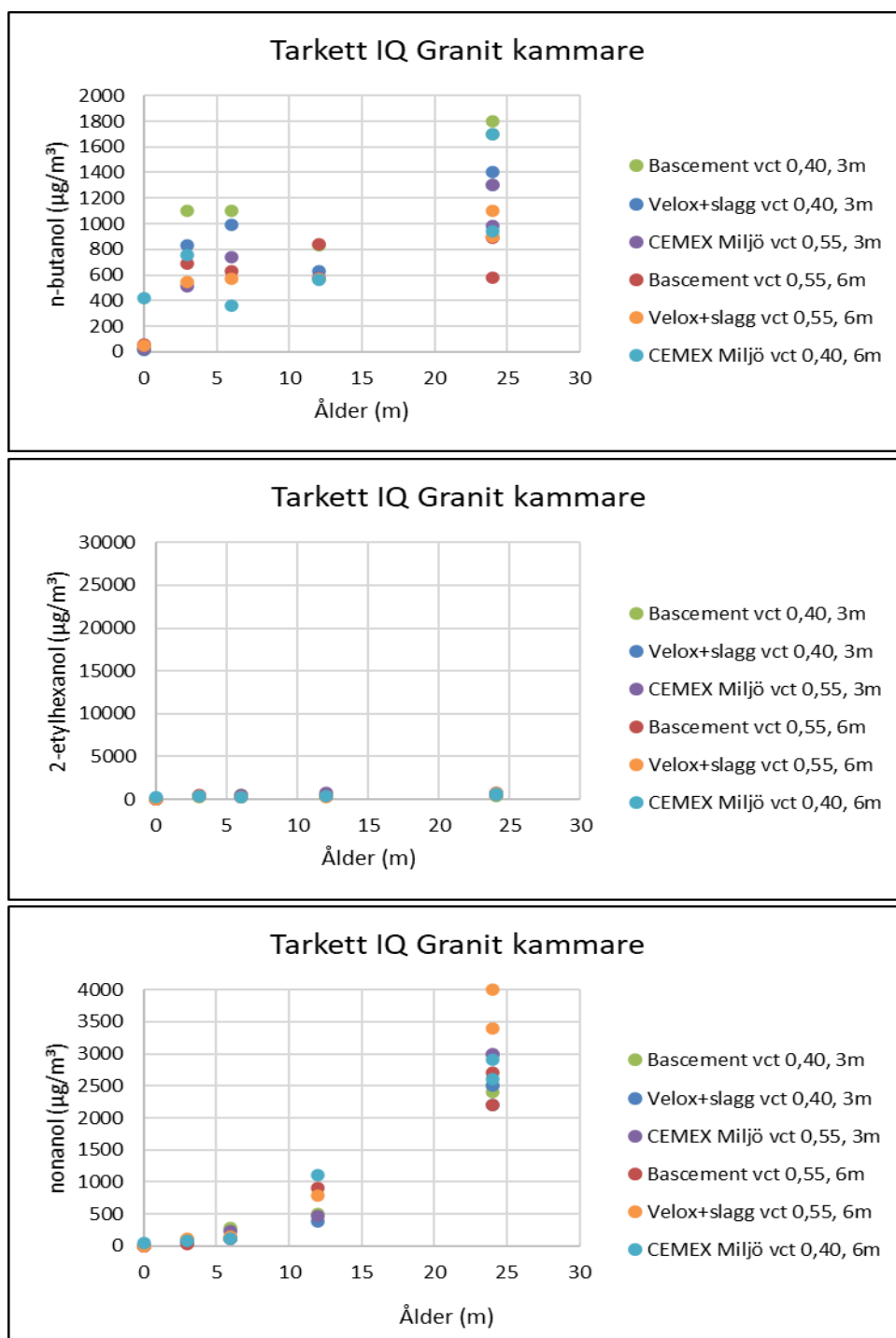


Figur 45. Kammarmätning av emissioner i plattor med Forbo Sphera, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

