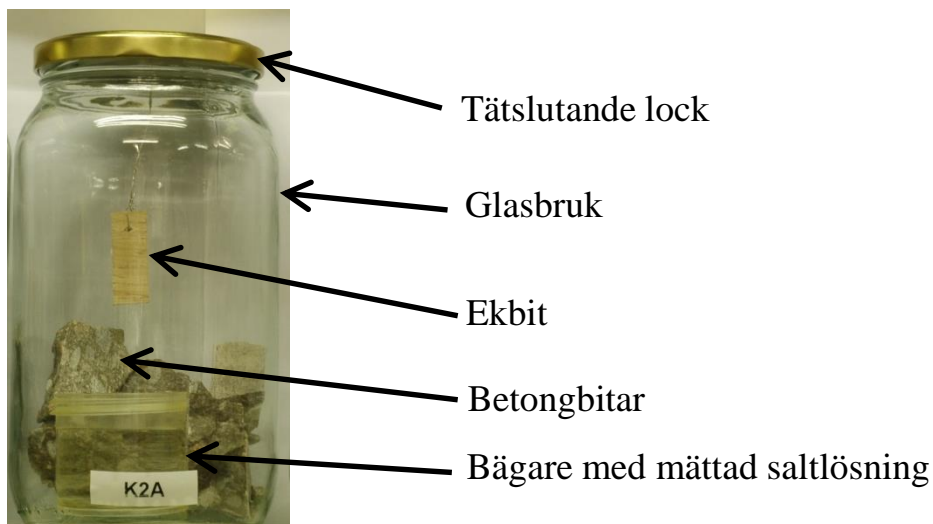


Förord

I följande rapport beskrivs en laboratorieundersökning som har utförts vid avdelningen för Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola som en del i SBUF-projektet 12530 ”Emissioner av ammoniak från golvkonstruktioner

1 Inledning

I SBUF-projekt 12530 "Emissioner av ammoniak från golvkonstruktioner" har inverkan av delmaterial innehållande kvävehaltiga ämnen på golvsystem med betongplatta och parkettgolv av tanninrikt träslag studerats i en litteraturstudie. Bakgrunden är att problem med missfärgning av parkettgolv har rapporterats, där emissioner av ammoniak från golvkonstruktionen har pekats ut som bakomliggande orsak. I litteraturstudien framkom att den relativa fuktigheten var en viktig variabel för att dessa missfärgningar skulle uppstå. Därför togs en provningsmetod fram där ekbitar exponeras för emissioner från olika materialkombinationer där det också var möjligt att styra den relativa fuktigheten (RF). Provuppställningen är enligt den princip som finns beskriven i Nilsson (1984), där en ekbit "stängs in" i en luftvolym med en viss koncentration ammoniak och ett visst klimat. Klimatet i luftvolymen styrs med en övermättad saltlösning. Provuppställningen modifierades något och ett tätslutande skruvlock användes istället för kork och plastbägaren med saltlösning var omgiven av betongbitar, se Figur 1.



Figur 1. Principiell provuppställning.

För att utreda om provningsmetoden var lämplig för att undersöka eventuella problem med missfärgning av ekbitarna från emissioner av ammoniak genomfördes ett antal förförsök. Under förförsöken utsattes ekbitar från emissioner av ren ammoniaklösning av olika koncentrationer och emissioner från cementpasta blandad med ammoniaklösning.

Huvudförsökens syfte var att se om "vanliga" betonger som används till golvkonstruktioner ger upphov till emissioner av ammoniak som i sin tur kan missfärga ekbitar. Det finns flera olika möjliga källor till emissioner av ammoniak (i form av kvävehaltiga delmaterial till betongen), t.ex. cement, tillsatsmedel eller flygaska. Ballasten kan också i vissa fall innehålla kvävehaltiga ämnen, men normalt inte i den ballast som används i Sverige. Totalt har fem olika betongsammansättningar undersökts där d Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R) eller Cementa Bascement (CEM II/A-V 52,5 N) använts. I två av betongerna har tillsatser av flygaska använts, där askan innehåller mindre mängder ammoniak som härrör från rökgasrening vid kolkraftverket (där ammoniak används för att minska utsläpp av kväveoxider). I en betong har ett superplasticerande tillsatsmedel innehållande mindre mängder kväve använts (vilket inte är något ovanligt för denna typ av tillsatsmedel). Vid provningarna har därför ekbitar exponerats för emissioner av ammoniak av olika omfattning vid fyra olika relativa fuktigheter (RF). Eventuell missfärgning av ekbitarna har sedan

undersökts genom att visuellt besiktiga bitarna. Utseendet hos ekbitarna har också dokumenterats med fotografier som tagits vid olika tillfällen under provningsperioden. Som referens har även en ekbit per serie utsatts för enbart en viss relativ fuktighet och ingen betong. Samtliga provningar har gjorts i klimatrum där RF och temperatur styrs. Försöken har gjorts i tre etapper, med olika exponering för ammoniak:

- **Förförsök med ammoniaklösning**, där provningsmetoden provades och kalibrerades. För att prova försöksuppställningen och möjligheten att visuellt dokumentera eventuell missfärgning har provningar gjorts med olika koncentrationer av ammoniaklösning (0-0,125 %-ig lösning) som hälldes i botten av burkarna.
- **Förförsök med cementbruk blandat med ammoniaklösning**, där försöksuppställningen provades med cementbaserade prover. Provningarna gjordes med cementbruk, där cement blandades med mycket svaga ammoniaklösningar (0,002 - 0,125 %-ig lösning), som göts i botten av burkarna.
- **Huvudförsök**, där eventuella emissioner av ammoniak från betong har undersökts. Provningar har gjorts med betong med olika sammansättningar (som normalt används för golvkonstruktioner). Bitar av krossad betong har lagts i botten av glasburkarna. Dessutom var klimatet (RF) i burkarna styrt med övermättade saltlösningar.

Resultaten från genomförda undersökningar redovisas i följande kapitel.

2 Förförsök

Försöksuppställningen baserades på en tidigare använd metod som innebär att ekbiten stängs inne tillsammans med de material som studeras. Ekbiten har aldrig kontakt med materialet, se Foto 1. Burkarna förvaras i ett klimatrum med temperaturen 20°C och 65 % RF.

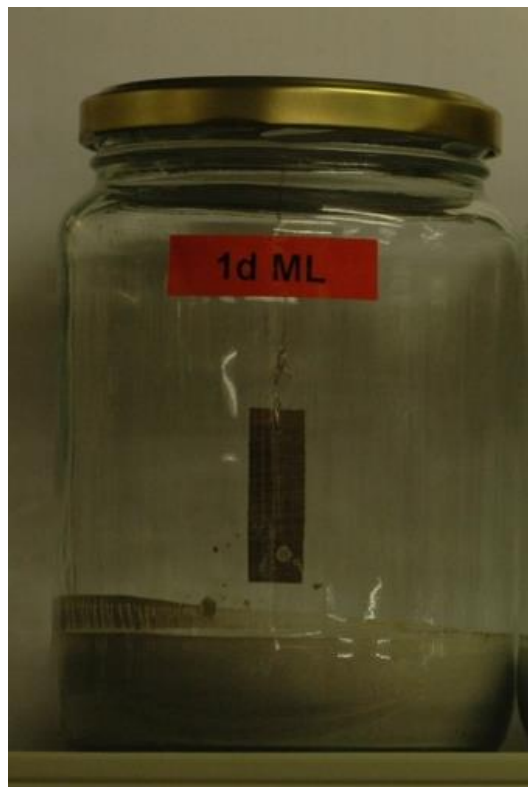


Foto 1. Försökuppställning. I botten ligger de material vars emissioner studeras. Ekbiten är aldrig i direkt kontakt med materialen.

Förförsöken genomfördes i två etapper, där rena ammoniaklösningar användes i första etappen och cementpasta blandad med ammoniaklösning användes i den andra etappen.

2.1 Förförsök – ren ammoniaklösning

Syftet med förförsöken med ren ammoniaklösning var att undersöka om provningsmetoden fungerade. Detta gjordes genom att exponera ekbitar i slutna luftvolym (glasburkar) för olika koncentrationer av ammoniaklösning. Ammoniaklösningarna tillverkades genom att späda ut 32 %-ig ammoniaklösning med olika mängder avjoniserat vatten till önskad koncentration. Burkarna fotograferades under de första tre dygnen och efter en vecka. Utseendet hos ekbitarna efter 1, 2, 3 och 7 dygns exponering för ammoniak visas i Foto 2.

Tid	Koncentration av ammoniak[%]									
Dygn	0,125	0,063	0,031	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001	0	tom
1										
2										
3										
7										

Foto 2. Ekbitar exponerade för olika koncentrationer av ammoniaklösning 1-3 samt 7 dygn .

I Foto 2 framgår att ekbitarna blir mörkfärgade vid högre koncentrationer av ammoniak, medan vid lägre koncentrationer syns ingen missfärgning. Det finns också en inverkan av exponeringstiden, där ekbitarna blir mörkare ju längre exponeringen pågår (speciellt för 0,008 %-ig och till viss del för 0,004 %-ig ammoniaklösning). Dessa resultat visar att den använda provningsmetoden går att använda för att undersöka eventuell risk för missfärgning av ekbitar vid exponering för ammoniak. Ytterligare förförsök har därför genomförts där emissioner av ammoniak från cementpasta blandad med ammoniaklösning studerats (se vidare nedan).

2.2 Förförsök – preparerad cementpasta

Syftet med förförsöken med preparerad cementpasta var att ytterligare undersöka om provningsmetoden fungerade, även då processen var långsammare. I sex burkar blandas Byggcement med en mycket svag lösning av ammoniak till vct 0,40 (ammoniaklösningar med två olika koncentrationer användes). Pastan hålls i behållaren och locket skruvas åt på tre av burkarna. Efter 24 timmar placeras ett nytt lock med en ekbit fastsatt i locket i två av burkarna (en som varit stängd hela dygnet och med och en som varit öppen). Burkarna fotograferas sedan efter ett dygn. Efter sju dygn placeras två nya ekbitar i två burkar (en som varit öppen hela tiden och en som varit stängd) och fotograferas sedan efter ett dygn. Efter ytterligare sju dygn används de två sista burkarna. Burkarna som har lock hela tiden representerar olika långa tider av membranhärdning. Burkarna utan lock får en mer ojämn fuktavgång och det var

intressant att se hur detta påverkar missfärgningsförloppet. Detta är också en indikation på inverkan av RF/fukthalt och eventuell bindning av ammoniak i cementpastan.

