

Chalmers tekniska högskola  
Institutionen för byggnadsmaterial

Publikation P-98:13  
Arb nr 583  
2:a upplagan

**TRANSPORTPROCESSER OCH REAKTIONER I BELAGDA BETONGGOLV**  
**- Olika faktorerers inverkan på emission från golvkonstruktioner**

**av**

**Anders Sjöberg**

**Göteborg i Mars 1999**

## Nyckelord

Alkali

Avjämningsmassa

Betong

Byggfuktfri betong

Emission

Fukt

Golvsystem

Limfukt

Limningsteknik

PVC-matta

Publikation P-98:13

ISSN 1104-893X

Institutionen för Byggnadsmaterial

Chalmers Tekniska Högskola

S-412 96 GÖTEBORG

Tel: 031-7721000, telefax 7722296, telex 2369 Chalbib S

## Förord

I denna licentiatuppsats slutredovisas projektet ”Beständighet och livslängd hos golvmaterial på betong – påverkan från underlaget”. Projektet har finansierats av BFR (Byggeforskningsrådet) och SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond).

Arbetet utfördes vid Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola med professor Lars-Olof Nilsson som huvudhandledare. Helene Wengholt Johnsson, NCC-Teknik, Göteborg, har varit biträdande handledare samt även stått för entreprenörsaspekter omkring frågeställningarna i arbetet.

Först och främst vill jag tacka mina handledare för det stöd och de värdefulla råd jag fått under arbetets gång. Jag vill också tacka mina arbetskamrater på Institutionen för byggnadsmaterial och alla andra som tagit sig tid att hjälpa mig och förklara saker jag inte kunnat, ingen nämnd ingen glömd.

Jag vill rikta ett särskilt varmt tack till Tekn. Dr. Olle Ramnäs, Kemisk Miljövetenskap, Chalmers. Olle har varit till ovärderlig hjälp dels som en läromästare när det gäller mätning av kolväten men även som en mentor vid övriga frågeställningar inom kemiområdet.

Slutligen vill jag tacka Alf Andersen, många av mätningarna i rapporten hade inte kunnat utföras utan hans hjälp. Tillsammans har vi tagit fram förbättrade mätmetoder vilket i många fall varit en förutsättning för de häri redovisade resultaten. Arbetet i labbet har aldrig varit tråkigt och långrandigt när Alf varit närvarande.

På grund av arbetets omfattning har jag försökt att författa rapporten med ett visdomsord i åtanke, jag har fått det av en mycket klok man här på Chalmers:

*So tell me quick and tell me true  
- or else I have no time for you!*

*Not how this study came to be  
- but what its news can do for me.*

*And if it is not meant for me  
- please tell me fast so I may flee!*

Göteborg i Januari 1998

Anders Sjöberg

FÖRORD .....	I
ABSTRACT .....	V
SAMMANFATTNING .....	VI
<b>1</b> INLEDNING .....	<b>1</b>
<b>1.1</b> Bakgrund .....	<b>1</b>
<b>1.2</b> Tidigare studier .....	<b>2</b>
<b>1.3</b> Syfte .....	<b>7</b>
<b>1.4</b> Avgränsning.....	<b>7</b>
<b>1.5</b> Hypotes .....	<b>8</b>
<b>1.6</b> Disposition .....	<b>9</b>
<b>2</b> MÄTMETODER.....	<b>11</b>
<b>2.1</b> Allmänt .....	<b>11</b>
<b>2.2</b> Fuktfördelning i betong.....	<b>12</b>
2.2.1 Mätinstrument.....	12
2.2.2 Mätmetod .....	13
2.2.3 Mätosäkerhet .....	15
<b>2.3</b> Alkali i betong .....	<b>16</b>
2.3.1 Mätinstrument.....	16
2.3.2 Mätmetod .....	17
2.3.3 Mätosäkerhet .....	19
<b>2.4</b> Kolväten i betong.....	<b>20</b>
2.4.1 Provtagningsutrustning .....	20
2.4.2 Provtagningsmetod .....	21
2.4.3 Analysutrustning.....	22
2.4.4 Analysmetod.....	23
2.4.5 Mätosäkerhet .....	25
<b>2.5</b> Emission från ytan .....	<b>26</b>
2.5.1 Provtagningsutrustning .....	26
2.5.2 Provtagningsmetod .....	27
2.5.3 Mätosäkerhet .....	27
<b>3</b> MATERIAL OCH PROVKROPPAR .....	<b>29</b>
<b>3.1</b> Allmänt .....	<b>29</b>
<b>3.2</b> Provkroppar .....	<b>30</b>
3.2.1 Allmänt.....	30
3.2.2 PF1 (Hinken) .....	30
3.2.3 PF2 (Cellplastformen).....	31
3.2.4 PF3 (Petriskålen).....	31
3.2.5 PF4 (Muggen).....	32
3.2.6 PF5 (Plattan).....	32
3.2.7 PF6 (Skålen) .....	33
<b>3.3</b> Betong .....	<b>34</b>
3.3.1 Material .....	34
3.3.2 Blandning .....	37
3.3.3 Gjutning.....	37

<b>3.4</b>	<b>Avjämningsmassa .....</b>	<b>39</b>
3.4.1	Material.....	39
3.4.2	Gjutning .....	40
<b>3.5</b>	<b>Golvlim .....</b>	<b>41</b>
3.5.1	Material.....	41
3.5.2	Limningsmetoder .....	44
<b>3.6</b>	<b>Matta .....</b>	<b>45</b>
<b>3.7</b>	<b>pH-lösning .....</b>	<b>48</b>
4	RESULTAT.....	49
<b>4.1</b>	<b>Mätplan .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2</b>	<b>Ytfukt (a).....</b>	<b>50</b>
4.2.1	RF och KMG på provbitar (a1).....	50
4.2.2	Mätning av ytfukt i kvarsittande rör (a2).....	55
<b>4.3</b>	<b>Alkali (b) .....</b>	<b>59</b>
4.3.1	Analys med EPMA (b1) .....	59
4.3.2	Analys med ICP-MS (b2) .....	64
4.3.3	pH-mätning med kombinationselektrod (b3).....	68
4.3.4	Indikering av pH-förändringar med fenolftalein (b4) .....	72
<b>4.4</b>	<b>Flyktiga kolväten i betongen (c) .....</b>	<b>75</b>
4.4.1	Migration ner i betong (c1).....	75
<b>4.5</b>	<b>Emission av kolväten (d).....</b>	<b>78</b>
4.5.1	Emission från matta och lim (d1).....	78
4.5.2	Inverkan av limningsmetod (d2).....	83
4.5.3	Inverkan av avjämningsmassa (d3) .....	87
4.5.4	Inverkan av limfukt (d4).....	92
4.5.5	Diffusion av kolväten genom mattan (d5) .....	96
5	ANALYS.....	99
<b>5.1</b>	<b>Limfukt.....</b>	<b>99</b>
5.1.1	Resultat från spräckta prover (a1).....	99
5.1.2	Resultat med kvarsittande prover (a2).....	101
5.1.3	Beräkning av inträngd fukt .....	103
5.1.4	Resultat från KMG - höjning av ytfukt (a1) .....	107
5.1.5	Slutsatser.....	109
5.1.6	Fortsatt forskning .....	111
<b>5.2</b>	<b>Alkali .....</b>	<b>112</b>
5.2.1	Alkalitransport (b1 & b2) .....	112
5.2.2	pH-mätning med kombinationselektrod (b3).....	115
5.2.3	Indikering av pH-förändringar med fenolftalein (b4) .....	117
5.2.4	Slutsatser.....	118
5.2.5	Fortsatt forskning .....	119
<b>5.3</b>	<b>Flyktiga kolväten i betongen (c1) .....</b>	<b>120</b>
5.3.1	Slutsatser.....	125
5.3.2	Fortsatt forskning .....	125
<b>5.4</b>	<b>Emission .....</b>	<b>127</b>
5.4.1	Emission från matta och lim (d1).....	127
5.4.2	Inverkan av limningsmetod (d2).....	143
5.4.3	Inverkan av avjämningsmassa (d3) .....	149
5.4.4	Inverkan av limfukt (d4).....	155

5.4.5	Diffusion av kolväten genom mattan (d5) .....	161
5.4.6	Jämförelse mellan försök från olika studier .....	167
5.4.7	Slutsatser .....	173
5.4.8	Fortsatt forskning .....	175
6	KVALITATIV MODELL.....	177
6.1	Allmänt .....	177
6.2	Normal husbyggnadsbetong.....	178
6.3	Byggfuktfri betong .....	180
6.4	Byggfuktfri betong med avjämningsmassa .....	182
7	FÄLTMÄTNINGAR AV KOLVÄTEN I BETONGEN .....	185
8	KONKLUSION OCH FORTSATTA STUDIER .....	190
9	REFERENSER.....	191

<b>Bilaga 1</b>	<b>Osäkerhet vid RF-mätning med elektriska instrument</b>
<b>Bilaga 2</b>	<b>Osäkerhet vid mätning av KMG</b>
<b>Bilaga 3</b>	<b>Osäkerhet vid mätning av kolväten</b>
<b>Bilaga 4</b>	<b>Temperaturvariationer i konstantrum</b>
<b>Bilaga 5</b>	<b>RF samt KMG på prover i undersökning a.1</b>
<b>Bilaga 6</b>	<b>Mätning av ytfukt med kvarsittande RF-prober i undersökning a2</b>
<b>Bilaga 7</b>	<b>Kvantifiering av ”alkaliprofiler” med EPMA i undersökning b1</b>
<b>Bilaga 8</b>	<b>Bilder av ”alkaliprofiler” undersökning b1</b>
<b>Bilaga 7</b>	<b>Kvantifiering av ”alkaliprofiler” med LA-ICP-MS i undersökning b2</b>
<b>Bilaga 10</b>	<b>Emission från matta och lim i undersökning d1</b>
<b>Bilaga 11</b>	<b>Emission vid olika limningsmetoder i undersökning d2</b>
<b>Bilaga 12</b>	<b>Emission vid olika avjämningsmassor i undersökning d3</b>
<b>Bilaga 13</b>	<b>Emission vid olika ”mängd limfukt” i undersökning d4</b>

## Abstract

The objective has been to increase the knowledge on one of the sources of hydrocarbons (VOCs) in indoor air: combinations of PVC-sheets and adhesives on concrete floor slabs. The studies included investigations of four parameters: surface moisture, distribution of alkali, hydrocarbons in concrete and emissions of hydrocarbons. Where measuring methods were lacking, new methods were developed. A small number of materials were part of a standard systems that were the base for the development of a model. These systems included various PVC-sheets and linoleum flooring, with and without adhesives. A limited number of water-borne adhesives and concretes with different properties was used. In a few cases levelling compounds were used in-between the flooring material and the concrete floor.

Decisive reactants are alkaline moisture and an alkali-sensitive organic material. The critical limit is between pH 11 and 13. When applying a water-borne adhesive the concrete surface receives a small contribution of moisture that increases the RH some 10 % at the surface. With a new measuring method this distribution of moisture could be measured close to the surface. The results from the investigations of the distributions of alkali showed a rise in alkali content close to the concrete surface due to the drying process.

The hydrocarbons penetrate deep into the concrete floor slab and remains there for a long time. Different hydrocarbons penetrate differently during a certain time. The course of emissions is also different for different hydrocarbons. Some are emitted earlier than others, probably because the flooring material has different tightness for different hydrocarbons.

Levelling compounds and linoleum flooring are two examples of products that give low rates of emission. Two other important parameters are the drying time for the concrete floor slab and the waiting-period when applying a water-borne adhesive.

A qualitative model containing all relevant processes has been established based on a physical understanding of the processes that interact in various combinations of flooring materials on concrete. The model is able to describe the performance of a number of applications: normal concrete floors and self-desiccating concrete floors, with and without levelling compounds.

## Sammanfattning

Syftet med denna studie har varit att öka kunskaperna om en av källorna till kolväten i inomhusluft, nämligen kombinationer av limmade PVC-mattor på undergolv av betong. Studien resulterade i en kvalitativ modell som bygger på en fysikalisk förståelse av förloppen som samverkar i olika kombinationer av golvmaterial på betong. Den är begränsad till att behandla de effekter som uppkommer av påverkan underifrån.

Modellen baseras på materialegenskaper som kan mätas. I de fall det inte fanns mätmetoder tillgängliga har sådana utvecklats. Ett litet antal material har ingått i de standardsystem som varit basen i utvecklingen av modellen. Dessa system har bestått av olika typer av PVC-matta och linoleummatta, som är löslagda eller limmade på underlaget. Ett begränsat urval av vattenbaserade dispersionslim och betonger med olika egenskaper har använts. I några fall har även ett mellanskikt av avjämningsmassa lagts mellan mattan och betongen.

Studien omfattade utredningar av fyra parametrar: ytfukt, alkalifördelning, kolväten i betong och emission av kolväten.

### Resultat – fukt

Vid limning får betongytan ett tillskott av limfukt som höjer RF ungefär 10 % i ytan. Med en ny mätmetod kunde denna fuktfördelning uppmätas strax under ytan. Insugningen gick fortast i byggfuktfri betong men djupast i normal husbyggnadsbetong. Omfördelningen och uttorkningen genom diffusion gick fortast i normal husbyggnadsbetong.

Uppmätta fuktfördelningar kunde också användas för att utvärdera hur mycket av limfukten som sugs in i betongen.

### Resultat alkali

Resultaten från undersökningarna av alkalifördelningen visar att det sker en alkalihöjning nära ytan på grund av betongens uttorkning. Spridningen i mätvärdena har dock varit för stor för att exakt avgöra under vilka förhållanden den sker. Karbonatisering av gipsbaserad avjämningsmassan sänker pH från ungefär 11 till 9.