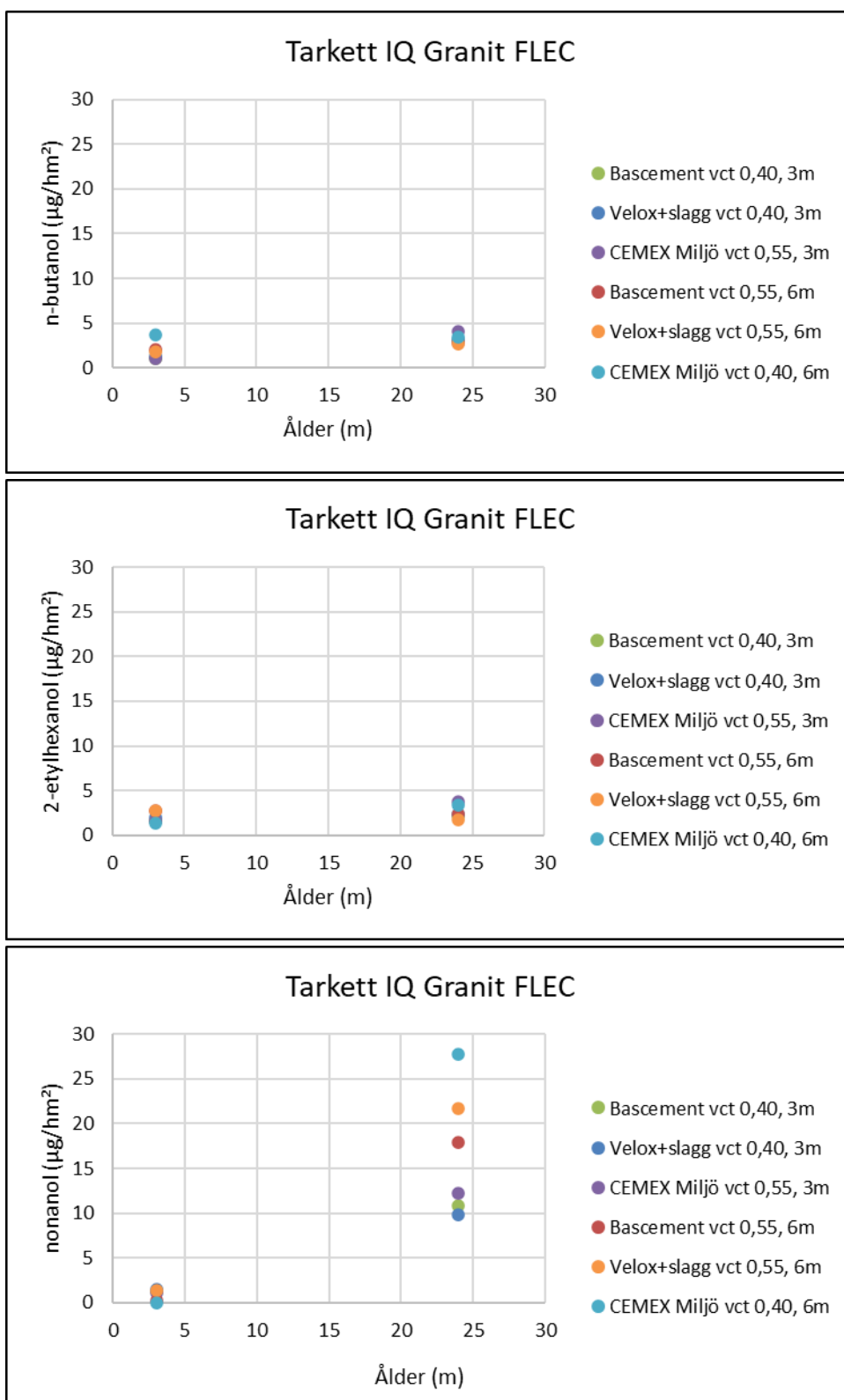


Figur 46. FLEC-mätning av emissioner i plattor med Forbo Sphera, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim och ytskikt) samt nonanol (ej förväntad). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Bilaga 20 Sammanställning mätresultat för plattor med Tarkett IQ Granit som ytskikt



Figur 47. Kammarmätning av emissioner i plattor med Tarkett IQ Granit, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. matläggning.



Figur 48. FLEC-mätning av emissioner i plattor med Tarkett iQ Granit, n-butanol (lim), 2-etylhexanol (lim) samt nonanol (ytskikt). Ålder anges fr.o.m. mattläggning.

Är uttorkning av betong på ekvivalent djup fortfarande relevant?

För ett flertal golvkonstruktioner – Nej! Den moderna betongens täthet sätter praktiskt taget klassisk omfördelning av fukt efter beläggning med ytskikt ur spel. Mätningar på golvkonstruktioner visar att uppfyllt uttorkningskrav på ekvivalent djup inte nödvändigtvis behöver vara uppfyllt för att undvika hög RF under ytskiktet och i limmet. Detta öppnar upp för en snabbare och effektivare produktion av fuktsäkra golvsystem!

Som tidigare rapporterats [1] har den moderna betongen en högre täthet och lägre fukttransportförmåga än betongen haft tidigare och branschen varit van vid [2]. Detta har förändrat spelreglerna vad gäller uttorkning av betongen [3], vilket påverkar förberedelserna inför eventuell avjämning och mattläggning. I tidigare projekt har teoretiskt samverkan undersökts mellan den moderna betongen och resten av golvsystemet [4]. I denna undersökning, inom ramen för SBUF 13354 [5], konstaterades bland annat att modern, tät, betong inte fungerar som fuktbuffert för limfukten utan i likhet med tidigare betong med lågt vattencementtal (vct) kräver avjämning för säker hantering av limfukten. En misstanke som restes i undersökningen var att det som händer djupare in i betongen, till exempel på ekvivalent djup, inte nödvändigtvis påverkar senare fukt-



förhållanden vid ytskiktet. Detta skulle kunna innebära att uppfyllt uttorkningskrav enligt AMA Hus [6] och RBK [7] inte nödvändigtvis krävs för att

förhindra att limmet riskerar nedbrytning genom alkalisk hydrolys på grund av ett för fuktigt underlag

Då simuleringsresultaten från den teoretiska undersökningen pekade på konstruktiva möjligheter med det nya materialet, beviljade SBUF anslag för att gå vidare med praktiska tester av konceptet inom ramen för SBUF 13560. Dessa är i skrivandes stund nästan slutförda. Resultaten från projektet avses att presenteras här i Bygg & teknik i två artiklar. Denna, det vill säga den första, fokuserar på de fuktrelaterade resultaten från testerna. Nästa artikel kommer att sammanfatta emissionsbilden från försöken.



Marcin Stelmarczyk
The Green Dragon Magic



Hans Hedlund
Skanska Sverige AB



Ted Rapp
Byggföretagen, Tekniskt sakkunnig RBK



Staffan Carlström
Sverock AB



Figur 1: Tillverkning av provkroppar till undersökningen: gjutning (vänster), lagring inkl. själv- eller diffusionsuttorkning (mitten) samt avjämning (höger).

Undersökning från 1990-talet som referens

För att utföra ett så relevant test som möjligt av det nya konceptet avseende både fuktförhållanden och eventuella emissioner från försöksobjekt, så valdes att gå tillbaka till det som brukar pekas ut som grunden till uttorkningskravet 85 % RF på ekvivalent djup – en undersökning utförd av *Helene Wengholt Johnsson* på 1990-talet [8]. I denna undersökning gjöts det betongplattor som sedan torkades ut till olika RF-nivåer. Efter uttorkningen limmades ytskikt på plattorna och emissioner kontrollerades på ytskiktets ovansida vid flera tillfällen under upp till maximalt cirka ett års tid.

I denna undersökning, SBUF 13560, valdes likt [8] att ta fram provobjekt i form av hela golvsystemet. Som huvudobjekt för undersökningen gjöts 12 olika plattor med 110 mm tjock modern, tät betong. Därefter applicerades ett lager avjämning på plattorna, då tidigare undersökning visat att avjämning är ett måste för hantering av limfukten, se *figur 1*. Syftet med undersökningen var att fastställa om den moderna betongens täthet kan eliminera effekter av omfördelning, så som tidigare simulerat i SBUF 13354, se [5]. Provobjekten skulle visa om tätheten är tillräcklig för att sätta omfördelningen ur spel och på så sätt förhindra RF under ytskiktet att stiga till motsvarande RF på ekvivalent djup.