Två olika serier genomfördes i den andra delen av förförsöken, serie A och B, där olika koncentrationer på ammoniaklösning användes. Baserat på förförsöken med ammoniaklösning används en ammoniaklösning med en koncentration på 0,125 % till serie A. Utseendet hos ekbitarna efter 1 och 6 dygns exponering för ammoniak visas i Foto 3-Foto 5.

Serie A: 0.125%



Foto 3. Serie A. 0.125% NH₃ och Byggcement. 1d ML= 1 dygn med lock, 1d UL= 1 dygn utan lock, 6d ML= 6 dygn med lock, 6d UL= 6 dygn utan lock. Fotografering har skett 1 dygn efter att ekbiten placerats i burken.

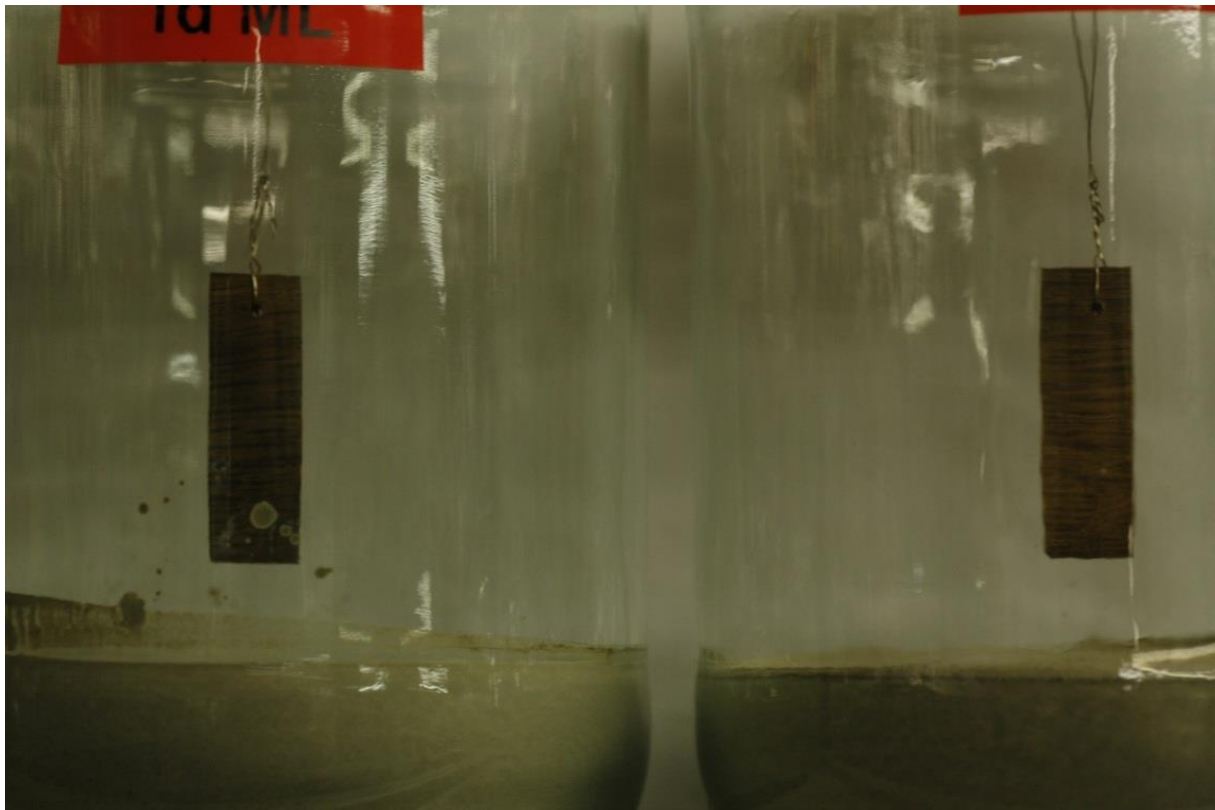


Foto 4. Närbild på 1-dygnsproverna.

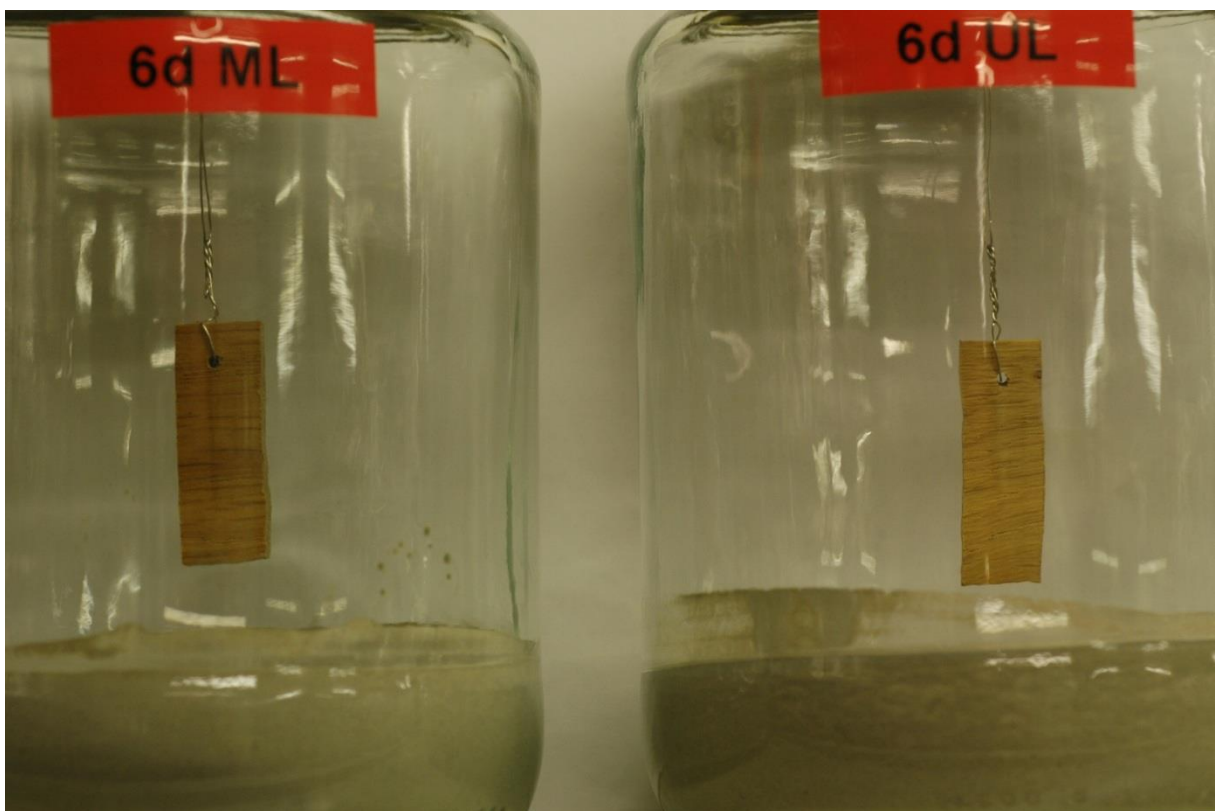


Foto 5. Närbild på 6-dygnsproverna.

Som synes i Foto 3-Foto 5 påverkas ekbiten i burken som haft lock på i sex dygn medan ekbiten som placerades i burken som varit öppen i sex dygn är opåverkad. Fyra månader

senare är dock även den missfärgad. Detta troligen på grund av att RF i luften i burken ökar som ett resultat av att fukt transporteras till ytan med cementpasta. Ekbiten som placerades i burken som stängdes först efter 14 dagar är dock fortfarande opåverkad efter fyra månader. Det finns således en inverkan från hur länge cementpastan kan "luftas" innan locket skruvas på. En förklaring är att ammoniak tillsatt som ammoniaklösning är flyktig och avgår fort när bruksbitarna exponeras i fria luften.

Då missfärgningen gick i princip lika fort som vid enbart ammoniaklösning genomfördes serie B med den lägsta koncentration av ammoniaklösning som gav missfärgning, 0,002 %.

I Foto 6 visas tre rader av burkar. Första raden är samma som Foto 3, rad två är samma burkar som rad 1 efter 8 månaders ytterligare exponering och rad 3 är cementpasta blandad med ammoniaklösning 0,002% som exponerats i fyra månader.