### Resultat kolväten

Vid analysen har främst två kolväten studerats, 1-butanol och 2-etylhexanol. Kolvätena tränger långt in i betongen och kan bli kvar där länge. Hur mycket som tränger ner i betongen är bland annat beroende av exempelvis koncentrationen under mattan och betongens diffusivitet för det aktuella kolvätet. Sådana diffusionskoefficienter för betong utvärderades. Olika kolväten tränger in till olika djup på samma tid.

Kolväten som trängt in i betongen kan senare avgå från överytan om ytförhållanden ändras. Exempel på sådana förändringar är om mattan avlägsnas och betongytan slipas ren från limrester.



## **Resultat emission**

Det finns avgörande komponenter som måste finnas på samma plats vid samma tid för att nedbrytning skall ske. Dessa är alkalisk fukt (vatten och OH-joner) samt alkalikänsligt organiskt material (akrylatsampolymer). Tar någon av dessa slut slutar nedbrytningen. Kritiskt pH ligger mellan 11 och 13.

Emissionen har olika förlopp för olika kolväten. En del emitteras tidigare än andra. Detta beror antagligen på att mattan är olika tät mot olika kolväten. Förloppen kan generaliseras i tre faser med först en startfas då emissionen ökar. Under en stationär fas är emissionen konstant. Slutligen sker en avklingning med avtagande emission.

Materialvalet har avgörande betydelse för vilka nedbrytningsprodukter som bildas och hur de transporteras. Exempelvis är avjämningsmassa samt linoleum-matta gynnsamma produkter för att få låga emissioner. I det senare fallet verkar det dock som om det beror på att linoleum stänger inne reaktionsprodukterna.

Utförandet är viktigt för om det skall bli nedbrytning eller ej. Exempelvis är torktiden för betongen och väntetiden vid mattlimning viktiga parametrar.

## **Resultat fältmätningar**

Laboratorieresultaten har verifierats genom fältmätningar. Diffusionskoefficienter har tagits fram för transport av kolväten från emissionsskadade konstruktioner. De stämmer relativt väl överens med laboratoriedata.

## **Modell**

Resultaten från de fyra områdena har kombinerats till en kvalitativ modell som beskriver hur de hänger samman och hur olika golvkonstruktioner fungerar under olika betingelser.

## **Måluppfyllelse**

Kunskapen har, i högsta grad, ökat om mekanismerna i de ingående processerna som ger upphov till emission. Flera av processerna har också kvantifierats genom att mätmetoder använts och utvecklats där de saknades.

En kvalitativ modell som innehåller alla relevanta delprocesser har formulerats som kan beskriva olika tillämpningar: normal husbyggnadsbetong, byggfuktfrifri betong med och utan avjämningsmassa.

En del kvarstående kunskapsbrister som identifierats och kvantifierats är ibland osäkra på grund av mätmetodens onoggrannhet.

Det verkar dock fullt möjligt att utreda kvarstående frågetecken, åstadkomma säkrare mätmetoder och utveckla en modell som ger kvantitativt konkreta prognoser som underlag för materialval.



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Förändrade tekniska, estetiska och ekonomiska krav på byggnader resulterar i att nya material fortlöpande introducerats inom byggandet. För att möta de ekonomiska kraven har även bygghastigheten ökat. Gamla beprövade material används ibland i nya kombinationer där de påverkas på sätt som de inte tidigare gjort. De nya materialen används ofta som likvärdiga något material i en beprövad materialkombination. I takt med att nya material börjar användas uppstår dock nya typer av problem. Man löser ett problem genom att införa nya material, men ofta skapar man nya problem eftersom det saknas grundläggande förståelse av de faktorer som ger problemen.

På senare tid har begreppet ”sjuka-hus-sjukan” kommit till användning allt oftare. Det handlar om människor som inte mår bra när de befinner sig i vissa lokaler. Symptomen kan vara huvudvärk, torra slemhinnor och trötthet. Läkarna kan inte ge en orsak till ”sjukdomen” men det ligger nära till hands att tro att det är något hos byggnaden som dessa människor inte mår bra av. Det är svårt att peka på vilka faktorer i inomhusmiljön eller hos byggnaden som är orsaken, men mycket tyder på att vissa ämnen i luften påverkar dessa människor. Det är dock svårt att avgöra vilka ämnen eller vilken kombination av ämnen som är skadlig. Istället tillämpas försiktighetsprincipen vilket innebär att källorna till kemiska ämnen i luften minimeras. På så sätt finns det färre ämnen och lägre halt av dessa ämnen som människorna i byggnaden exponeras för.

Denna studie belyser en av dessa källor till kolväten i luften inomhus, nämligen kombinationer av limmade PVC-mattor på undergolv av betong. Denna konstruktion orsakar ibland sensoriska problem som exempelvis avvikande lukt. Det förekommer också rent tekniska problem som minskad limverkan och bubblor på mattan. Vi vet inte med säkerhet om människor mår dåligt under dessa förhållanden. Mycket tyder dock på att det förekommer hälsoproblem i byggnader med dessa avvikelser.

Byggbranschen försöker dock undvika problemen genom att sätta gränsvärden för viktiga parametrar varefter kunskapen kommer fram. Till exempel finns det föreskrivna gränsvärden för fuktnivån i betongen samt informella gränsvärden för emission från lågemitterande byggmaterial.

## 1.2 Tidigare studier

Flera studier har tidigare gjorts för att beskriva emissionen från golv-kombinationer med limmad PVC-matta på betong. I Wengholt Johnsson (1995) görs en sammanställning av de viktiga studierna på området före 1995. Sammanställningen i denna rapport tar därför bara med de viktigaste undersökningar och rapporter som publicerats under tidsperioden 1995 – 1998 och behandlar alkalisk hydrolys av golvmaterial.

Några av studierna som beskrivs nedan går in på bakomliggande orsaker medan andra utvidgar kombinationerna att innehålla fler komponenter, såsom avjämningsmassa och olika typer av mattor. I sammanställningen av tidigare studier har också tagits med rapporter där det aktuella kunskapsläget sammanställts och utvärderats.

### **Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning**

Wengholt Johnsson (1995) studerade emissionen från 19 olika provkroppar. Provkropparna bestod av materialkombinationer av ”normal” husbyggnadsbetong ( $v_{ct}=0,66$ ) eller byggfuktfri betong ( $v_{ct}=0,42$ ) som göts i rostfria skålar med 200 mm diameter. Betongen fick torka till olika fuktnivåer innan matta limmades på provkropparna. Några provkroppar innehöll ett skikt avjämningsmassa mellan betong och matta.

Studien visade att hög emission av butanol och 2-etylhexanol uppstod då matta limmades på normal betong med 95% RF (relativ fuktighet) på karakteristiskt djup, det vill säga på det djupet som har en fuktnivå som motsvarar nivån hela betong får då fukten utjämnats efter mattan limmats. Hög emission uppstod också då matta limmades på byggfuktfri betong med 85 % RF på karakteristiskt djup. Emissionen var låg eller ej detekterbar då matta limmats på provkroppar av byggfuktfri betong som belagts med avjämningsmassa samt på provkroppar av normal husbyggnadsbetong med RF mindre eller lika med 91 % RF.

I studien undersöktes också egenemission (kolväten inklusive formaldehyd) från betong med olika tillsatsämnen och avjämningsmassor med och utan tillsatsämnen. Egenemissionen från betongerna var låg. Avjämningsmassa med melaminbaserat tillsatsmedel emitterade höga halter kolväten inklusive formaldehyd, en till några veckor efter gjutning. Avjämningsmassa utan tillsatsmedel emitterade höga halter kolväten förutom formaldehyd.

I några golvsystem utfördes även en analys av alkalihalten i betong och avjämningsmassa med SEM (svepelektronmikroskop) sammankopplat med EDS (energidispersiv analysutrustning). Mätningarna visade förhöjd halt i betongens yta. Halten av kaliumoxid var flera gånger högre de översta 2 mm i betongens yta samt 2 mm i betongen precis under avjämningsmassan. Halten i avjämningsmassan var lägre än basnivån i betongen.

## **Kemisk emission från golvlím på betong – effekt av olika fukt- och alkalispärrar**

Fritsche (1996) studerade emissionen från 11 olika provkroppar. Provkropparna bestod av lim och eventuellt spärrskikt på normal husbyggnadsbetong ( $v_{ct}=0,66$ ) eller byggfuktfri betong ( $v_{ct}=0,42$ ) som göts i rostfria skålar med 200 mm diameter. Ingen matta applicerades för att korta tiden från limning till mätning. Spärrskikten bestod av olika sorters avjämningsmassa samt mineraliska och organiska "alkalispärrar". Vid mätningen användes aktivt kol som adsorbent istället för TENAX TA som är vanligast vid den här typen av mätningar. Jämförande mätningar visade dock god överensstämmelse mellan dessa adsorbenter.

Studien visade att emissionen var lägre från de provkroppar där spärrskikt använts. Emissionen från provkroppen med lim på byggfuktfri betong var lägre än från den med normal husbyggnadsbetong. Mätningar av egenemissionen från limmet direkt ur burken visade att limmet även i onedbrutet tillstånd avger butanol och etylhexanol. Dessa kolväten förekommer vanligtvis som nedbrytningsprodukter vid alkalisk hydrolys av golvbeläggningar.

## **Golvmaterial på olika typer av fuktiga betonggolv – översikt och kommentarer till undersökningar med inriktning på kemisk nedbrytning och emission**

Gustafsson (1996) presenterade och sammanställde fem svenska laboratoriestudier där provkropparna som gemensam faktor bestått av betong som belagts med olika kombinationer med avjämningsmassa, vattendispergerat lim och PVC-matta. I samtliga fall hade normal husbyggnadsbetong och byggfuktfri betong gjutits i skålar av rostfritt stål. PVC-matta har limmats på betongen efter att den torkat till olika fuktnivåer.

Gustafsson (1996) beskriver att samtliga fem studier visar att:

- Golvbeläggning på fuktiga underlag, framförallt betong, medför risk för kemisk nedbrytning av limskikt och matta.
- Hög RF i underlaget ökar generellt risken för förhöjd samt förändrad emission.
- Underlag av lågalkalisk avjämningsmassa ger generellt lägre emission från golvkonstruktionen är motsvarande prover med enbart betong. Denna skillnad är tydligast vid höga fuktnivåer
- Emissionen utgörs huvudsakligen av nedbrytningsprodukter från golvlímmet.

Gustafsson (1996) skriver att resultaten från studierna visar också att limmets sammansättning har betydelse för vilka ämnen som emitteras. De höga emissionsnivåer som har uppmätts i några av studierna kan delvis förklaras av limningsteknik och mängd påfört lim.

## **Kemisk emission från golvsystem av limmad PVC-matta på självtorkande betong – inverkan av limningsteknik, torkförlopp samt cement-, lim- och mattyper**

Fritsche *et al* (1997) studerade emissionen från 10 olika provkroppar, som bestod av PVC-matta, vattendispergerat lim och byggfuktfri betong ( $v_{ct}=0,42$ ).

Torktiden, den tid som betongytan var exponerad mot luft innan limning, varierades. Mattan limmades med olika limningsmetoder samt med olika torktid. Det gjordes även försök där betongen baserades på anläggningscement med låg alkalihalt.

Studien visade att emissionen blev störst vid så kallad våtlimning, då mattan trycks fast omedelbart efter att limmet spridits på betongen. Lägst emission uppkom då mattan häftlimmades, det vill säga att mattan lades ner i det våta limmet och togs genast upp igen. Limmet fick sedan torka så länge att bara klibb kvarstod innan mattan slutligen trycktes fast på betongen. Provkropparna med lång torktid och lågalkaliskt cement gav också låga emissioner.

Studiens slutsats är att följande rekommendationer för att minska risken för hög kemisk emission kan ges:

- Löslägg mattan för att slippa fukttillskottet från limmet.
- Avjämna byggfuktfri betong med avjämningsmassa, kombinerat med ett betongunderlag som är tillräckligt uttorkat. I en avjämningsmassa baserad på aluminatcement är alkalihalten låg och det finns en fuktkapacitet så att limfukten kan fördelas.
- Använd lång väntetid vid limning för att minska fukttillskottet från limmet. Jämfört med de två första alternativen är detta en osäkrare metod.

## **Alkalitetsmätning av golvavjämningsmassa utsatt för påskjutande alkalitet**

Björk och Eriksson (1997) studerade avjämningsmassans alkalibuffrande förmåga. Provkropparna som användes var ”brödbackar” som fylldes med 20 cm husbyggnadsbetong ( $v_{ct}=0,55$ ). Efter att betongen konditionerats till 95 %, 90 % respektive 80 % RF göts 10 mm avjämningsmassa av tre olika sorter på ytan. PVC-matta limmades med ett vattendispergerat lim efter 1 vecka. Mätning av alkaliteten skedde på tre olika nivåer i avjämningsmassan samt i betongen 1, 6 samt 12 månader efter mattläggning. Jämförande provserier på avjämningsmassa som gjutits i petriskålar utfördes som referens. Provtagningen skedde på två olika sätt, porpressning av bitar samt uttagning av kax från borrhål. Analysen gjordes med pH elektrod samt med titrering av saltsyra mot indikator metylorange som har omslagsområde omkring  $pH = 3$ . Mätning av natrium och kaliumjoner utfördes på utborrade prover med flamjonisationsspektroskopi.