Kunskapen om hur tät den moderna betongen är vid olika ålder, vid olika vattenbindemedelstal (vbt) samt vid olika bindemedelssammansättningar är idag relativt begränsad. För att testa några olika möjligheter avseende dessa parametrar valdes tre olika bindemedelssammansättningar, två olika vbt samt två olika åldrar från gjutning då avjämning och applicering av ytskikt utfördes. Detta resulterade i totalt 12 kombinationer, det vill säga 12 plattor. De valda bindemedelkombinationerna var:

- Cementa Bascement (gamla) CEM II/A-V, cirka 15 % flygaska
- CEMEX Miljö, cirka 42,5 % slagg
- Cementa Velox Slite (OPC) + 30 % slagg, blandat av Swerock

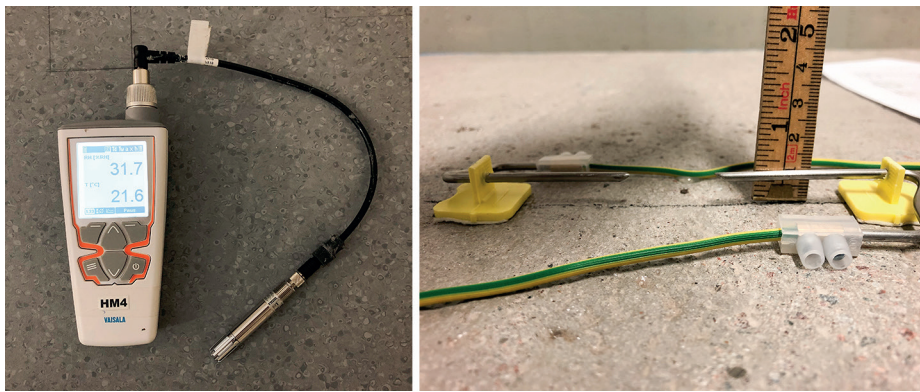
Devaldavattenbindemedelstalen var 0,55 samt 0,40. Plattorna förseglades med plastfolie någon dag efter gjutning och förvarades så under tre respektive sex månader. Detta medförde att den RF-sänkning som erhöles i plattorna under denna tid enbart orsakades av självuttorkning. Detta eftersom diffusionsuttorkning till omgivningen omöjliggjordes av förseglingen. Därefter avlägsnades plasten och plattorna tilläts diffusionsuttorka ensidigt under en vecka. Sedan avjämnades plattorna med cirka 15–19 mm Weberfloor 140 Nova. Efter cirka tre veckors uttorkning av avjämningen limmades ytskiktet. Limmet som användes var Casco Proff Extra LE och ytskiktet var

Tarkett IQ Granit samt Forbo Sphera båda med ett ånggenomgångmotstånd på cirka 2 500 000 – 3 000 000 s/m.

Utöver dessa 12 plattor togs även två plattor fram gjutna med betong baserad på ren Ordinarie Portlandcement (OPC) med vct 0,66. Syftet var att efterlikna plattorna från [8] för att använda som referens vid emissionsmätningar. Mer om dessa i nästkommande artikel.

Fuktnivåer i fokus

Till skillnad från [8] undersöktes inte enbart emissioner utan även fuktnivåer efter mattläggning i detta projekts golvplattor. Uppfyllande av ett uttorkningskrav på ekvivalent djup syftar till att begränsa den RF som uppstår under ytskiktet efter att en omfördelning av fukten ägt rum. Kopplat till detta kontrollerades därför RF i betongen på ekvivalent djup strax före avjämning. Trots att syftet inte var att vänta in ett uppfyllt uttorkningskrav utan att avjämnas vid viss ålder, kontrollerades ändå vilken RF-nivå som var rådande i betongen. RF i betong mättes på ekvivalent djup i enlighet med [7] med två olika givare, Vaisala och HumiGuard, som monterades i borrhål i betongen, se *figur 2* vänster. Observera att eftersom plattorna bara tilläts diffusionstorka sista veckan inför avjämning, är det rimligt att anta att RF var mer eller mindre konstant i hela tvärsnittet utom i den allra översta delen. Detta innebär att plattorna i försöken



Figur 2: Givare för avläsning av fuktnivå, Vaisala HMP40S för RF i betong (vänster) samt resistiv givare som gjöts in i avjämnningen för fuktnivåindikation (höger).

borde vara fuktigare än om de hade tillåtit torka enkelsidigt ända från start. Efter avjämnning utfördes kommande mätningar enbart i avjämnningen då dess RF bäst beskrev rådande förhållanden direkt under limmet och ytskiktet. RF i avjämnning mättes i enlighet med [9] med uttaget prov. Utöver detta monterades resistiva elektriska givare i avjämnningen, se *figur 2* höger, som avlästes på kontinuerlig basis. Då dessa värden inte kalibrerades mot kända RF-nivåer ska de endast ses som en indikation på hur fuktnivån rör sig i avjämnningen. De ska inte tolkas ensamma utan jämförelse med RF uppmätt i uttaget prov.

Samtliga mätresultat i denna artikel redovisas utan mätosäkerheten pålagd som säkerhetsmarginal, det vill säga

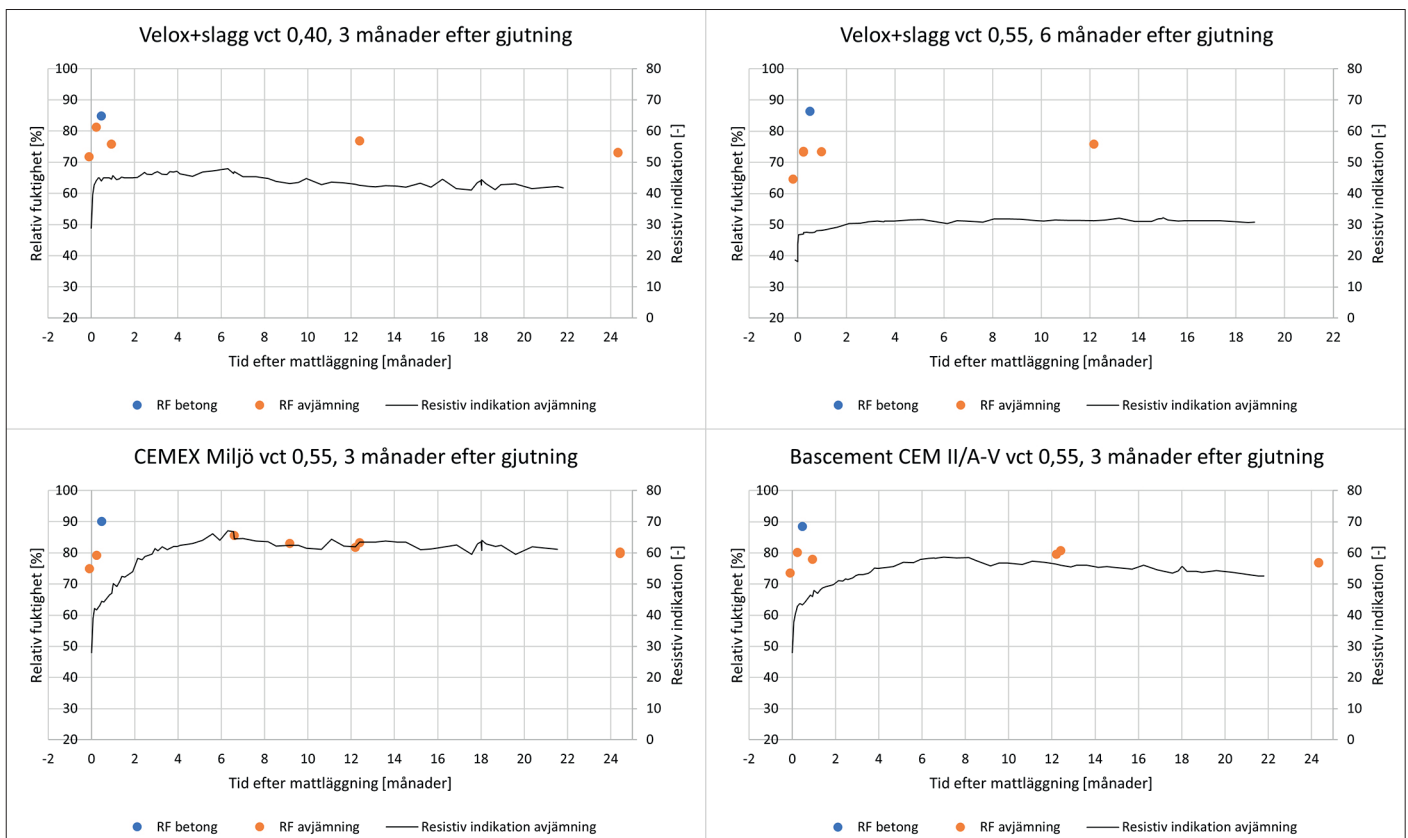
inte som ett slutvärde enligt RBK. Detta för att lättare jämföra mot tidigare forskningsresultat, till exempel från [8]. I nedanstående fall var mätosäkerheterna 2,0 % RF för betong och 1,7–1,8 % RF för avjämnning. Den som önskar jämföra mätningarna nedan med slutvärden bör själv lägga på respektive 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.