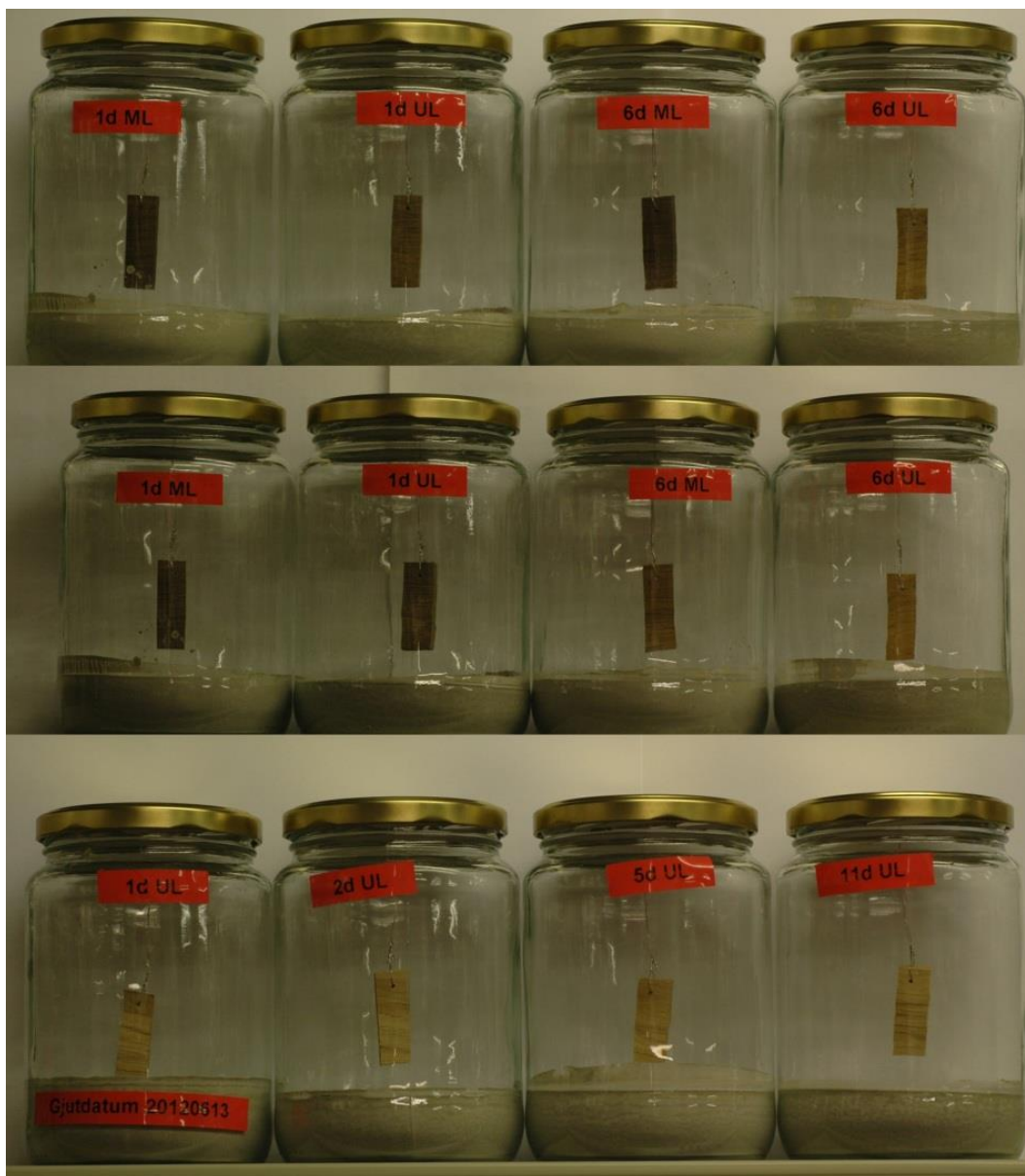


Foto 6. Burkrad 1 Serie A, burkrad 2 serie A efter ytterligare 8 månader, burkrad 3 serie B efter 4 månaders exponering.

2.3 Sammanfattning förförsök

Resultaten från förförsöken med cementpasta blandad med ammoniaklösning visar att försöksuppställningen identifierar materialkombinationer som ger missfärgning och materialkombinationer som inte gör det. Därför beslutas att använda denna försöksuppställning till huvudförsöken med tillägget att luften i burkarna dessutom skall ha olika RF som skapas av övermättade saltlösningar. Locket kommer att vara på under hela huvudförsöket då klimatiseringen sker på ett annat sätt.

3 Huvudförsök

3.1 Inledning

Syftet med huvudförsöken var att se om ”vanliga” betonger som används till golvkonstruktioner ger upphov till emissioner av ammoniak som i sin tur kan missfärga ekbitar. Det finns flera olika möjliga källor till emissioner av ammoniak (kvävehaltiga delmaterial till betongen), t.ex. cement, tillsatsmedel eller flygaska. Även ballast kan vara källa till ammoniak, men normalt ger den ballast som används i Sverige inte upphov till ammoniak.

Till huvudförsöken användes betong med vct 0.45 med maximal stenstorlek på 11 mm. Fem olika betongsammansättningar har undersökts, se Tabell 1. Betongsammansättningarna valdes för att studera tre delmaterial i betong som lyfts fram som möjliga källor till emissioner av ammoniak: cement, flygaska och tillsatsmedel. Två olika cement har använts, Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R), huvudsakligen innehållande portlandklinker och kalksten (LL), respektive Cementa Bascement (CEM II/A-V 52,5 N), huvudsakligen innehållande portlandklinker och flygaska (V). Serie M och P innehåller även flygaska med effektivitetsfaktorn $k=0,4$. Flygaskan innehåller maximalt ca 125 ppm ammoniak enligt den tekniska beskrivningen, Heidelberg Cement (2013). Två olika superplasticerande tillsatsmedel har använts: VR1 som är PCE-baserat (och inte innehåller kvävehaltiga ämnen) och VR2 som också är PCE-baserat men med tillsatser av en oorganisk accelerator (innehållande kvävehaltiga ämnen).

Tabell 1. Betongsammansättningar som har använts i försöken.

Serie K	Serie L	Serie M	Serie N	Serie P
400 kg Byggcement	400 kg Bascement	336 kg Bascement	400 kg Bascement	336 kg Bascement
180 kg vatten	180 kg vatten	180 kg vatten	180 kg vatten	180 kg vatten
865 kg 0-8 mm	865 kg 0-8 mm	865 kg 0-8 mm	865 kg 0-8 mm	865 kg 0-8 mm
865 kg 8-11 mm	865 kg 8-11 mm	865 kg 8-11 mm	865 kg 8-11 mm	865 kg 8-11 mm
0.03 kg VR1	0,067 kg VR1	0,106 kg VR1	0,120 kg VR2	0,120 kg VR1
		160 kg Flygaska		160 kg Flygaska
				0.020 kg Ammoniumsulfat

Fyra av betongsammansättningar har valts så att de representerar ”normala” betongsammansättningar som används till golvkonstruktioner (serie K, L, M och N), med låga halter av kvävehaltiga ämnen. I två av betongsammansättningarna (serie M och P) har flygaska satts till som ett tillsatsmaterial (effektivitetsfaktor $k=0,4$). Flygaska kan innehålla en viss mängd ammoniak som härrör från rökgasrening av stenkolseldade kraftverk, där ammoniak används för att rena rökgaserna från kväveoxider. En av serierna (N) innehåller maximal rekommenderad dosering av VR2, som innehåller kvävehaltiga ämnen. Tillverkaren av detta tillsatsmedel gör bedömningen att innehållet av totalt kväve, oavsett kemisk förening, hur det är bundet eller löslighet i vatten är ca 5,7% . En av betongsammansättningarna har valts som en mer ”extrem” variant, där halten av ammonium är högre genom extra tillsats av ammoniumsulfat (serie P) för att simulera vad som kan hända om en flygaska med högre halt restammoniak från rökgasreningen används. En högre halt av kvävehaltiga material innebär att risken för emissioner av ammoniak är högre.

Halten av kvävehaltiga ämnen i respektive betongsammansättning bedöms vara:

- Serie K: 0
- Serie L: < 0,0005 vikt% (uppskattningen baseras på att flygaskan i Bascementet kan innehålla maximalt 125 mg ammoniak per kg)
- Serie M: < 0,002 vikt% (uppskattningen baseras på att all flygaska maximalt innehåller 125 mg ammoniak per kg)
- Serie N: < 0,03 vikt% (uppskattningen baseras på att tillsatsmedlet totalt innehåller 5,7% kvävehaltiga ämnen)
- Serie P: < 0,025 vikt% (uppskattningen baseras på att 5,5 gav ammoniumsulfaten ger ammoniak samt att all flygaska maximalt innehåller 125 mg ammoniak per kilo)

Provkropparna göts i satser om 15 liter per betongsammansättning. Av varje betongsammansättning göts 3 cylindrar (100 mm diameter, 200 mm lång) och efter en veckas vattenlagring sågades dessa i 20 mm skivor och klimatiseras enligt följande schema före själva provningen inleddes (3 skivor per sammansättning för varje RF-nivå), se Tabell 2. Klimatiseringsförloppet är tänkt att simulera hur betong i en nygjuten golvkonstruktion fungerar, där fuktillståndet inledningsvis är högt och där betongen torkar med tiden. Uttorkningen är störst i de yttre delarna av konstruktionen medan det är högt under lång tid i de inre delarna av konstruktionen. Detta betyder att skiva A1-3 simulerar förhållandena i de inre delarna av konstruktionen medan skivorna B1-3, C1-3 och D1-3 simulerar förhållandena på olika djup från konstruktionens yta.

Tabell 2. Klimatiseringsförloppet.

Skiva	100 % RF	97 % RF	85 % RF	75 % RF	Provning
A1-3	2v				
B1-3	2v	4v			
C1-3	2v	4v	4v		
D1-3	2v	4v	4v	4v	

Provning innebär krossning av skivan och placering i en burk med saltlösning som ger samma RF som skivan har samt ekbit (precis som i förstudien). Varje RF studerades med tre burkar

med material i samt en burk med samma RF men utan material. För varje betongsammansättning genomfördes fyra provningsserier vilket betyder att totalt genomfördes 20 provningsserier.

Resultaten från undersökningen har dokumenterats genom att uppställningen fotograferades vid tre olika tillfällen: provstart, efter två månaders och efter fyra månaders exponering. Från det att cylindrarna sågades till skivor förvarades de i lådor (med olika RF) i ett klimatrums med temperaturen +20°C och 65 % RF. Fotograferingen skedde alltid på samma plats i klimatrums och med identiska kamerainställningar.

3.2 Resultat – huvudförsök

I detta kapitel redovisas resultaten (foton på ekbitarna i glasburkarna) från samtliga burkar från de olika provningsserierna. För varje försöksserie redovisas tre foton per RF; inledning av provning, efter 2 månader och efter 4 månader.