Studien visade att :

- De studerade avjämningsmassorna inte tillåter alkalisk fukt att transporteras från betongen till området under mattan.
- Betongens RF på karakteristiskt djup vid läggning av avjämningsmassa har ingen avgörande betydelse för alkalivandring.
- Karbonatisering innan mattläggning sänker alkaliteten i avjämningsmassan

- Enkel eller dubbelsidig uttorkning påverkar inte alkalivandringen från betong till avjämningsmassan nämnvärt
- Titring med metylorange som indikator är ingen bra metod att mäta alkalitet i utpressat porvatten från avjämningsmassa då den inte detekterar karbonatisering korrekt.

### **Betong för sunda golv – fuktdimensionering, materialval och produktion**

Svenska Betongföreningen (1997) kan ses som en sammanställning av kunskapsläget år 1996-97. Rapportens huvudtext behandlar problemet med kombinationen ytmaterial och fukt i betonggolv. Där ges inledande begreppsbestämning och praktiska råd vid val av betongkvalitet och vid val av ytmaterial. Ett avsnitt i rapporten handlar även om produkttekniska egenskaper. I appendix behandlas frågor som Inomhusmiljö och emissioner. Där beskrivs exempelvis kemiska ämnen i inomhusluften och betongens inverkan i kombination med andra material. Vidare behandlas konstruktionsaspekter, fuktdimensionering, fukt- och emissionsmätning samt referensobjekt.

### **Alkalisk nedbrytning av golvkomponenter**

Björk och Eriksson (1998) har brutit ned 20 vanliga komponenter i golvmatta och golvlīm. Komponenterna som undersöktes var exempelvis mjukgörare i PVC, fem olika polymerdispersioner, primer, klibbgivare, PVC-polymer och förtjockare. Komponenterna lades på en alkalisk bädd i ett provrör. Bäd- den bestod av aluminiumoxid och hade preparerats med natriumhydroxid så att pH-värdet blev antingen 11 eller 13. Fuktigheten i bäd- den hölls konstant genom att små behållare med saltlösningar placerats i provrören. Fuktnivåerna i prov- rören var 75, 95 eller 100 % RF . Sammanlagt analyserades 120 kombinationer.

Analysen av kolväten i luften i provröret skedde efter ungefär 5 månader för provrören med 75 och 100 % RF. På grund av funktionsproblem med analysutrustningen skedde analysen av provrören med 95 % RF efter ungefär 10 månader. Provtagnings- och analysmetoden provades ut på några av proven för provtagning med SPME (solid phase microextraction) och efterföljande analys med GC-MS. Provtagningen med SPME var för arbetskrävande så metoden ändrades. Provtagningen utfördes på alla prover med automatisk headspace- injektor och efterföljande analys med GC-MS.

Undersökningen visade att:

- Fukt och alkaliniteterna påverkar nedbrytningen av vissa ingående komponenter.
- Delkomponenterna uppvisar kraftigt varierande motståndskraft mot fukt/alkalisk nedbrytning.
- För flera av komponenterna medförde en ökning av alkaliteten en kraftigt ökning av nedbrytningsprodukter trots att den relativa fuktigheten hölls på en i sammanhanget låg nivå.

## **Betong i byggninger**

### **– en vurdering av konsekvenser for inneklima og helse**

Blom (1998) studerade emissionen från 152 provkroppar. Provkropparna bestod av matta, lim, olika spärrskikt samt sju olika betongkvaliteter. I studien användes två olika PVC-mattor och fyra olika lim varav ett försökslim med låga emissionsvärden. Limmet fick namnet CascoProff Solid då det senare under 1998 lanserades på marknaden. Som spärrskikt användes fyra olika avjämningsmassor och två fuktspärrar. Fuktspärrarna var baserade på vattenglas respektive epoxi. Betongkvaliteterna hade olika vct och olika mängder av tillsatsmedel. Vct varierade från 0,74 (normal husbyggnadsbetong) till vct=0,39 (byggfuktfri betong).

Provtagningarna vid emissionsmätningarna gjordes med CLINPAQ istället för med FLEC som numera är vanligast vid den här typen av mätningar. Studien visade på att de lim som används kommersiellt kan ge lukt i rumsluften första halvåret och att det som emitterar från systemet i hög grad är butanol, 2-etylhexanol och 2-(2-butoxi)etanol. Dessa kolväten kommer från nedbrytning av limmet. Temperaturhöjning i golvet från till exempel värmekablar bidrar till ökad nedbrytning av limmet. Rapporten visade också på att emissionen minskas genom att använda;

- Nya, lågemitterande limtyper
- Avjämningsmassa utan tillsatser

### **Långtidseffekter av alkalisk nedbrytning i golv.**

Alexandersson (1998) studerade emissionen 2 – 3 år efter limning från 20 olika provkroppar. I Alexandersson (1996) presenteras första mätningen av provkropparna som skedde efter ungefär ett halvt år. Provkropparna bestod av PVC-samt linoleummatta, vattendispergerat lim, avjämningsmassa och betong.

I undersökningen studerades fyra PVC-mattor, en polyolefinmatta och en linoleummatta. Dessa sex mattor kombinerades med sju vattendispergerade lim och två betongkvaliteter (vct 0,5 samt 0,7).

Undersökningen visade att:

- Avjämningsmassa förhindrar nedbrytningen av golvmaterial i samtliga fall. Det innebär att golvsystem med avjämningsmassa har genomgående låg emission.
- Emissionen är låg från golvsystem med linoleummatta
- Valet av material påverkar emissionens storlek. Genom att använda ett annat lim i en för övrigt lika golvkonstruktion kan emissionen mångdubblas.
- Butanol och etylhexanol har olika tidsförlopp. Vid mätningar efter ett halvt år dominerar emissionen av butanol medan etylhexanol dominerar vid mätningar efter två år.



### **1.3 Syfte**

Syftet med denna studie har varit att öka kunskapen om samverkan inom golv-materialkombinationer där betong ingår. Att betong valdes beror på att den skapar en aggressiv miljö som påverkar beständigheten hos många andra material.

Om möjligt, skulle en modell skapas som kunde förutse förkortad livslängd i golvmaterialkonstruktioner. Utifrån modellen skulle sedan en metodik att undvika förkortad livslängd av (polymera)material i kombination med betong tas fram. Med förkortad livslängd menas att funktionen, redan efter kort tid, inte längre kan upprätthållas.

Modellen skulle bygga på fysikalisk förståelse av förlopp i golvkombinationen. Den skulle vara en livslängdsmodell för att förutse funktionen hos materialkombinationer under hela dess livslängd. Modellen skulle baseras på materialegenskaper som kunde mätas hos nya material.

Metoder för att icke accelererat mäta dessa egenskaper skulle också utvecklas i projektet.

Modell skulle också kunna användas till ta fram kunskap för att hindra eller begränsa emissionen av kolväten till inomhusluft, från byggnaden, på lång och kort sikt.

### **1.4 Avgränsning**

Studien begränsas till att behandla golvmaterial på betong och de effekter som uppkommer av påverkan underifrån. Golvmaterials livslängd studeras, inte livslängden hos kompletta golvsystem.

Projektet begränsas till att behandla ett begränsat urval av vanligt förekommande golvmaterial på undergolv av några vanliga betongtyper samt de transportprocesser och kemiska reaktioner som genereras.

Som golvbeläggning har olika typer av PVC-matta samt linoleummatta använts. Dessa mattor är löslagda eller limmade på underlaget. Ett begränsat urval av vattenbaserade dispersionslim har använts. I några fall har även ett mellanskikt av avjämningsmassa lagts mellan mattan och betongen.

Vid analysen av kolväten har endast två av dem studerats. Dessa två är goda indikatorer på att nedbrytning av akrylatsampolymeren i limmet brutits ned.

- Det ena kolvätet är en butylalkohol. Det heter 1-butanol eller n-butanol men för enkelhetens skull kallas det butanol eller BuOH i rapporten.
- Det andra är en etylhexylalkohol. Det heter 2-etylhexylalkohol eller 2-etyl-1-hexanol men kallas etylhexanol eller EtHx i rapporten.

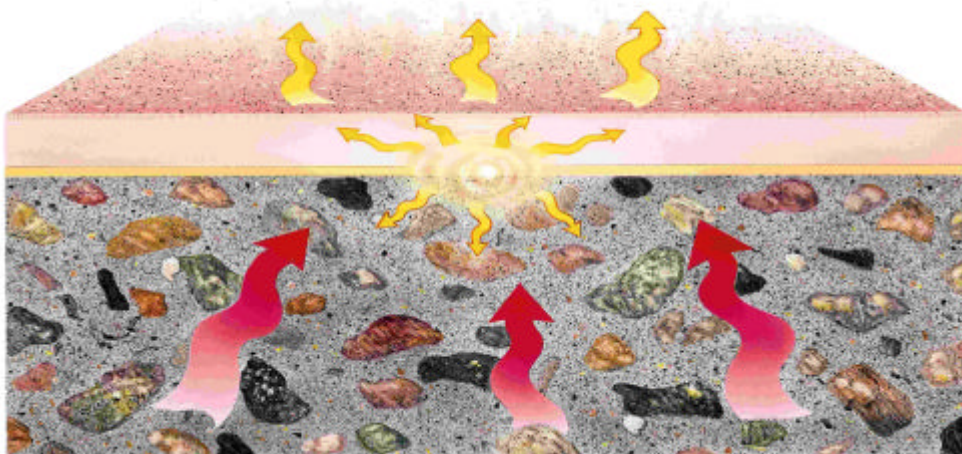
## 1.5 Hypotes

Hypotesen som använts för att förklara samverkan i golvkonstruktionen bygger på mer eller mindre accepterade teorier om material samt erfarenheter från tidigare projekt. Vissa betydelsefulla ämnen i materialen migrerar på grund av koncentrationsskillnader. Dessa ämnen kan flytta på sig inom materialet och ofta också mellan de olika materialen. Vattenånga och kolväten kan till och med lämna materialsystemet genom att avdunsta från ytan.

Vissa ämnen i undergolvet kan enligt hypotesen påverka golvbeläggningen. Exempel på sådana ämnen är hydroxidjonerna ( $\text{OH}^-$ ) i figur 1.1. Dessa ämnen kan under vissa förhållanden röra på sig och migrera uppåt i undergolvet. Bland annat krävs att den relativa fuktigheten (RF) i materialet överskrider ett kritiskt värde för att detta ska ske eftersom transporten förutsättes ske i vattenfas. Förutsättningarna för migrationen varierar i tiden.

Mängden av ämnet som migrerar uppåt beror av transportegenskaperna för detta ämne i undergolvs materialet och av de gradienter som uppstår i undergolvet samt tätheten hos golvmaterialen. Ett mellanläggsmaterial som exempelvis en avjämningsmassa eller en alkalispärr kan hindra eller möjliggöra fortsatt vandring av ämnet beroende på detta materials transportegenskaper.

I golvmateriallets underkant kan ämnet reagera med någon komponent i limmet eller golvbeläggningen. Ämnet förbrukas då, vilket skapar en fortsatt gradient som möjliggör fortsatt migration underifrån. Reaktionen förändrar golvmateriallet och ger kolväten som i sin tur migrerar vidare upp genom golvmateriallet och påverkar egenskaperna. En del kolväten kan nå överytan, förflyktigas och emittera till omgivande luft. Andra delar av kolvätena kan migrera ner i betongen och bli kvar där under lång tid.



*Figur 1.1 Vissa ämnen i betongen ( $\text{OH}^-$ ) reagerar med golvbeläggningen under speciella betingelser. Reaktionsprodukterna (kolväten) kan dels migrera genom ytbeläggningen och nå ytan där de avdunstar eller migrera ner i betongen där de blir kvar för lång tid.*

## **1.6 Disposition**

### **Kapitel 1, Inledning**

Här ges en introduktion till forskningsområdet samt en sammanfattning av studier och sammanställningar som gjorts inom området.

Studiens syfte och avgränsningar beskrivs. Vidare diskuteras hypotesen bakom studien. Den förklaras som en kvalitativ modell av samverkan i material. I kapitel 6 utvecklas modellen.

### **Kapitel 2, Mätmetoder**

I detta kapitel beskrivs de instrument och mätmetoder som använts i mätningarna i studien. Undersökningarna i studien bygger på mätningar av fyra parametrar; ytfukt, alkalifördelning samt kolväten i betong och emission från materialytor.

### **Kapitel 3, Material och provkroppar**

Här beskrivs de material som valts till studien. Fyra till sju material har valts från varje ingående materialgrupp. Dessa grupper är betong, avjämningsmassa, golvlim samt matta. Materialen till studien har valts för att de har intressanta egenskaper som skiljer sig från övriga material i materialgruppen.

Sex olika provformar har använts i undersökningarna i studien. Dessa beskrivs i detta kapitel.

### **Kapitel 4, Resultat**

I det här kapitlet beskrivs undersökningarna som ingår i studien. Materialen som ingick i undersökningarna sammanställs och instrument, mätmetoder samt provkroppar sammanfattas. Resultaten finns summariskt redovisade i detta kapitel. Utförliga redovisningar av resultat görs i bilagorna.

### **Kapitel 5, Analys**

Här görs analys och utvärdering av mätresultaten som beskrivs i föregående kapitel. Resultaten från de olika undersökningarna värderas och jämförs med varandra och med resultat från andra studier.

## **Kapitel 6, Kvalitativ modell**

I det här kapitlet beskrivs en kvalitativ modell av samverkan mellan materialen. De viktigaste egenskaperna hos materialen belyses och diskuteras.

Förloppet hos de olika transportprocesserna i systemet samt reaktionerna mellan ämnen i materialen beskrivs för tre typfall av limmad PVC-matta på underlag av:

- normal husbyggnadsbetong
- byggfuktfri betong
- byggfuktfri betong med avjämningsmassa

## **Kapitel 7, Fältmätningar av flyktiga kolväten i betong**

Ett antal mätningar av kolväten som trängt in i betongen på verkliga skadefall redovisas i detta kapitel. Det beskrivs hur reaktionen mellan materialen har skapat förhöjda halter av kolväten under mattan som trängt in i betongbjälklaget på de olika objekten.