Finns det någon omfördelning av fukt i golvsystemen?

De registrerade fuktförloppen för fyra av plattorna visas i *figur 3*. Två av dem,

Velox+slag vbt 0,40 tre månaders samt Velox+slag vbt 0,55 6 månaders, visar exempel på vad som kan ses som standardförloppet i undersökningen. Det kan noteras att det initialt sker en ökning av RF i avjämnningen. Detta är förväntat då fukten från limmet tränger ner i avjämnningen. Sedan observeras att RF stabiliseras under 80% för att därefter övergå i väldigt långsam uttorkning genom det täta ytskiktet. De registrerade förloppen bekräftar alltså simuleringarna i SBUF 13354 och visar på att det inte sker någon klassisk omfördelning. Detta på grund av betongens täthet!

Fungerade alla kombinationerna lika bra? Nej. I projektet valdes medvetet att testa att avjämnas efter två olika åldrar på betong samt med två olika vbt. Då bägge parametrarna påverkar tätheten i betongen förväntades man kunna se någon av de tidiga objekten med höga vattenbindemedelstal erhålla högre RF i avjämnningen. Så var också fallet för de två plattorna som visas i *figur 3*, CEMEX Miljö vbt 0,55 tre månaders samt Bascement CEM II/A-V vbt 0,55 tre månaders. Här verkar kombinationen av fukttinnehåll i betongen och dess täthet inte fungera för att RF i avjämnningen inte ska stiga. En viss omfördelning sker och det resulterar i att RF i avjämnningen överstiger den antagna kritiska RF på 85% en aning för att sedan övergå i långsam



Figur 3: Relativ fuktighet i betong och avjämnning samt resistiv fuktindikation i avjämnning som funktion av tid efter mattläggning för fyra plattor med olika kombinationer av bindemedel, vbt samt ålder vid avjämnning och mattläggning.

uttorkning för CEMEX Miljö vbt 0,55 tre månaders. För motsvarande Bascement CEM II/A-V finns för få fuktmatningar i avjämnings för att säga samma sak. Däremot om man jämför kurvformen för den resistiva fuktindikationen samt de existerande RF-mätningarna mellan plattorna är det rimligt att anta att RF i avjämnings som högst överskrider 80% för plattan med Bascement. Det finns till och med en risk att 85% kan ha överskridits. Då betongen fortfarande är tätare i bägge fallen än motsvarande betong med gammaldags OPC och samma vbt, erhålls ingen omfördelning av större vikt. Men en resulterande RF runt 85% utan säkerhetsmarginal kan fortfarande vara för mycket för att undvika alkalisk hydrolys.

En sammanfattning av de uppmätta nyckelvärdena för de berörda provobjekten ges i *tabell 1*. De olika plattorna hade inte endast skillnader i transportförmåga för fukt. De självuttorkade till olika nivåer under den tid de förvarades förseglade. Det bör noteras att om mätosäkerheten adderas till redovisade resultat för RF i betongen så uppfyller ingen av plattorna kravet på 85% RF på ekvivalent djup vid tidpunkten för mattläggning.

För en av plattorna, tre månaders CEMEX Miljö vbt 0,55, har kravet på max 85 % RF i avjämnings överskridits och ytterligare en, tre månaders Bascement CEM II/A-V vbt 0,55, misstänks ligga i farozonen. Detta är inte förvånansvärt då bägge tillhör de blötare plattorna med högst förväntad transportförmåga avseende fukt. Detta är en indikation på att det finns en gräns avseende täthet för när konceptet inte fungerar.

För den klara majoriteten, det vill säga de övriga 10 plattorna, har kravet på max 85 % RF i avjämnings underskridits med upp till 10 % RF som marginal, även med mätosäkerheten pålagd. Detta trots att ingen av plattorna uppfyllde dagens krav på uttorkning inför mattläggning. Försöken bekräftar simuleringresultaten från SBUF 13354. Det går alltså att utnyttja den nya betongens täthet i kombination med väl uttorkad avjämnings för att undvika att en RF på över 85 % uppkommer i lim och ytskikt. Detta trots att betongens RF överskrider 85 % på ekvivalent djup vid tillfället för mattlimning!

Slutsatser

Praktiska försök visar att den moderna, täta betongen kan utnyttjas konstruktivt

Tabell 1: Jämförelse av uppmätt RF i betong och avjämnings samt maximal RF i avjämnings uppskattat ifrån både mätning av RF samt jämförelse med resistiv indikation för fuktutvecklingen. Om ingen uppskattad RF anges, anses den vara samma som den uppmätta.