3.2.1 Serie K (Byggcement, vatten, kvartsitballast, flytmedel utan kvävehaltiga ämnen, uppskattat kväveinnehåll ≈ 0)

Serie K 75% RF



Foto 7. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 75 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF, fyra veckor i 85 % RF samt fyra veckor i 75 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med K för serien med Byggcement och D för 75 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 75 % (burken längst till höger namnad ref KD). Därefter tas den övre bilden i Foto 7. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning.

Serie K 85% RF

Foto 8. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 85 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100% RF, fyra veckor i 97% RF och fyra veckor i 85 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med K för serien med Byggcement och C för 85 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 85% (burken längst till höger namnad ref KC). Därefter tas den övre bilden i Foto 8. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras på ekbiten. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbiten.

Serie K 97% RF

Foto 9. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 97 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100% RF och fyra veckor i 97% RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med K för serien med Byggcement och B för 97% RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 97% (burken längst till höger namnad ref KB). Därefter tas den övre bilden i Foto 9. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras på ekbiten. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbiten.

Serie K 100% RF

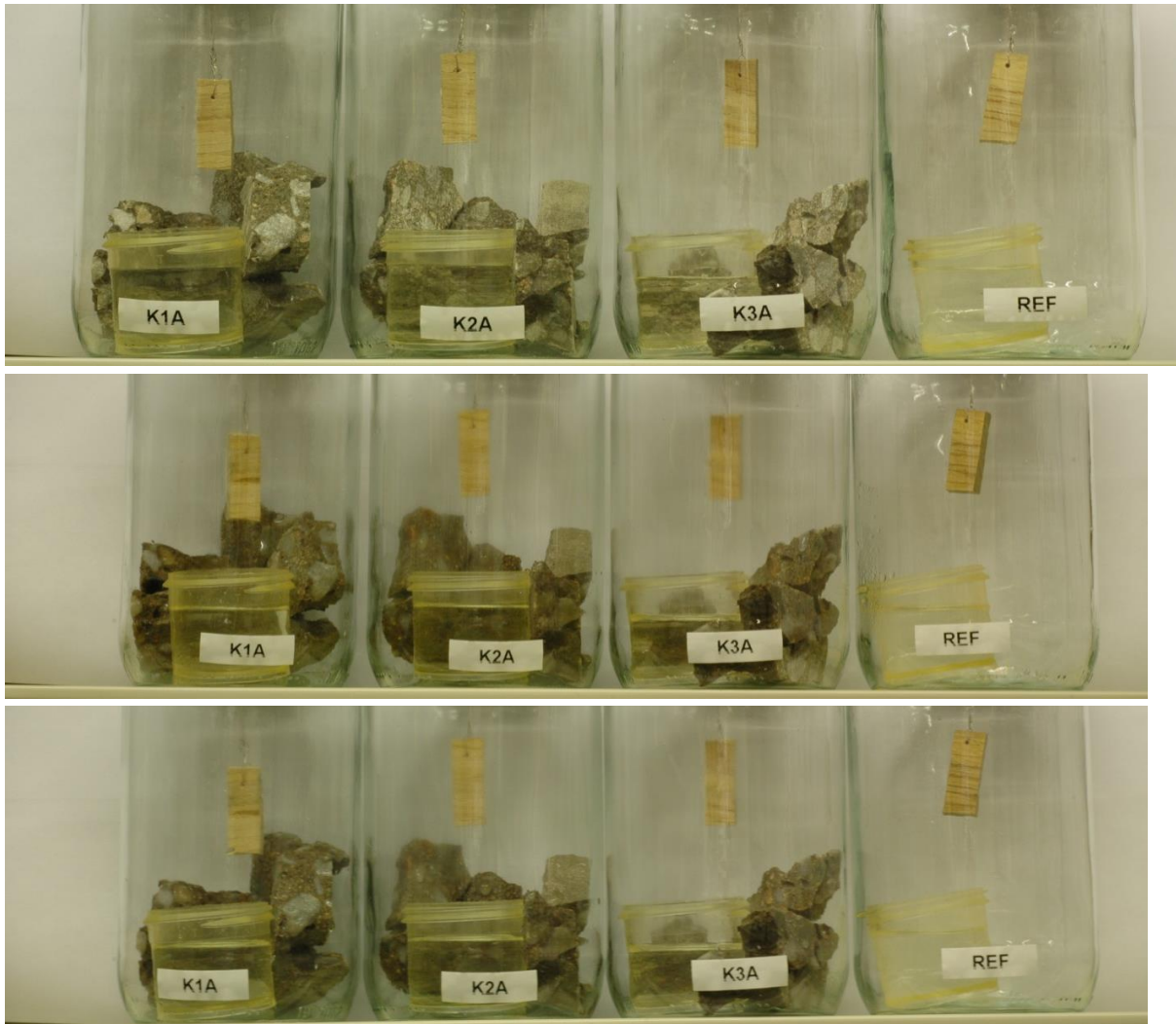


Foto 10. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart vatten motsvarande 100 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100% RF krossades tre skivor (med hammare) och placeras i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med K för serien med Byggcement och A för 100 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 100 % (burken längst till höger namnad ref KA). Därefter tas den övre bilden i Foto 10. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras i ekbitarna i burkarna med betong medan ekbiten i burken med enbart vatten har mörknat en aning. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och ingen skillnad i färg kan urskiljas hos någon av ekbitarna jämfört med bilden tagen efter två månaders exponering.

Serie K (uppskattat kväveinnehåll ≈ 0)– Sammanfattning

Tre stycken cylindrar ($\phi 100$, $l=200$) göts av Byggcement, kvartsitballast, vatten och flytmedel utan kvävehaltiga ämnen. Efter en veckas vattenlagring sågades cylindrarna i 20 mm skivor och placerades i en behållare med 100 % RF. Efter 2 veckor krossades tre skivor med hammare och placerades i burkar tillsammans med ekbitar. Resterande skivor flyttades till en behållare med 97 % RF och efter 4 veckor så skapades ytterligare tre burkar med betongbitar i. Resten av skivorna flyttades till en behållare med 85 % RF och efter fyra veckor ytterligare

skapades tre nya burkar medan resterande skivor flyttades till en behållare med 75 % RF. Efter fyra veckor skapades de sista tre burkarna med betongbitar i.

När burkarna var klara fotograferades de på en specifik plats i klimatrumsrummet med specifika kamerainställningar. Detta upprepades efter två respektive fyra månaders exponering. Under exponeringstiden erhöles ingen missfärgning i ekbitarna som kan hänföras till emissioner av ammoniak oavsett RF. Däremot fanns det en viss påverkan från fukt, där ekbiten som utsattes för 100 % RF och ingen betong mörknade en aning mellan första och andra fotograferingen. I burkarna med betong noterades inte att ekbiten mörknade, vilket kan tyda på att RF varit något lägre i burkarna med betong.

3.2.2 Serie L (Bascement, kvartsitballast, vatten och flytmedel utan kvävehaltiga ämnen, uppskattat kväveinnehåll < 0,0005 vikt%)

Serie L 75% RF



Foto 11. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 75 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF, fyra veckor i 85 % RF samt fyra veckor i 75 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placeras i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med L för serien med Bascement och D för 75 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 75 % RF (burken längst till höger namnad ref LD). Därefter tas den övre bilden i Foto 11. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning.

Serie L 85%

Foto 12. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 85 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF och fyra veckor i 85 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med L för serien med Bascement och C för 85 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 85 % RF (burken längst till höger namnad ref LC). Därefter tas den övre bilden i Foto 12. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras på ekbitarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbitarna.

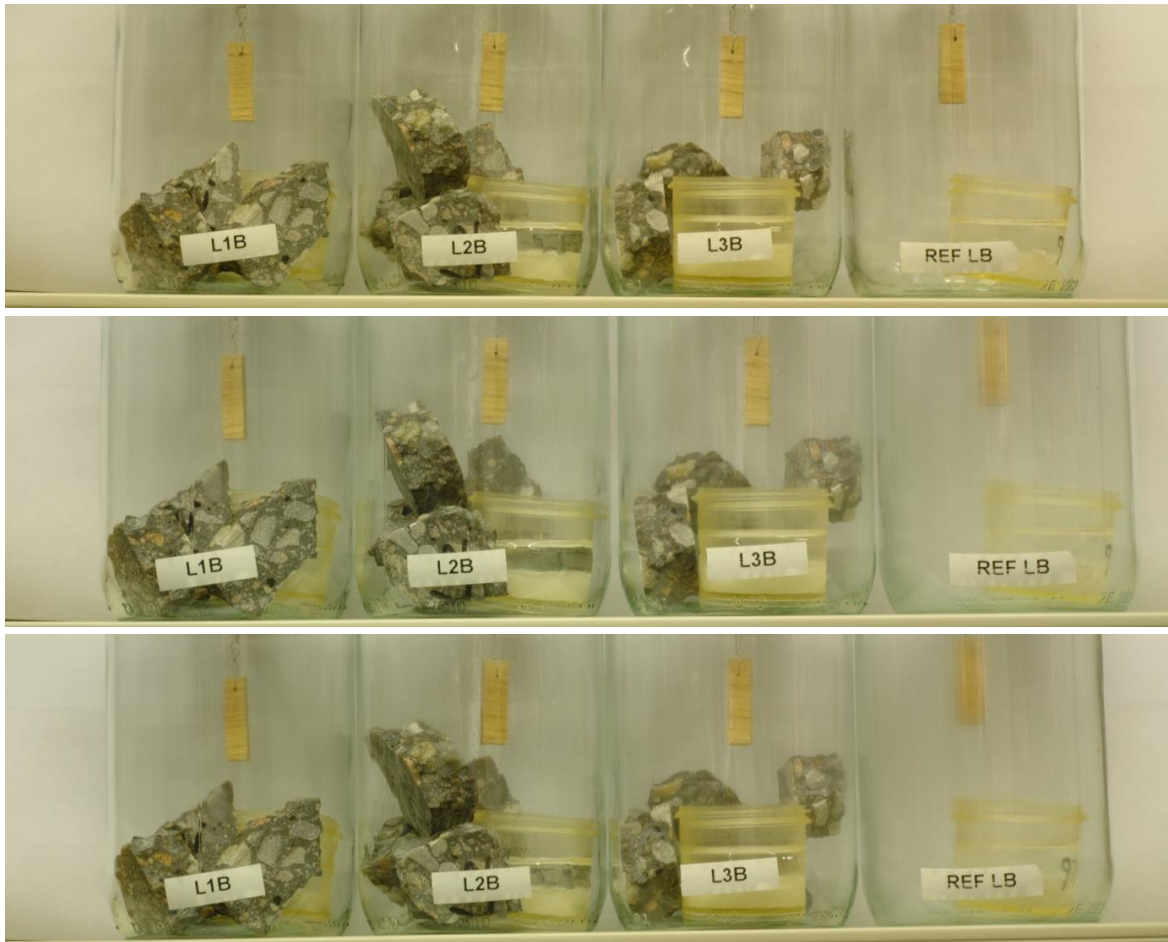
Serie L 97% RF

Foto 13. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 97% RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF och fyra veckor i 97 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med L för serien med Bascement och B för 97 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 97 % RF (burken längst till höger namnad ref LB). Därefter tas den övre bilden i Foto 13. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbitarna.