## **Kapitel 8, Konklusion**

Slutsatser och förslag till fortsatta insatsområden ges i detta kapitel

## 2 Mätmetoder

### 2.1 Allmänt

I studien mättes ett antal storheter i olika situationer. Mätmetoderna som användes var väl beprövade. I några fall utvecklades mätmetoderna ytterligare för att kunna mäta en storhet eller egenskap på ett sätt som tidigare inte gjorts. Utvecklingen eller avsteget från den ursprungliga metoden var aldrig så stor att kvaliteten hos resultaten riskerats. Bedömningen gjordes genom att använda sunt förnuft och tillfråga experter samt att uppmärksamma rimligheten i resultaten.

- Mätning av RF-nivåer i betongen skedde med hjälp av RF-prober som antingen var instuckna i ingjutna mätrör eller instuckna i provrör där provbitar lagts.
- Mätning av KMG (kapillär mättnadsgrad) skedde genom vägning samt uppfuktning och uttorkning av provbitar.
- Fördelningen av alkali i betong mättes med kemiska analysinstrument. Profiler av kalium (K) och natrium (Na) karterades på frilagda betongytor mer EPMA (Electron Probe Micro Analyser) och LA - ICP-MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry).
- Mätningar av pH-värde och förändringar av pH-nivåer skedde med våtkemiska analysmetoder.

I början av detta projekt undersöktes vilka mätmetoder som var lämpliga att använda för att mäta avgivningen av kolväten från byggnadsmaterial. De mätmetoder som valdes var uppbyggda i två steg. Först sker provtagning där kolväten fångas upp och anrikas på en adsorbent och därefter följer analys med gaskromatografisk teknik.

- Provtagningen av kolväten skedde på två olika sätt, dels med hjälp av ett modifierat headspace förfarande för de kolväten som migrerat ner i betongen och dels med FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) för avgivning från ytor. Som adsorbent valdes TENAX TA.
- Den efterföljande analysen skedde med GC (gaskromatografisk teknik) och FID (flamjonisationsdetektor), ibland användes MS (masspektrometer) istället för FID.

Mätmetoderna beskrivs i detalj i följande avsnitt.

## 2.2 Fuktfördelning i betong

### 2.2.1 Mätinstrument

Fukt i material kan beskrivas på olika sätt. Ett vanligt sätt är att ange fuktnivån som RF (relativ fuktighet). Med RF menas kvoten mellan ånghalten i luft som står i jämvikt med materialet och luftens maximala ånginnehåll. Mätning av RF i betongen skedde med hjälp av RF-prober som antingen var instuckna i mäthål eller i provrör där provbitar lagts.

Ett annat sätt att beskriva fukttinnehållet i ett material är med hjälp av KMG (kapillär mätnadsgrad). KMG är kvoten mellan vikten hos det förångningsbara vattnet i materialet och vikten hos det förångningsbara vattnet då materialets porer är kapillärt vattenfyllda. Mätning av KMG skedde genom vägning före och efter uppfuktning och uttorkning av provbitar.

Vid mätning av fuktnivåer i betongproverna användes tre olika utrustningar. Två av utrustningarna bestod av kapacitiva RF-prober med tillhörande instrument för datalagring och presentation av mätvärden. Sensorn i dessa prober bestod av en tunn polymerfilm vars kapacitans ändrades när RF i den omgivande luften förändrades. Den tredje utrustningen som användes var en elektronisk precisionsvåg av fabrikatet Mettler PM 480. Med hjälp av vågen bestämdes viktminskningen hos provkroppar till följd av uttorkning. De tre utrustningarna, deras mätosäkerheter med mera beskrivs ytterligare nedan.

1. För mätning av enstaka värden användes huvudsakligen RF-prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 tillverkade av Vaisala OY i Finland. Mätinstrumenten kalibrerades vid flera tillfällen under mätperioden med hjälp av mättade saltlösningar i enlighet med ASTM (1985). Tillverkaren uppger mätosäkerheten för proben till  $\pm 2\%$  RF i området 0 – 90 % RF samt  $\pm 3\%$  RF i området 90 – 100 % RF och  $\pm 0,3\text{ }^\circ\text{C}$  i området  $-40 - +60\text{ }^\circ\text{C}$ . De uppger ingen osäkerhet för handinstrumentet.

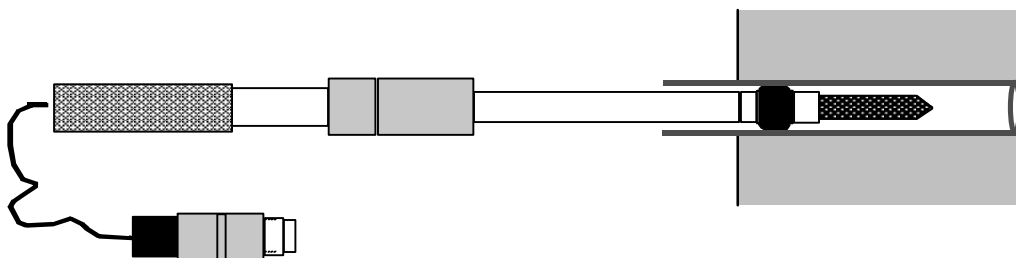
2. I de fall relativ fuktighet loggats över en längre tidsperiod användes RF-prob HMP 44 från Vaisala OY tillsammans med datasamlingslogger Mitec AT40. Mätinstrumenten kalibrerades i samband med mätningarna mot mättade saltlösningar i enlighet med ASTM (1985). Tillverkaren uppger mätosäkerheten för proben till  $\pm 2\%$  RF i området 0 – 90 % RF samt  $\pm 3\%$  RF i området 90 – 100 % RF. Datasamlingsloggerns totala onoggrannhet anges vara  $0,20\% \pm 2\text{mV}$  av FS (full skale). Loggern var inkopplad så att 1 V motsvarar ungefär 1 % RF, mätområdet var  $-3 - 120\text{ V}$ .

3. En precisionsvåg av märket Mettler PM 480 användes för att mäta KMG. Tillverkaren uppger mätosäkerheten till  $\pm 0,01\text{ g}$  vid maximalt mätområde (410 g) samt  $\pm 0,001\text{ g}$  vid 80 g mätområde. Det mindre mätområdet gick att ”flytta med sig” om exempelvis små viktförändringar skulle mätas hos en ”tung” provkropp.

## 2.2.2 Mätmetod

Vid mätning av fukt i betongen användes fyra olika metoder. Mätmetoderna är väletablerade sedan länge och har successivt utvecklats på Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, varför ingen speciell referens ges.

1. Den första metoden användes för att mäta enstaka RF-värden i provkroppar med ingjutna mätrör. I dessa provkroppar var mätrör fastmonterade i behållarens sida, se figur 2.1. Rören tätades med en diffusionsöppen tejp mot betongen och med en gummikork mot den omgivande luften. Vid jämvikt var RF i luften i röret densamma som RF i betongen. Vid mättillfället togs gummiproppen bort och RF-proben placerades i mätröret. RF-proben tätades mot den omgivande luften med en expanderring av gummi. När RF-proben monterades ändrades förhållandena i röret eftersom luft pressas ut när proben förs in. Mätinstrumentet lästes av när RF-proben var i jämvikt med betongens RF. Mättiden var ungefär 24 timmar eller i vissa fall längre. De erhållna värdena omvandlades sedan enligt kalibreringskurvorna till RF. Prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 från Vaisala OY i Finland användes till denna metod.

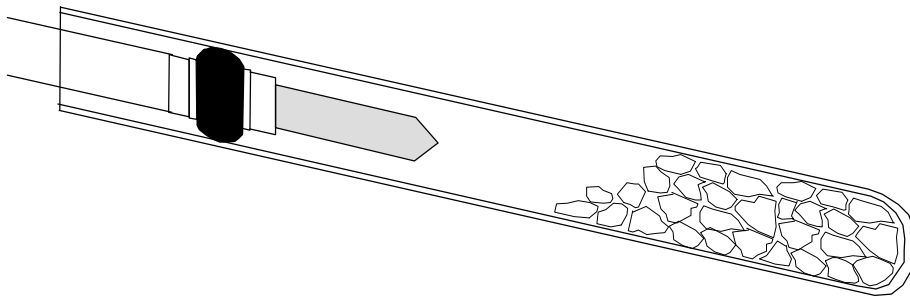


Figur 2.1 Principiellt utseende på RF-prob instucken i mätrör.

2. Den andra metoden var en vidareutveckling som byggde på den första. Skillnaden var att RF-proben satt kvar i mätröret under en längre tid och avläsningar gjordes kontinuerligt hela mätperioden. Genom att låta proben sitta kvar i mätröret minskades effekter som gav bidrag till totala mätosäkerheten. Exempelvis minskades betydelsen av probens fuktkapacitet. Det åtgår cirka 4 mg fukt för att fukta upp proben så den kommer i jämvikt vid en normal fuktmätning. Enligt Sjöberg (1998) ger detta ett fel på cirka 2 % RF som halveras var femte dygn. Borrhållet blev också mer temperaturstabil, vilket var gynnsamt, när proben satt kvar.

Mätrören var monterade i behållarens botten och tätade med en diffusionsöppen tejp mot betongen och med en gummikork mot den omgivande luften. När mätningen började avlägsnades gummikorkarna och RF-proberna placerades i mätrören där de fick sitta kvar under några veckor då värden lästes av kontinuerligt. De avlästa värdena justerades med kalibreringskurvor. I inledande försök användes prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 men i de flesta mätningarna användes prob HMP44 samt datasamlingslogger Mitec AT40.

3. Den tredje metoden användes för att mäta RF på urtagna provbitar som lades i provrör. I denna metod togs provbitar ur betongen på flera nivåer så att en fuktprofil kunde bestämmas. Provkroppen sönderdelades med slägga och huggmejsel och provbitar från respektive nivå valdes ut snabbt och placerades i provrör som tätades med gummikork. Det var viktigt att sönderdelningen och placeringen av betongbitar i provrör gick snabbt så fukt inte avgick från proverna. Nästa dag placerades RF-prober i provrören, figur 2.2. Mätinstrumentet lästes av när RF-proben var i jämvikt med betongens RF. Mättiden var ungefär 24 timmar eller i vissa fall längre. De erhållna värdena omvandlades sedan enligt kalibreringskurvorna till RF. Prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 användes till denna metod.



Figur 2.2 Urtagna betongbitar och RF-prob i ett provrör.

4. Den fjärde metoden användes för att bestämma KMG i betongen. Provkroppen delas ned till lämplig storlek med slägga och huggmejsel på samma sätt som i föregående metod. Betongbitar av cirka 20 grams storlek valdes ut och vägdes omedelbart ( $w_{akt}$ ). Efter att bitarnas kapillärsystem vattenmättats vägdes de på nytt ( $w_{våt}$ ). Därefter torkades betongbitarna några dygn i ett värmeskap i 105 °C och vägdes för tredje gången ( $w_{torr}$ ). KMG är kvoten mellan vikten på vattnet som ursprungligen fanns i provet och vikten på vattnet som torkades bort efter uppfuktningen. Den kan beräknas enligt ekvation 2.1.

$$KMG = \frac{w_{akt} - w_{torr}}{w_{våt} - w_{torr}} \quad \text{Ekvation 2.1}$$

där:

- $w_{akt}$  = aktuell vikt vid provtagning
- $w_{våt}$  = vikt efter vattenmätning av kapillärporerna
- $w_{torr}$  = vikt efter torkning till jämvikt i 105 °C



### 2.2.3 Mätosäkerhet

Beräkningar av osäkerheten finns redovisade i bilaga 1, som bygger på värden från Sjöberg (1998). Standardiserad mätosäkerhet vid mätning med elektriska RF-instrument låg mellan  $\pm 1,64$  och  $\pm 3,15$  % RF, se tabell 2.1.

*Tabell 2.1 Std. mätosäkerhet vid mätning med elektriska RF-instrument.*

<b>vct</b>	<b>Metod 1</b>	<b>Metod 2</b>	<b>Metod 3</b>
<b>0,4</b>	$\pm 3,2$	$\pm 1,7$	$\pm 2,0$
<b>0,5</b>	$\pm 3,0$	$\pm 1,7$	$\pm 2,0$
<b>0,7</b>	$\pm 2,8$	$\pm 1,6$	$\pm 2,0$

Standardiserad mätosäkerhet vid bestämning av kapillär mätnadsgrad med hjälp av våg var cirka  $\pm 2,5$  %. Beräkningarna finns redovisade i bilaga 2.

## 2.3 Alkali i betong

### 2.3.1 Mätinstrument

Fördelningen av alkali i betong mättes med kemiska analysinstrument. Profiler av kalium (K) och natrium (Na) karterades på frilagda betongytor med två olika typer av kemiska analysinstrument. Mätningar av pH-värde och förändringar av pH-nivåer gjordes med två olika våtkemiska analysmetoder.

1. Huvudsaklig analys av alkalifördelningar gjordes med EPMA (Electron Probe Micro Analyser). Utrustningen som användes i studien var av fabrikatet Cameca SX51 electron microprobe på Institutionen för kemi vid universitetet i Aberdeen, Skottland. Analyserna utfördes av Dr. Alison Coats. EPMA tekniken bygger i korthet på att provet bombarderades med elektroner och responsen mättes i form av elektroner eller kortvågig strålning. Resultatet gavs som "counts per 10 seconds per 10 nanoamps". Osäkerheten för reproducerbarhet på ett homogent prov (stora homogena partiklar) är omkring 1 %, enligt Dr. Alison Coats.