Ålder (mån.) vid avjämnings	Bindemedel	Vbt (-)	Start RF (%) betong	Max RF (%) avjämnings	
				Uppmätt	Uppskattad
3	Bascement CEM II-A/V	0,40	86,3	79,2	83
3	Bascement CEM II-A/V	0,55	88,5	80,7	85
3	CEMEX Miljö	0,40	86,8	78,6	80
3	CEMEX Miljö	0,55	90,1	85,6	-
3	Velox + 30% slagg	0,40	84,8	76,8	78
3	Velox + 30% slagg	0,55	88,2	79,4	81
6	Bascement CEM II-A/V	0,40	85,5	73,2	-
6	Bascement CEM II-A/V	0,55	86,8	76,4	-
6	CEMEX Miljö	0,40	86,2	73,4	-
6	CEMEX Miljö	0,55	88,7	80,1	-
6	Velox + 30% slagg	0,40	84,8	74,2	-
6	Velox + 30% slagg	0,55	86,4	75,8	-

vid produktion av betongbaserade golvsystem. Den låga förmågan till fukttransport i den moderna betongen kan utnyttjas tillsammans med avjämnings för att undvika att kritisk RF uppnås i anslutning till lim och ytskikt. Detta trots att betongen inte är uttorkad till kritisk RF på ekvivalent djup innan ett ytskikt appliceras. Man ska dock ha klart för sig att denna effekt är beroende av just betongens täthet, vilket i sin tur ställer vissa krav på betongens ålder och sammansättning. Tillvägagångssättet skulle kunna användas för att förkorta tiden som behövs för betonguttorkning inför limning av ytskikt med vattenbaserat lim utan att dessa utsätts för högre RF än tillåtet.

Är uttorkningskrav på ekvivalent djup fortfarande relevant? Ovanstående mätningar bekräftar misstankar från tidigare simuleringar, [4] samt [5]. När betongen funktionellt sett är tätare än ytskiktet blir det ingen klassisk omfördelning efter mattläggning. Med finpartiklar och mineraliska tillsatsmaterial är den moderna betongen mycket tätare än tidigare. Med en lämplig kombination av bindemedelssammansättning, vbt samt ålder kan man mycket väl erhålla en betong som är tillräckligt tät för att uttorkningskravet på ekvivalent djup ska bli irrelevant och onödigt.

I nuläget bör man observera att dessa resultat endast ska ses som konceptvalidering. Avsikterna med testerna i SBUF 13560 var att undersöka om hypotesen från SBUF 13354 kunde fås att fungera i verkligheten och inte bara som simulering. Genom verifierande mätningar har det nu påvisats att det går alldeles utmärkt, under förutsättningen att man har en tillräckligt tät betong.

Försökensresultaten som presenteras här är dock inte att jämföras med en färdigutvecklad och kvalitetssäkrad arbetsmetodik, som hjälper utföraren att undvika eventuella risker. En sådan återstår att utveckla baserat på detta koncept. När kravet som ställs på betongen skiftar från uttorkning till täthet, bör detta på något sätt kunna valideras under produktion av golvkonstruktioner i skarpa projekt. Detta är ett exempel på saker som den presenterade undersökningen inte täcker men som bör vara en del av en kvalitetssäkrad arbetsmetodik. ■

Referenser

- [1] *Uttorkning och modern betong*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Bygg & teknik Nr 7 2019
- [2] *Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste*, G. Hedenblad, TVBM-1014, Lund Institute of Technology 1993
- [3] *Uttorkningsegenskaper hos klimatförbättrad betong*, J. Carlswärd, Bygg & teknik Nr 6 2020
- [4] *Fuktsamverkan i golvsystem med modern betong*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, S. Carlström, Bygg & teknik Nr 7 2019
- [5] *Utredning av funktionell uttorkningsnivå hos betong med mineraliska tillsatsmaterial*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, SBUF 13354 Slutrapport, 2019
- [6] *AMA Hus 18, Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten*, Svensk Byggtjänst 2018
- [7] *RBK, Manual – Fuktmatning i betong*, version 6, kap 2.3
- [8] *Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning*, H. Wengholt Johnsson, Chalmers Tekniska Högskola 1995,
- [9] *Bestämning av relativ fuktighet, RF i golvavjämnings*, Utgåva 2:2017, GBR

Hur fungerar emissionsmätning under ytskikt med uttaget prov och kammarmetoden?



Mätning av emissioner i golvsystem används ofta i skadeutredningar för att utröna vad som skett i ett golv där en skada misstänks. Då mätningar ovanför ytskiktet inte alltid ger hela bilden av tillståndet under ytskiktet används kammarmätning av uttaget betong- eller avjämningsprov under ytskiktet allt oftare. Men hur fungerar en sådan mätning egentligen? Vilka känsliga punkter har den? Vilka förutsättningar krävs för att två separata mätningar skall kunna betraktas som jämförbara med varandra? Finns det något sätt att mäta bättre och vilka slutsatser kan man dra av en anmärkning i ett protokoll från ett analyslaboratorium?

Emissioner av så kallade VOC (Volatile Organic Compounds) från golvsystem är inget nytt. De kan uppkomma av olika orsaker. Ibland finns ämnena i till exempel lim i egenskap av lösningsmedel som avges som så kallade egenemissioner. De kan också vara ett resultat av nedbrytning i golvet genom alkalisk hydrolysis av

bindemedel i lim och/eller mjukgörare i ytskikt. Vid misstänkta golvsador är mätning av emissioner av så kallade indikatorämnen en ofta använd metod för att utröna vad som hänt i golvet [1]. Ursprungligen utfördes mätningar huvudsakligen ovanpå ytskiktet där emissions hastigheten genom ytskiktet registrerades med hjälp av FLEC [2]. Då mätning ovan ytskiktet inte alltid gav en bra förklaring till observerade problem [3], har flera metoder för mätning under ytskiktet utvecklats. Man kan till exempel stansa ut en bit av ytskiktet och utföra en FLEC-mätning över området där underliggande material exponerats. Det förekommer mätningar där ytskiktet snittas för att möjliggöra att man "sniffar" under. Man kan även borra ut bitar av avjämnning eller betong under

ytskiktet, så kallade uttaget prov, och utföra en kammarmätning på det. För en närmare jämförelse av metoderna se [4]. Metoderna för FLEC och kammarmätning är certifierade enligt ISO.

Då kammarmetoden med uttaget prov använts i allt större omfattning på sistone kommer fokus i denna artikel ligga enbart på just denna metod för mätning av emissioner från cementbaserade golvsystem.