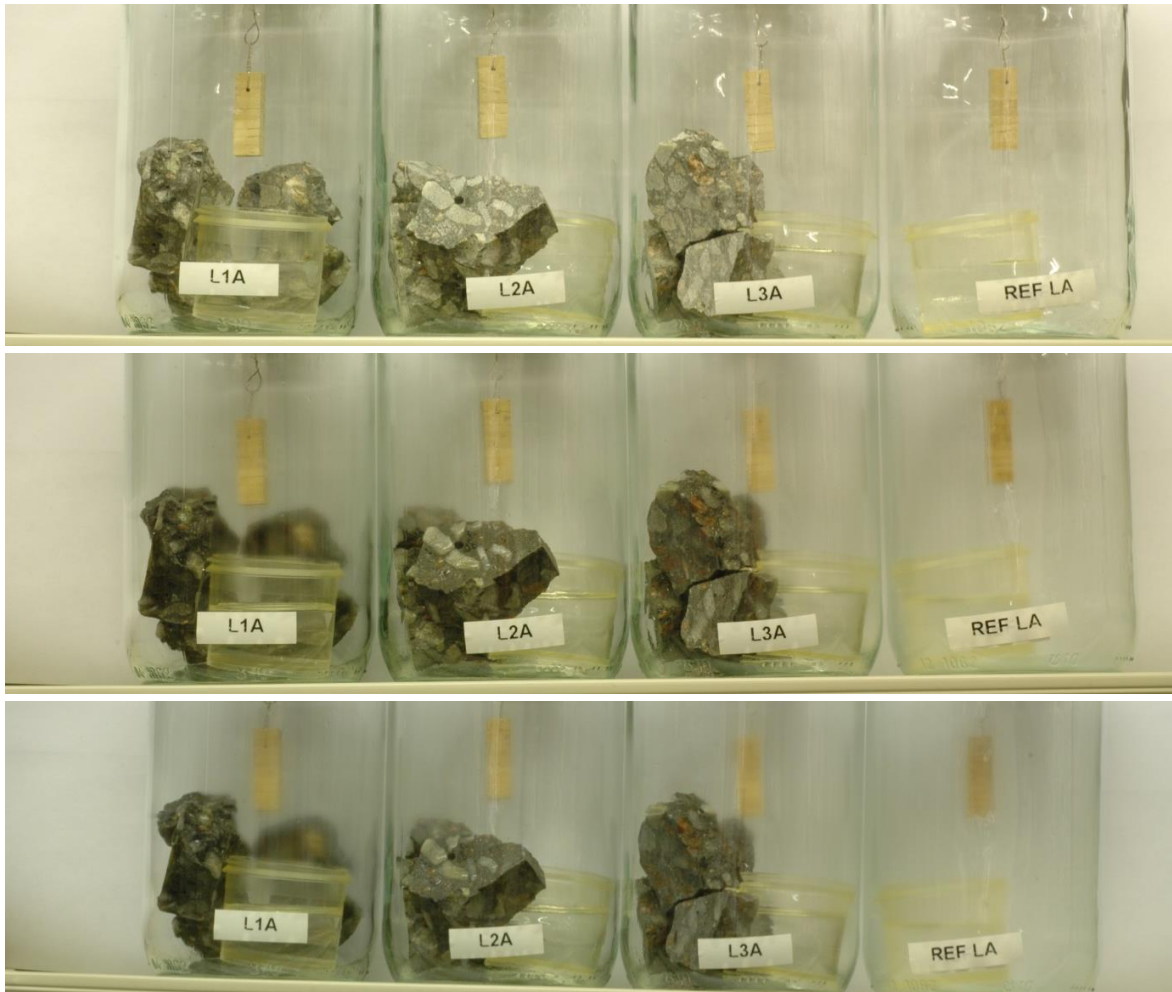
Serie L 100% RF

Foto 14. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart vatten motsvarande 100% RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med L för serien med Bascement och A för 100 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 100 % RF (burken längst till höger namnad ref LA). Därefter tas den övre bilden i Foto 14. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras i ekbitarna i burkarna med betong medan ekbiten i burken med enbart vatten har mörknat en aning. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och ingen skillnad i färg kan urskiljas hos någon av ekbitarna jämfört med bilden tagen efter två månaders exponering.

Serie L (uppskattat kväveinnehåll <0,0005 vikt%)– Sammanfattning

Tre stycken cylindrar ($\phi 100$, $l=200$) göts av Bascement, kvartsitballast, vatten och flytmedel utan kvävehaltiga ämnen. Efter en veckas vattenlagring sågades cylindrarna i 20 mm skivor och placerades i en behållare med 100 % RF. Efter 2 veckor krossades tre skivor med hammare och placerades i burkar tillsammans med ekbitar. Resterande skivor flyttades till en behållare med RF 97 % och efter 4 veckor så skapades ytterligare tre burkar med betongbitar i. Resten av skivorna flyttades till en behållare med 85 % RF och efter fyra veckor ytterligare skapades tre nya burkar medan resterande skivor flyttades till en behållare med 75% RF. Efter fyra veckor skapades de sista tre burkarna med betongbitar i.

När burkarna var klara fotograferades de på en specifik plats i klimatrummet med specifika kamerainställningar. Detta upprepades efter två respektive fyra månaders exponering. Under exponeringstiden erhöles inga färgskiftningar i ekbitarna som kan hänföras till emissioner av ammoniak oavsett RF. Däremot fanns det en viss påverkan från fukt, där ekbiten som utsattes för 100 % RF och ingen betong mörknade en aning mellan första och andra fotograferingen. I burkarna med betong noterades inte att ekbiten mörknade, vilket kan tyda på att RF varit något lägre i burkarna med betong.

3.2.3 Serie M (bascement, flygaska, vatten, kvartsitballast och flytmedel utan kvävehaltiga ämnen, uppskattat kväveinnehåll <0,002 vikt%)

Serie M 75% RF



Foto 15. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 75% RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF, fyra veckor i 85 % RF samt fyra veckor i 75 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placeras i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med M för serien med Bascement och flygaska och D för 75 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placeras en ekbit i en burk utan betong men med 75% RF (burken längst till höger namnad ref MD). Därefter tas den övre bilden i Foto 15. Efter två månader tas mittenbilderna och efter ytterligare två månader tas den undre

bilden. Tyvärr har exponeringen av dessa bilder inte blivit lika trots samma handhavande som för övriga serier men ekbitarna har inte blivit missfärgade.