2. Jämförande analys av alkalifördelningar gjordes med LA-ICP-MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry). Två likadana utrustningar användes, ELAN 6000 från Perkin-Elmer. Båda instrumenten var försedda med "laser ablation" för provtagning direkt från materialytor. Det första instrumentet som användes fanns vid Cetac Ltd. i Omaha, Nebraska, USA. Analyserna utfördes av Dr. Ted Howard och Civ.ing. Alf Andersen. Det andra instrumentet som användes fanns på Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers. Analyserna utfördes av Civ.ing. Alf Andersen. ICP-MS tekniken med "laser ablation" byggde på provtagning med kortvågig laser (UV) och att provet sedan omvandlades till joner i ett plasma och slutligen analyserades med MS. Mätosäkerheten bedömdes vara  $\pm 20\%$  vid mätningar av relativa nivåer enligt Alf Andersen.

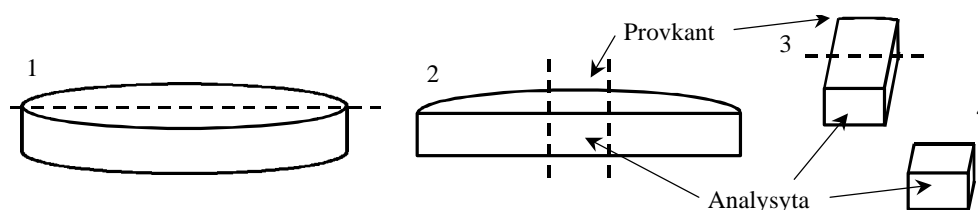
3. Mätningar av pH gjordes på betongprover uppblandade med vatten i provrör med kombinationselektrod Radiometer GK2401B. För mätvärdesvisning (display) användes en elektrisk titrerautomat, 702 SM Titrino. Mätosäkerheten uppgavs vara  $\pm 0.2$  pH för elektroden enligt produktbladet.

4. Bestämning av förändring av pH-nivån gjordes genom spräckning av prover och applicering av omslagsindikatorer för pH. Som indikator användes fenolftalein vars omslagsnivå ligger på pH 9.3 i lösningar. Över den pH-nivån blir ytan starkt rödaktig medan den håller sig ofärgad om pH ligger under omslagsnivån. Osäkerheten i fenolftaleins omslag anges vara  $\pm 0,9$  pH enligt CRC (1997).

### 2.3.2 Mätmetod

Tre olika metoder användes vid bestämning av profiler av kalium (K) och natrium (Na) med elektroniska analysinstrument.

1. Den första metoden användes till de huvudsakliga mätningarna av alkali. Den byggde på analys av kalium (K) och natrium (Na) med EPMA (Electron Probe Micro Analyser). Provkropparna konditionerades i olika klimat innan analysen. Vid provberedningen spräcktes proverna så att kuber på ungefär  $17 \times 17 \times 17$  mm bildades, figur 2.2. Kuberna göts in i en speciella provhållare för EPMA:n med epoxi. Den sidan av provet som skulle analyseras slipades sedan plan med smärgel. Under slipningen kyldes provet med etanol ( $< 0,5$  vikt-% vatten). Lågt vatteninnehåll i etanolen var viktigt eftersom jonerna var vattenlösliga och kunde annars sköljas bort. Innan analysen polerades bitarna av personalen i laboratoriet på Institutionen för kemi, universitetet i Aberdeen, Skottland. Provet monterades i EPMA:n och ett antal linjer innehållande 1024 punkter analyserades över provets yta. EPMA tekniken bygger i korthet på att provet bombarderas med elektroner och responsen mäts av i form av elektroner eller kortvågig strålning. Analys av fyra grundämnen kunde göras åt gången med denna metod.

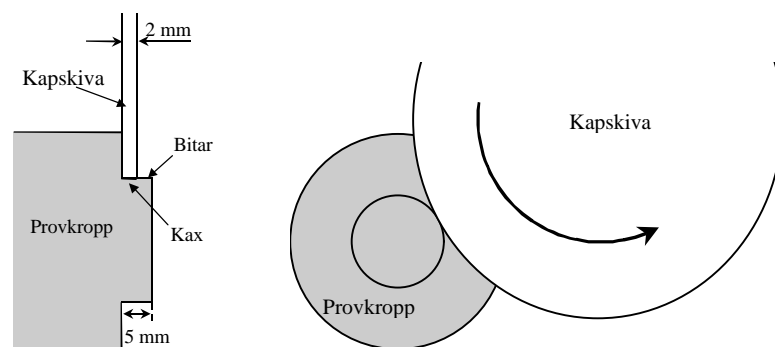


Figur 2.3 Delning av prov till  $17 \times 17 \times 17$  mm stora bitar

2. Metod två liknade den första i och med att provbiten delades och grundämnen analyserades i linjer på brottytan. Analysen gjordes med ICP-MS (Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry) med "laser ablation. Provet delades ned till mindre bitar på samma sätt som i första metoden men placerades sedan direkt i laserenheten. Metoden byggde på provtagning där 2 – 100  $\mu\text{m}$  stora "punkter" på provet förgasades med hjälp av UV (kortvågig laser). Det förgasade provet fördes med hjälp av bärgas (argon) till ICP-MS där "molnet" av grundämnen omvandlades till joner i ett plasma som skapades med induktion. Halten joner bestämdes sedan med hjälp av MS (quadropol) och resultatet gavs som "counts" per sekunder. Denna enhet var proportionella mot innehållet (ppm viktenheter) och kan kalibreras mot extern standard eller ett referensmaterial för att få absolutnivån. I denna studie mättes enbart relativa nivåer. Mätosäkerheten bedömdes vara  $\pm 20$  % vid mätningar av relativa nivåer enligt Alf Andersen.

3. I tredje metoden användes samma analysinstrument som i metod två och provberedningen gick också till som beskrivs ovan. Skillnaden var att i denna metod beskötts samma punkt på yta flera gånger. I stället för att analysera en linje på brottytan "grävdes" en grop som blev djupare och djupare för varje beskjutning. Materialet förgasades och analyserades med ICP-MS på samma sätt som i metod två. Mätosäkerheten bedömdes vara  $\pm 20$  % vid mätningar av relativa nivåer enligt Alf Andersen.

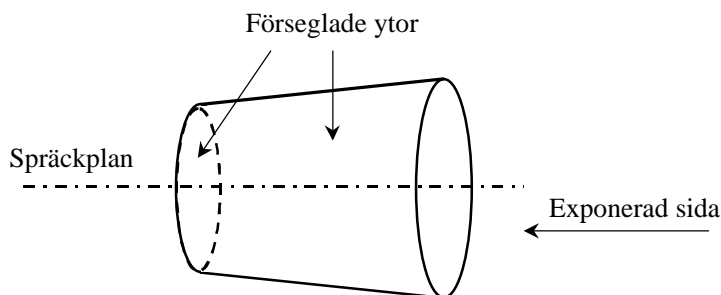
4. Metoden som användes för pH-mätningar byggde på att fraktionerade betongprover blandades upp i vatten och därefter mättes med pH-elektrod. Sönderdelningen av betongprovet skedde med svarv för att separera fraktioner från olika nivåer. Provkropparna avformades och monterades i en svarv. Med roterande kapskiva monterad på svarvens "ryttare" kapades 5 mm i taget från provkroppen, se figur 2.4. I kapskivans snitt fördelades provet till ett fint pulver så kallat "kax" medan materialet utanför kapskivan föll isär till bitar med storleken  $0.1 < \varnothing < 2$  mm. Detta möjliggjorde en noggrannare positionsbestämning av materialet än 5 mm när separering av fraktionerna skedde. Kaxet och bitarna separerades med sikt, 0.25 mm maskstorlek och vägdes genast. Därefter förvarades fraktionerna skyddade mot karbonatisering. Karbonatisering innebär en reaktion med exempelvis luftens koldioxid som sänker pH-värdet hos materialet.



Figur 2.4 Principskiss av fraktionering av betongprover.

4,9 ± 0,2 gram kax placerades i ett provrör (180 ml). Provröret tillfördes sedan 6 ± 0,2 ml rent vatten (17,9 µS) med en pipett. Alltsammans skakades kraftigt i 5 sekunder efter det att provröret förseglats med en gummikork. Lösningen stod sedan till den kom i jonjämvikt (~24 tim) innan första pH-mätningen gjordes. Utrustningen som användes kalibrerades mot tre buffertlösningar med pH-värdena 4.01, 7.00 och 12.45. Lösningarna hade mindre än 0,05 pH i osäkerhet.

5. Metoden som användes för mätning av förändringen av pH-nivån byggde på en omslagsindikator som applicerades på en färsk brottyta. Indikatorn fick olika färg beroende på pH-värdet hos brottytan. Om materialet genomgick en förändring av pH-värde kom detta att visas som färgförändringar. Om förändringen skedde som en inträngande front fick olika delar av brottytan som var tagen vinkelrätt mot ytan olika färg. Provkropparna som användes i detta försök exponerades mot luftens koldioxid på en sida, se figur 2.5. Provkropparna spräcktes efter olika lång exponeringstid och därmed kunde pH-sänkningen på grund av "inträngning" i provkropparna följas över tiden. Färgomslaget skedde vid  $9,3 \pm 1$  pH för fenolftalein. Fuktförändringen hos provkropparna följdes genom kontinuerlig vägning under exponeringstiden.



Figur 2.5 Exponering och spräckning av provkropp för studie av pH-förändring.

### 2.3.3 Mätosäkerhet

Mätosäkerheterna i de olika metoderna för mätning av alkali i betong har inte kunnat uppskattats med materialet i denna studie. Det gick inte heller att finna värden på mätosäkerheterna för hela metoderna inklusive instrument i litteraturen. Operatörerna på instrumenten har erfarenhetsmässigt uppskattat osäkerheten hos instrumenten. I tabell 2.2 finns en sammanställning av de olika mätinstrumentens standardiserade mätosäkerheter.

Tabell 2.2 Std. mätosäkerhet hos instrument för mätning av alkali i betong.

Instrument	Osäkerhet	Källa
EPMA	$> \pm 1 \%$ ♥	Dr. Alison Coats.
ICP-MS	$\pm 20 \%$ ♥	Civ.ing. Alf Andersen
PH-elektrod	$\pm 0,3$ pH	Produktblad
Fenolftalein	$\pm 0,9$ pH	CRC (1997)

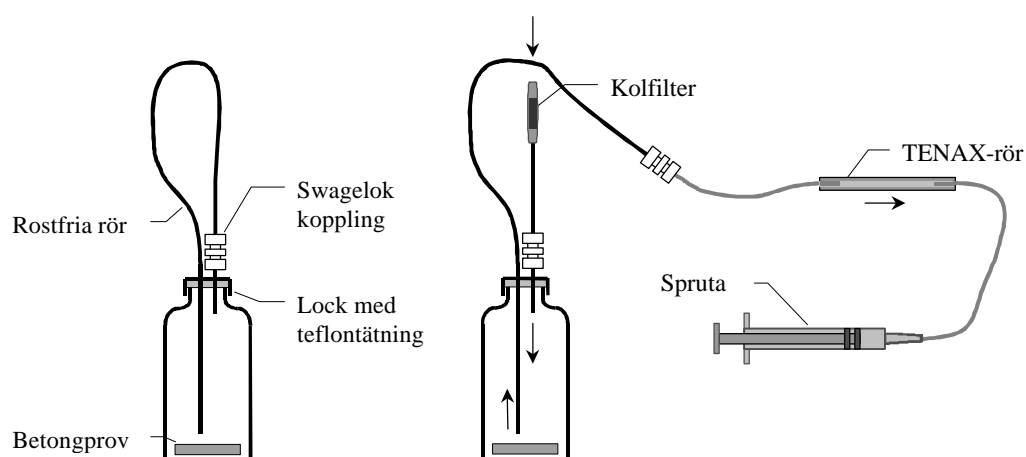
♥ vid relativa mätningar

## 2.4 Kolväten i betong

### 2.4.1 Provtagningsutrustning

Mätning av kolväten i betong skedde i två steg. Första steget var provtagning med så kallad headspaceteknik där kolväten fångades upp och anrikades på en adsorbent. Därefter följde analys med gaskromatografisk teknik (GC-FID).

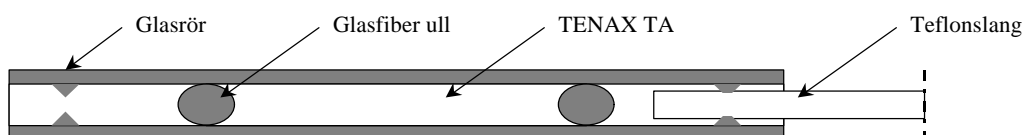
Headspace tekniken innebar först en provberedningen där provet delades ned i centimeterstora fraktioner med samma utrustning och teknik som vid urtagning av prover till fuktmätning i provrör, kapitel 2.2.2. Sedan lades bitarna i en 250 ml stor glasflaska med vid hals ( $\text{\O}_{\text{inv}} = 30 \text{ mm}$ ), se figur 2.6. Flaskans lock hade en invändig packning av teflon för att inga kolväten skulle avges eller tas upp av locket. I locket fanns rörgenomgångar av rostfritt stål. Detta möjliggjorde kontrollerat utbyte av luft i flaskan i samband med provtagningarna. Provtagningen skedde då kolvätena i betongen kommit i jämvikt med luften i flaska.



Figur 2.6 Flaskan vid konditionering respektive provtagning.

Vid provtagningen användes en plastspruta med volymen 20 ml för att suga rätt luftmängd genom TENAX-röret.