Kammarmätningens grundförfarande

Kammarmätning är en form av så kallade Static Headspace-Gas Chromatography (HS-GC), för detaljer se [5]. Vid kammarmätning inväntar man inte jämvikt vid utbyte av emissionerna mellan provet och luften som analyseras. Man baserar i stället mätningens jämförbarhet på att processen utförs likadant varje gång. Mätningen utförs på prover av avjämnning och/eller betong under golvbeläggningen, vilka tas ut med kärnborr. För exempel på mätuppställning se ingressbild. Mätningar utförs exempelvis enligt följande procedur:

1. Provbitar på cirka 30–60 gram, läggs vid provtagningen i flera lager aluminiumfolie samt plastpåse för transport till labbet.
2. Materialprov i aluminiumfolie och påse temperaturkonditioneras i laboratorielokalen under minst 1 dygn.
3. Därefter placerades provet i en mät-kammare vid cirka 23 °C i 3 timmar, innan ett luftprov tas ur kammaren. Provet placeras på ett "hyllplan" mitt i kammaren. Botten förses med 10 ml destillerat vatten för att skapa en RF på cirka 100 % i kammaren under mätningen.
4. Kammaren tillförs renad luft med ett flöde på 100 ml/min. Luftprovet fångas på en adsorbent, Tenax TA, med ett flöde av 100 ml/min i 30 min.
5. Adsorbenten sänds till ett analyslaboratorium för gaskromatografisk analys med identifiering av ämnen och haltbestämning sker med masspektrometer.



Marcin Stelmarczyk,
Civilingenjör, The Green Dragon Magic



Jan Kristensson
Dr. Chemik Lab AB

Kammarmätningen ger inte ett kvantitativt resultat som är ett direkt mått på hur mycket av det uppmätta ämnet som finns inlagrat i provkroppen. Mätvärdet är inte proportionerligt mot innehållet av emissionen i fråga i provkroppen. Mätningen ger endast ett semikvantitativt resultat som under specifika förutsättningar kan jämföras med resultat från andra kammarmätningar. Detta är delvis kopplat till:

- grundutförande hos HS-GC
- att metoden i kammarmätningen inte tillåts uppnå jämvikt mellan provkroppen och luften i kammaren
- samverkan mellan emissionsämnena och provkroppen
- olika förhållanden kring hur emissioner bildas, transporteras och lagras in i olika golvkonstruktioner

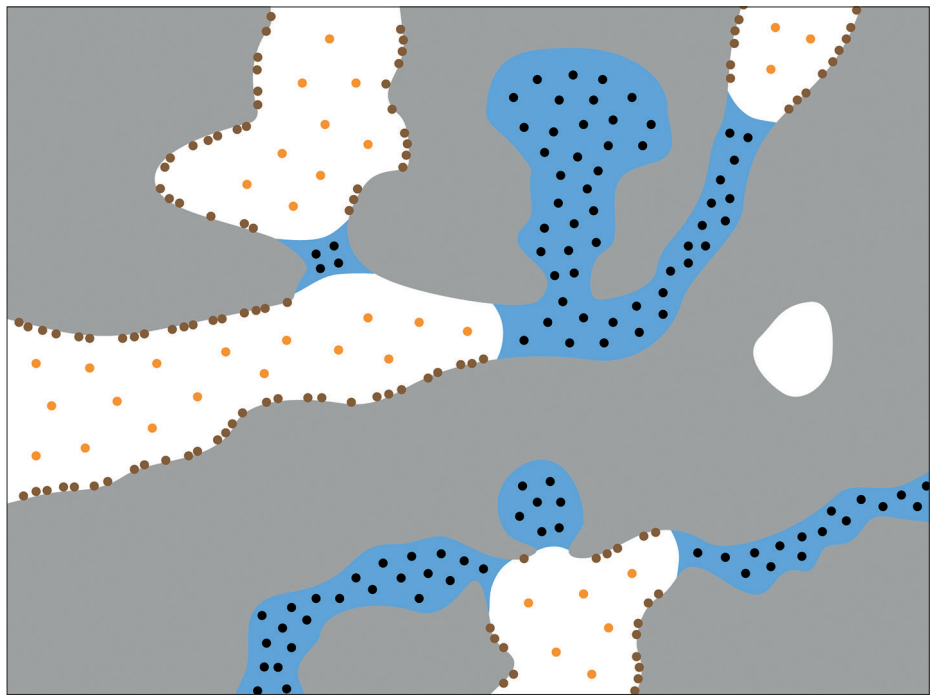
Kammarmätningen fungerar alltså anorlunda än FLEC som ger ett mått på hur mycket som emitteras från en viss golvyta under en viss tid.

Interaktion mellan provkropp, emissioner och mätuppställning

I sitt grundutförande inväntar HS-GC jämvikt mellan provkroppen och luften i kammaren avseende koncentrationen av emissionerna som man mäter. Då detta kan vara en mycket tidsödande procedur när emissioner skall mätas i betong eller avjämning utförs kammarmätningen på ett snabbare sätt där jämvikt inte inväntas. För att förstå vad som verkligen mäts och vad mätningen påverkas av är det lämpligt att ta en närmare titt på bägge varianter av metoden. Redan den jämviktbaserade HS-GC påverkas av hur ämnen vars koncentration man mäter lagras in i provkroppen i fråga. För porösa material som betong och avjämning sker inlagringen av emissionerna i porsystemet. Det finns huvudsakligen tre sätt för inlagring, som visas i *figur 1*:

1. I luften i den icke vätskefyllda delen av porsystemet
2. Adsorberat till porväggar i den icke vätskefyllda delen av porsystemet
3. Om ämnet är vattenlösligt, som till exempel butanol, löst i vatten eller andra lösningsmedel i de vätskefyllda delen av porsystemet

I kammarmätningen mäter man koncentration av emissionerna i en del av luften i kammaren. Man uppskattar att förfarandet ovan låter cirka 70 procent av kammarens ursprungliga luftvolym på 3 liter passera Tenax-adsorbenten. Den ursprungliga mängden av emissioner, inlagrade på olika sätt i provkroppen kom-



Figur 1: Inlagring av emissionsämnen i betongens/avjämningens (grått) porsystem, luftfyllt (vitt) och vattenfyllt (blått): 1) i luften (orange), 2) adsorberat till porväggar (brunt) samt om ämnet är vattenlösligt 3) löst i vatten (svart).

mer vid mätögonblicket att fördela sig mellan luften i kammaren och provkroppen med sina respektive inlagrings-sätt. Man tömmer alltså inte provkroppen på alla emissioner utan snarare en del av dem – hur stor del beror på bland annat hur inlagringen sker, hur mycket som finns i provkroppen, hur porsystemet ser ut och hur mycket av porsystemet som är vätskefyllt.