Serie M 85%

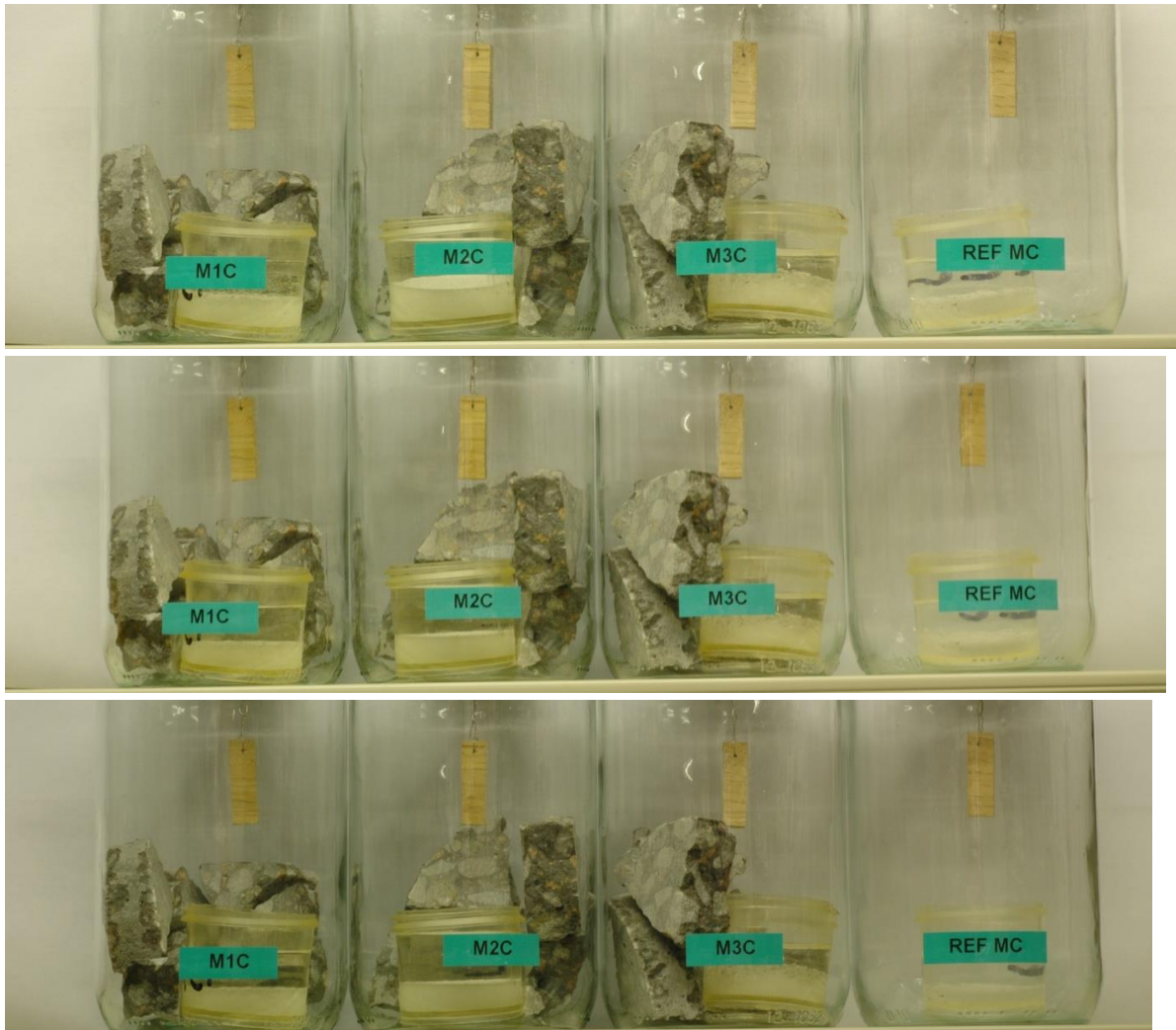


Foto 16. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 85% RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF och fyra veckor i 85 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med M för serien med Bascement och flygaska och C för 85 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 85 % RF (burken längst till höger namnad ref MC). Därefter tas den övre bilden i Foto 16. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras på ekbitarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbitarna.

Serie M 97% RF

Foto 17. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 97 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF och fyra veckor i 97 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med M för serien med Bascement och flygaska och B för 97 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 97 % RF (burken längst till höger namnad ref MB). Därefter tas den övre bilden i Foto 17. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras på ekbitarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning på ekbitarna.

Serie M RF 100 %

Foto 18. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart vatten motsvarande 100%.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med M för serien med Bascement och flygaska och A för 100 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 100 % RF (burken längst till höger namnad ref MA). Därefter tas den övre bilden i Foto 18. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras i ekbitarna i burkarna med betong medan ekbiten i burken med enbart vatten har mörknat en aning. Det är kondens i alla burkarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och samma tendens kan urskiljas. Ekbiten exponerad för bara vatten har mörknat ytterligare.

Serie M (uppskattat kväveinnehåll <0,002 vikt%)– Sammanfattning

Tre stycken cylindrar ($\phi 100$, $l=200$) göts av Bascement, flygaska, kvartsitballast, vatten och flytmedel utan kväveinnehåll. Efter en veckas vattenlagring sågades cylindrarna i 20 mm skivor och placerades i en behållare med 100 % RF. Efter 2 veckor krossades tre skivor med hammare och placerades i burkar tillsammans med ekbitar. Resterande skivor flyttades till en behållare med 97 % RF och efter 4 veckor så skapades ytterligare tre burkar med betongbitar

i. Resten av skivorna flyttades till en behållare med 85 % RF och efter fyra veckor ytterligare skapades tre nya burkar medan resterande skivor flyttades till en behållare med 75 % RF. Efter fyra veckor skapades de sista tre burkarna med betongbitar i.

När burkarna var klara fotograferades de på en specifik plats i klimatrummet med specifika kamerainställningar. Detta upprepades efter två respektive fyra månaders exponering. Under exponeringstiden erhöles inga färgskiftningar i ekbitarna som kan hänföras till emissioner av ammoniak oavsett RF. Däremot fanns det en viss påverkan från fukt, där ekbiten som utsattes för 100 % RF och ingen betong mörknade en aning mellan första och andra fotograferingen. I burkarna med betong noterades inte att ekbiten mörknade, vilket kan tyda på att RF varit något lägre i burkarna med betong.

3.2.4 Serie N (Bascement, vatten, kvartsitballast och flytmedel med kvävehaltiga ämnen, uppskattat kväveinnehåll <0,03 vikt%)

Serie N 75%

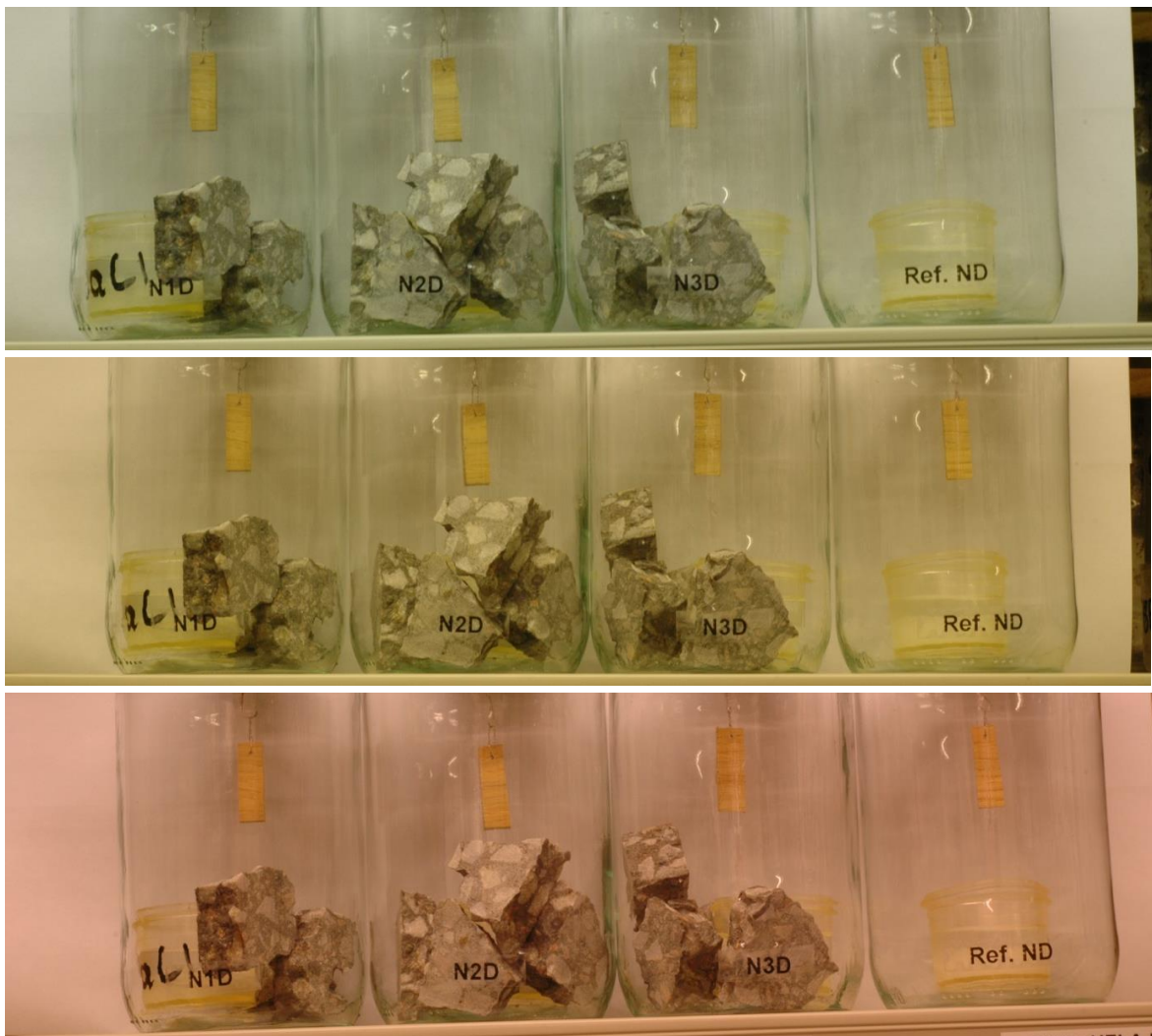


Foto 19. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 75% RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF, fyra veckor i 85 % RF samt fyra veckor i 75 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med N för serien med Bascement och flytmedel innehållande kväve och D för 75% RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 75% RF (burken längst till höger namnad ref ND). Därefter tas den övre bilden i Foto 19. Efter två månader tas mittenbilden och efter ytterligare två månader tas den undre bilden. Tyvärr har exponeringen av dessa bilder inte blivit lika trots samma handhavande som för övriga serier men ekbitarna har inte blivit missfärgade.

Serie N 85% RF

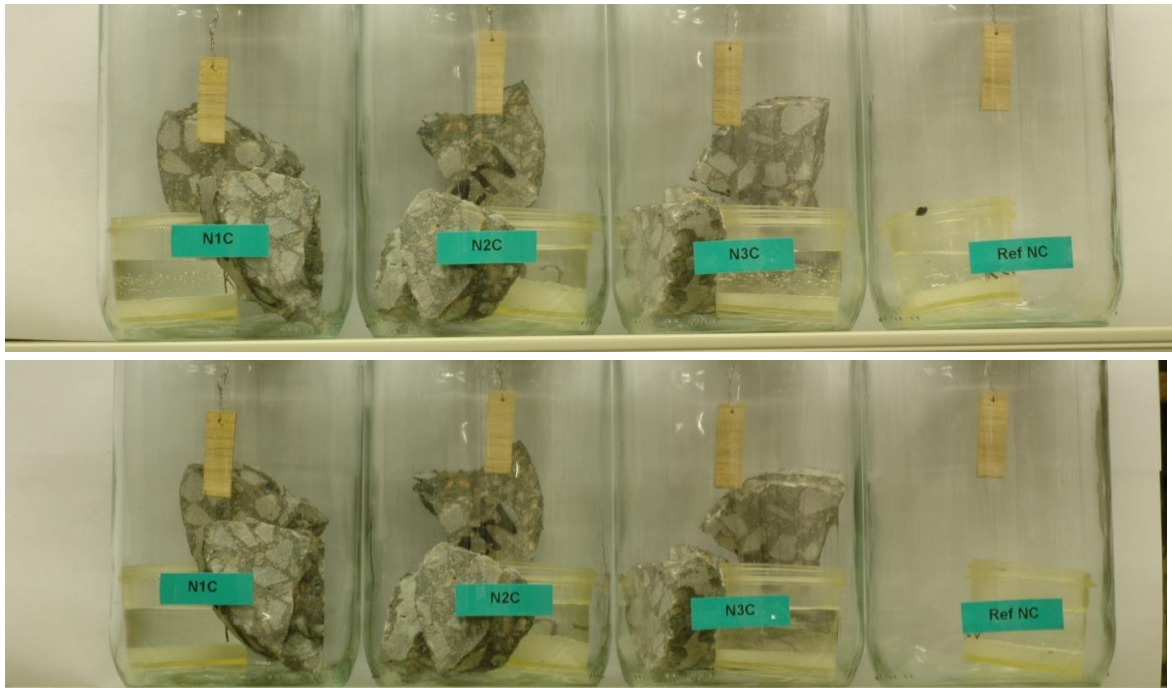


Foto 20. Övre bild direkt efter krossning, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 85 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF och fyra veckor i 85 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med N för serien med Bascement och flytmedel med kväve och C för 85 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 85 % RF (burken längst till höger namnad ref NC). Därefter tas den övre bilden i Foto 20. Efter fyra månader tas den undre bilden och inga missfärgningar kan observeras.