Som adsorbent vid provtagning för analys av kolväten användes fyllda glasrör (TENAX-rör), se figur 2.7. Rörens längd var cirka 155 mm och innerdiameter 3,2 mm. I röret fanns cirka 0,15 g TENAX TA mesh 20 - 35 mellan två tussar av glasfiberull. Röret hade en "hoptryckning" i varje ände så att en teflonslang ( $\varnothing_{\text{utv}} = 1.8 \text{ mm}$ ) som trädde in i röret slöt tätt mot glaset.



Figur 2.7 TENAX-rör, glasrör med 0,15g TENAX-TA.

#### 2.4.2 Provtagningsmetod

Metoden som användes vid mätning av flyktiga kolväten i betong var en anpassad headspaceteknik. Headspace innebär att luft som står i jämvikt med provet i en sluten volym analyseras.

Betongkärnor till försöken borrades ur provkropparna med en kärnborr som gav en kärna med 25 mm diametern. Kärnor "skivades" och lades genast i flaskor som förslöts och märktes. I de första proven skivades kärnorna med abrasiv vattenskärning. Utrustningen för detta fanns på Institutionen för produktionsteknik, Chalmers. Vattenstrålen gav en fin snittyta men vissa kolväten riskerades att spolats bort närmast snittet. I de senare proven spräcktes kärnan med huggmejsel. Detta gav inte samma möjlighet att bestämma provbitarnas storlek eftersom snittytan inte var förutsägbar. Metoden med huggmejsel var snabbare och mindre kostsam än metoden med vattenskärning.

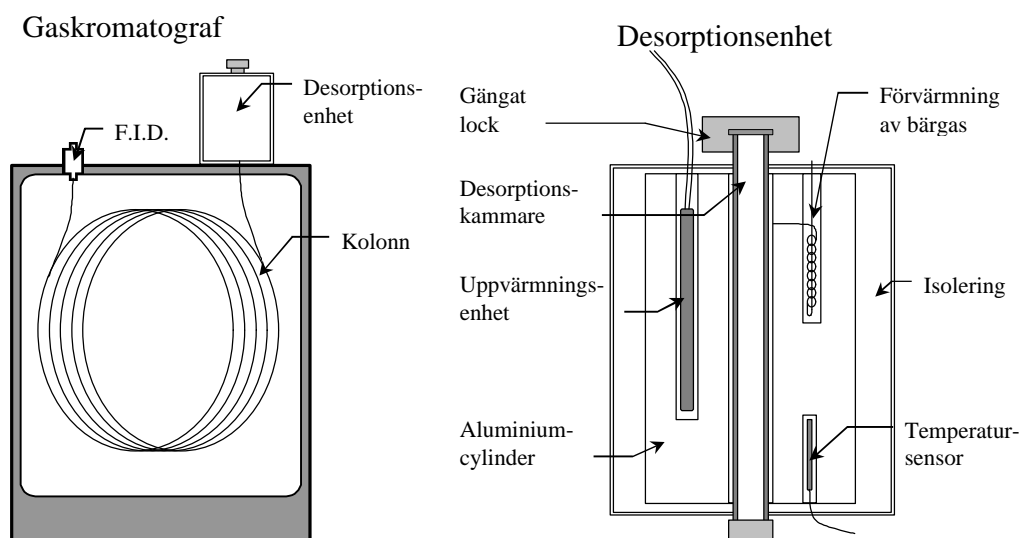
Flaskorna med betongskivorna konditionerades på olika sätt. Bland annat varierades konditioneringstid och konditioneringstemperatur.

Vid provtagningen skruvades ett slangfäste till TENAX-röret fast på flaskans swagelok koppling. På röret som suger in luft i flaskan under provtagningen fästes ett kolrör för att rena luften och därmed förhindra att kolväten i rumsluften inte gav utslag i senare analyser. En 20 ml plasticspruta användes till att suga en bestämd luftmängd genom TENAX-röret. Mängden luft som sögs genom TENAX-röret varierades, men var i huvudsak 10 ml. De olika rören och sprutan var huvudsakligen sammanbundna med teflonslang. Kopplingarna utgjordes dock av swagelok eller silikonslang.

### 2.4.3 Analysutrustning

Analys av kolväten som adsorberats på TENAX-rör gjordes med GC (gaskromatograf) av fabrikat Varian 3350. För kvantifiering av koncentrationen var GC:n utrustad med FID (flamjonisationsdetektor). För att identifiera topparna i kromatogrammen användes MS (masspektrometer).

GC:n på Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, hade modifierats så att termisk desorption av kolväten i TENAX-rör kunde ske. Utrustningen modifierades i samarbete med Dr. Olle Ramnäs på Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers. Desorptionskammaren som tillverkades av rostfritt stål var omsluten av en isolerad aluminiumcylinder för att få god temperaturstabilitet, se figur 2.8. I aluminiumcylindern skedde även förvärmning av bärgasen. Temperaturen i aluminiumcylindern reglerades med hjälp av en inmonterad uppvärmningsenhet som styrdes av GC:n.



Figur 2.8 Principskiss av GC och desorptionsenhet

GC:n var utrustad med en 60 meter lång polär kolonn med 0,25 micron fas. Kolonnens temperaturgränser var från -60 °C till 325/350 °C.

Vätgas ( $H_2$ ) användes både som bärgas och makeup gas.

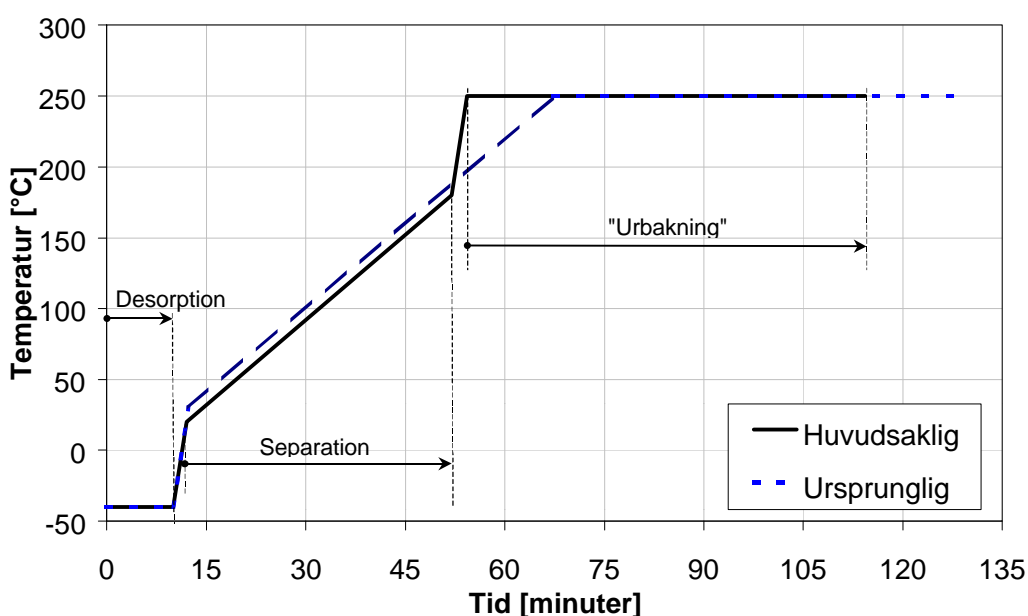


## 2.4.4 Analysmetod

Metoden som användes för analys av kolväten som anrikats på adsorbenttrör byggde på gaskromatografisk teknik. Desorptionen av adsorbenten skedde termiskt och detektionen av kolväten skedde med hjälp av flamjonisation och i vissa fall med masspektroskopi.

Vid den termiska desorptionen frigjordes adsorberade kolväten från adsorbenten och fördes med bärgasen in på kolonnens stationära fas. Under desorptionsfasen som varade cirka tio minuter hölls kolonnen nerkyld så att kolvätena kondenserades och anrikades i början av kolonnen. Efter desorptionsfasen höjdes temperaturen på kolonnen enligt ett fastställt schema, figur 3.9. När temperaturen i kolonnen höjdes börjar kolvätena vandra genom kolonnen. Kolvätena separeras under vandrigen på grund av att de hålls kvar olika långt i kolonnens stationära fas. Det ligger en konstant spänning över lågan i FID:en. När kolvätena passerar som organiska kol-väte-radikaler leds strömmen lättare och resulterar i en högre strömstyrka. Den relativa strömstyrkan plottas mot tiden i ett kromatogram.

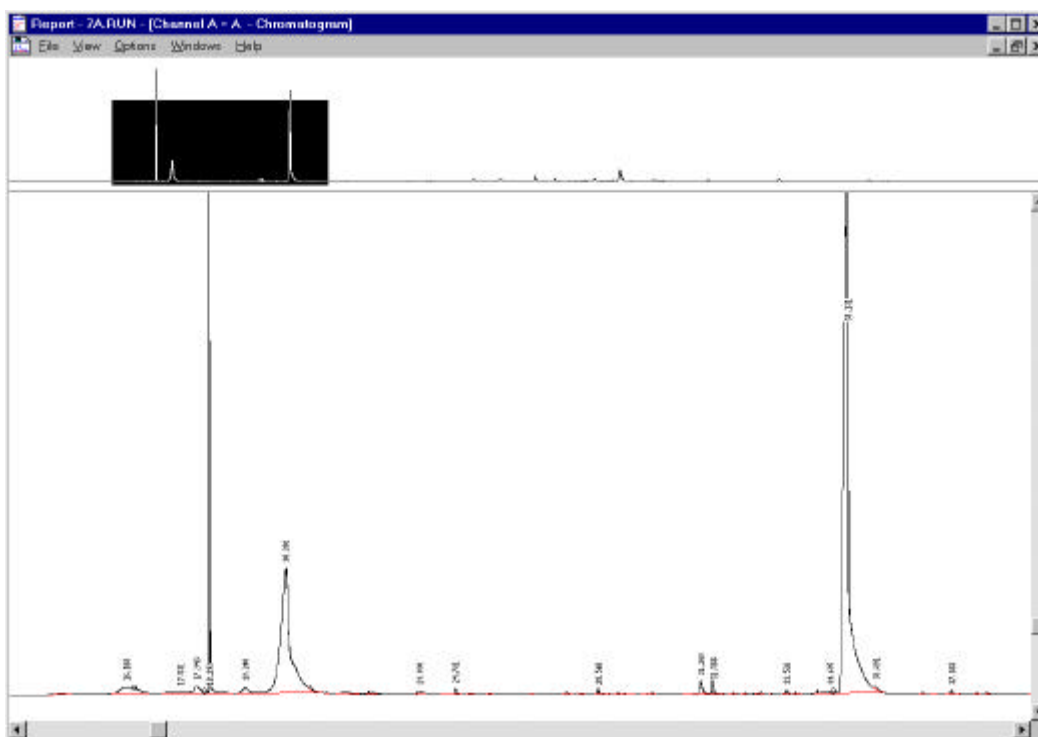
Temperaturen i desorptionsugnen hölls konstant  $230^{\circ}\text{C}$  under hela analysen och trycket på bärgasen ( $\text{H}_2$ ) var konstant cirka 15 Psi. Bärgasen förde in de desorberade kolvätena på kolonnen under desorptionsfasen. En halvautomatisk kryoutrustning användes för att hålla kolonnen nedkyld till  $-40^{\circ}\text{C}$  med hjälp flytande kväve ( $\text{N}_2$ ) under desorptionsfasen. Desorptionsfasen varade tio minuter. Temperaturen på kolonnen höjdes sedan enligt ett fast program där den första höjningen (-gradienten) var  $+30^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  till temperaturen nått  $+20^{\circ}\text{C}$ . När temperaturen nått  $+20^{\circ}\text{C}$  började separationsfasen. Under separationsfasen höjdes temperaturen  $+4^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  till temperaturen nått  $+180^{\circ}\text{C}$ . Slutligen ökades temperaturgradienten igen till  $+30^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  till  $+250^{\circ}\text{C}$  där temperaturen hölls konstant i 60 min så kolonnen bakades ur, det vill säga att alla "eftersläpande kolväten" fick tid att komma ut, se figur 2.9.



Figur 2.9 Temperaturprogram för kolonnen under analys.

Några av de tidiga analyserna gjordes med ett annorlunda temperaturprogram. Efter att temperaturprogrammet ändrats gick det bättre att skilja de mest lättflyktiga kolvätena åt. I det ursprungliga temperaturprogrammet hölls temperaturen vid  $-40^{\circ}\text{C}$  i tio minuter sedan ökade den med  $+30^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  till  $30^{\circ}\text{C}$ . Därefter ökade temperaturen med  $+4^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  till den nådde  $+250^{\circ}\text{C}$  där temperaturen hölls konstant i 60 minuter.

Resultatet från flamjonisationsdetektorn presenterades i form av ett diagram, så kallat kromatogram med retentionstiden på den liggande axeln och relativt utslag hos FID på den stående. Varje topp i kromatogrammet motsvarar ett ämne med en specifik retentionstid. Med kännedom om provtagningsvolymen för det analyserade TENAX-röret och den integrerade ytan under "topparna" i kromatogrammet kunde koncentrationen totalt eller för enskilda kolväten beräknas. Haltberäkningar utförs med hjälp av provtagningsvolymen för respektive rör och halten kolväten anges som toluenekvivalenter. Exempel på ett kromatogram visas i figur 2.10.



Figur 2.10 Kromatogram där den första (trekantiga) toppen, vid ungefär 20 minuter, är butanol och den andra (största) toppen, efter ungefär 35 minuter, är etylhexanol.