Inte alltid jämförbara resultat

Detta kan ge upphov till en rad utmaningar vid jämförelse av mätvärden:

- Om mätvärdet för olika ämnen i ett och samma prov är lika behöver det inte innebära att det finns lika mycket av dessa ämnen i provet. Detta beror på att olika molekyler lagras in i materialet på olika sätt.
- Om prov från golv A ger ett mätvärde dubbelt så stort, för ett specifikt ämne, som prov från golv B behöver det inte innebära att golv A innehåller dubbelt så mycket av ämnet som golv B. Detta beror snarare på att golven inte består av samma material. Proven från de två golvsystemen har olika porsystem vilket ger skilda inlagringsegenskaper för samma emissioner som i sin tur påverkar mätningen.
- Om prov X ger ett mätvärde dubbelt så stort som prov Y från samma material, till exempel samma golv vid senare tidpunkt, behöver det inte innebära att prov X innehåller dubbelt så mycket av ämnet som prov Y. En anledning till detta kan vara skillnaden till vilken nivå porsystemet är vätskefyllt i

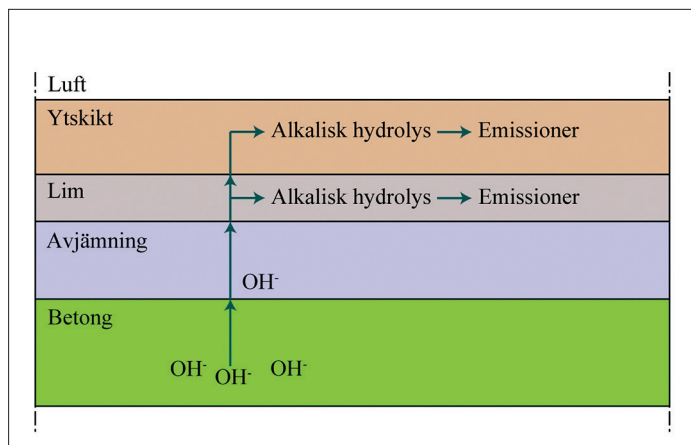
respektive prov. Om golvet torkat eller blivit uppfuktat under tiden mellan att proverna tagits uppstår skillnad i hur stor del av porsystemet som är vätskefyllt och hur stor del är luftfylld. Detta påverkar i sin tur möjligheter till inlagring i luft och adsorption av ämnet i fråga (luftfyllt porsystem) för inlagring om ämnet är vattenlösligt (vätskefyllt porsystem).

- Om prov X ger ett mätvärde dubbelt så stort som prov Y från samma material med samma vatteninnehåll i porsystemet, behöver det inte innebära att prov X innehåller dubbelt så mycket av ämnet som prov Y. En anledning till detta kan vara att inlagring genom, till exempel adsorption på porväggar, inte kan fortgå på grund av att prov X har blivit mättat. I ett sådant fall sker fortsatt inlagring endast i luften i porsystemet, vilket påverkar sorptionsegenskaperna och resultatet av mätningen.

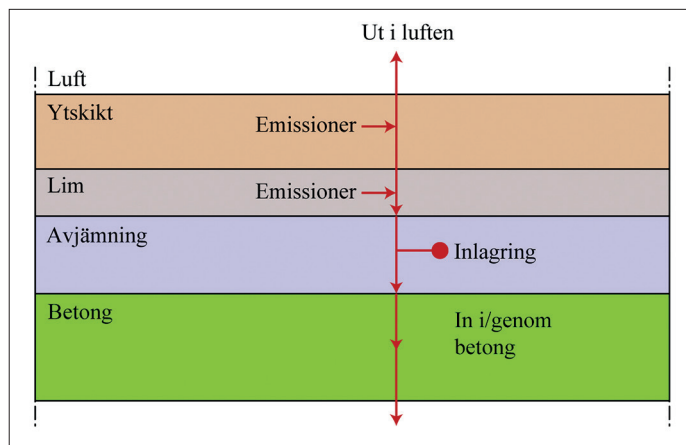
Vissa beroenden har dock eliminerats genom olika val i mätförfarandet:

- Temperaturen har inverkan på utbytet av ämnen mellan provet och luften i kammaren. Samtliga mätningar utförs vid konstant temperatur, 23 °C, vilket eliminerar denna effekt.
- Även RF i luften i kammaren påverkar utbytet. Detta hanteras genom närvaro av vatten i kammaren, som skapar cirka 100 % RF i den omgivande luften vid varje mätning.

Vid kammarmätningen inväntas inte jämvikt vid utbytet av emissionerna mellan



Figur 2: Transport av hydroxidjoner från underlaget till lim och ytskikt som leder till alkalisk hydrolysis och bildande av emissioner.



Figur 3: Vad som kan hända med emissioner som bildas i lim och ytskikt.

provet och luften. Mätningen bygger på att man ger hela uppställningen lika mycket tid för utbyte varje gång man mäter. Detta gör att metodens resultat blir beroende av faktorer som påverkar hastigheten för utbytet i fråga. Transportegenskaper för emissionerna i provet är en sådan faktor. Provet storlek och fördelning är en annan. Här försöker man hålla de olika provernas vikt någorlunda konstant, men detta påverkar inte hur provmängden är fördelad. Ett prov kan bestå en av en stor bit samtidigt som ett annat kan vara fördelat i flera mindre bitar. Denna fördelning påverkar hur stor yta hos provet som exponeras mot luften i kammaren, vilket i sin tur påverkar hastigheten för utbyte av emissioner mellan provet och luften i kammaren. Man skulle kunna krossa varje prov till små bitar av ungefär samma storlek för att eliminera stora skillnader i transporten mellan prov och luft. Krossandet tillför dock värme till själva provkroppen och påverkar provets temperatur varvid man har valt att inte påverka provkropparna mekaniskt.

Golvsystemets inverkan

Som tidigare nämnt finns det flera olika potentiella källor till emissioner som mäts upp från ett uttaget prov i ett golv. Dels förekommer ämnena man söker ibland som lösningsmedel i de ingående materialen och kan förorsaka emissioner utan att någon nedbrytning genom alkalisk hydrolysis är inblandad. Dessa kallas för egenemissioner och är inte resultat av en fukt-skada i golvet. När det gäller nedbrytning av bindemedel i lim och/eller mjukgörare i ytskikt genom alkalisk hydrolysis krävs tillförsel av hydroxidjoner till lim och ytskikt, se figur 2. Källan till hydroxidjonerna är det cementbaserade underlaget. Betong med sitt höga pH är en mycket stark källa men även så kallad lågalkalisk avjämning bidrar med hydroxidjoner. För att möjliggöra transport av jonerna från underlaget till

lim och ytskikt krävs vatten i porsystemet i betongen och/eller avjämningen. Det är lämpligt att dela upp hydrolysen i två olika varianter med hänsyn till varifrån fukten som transporterar hydroxidjonerna kommer.

Dels finns det primär hydrolysis, som beror på den fukten som tränger in i golvets övre delar från vattenbaserat lim. Detta medför en temporär ökning av vattenhalten i de översta millimetrarna av underlaget. Sedan omfördelas fukten normalt ner i golvet. Under en tid ökar transporten av hydroxidjoner från underlaget på grund av denna temporära ökning av mängden vatten i golvets översta skikt. Denna typ av hydrolysis kan normalt sett inte elimineras om vattenbaserat lim används. Ju mer poröst material som används under limmet och ju bättre uttorkat det är desto kortare och mindre intensiv blir den primära hydrolysen.