Serie N 97% RF

Foto 21. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 97 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF och fyra veckor i 97 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markeras med N för serien med Bascement och flytmedel med kväve och B för 97 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 97 % RF (burken längst till höger namnad ref NB). Därefter tas den övre bilden i Foto 21. Efter två månader tas mittenbilden och ingen missfärgning kan observeras men en påväxt finns nu på alla ekbitar och tydligast på ekbitar i burkar med betong. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och inte heller nu har det uppstått någon missfärgning medan påväxten blivit tydligare.

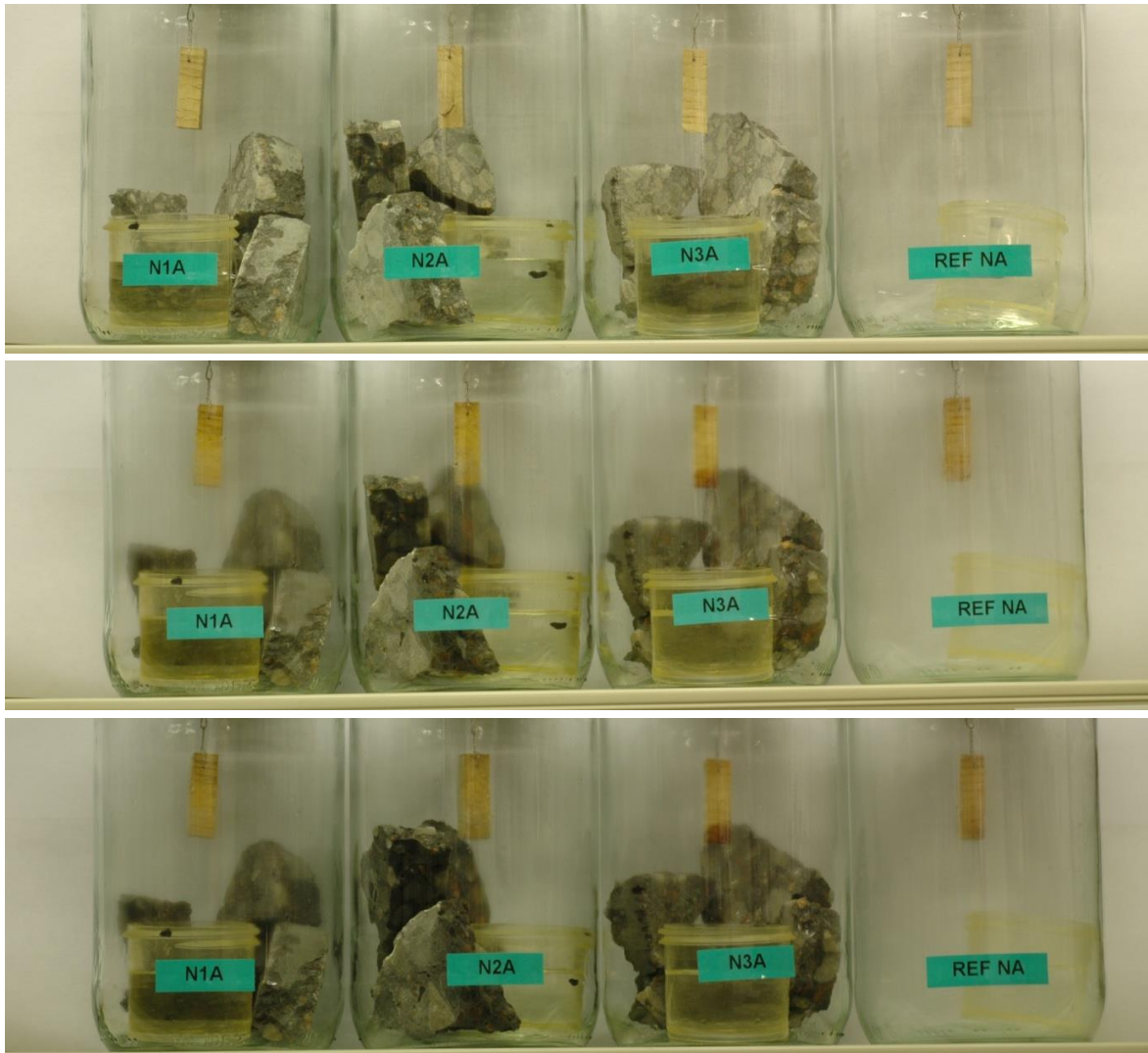
Serie N 100% RF

Foto 22. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart vatten motsvarande 100% RF.



Foto 23. Närbild på ekbit som exponerats för Bascement och flytmedel med kvävehaltiga ämnen i två månader. Tydlig mögelpåväxt men ingen direkt missfärgning.



Foto 24. Närbild på ekbit som exponerats för Bascement och flytmedel med kvävehaltiga ämnen i två månader. Tydlig mögelpåväxt och missfärgning främst i den undre delen av provet.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med N för serien med Bascement och flytmedel med kvävehaltiga ämnen och A för 100 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 100 % (burken längst till höger namnad ref NA). Därefter tas den övre bilden i Foto 22. Efter två månader tas mittenbilden. Då har alla ekbitar fått påväxt. Även viss missfärgning kan observeras på delar av ekbitarna. Det är tydligast på bitarna tillsammans med betong. Det är kondens i alla burkarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och samma tendens kan urskiljas. Ekbiten exponerad för bara vatten har mörknat ytterligare.

Serie N (uppskattat kväveinnehåll <0,03 vikt %)- Sammanfattning

Tre stycken cylindrar ($\phi 100$, $l=200$) göts av Bascement, kvartsitballast, vatten och flytmedel med kvävehaltiga ämnen. Efter en veckas vattenlagring sågades cylindrarna i 20 mm skivor och placerades i en behållare med 100 % RF. Efter 2 veckor krossades tre skivor med hammare och placerades i burkar tillsammans med ekbitar. Resterande skivor flyttades till en behållare med 97 % RF och efter 4 veckor så skapades ytterligare tre burkar med betongbitar i. Resten av skivorna flyttades till en behållare med 85 % RF och efter fyra veckor ytterligare

skapades tre nya burkar medan resterande skivor flyttades till en behållare med 75% RF. Efter fyra veckor skapades de sista tre burkarna.

När burkarna var klara fotograferades de på en specifik plats i klimatrummet med specifika kamerainställningar. Detta upprepades efter två respektive fyra månaders exponering. Under exponeringstiden erhöles inga färgskiftningar i ekbitarna som kan hänföras till emissioner av ammoniak för 75% RF och 85% RF. För 97 % RF och 100 % RF erhöles påväxt redan efter en månad och denna fortsatte utvecklas under försökets gång. Viss missfärgning kunde också observeras på undersidan och/eller nedre delen av ekbiten. Missfärgningar kunde också observeras i sprickor. Dessa missfärgningar liknar inte alls de som erhöles under förförsöken med ammoniaklösning. Ekbitarna som inte utsattes för betong erhöles också påväxt men inte alls i lika hög grad som ekbitarna i burkar med betong.