Metoden finns även kortfattat beskriven i Wengholt Johnsson (1995)

TENAX-rör i de första mätserierna analyserades med GC-FID av Dr. Olle Ramnäs på Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers. Huvuddelen av analyserna har dock utförts på Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers. Metoden och utrustningen var i stort likadana. Skillnaderna var små och påverkar inte analysresultatet

Några analyser utfördes med GC-MS för att identifiera enskilda kolväten. Dessa analyser skedde i huvudsak av Dr. Olle Ramnäs på Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers.

#### 2.4.5 Mätosäkerhet

Standardiserad mätosäkerhet vid mätning av flyktiga kolväten i betong kunde inte bestämmas exakt i denna begränsade studie. Totala mätosäkerheten i metoden bedömdes dock vara ungefär lika stor som vid provtagning med FLEC, se bilaga 3.

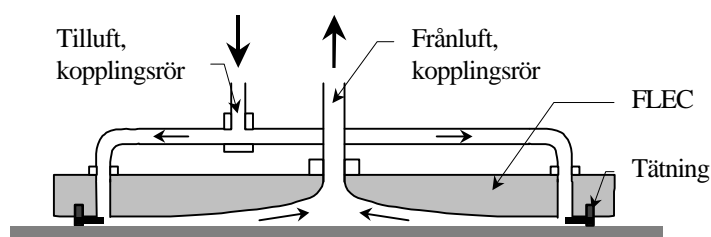
Totala standardiserad mätosäkerhet för metoden bedömdes vara  $< \pm 20\%$ .

## 2.5 Emission från ytan

### 2.5.1 Provtagningsutrustning

Mätning av emission från materialytor skedde i två steg. Först gjordes provtagning med hjälp av en speciell mätkammare där kolväten fångades upp, sögs ut och anrikades på en adsorbent. Därefter följde analys med GC-FID (gaskromatografisk teknik).

Mätkammaren som används i arbetet var en FLEC (Field and Laboratory Emission Cell). Den kan liknas vid ett lock som läggs direkt på den materialyta som skall mätas, se figur 2.11. Ren luft (<0,1 ppm kolväten) från gastub fuktas och trycks in i genom en springa i kanten på mätcellen. Luften strömmar över materialytan och ut genom ett rör i centrum. Ett delflöde av luften passerar sedan genom ett TENAX-rör och kolvätena adsorberas i det. Mätcellen och dess kapacitet beskrivs i Wolkoff *et al* (1991). Mätcellens aktiva område har en yta på  $0,0177 \text{ m}^2$  och volymen  $35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ .



Figur 2.11 Principbild på genomskärning av FLEC

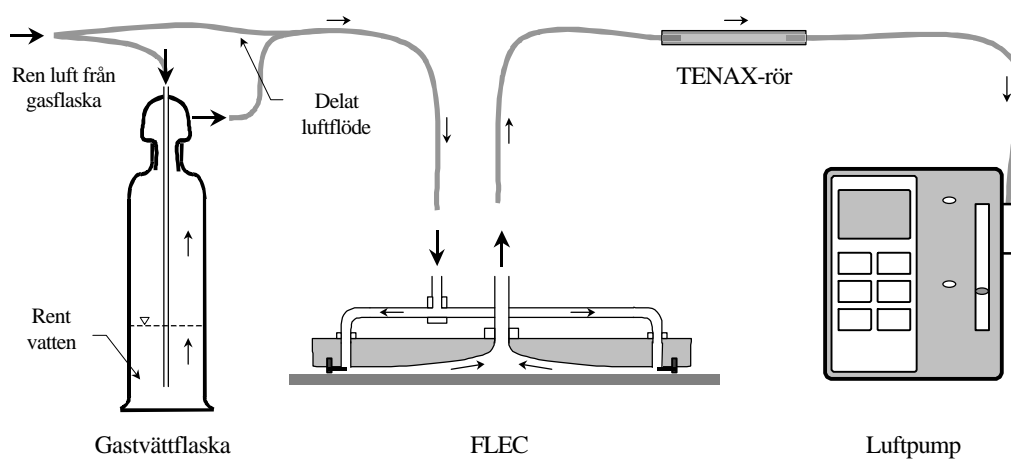
Luften som trycktes in i mätcellen renades först genom kolrör och fuktades sedan till 50 % RF genom att ett delflöde leddes genom en gastvättflaska. Anordningen för fuktning av luften beskrivs detaljerat av Wengholt Johnsson (1995). Till FLEC:ens utflöde anslöts ett TENAX-rör och en luftpump av märket SKC PCXR8.

Luftpumpen gav konstant flöde under en bestämd tid. Mätosäkerhet i flöde bedömdes vara  $\pm 4 \%$ . Mätosäkerhet i tidtagning uppgavs vara  $\pm 0,05 \%$  i produktbladet.

## 2.5.2 Provtagningsmetod

Proverna konditionerades i 24 timmar innan provtagning. Provtagningar i början av studien skedde dock efter endast 4 timmars konditionering. Under konditioneringen låg FLEC:en på materialytan med konstant luftflöde på 100 ml/min.

Vid provtagningen monterades ett TENAX-rör till FLEC:ens frånluft med en teflonslang, se figur 2.12. Slangen som har betydligt mindre diameter än frånlufts-röret stacks in i detta. Pumpen kopplades till TENAX-röret och pumpade 25 ml/min i fyra minuter. Tillvägagångssätt vid provtagning beskrivs också av Wengholt Johnsson (1995).



Figur 2.12 Uppställning vid provtagning med FLEC.

Utrustningen för analys av TENAX-rör var en GC (gaskromatograf) med FID (flamjonisationsdetektor). Utrustningen beskrivs i kapitel 2.4.3. och analysmetoden i kapitel 2.4.4.

## 2.5.3 Mätosäkerhet

Standardiserad mätosäkerhet vid mätning av emission från provkropparna kunde inte bestämmas exakt i denna begränsade studie. En uppskattning av den totala mätosäkerheten i metoden görs dock i bilaga 3.

Totala standardiserad mätosäkerhet för metoden bedömdes vara  $< \pm 20\%$ .



## 3 Material och provkroppar

### 3.1 Allmänt

Eftersom syftet med studien var att studera samverkan mellan material har stor vikt lagts vid att välja ut ett fåtal intressanta material att studera. Fyra till sju material har valts från varje av de ingående materialgrupperna betong, avjämningsmassa, golvljm samt matta. Materialen till studien har valts för att de har intressanta egenskaper som skiljer sig från övriga material i materialgruppen.

Sex olika betongblandningar har avvänts. Dessa har valts så att de består av i stort sett samma delmaterial men med olika sammansättning så de härdade betongerna får olika egenskaper.

Sju avjämningsmassor har ingått i studien. Två av dem var gipsbaserade och fem var aluminatcementbaserade. Två av de cementbaserade avjämningsmassorna var så kallade snabbhärdande avjämningsmassor och det övriga tre var normala.

Fyra golvljm med olika sammansättning studerades. Alla var vattenbaserade dispersionsljm.

Fyra olika typer av mattor ingick i studien. De olika typerna var homogen PVC-matta, skiktad PVC-matta, PVC-matta för lösläggning samt linoleummatta.

Produktnamnen anges på de material som ingick i studien för att läsaren själv skall ha möjlighet att värdera materialegenskaper som inte är nämnda i rapporten. Dessa namn har lämnats eftersom studien inte jämför enskilda material utan ser till materialkombinationen.

## 3.2 Provkroppar

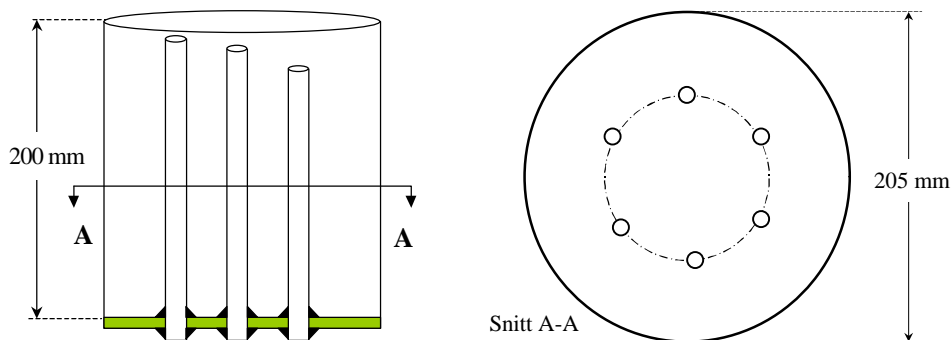
### 3.2.1 Allmänt

Provkropparna i studien gjordes i huvudsak så enkla som möjligt men ändå representativa för de konstruktioner som förekommer i verkligheten, dels för att många av mätningarna var av karaktären pilotstudier och dels för att invecklade provkroppar är svåra att efterlikna om försöken skall upprepas med exempelvis andra material. Provformarna heter i rapporten PF1 – 6 men beskrivs oftast med sitt ”arbetsnamn” som de fick under laboriearbetet.

### 3.2.2 PF1 (hinken)

Gjutformen var en cylindrisk behållare med helgjuten botten (hink) av polyeten. Behållarens diameter var 205 mm, höjden 200 mm och den rymde ca 6,6 liter. Hinkens botten förstärktes utvändigt med en 5 mm tjock platta av PVC-plast för att staga upp mätrören som monterades upp genom botten, se figur 3.1. På grund av sitt ursprung fick denna gjutform för betong arbetsnamnet ”hinken”.

Mätrören i vilka RF-prober placerades under mätningen tillverkades av PVC-rör (”elrör”) med invändig diameter som passar till RF-proberna. Rören monterades så att öppningarna inne i formen hamnade på olika nivåer. Den första hinken som användes hade sex olika nivåer; 2, 7, 11, 19, 39 samt 79 mm, räknat från färdig betongyta. Övriga hinkar hade fyra nivåer, 2, 7, 15 samt 30 mm.



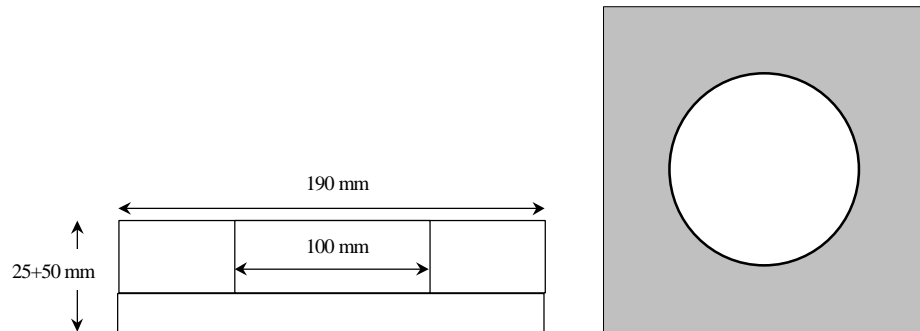
Figur 3.1 Principskiss på gjutform PF1 (hinken).

För att betongen inte skulle rinna in i rören vid gjutningen tätades rörmynningarna inne i formen med diffusionsöppen tejp.



### 3.2.3 PF2 (cellplastformen)

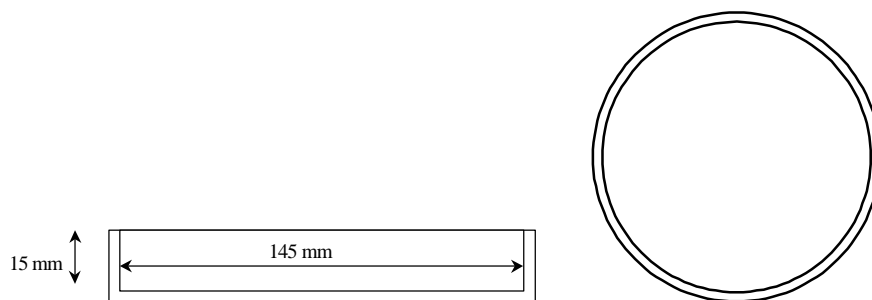
Formen bestod av två skivor extruderad cellplast som limmades samman på varandra. Den översta skivan hade ett cirkulärt hål så att skivorna tillsammans bildade en skål, se figur 3.2. Hålet borrades med en hålsåg och var 100 mm i diameter. Skivorna limmades samman med vattenbeständigt trälim.



Figur 3.2 Principskiss på gjutform PF2 (cellplastformen).

### 3.2.4 PF3 (petriskålen)

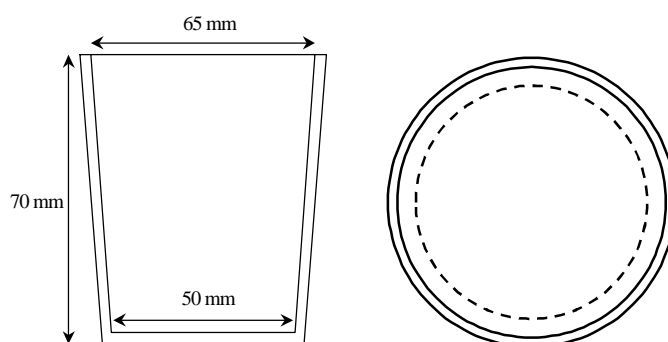
Som gjutform användes en låg glasskål av glas, en så kallad Petriskål. Skålen var tvådelad, lock och botten. Endast locket användes i denna studie. Invändig diameter på locket var 145 mm och kanten var 15 mm hög, se figur 3.3.



Figur 3.3 Principskiss på PF3 (petriskålen).