Sedan finns även sekundär hydrolysis. Den beror på transport av hydroxidjoner som möjliggörs av all annan fukt än limfukten. Om underlaget är dåligt uttorkat kan detta medföra en påtaglig transport av hydroxidjoner och därtill hörande nedbrytning – en klassisk golvskada. Den kan också vara resultatet av en extern uppfuktning av underlaget, till exempel i samband med översvämning. Det bör observeras att en lågintensiv sekundär hydrolysis i princip alltid kan förväntas pågå, även om underlaget är uttorkat enligt gällande krav. Det finns nästan alltid nog med vatten i betongens och avjämningens porsystem för att möjliggöra en liten transport av hydroxidjoner till lim och ytskikt.

Från mätningar av emissioner går det inte att avgöra från vilka källor dessa kommer. Vad man mäter är normalt sett en summa av primär och sekundär hydrolysis samt egenemissioner. Mätningar vid olika tidpunkter efter mattläggning kan i viss mån separera källorna från varandra, men denna bild påverkas även

av hur emissionerna sprids i golvsystemet efter att de uppstått. Här finns alltså ytterligare faktorer som kan påverka en jämförelse mellan kammarmätningar. Det har att göra med möjliga skillnader i golvkonstruktioner och egenskaper hos de olika materialen. Emissionerna som bildas kan transporteras ut från, eller lagras in i golvet, se schematisk bild i figur 3.

Vad som sker beror på skillnader i materialens transportegenskaper för emissioner. Mattans täthet påverkar hur mycket som transporteras ut i luften ovanför golvet. Betongens täthet påverkar hur mycket som transporteras in i golvet och ut på andra sidan av konstruktionen. Kombinationen av tät matta och tät betong kan till exempel resultera att emissioner ackumuleras i avjämningen och väldigt liten del av dem lämnar golvet. Detta kan till exempel resultera i höga mätvärden vid kammarmätning även vid väldigt låg intensitet på alkalisk hydrolysis om man låtit emissionerna ackumuleras i avjämningen under en längre tid. Däremot i ett golv med öppnare betong och/eller matta kan höga mätvärden mycket väl vara en klar indikation på högintensiv pågående alkalisk hydrolysis.

Tolkning och bedömning

Ovan diskuterade känsligheter och utmaningar gör tolkning av resultaten från en kammarmätning och bedömning av vad som hänt i golvet till en krävande uppgift. En första hjälp fås från analyslaboratoriet i form av kommentar och eventuell anmärkning på de uppmätta värdena. Här måste man dock ha klart för sig att labbets bedömning inte tar hänsyn till golvkonstruktion eller materialegenskaper, då labbet normalt inte har tillräcklig kunskap om dessa. De praktiska gränserna som labbet tillämpar vid bedömning av emissionsnivåer i materialprover baserar sig på ett statistiskt underlag av tidigare utförda analyser och korrelation av dessa mot separat

konstaterade golvsador. Så länge statistiken baserar sig på samma typ av konstruktion och materialegenskaper som det bedömda provet fungerar bedömningen. När materialegenskaper och golvkonstruktion förändras kommer det alltid att finns en tidsmässig eftersläpning mellan använd statistik och prov från objekt med ny konstruktion eller material. Vi har de senaste åren fått betonger som av olika skäl blivit tätare. Detta har även medfört att porös avjämning används oftare som buffert för limfukt i golvsystemen. En statistiskt baserad bedömning kan i ett sådant läge misstolka vad som hänt i golvet.

Det finns sätt att få fram mätvärden som inte är lika känsliga och ger ett mer absolut värde att jämföra med. HS-GC med multipel extraktion kan användas tillsammans med uppvärmning av provkroppen för att få en bra uppskattning på totalinnehållet av emissionerna i provkroppen. Denna analysmetod är dock dyrare och används inte rutinmässigt idag. Vad en mer avancerad mätning inte kan ersätta är en bra tolkning av resultatet. Då mätvärdet tolkas måste hänsyn tas till både materialegenskaper och golvkonstruktion och det är normalt sett svårt att utifrån

ett enskilt mätvärde säga vad som hänt i golvet, se gärna artikeln *Emissioner i golvsystem med modern tät betong* i detta nummer av Bygg & teknik [6].

Slutsatser

Avslutningsvis bör understrykas att ovanstående svårigheter vid jämförelse och tolkning av resultat från kammarmätningar inte bör resultera i att metoden diskvalificeras för mätningar av emissioner i golvsystem. Visserligen verkar emissionsfaktorn, uppmätt med FLEC på ytskiktets ovansida, enklare i tolkning och jämförelse, men denna metod bygger inte heller på jämviktsförhållanden och levererar endast semi-kvantitativa resultat. Den uppmätta emissionshastigheten är inte heller ett bra mått på kvaliteten i inomhusluften då emissionerna späds ut i rummet ovanför ytskiktet och påverkas av rummets ventilation.

Kammarmätning på uttaget prov från golvsystem är idag den mätmetod som ger den bästa bilden av vad som pågår emissionsmässigt under ytskiktet. Utmaningarna ovan bör resultera i att man anstränger sig för att eliminera störande effekter så långt som möjligt. Slutsatser bör inte dras av enstaka resultat. Tolkning

av kammarmätningar är en krävande uppgift som förutsätter kunskap om golvsystemets konstruktion, de ingående materialerna samt dess tillstånd. En anmärkning/kommentar i protokollen från ett analyslaboratorium, som baseras på statistiskt underlag, är inte ett absolut konstaterande om en golvskada. Detta bör stället föranleda vidare undersökning och analys innan en slutgiltig tolkning. ■

Referenser

- [1] *Nedbrytning på grund av förekomst av alkalisk fukt i konstruktioner med cementinnehållande produkter*, J. Kristensson, L. Egelrud, Bygg & Teknik Nr 8 2012
- [2] *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
- [3] *Mönsteranalys av inomhusluft*, C.-G. Bornehag, R23:1994 Byggeforskningsrådet
- [4] *Mätning av kemiska ämnen i golvkonstruktioner*, J. Kristensson, Bygg & teknik Nr 8 2006
- [5] *Static Headspace-gas Chromatography*, B. Kolb, L. S. Ettre, John Wiley & Sons Inc.2006
- [6] *Emissioner i golvsystem med modern tät betong*, M. Stelmarczyk, T. Rapp, H. Hedlund, F. Gränne, S. Carlström, Bygg & teknik Nr 6 2021