3.2.5 Serie P (Bascement, vatten, kvartsitballast, flygaska, ammoniumsulfat, uppskattat kväveinnehåll <0,025 vikt%)

Serie P 75% RF

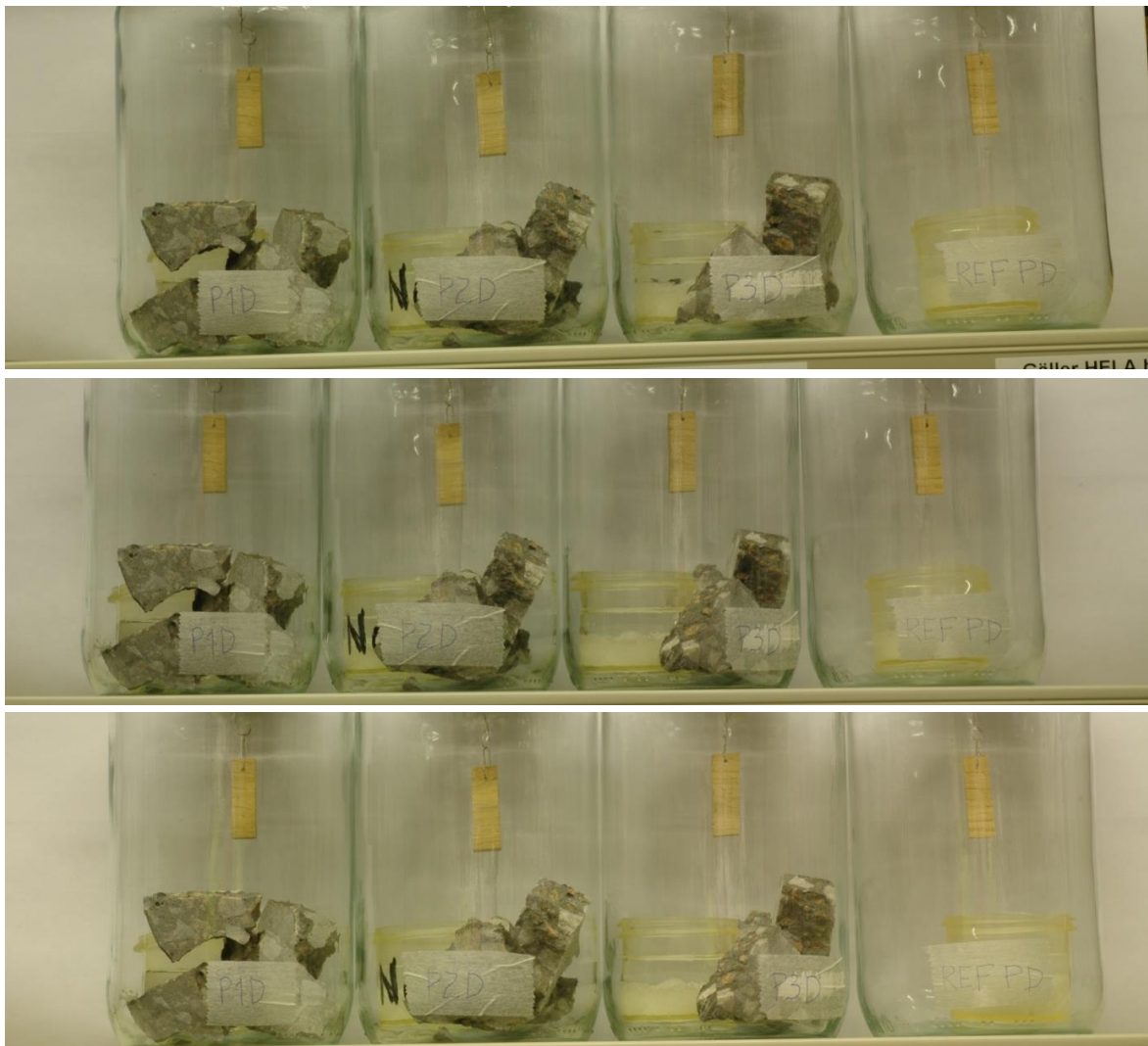


Foto 25. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 75 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF, fyra veckor i 85 % RF samt fyra veckor i 75 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med P för serien med Bascement, flygaska och ammoniumsulfat och D för 75 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 75% RF (burken längst till höger namnad ref PD). Därefter tas den övre bilden i Foto 25. Efter två månader tas mittenbilden och efter ytterligare två månader tas den undre bilden. Under dessa fyra månader har inte ekbitarna påverkats.

Serie P 85% RF



Foto 26. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 85 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF, fyra veckor i 97 % RF och fyra veckor i 85 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med P för serien med Bascement, flygaska och ammoniumsulfat och C för 85% RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 85% RF (burken längst till höger namnad ref PC). Därefter tas den övre bilden i Foto 26. Efter två månader tas mittenbilden och efter ytterligare två månader tas den undre bilden. Under dessa fyra månader har inte ekbitarna påverkats.

Serie N 97% RF

Foto 27. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart saltlösning motsvarande 97 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF och fyra veckor i 97 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med P för serien med Bascement, flygaska och ammoniumsulfat och B för 97 % RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med 97 % RF (burken längst till höger namnad ref PB). Därefter tas den övre bilden i Foto 27. Efter två månader tas mittenbilden och en antydning till missfärgning kan observeras. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och missfärgningen har blivit något tydligare.

Serie P 100% RF



Foto 28. Övre bild direkt efter krossning, mittenbild efter två månader, undre bild efter fyra månader. Ref innehåller ingen betong utan enbart vatten motsvarande 100 % RF.

Efter att ha klimatiserats i två veckor i 100 % RF krossades tre skivor (med hammare) och placerades i var sin burk tillsammans med ekbitar. De markerades med P för serien med Bascement, flygaska och ammoniumsulfat och A för 100% RF samt ett löpnummer 1-3. Dessutom placerades en ekbit i en burk utan betong men med RF 100% (burken längst till höger namnad ref PA). Därefter tas den övre bilden i Foto 28. Efter två månader tas mittenbilden. Då har alla ekbitar mörknat betydligt. Det är tydligast på bitarna tillsammans med betong. Det är kondens i alla burkarna. Efter ytterligare två månader tas den undre bilden och missfärgningarna kvarstår.

Serie P – Sammanfattning

Tre stycken cylindrar ($\phi 100$, $l=200$) göts av Bascement, flygaska, kvartsitballast, vatten och ammoniumsulfat. Efter en veckas vattenlagring sågades cylindrarna i 20 mm skivor och placerades i en behållare med 100 % RF. Efter 2 veckor krossades tre skivor med hammare och placerades i burkar tillsammans med ekbitar. Resterande skivor flyttades till en behållare med 97 % RF och efter 4 veckor så skapades ytterligare tre burkar med betongbitar i. Resten av skivorna flyttades till en behållare med 85 % RF och efter fyra veckor ytterligare skapades

tre nya burkar medan resterande skivor flyttades till en behållare med 75% RF. Efter fyra veckor skapades de sista tre burkarna med betongbitar i.

När burkarna var klara fotograferades de på en specifik plats i klimatrummet med specifika kamerainställningar. Detta upprepades efter två respektive fyra månaders exponering. Under exponeringstiden erhöles ingen missfärgning i ekbitarna som kan hänföras till emissioner av ammoniak vid 75 % och 85 % RF. Ekbitarna som utsattes för 97 % RF erhöles antydning till missfärgning medan ekbitarna i 100 % RF mörknade betydligt. Detta tyder på att om denna typ av missfärgning skall ske krävs en hög relativ fuktighet och tillräckligt höga koncentrationer av flyktig ammoniak (vilket har varit fallet när ammoniumsulfat adderades). De emissioner av ammoniak som har uppstått bedöms i första hand vara primära emissioner dvs. emissioner som uppstår under den första tiden efter gjutning. Det kan vara så att vissa av emissionerna också är sekundära, där emissioner har uppstått genom att något kvävehaltigt material har brutits ned i betongen. Om detta är fallet kan undersökas på de burkar som har sparats för fortsatta studier.

4 Sammanfattande kommentarer

Emissioner av ammoniak och risk för missfärgning av ekbitar har undersökts för fyra olika betongsammansättningar som används för golvkonstruktioner och en sammansättning där ammoniumsulfat adderades. Undersökningarna har genomförts i upp till fyra månader efter gjutning för samtliga betongsammansättningar. De genomförda undersökningarna visar missfärgning av ekbitar endast förekom i ett fåtal av provningsserierna. Av de studerade betongsammansättningarna så är det bara när extra kvävehaltiga ämnen tillsätts i form av ammoniumsulfat, som ekbitarna missfärgas och då bara vid de högre RF nivåerna (>97 % RF).

Blandningen som innehöll ett kvävehaltigt tillsatsmedel hade högre uppskattat totalt kväveinnehåll än blandningen med tillsatt ammoniumsulfat. Ändå var det enbart två serier av den sistnämnda blandningen som missfärgade ekbitar. Alltså är inte totalmängden kväve som avgör om det skall bli missfärgningar under provningen utan hur bundet kvävet är. Då uppkommer frågan om det finns situationer då detta kväve kan 'aktiveras' och missfärga ekparkett?

De genomförda provningarna gjordes i upp till fyra månader efter gjutning. En osäkerhet är eventuella fortsatta emissioner av ammoniak efter fyra månader, där det finns uppgifter i litteraturen och från den i projektet genomförda sammanställningen av skadefall att emissioner av ammoniak har uppstått något år efter gjutning. Det kan vara så att det krävs en viss tid innan emissioner av ammoniak uppstår och att de fyra månader som undersökningar har genomförts under har varit för kort tid. För att undersöka om detta också kan vara fallet för de undersökta betongsammansättningarna har några burkar sparats för framtida studier.

En svårighet vid utvärdering av eventuellt påverkan hos eken från exponering för ammoniak är att bedöma grad av missfärgning. Även då noggrannhet har iakttagits vad gäller fotograferingen så att samma förhållande skulle gälla vid varje fotografering så lyckades inte detta fullt ut. Trots det så är det ändå tydligt då ekbitarna missfärgats jämfört när den inte gör det. I det fallet så syns även att ekbitarna som enbart utsatts för aktuellt RF inte missfärgats.

Resultaten från den genomförda undersökningen visar att det inte finns något som tyder på att "normala" betongsammansättningar som används för golvkonstruktioner i Sverige missfärgar ek under de förhållanden som undersökts i studien. Trots detta har missfärgningar uppstått i

en del golvkonstruktioner, vilket är svårt att förklara. Det finns flera möjliga förklaringar till detta, där några exempel är:

- Sammansättning av delmaterial har förändrats, där det i dagens betonger inte finns några delmaterial som kan brytas ned till ammoniak.
- Inverkan av byggtekniken, där den byggteknik som används i golvkonstruktioner med skador, har bidragit till att skadliga emissioner av ammoniak har uppstått.
- Inverkan från härdning, som kan ha bidragit till att skadliga emissioner av ammoniak har kunnat uppstå.

Ett nästa steg i att förstå varför missfärgningar trots allt sker ibland kan därför vara att bygga upp ett golv och se om missfärgning kan forceras fram för att se vilka förhållanden som krävs.

5 Referenser

Heidelberg Cement (2013), Teknisk beskrivning av Bascement, Nedladdad från:
http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/DDE7041C-8F39-49DB-8A6E-04D608F8BFDE/0/Bascement_25mars2013203624.pdf

Nilsson, L.-O. (1984), Fukt i flytspackel, *Fuktgruppen informerar 1984:1*, Fuktgruppen vid LTH, Lund, 1984.