### 3.2.5 PF4 (muggen)

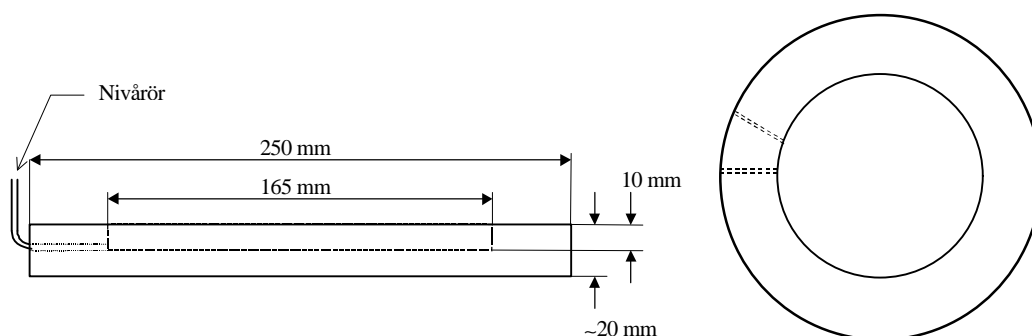
Som gjutform användes 195 ml stora engångsglas (muggar) av polyeten. Plastmuggarna var släta och hade lätt sluttande sidor, diametern var 10 mm större vid ovankanten än vid botten, se figur 3.4. Provkropparna gled därmed lätt ur muggen när de knackades loss. Muggens diameter var ungefär 50 mm vid botten och 65 mm vid ovankanten, höjden var 70 mm.



Figur 3.4 Principskiss på gjutform PF4 (muggen)

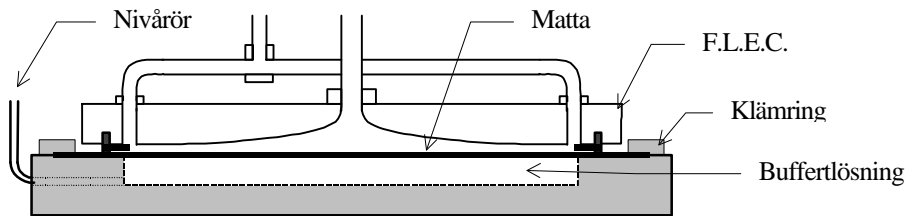
### 3.2.6 PF5 (plattan)

Plattan tillverkades av en cirkulär skiva av rostfritt-syrafast stål (SS2333,  $\text{\O} 250$  mm, t 20 mm). I mitten av plattan svarvades en fördjupning ut ( $\text{\O} 165$  mm, d 10 mm), se figur 3.5. Två hål borrades genom skålens sida. Hålen gängades och det ena försågs med ett nivåör medan det andra förslöts med en skruv. Dessa hål används vid påfyllning av pH-lösning under provberedningen.



Figur 3.5 Principskiss på PF5 (plattan), avpassad att användas med FLEC.

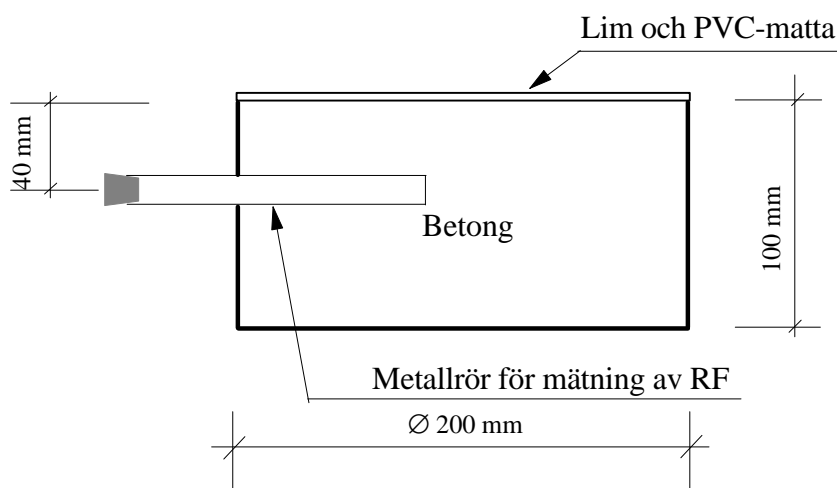
Golvbeläggningen som skulle provas klämdes fast ovanpå plattan med en fastskruvad klämring, se Figur 3.6. Fördjupningen fylldes med pH-lösning genom hålen i sidan och vätskenivån kontrollerades med nivååret.



Figur 3.6 Utrustning för nedbrytning av matta, FLEC och nykonstruerad underdel (PF5)

### 3.2.7 PF6 (skålen)

Gjutformen var en cirkulär ”skål” av rostfritt stål. Skålen pressades i ett stycke och säkerställde därmed ensidig uttorkning, figur 3.7. Formarnas diameter var 200 mm och höjden 100 mm. 40 mm från skålens överkant monterades ett horisontellt PVC-rör för RF-mätningar. Röret hade invändig diameter 17 mm för att passa till RF-proberna. Före gjutningen tätades hålet i röret inne i formen med en diffusionsöppen tejp och den andra ändan tätades med en gummikork. Nivån 40 mm från överkant valdes med tanke på anvisningen för RF-mätningar i Hus AMA 98. Fuktnivån på 40 % av betongplattans tjocklek vid ensidig uttorkning motsvarade ungefär den fuktnivå som erhöles när fukten omfördelats efter matläggning.



Figur 3.7 Genomskäring av PF6 (skålen)

Rostfritt stål har inga egenemissioner men kan i vissa sammanhang fungera som en sänka. Kolväten kan kondensera på stålets yta och stanna kvar, men den effekten ansågs försumbar i studien.

### 3.3 Betong

#### 3.3.1 Material

Sex olika betongblandningar ingick i studien. Recepten valdes så att betongblandningarna i stort sett innehöll samma typer av delmaterial men i olika mängder. Det som huvudsakligen skilde de olika betongblandningarna åt var vattencementtalet (vct), det vill säga cementshalten, och tillsatsmaterial samt tillsatsmedel, se tabell 3.1. I några av blandningarna tillsattes exempelvis silikastoft (amorf SiO<sub>2</sub>). De härdade betongerna fick olika egenskaper.

Tabell 3.1 Betongrecept alla material angivna i (kg/m<sup>3</sup>).

Benämning	B1	B2	B3	B4	B5	B6
vct	0,315	0,375	0,39	0,42	0,50	0,66
Cement	462	400	425	380	513	290
Vatten	146	150	166	160	256	191
Sand (0 - 8 mm)	813	875	783	916	–	980
Makadam (8-12 mm)	39	194	805	924	–	899
Makadam (12-16 mm)	761	563	–	–	–	–
Filler Baskarp no 7	81	117	–	–	1538 <sup>♥</sup>	–
Silikastoft	–	–	21	21	–	–
Mighty <sup>♣</sup>	–	–	8	–	–	–
Luftporbildare Cementa 16L	0,05	0,05	–	–	–	–
Flytmedel Cementa 92M	5,00	4,20	3,76	3,76	–	–

♥ Baskarpsand 15 (No 7): 256 kg, Baskarpsand 35: 256Kg, Baskarpsand 95: 1026kg

♣ Flyttillsats, sulfonerad naftalenpolymer

De sex betongsorterna som valdes till studien innehåller alla stdP cement (standard Portland) från Skövde men i olika proportioner. I ett försök ersattes stdP mot anläggningscement från Degerhamn för att reducera alkalihalten. Genom att variera blandningsförhållandet mellan vatten och cement, det så kallade vattencementtalet (vct) erhöles betonger med skilda egenskaper. Exempelvis är betong med lågt vct mer alkaliskt än betong med högt förutsatt att de är baserade på samma cementsort. De med lågt vct är också tätare mot exempelvis fukt än de med högt vct. Det beror på att de har ett finare porsystem. Enkelt kan det förklaras men att där det finns blandningsvatten från början blir det porer när vattnet ”försvinner”. Betong med lågt vct har mindre blandningsvatten. Därför får de ett litet och finare porsystem. Detta får som konsekvens att fukttransporten sker med olika hastigheter i betongsorter med olika vct.

Betong med lågt vct kallas byggfuktfri eller självtorkande betong i husbyggnads-sammanhang. Denna nomenklatur har valts för att sådan betong inte innehåller någon skadlig byggfukt som måste torkas bort. Nästan allt vatten som tillsätts vid blandning av sådan betong går åt vid hydratisering (härdning), det som blir kvar är hårt fysikaliskt bundet i porsystemet. Vilket blandningsförhållande mellan cement och vatten (vct) som ger dessa egenskaper beror på cementsorten. Exempelvis behövs ett lägre vct, mer cement i förhållande till vatten, för Degerhamn anläggningscement än för stdP cement. Detta beror på cementets kemiska uppbyggnad men också på malningsgraden. Anläggningscement är malt i ”grövre” fraktioner än stdP cement. Atlassi *et al.* (1991) visade att vid stdP cement låg gränsen kring vct 0,40 om man ville komma ner till 85 % RF i betongen på 28 dygn medan man var tvungen att använda vct 0.25 för att nå samma resultat med anläggningscement.

Tillsatsmedel används för att få önskade egenskaper hos den färska och den härdade betongen. Tillsatsmedlen kan indelas i grupper baserat på deras verkan i betongen enligt Betonghandboken (1994):

Accelererande tillsatsmedel används för att skynda på betongens hållfasthets-tillväxt, men också för att påskynda tillstyvnadsförloppet. Dessa består främst av lösliga oorganiska salter. Exempel på acceleratorer är olika typer av silikater, karbonater, aluminater samt cyanater.

Retardatorer används för att förlänga tiden till betongens tillstyvnande vid exempelvis långa transporter. De används också för att styra tillstyvnandet vid exempelvis glidformsgjutning och undervattensgjutning. Exempel på retardatorer är lignosulfonater, fosfater, sockerarter och natriumsalter.

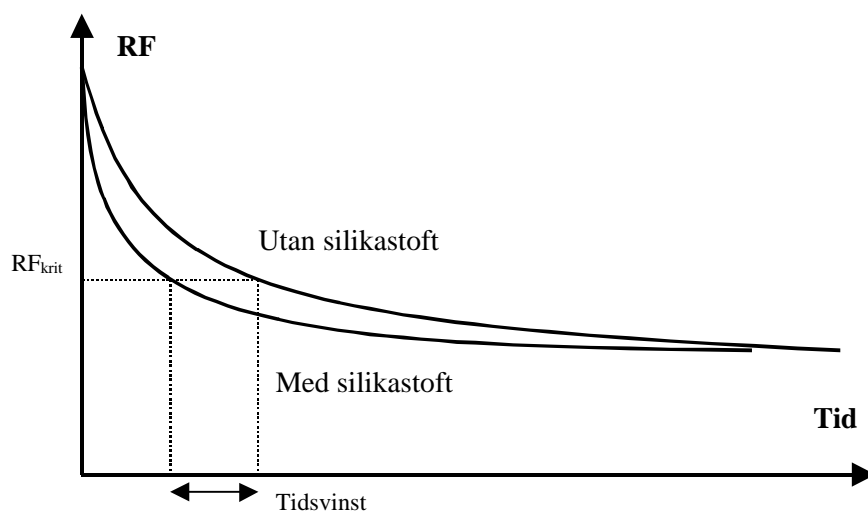
Vattenreducerande tillsatsmedel används för att ge bibehållen konsistens vid en lägre vattenhalt och därmed lägre vct. Det kan också användas för att ge en mer lättflytande konsistens vid bibehållen betongsammansättning. Dessa ämnen är oftast ytaktiva och fungerar som ”smörjmedel” eller ”kullager” mellan sand- och ballastkorn i betongen. Exempel på vattenreducerande tillsatsmedel är lignosulfonat samt sulfonerat melamin- eller naftalenformaldehydkondensat.

Flyttillsatsmedel kan användas på liknande sätt som vattenreducerande tillsatsmedel för att påverka vattenbehov och konsistens. Flyttillsatsmedlen har dock en kraftigare effekt. Exempel på flyttillsatsmedel är lignosulfonat, olika akrylater samt sulfonerat melamin- eller naftalenformaldehydkondensat

Luftporbildande medel tillsätts för att göra betongen frostbeständig. Dessa består oftast av oljor, fetter, hartser samt syntetiska tensider. Exempel på luftporbildare är talloljederivat och sulfonerade akrylpolyglykoletrar.

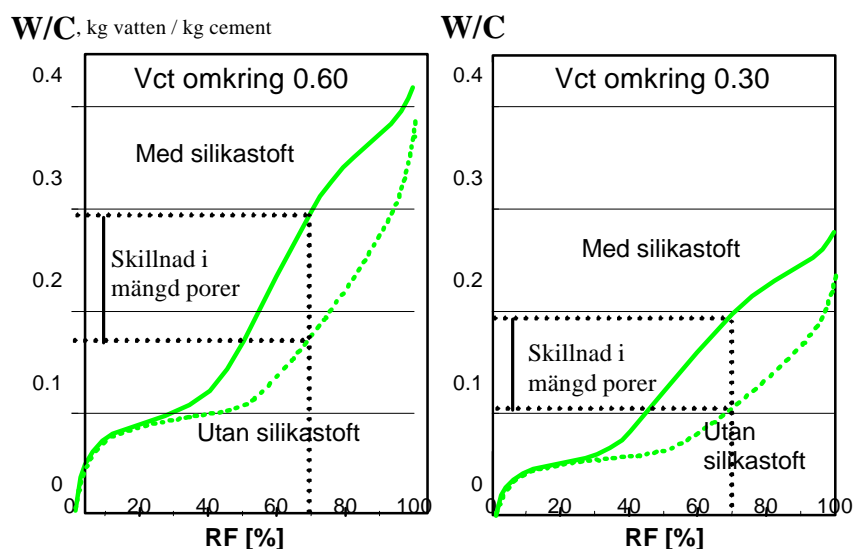
Övriga tillsatsmedel kan exempelvis vara expanderande, korrosionsinhiberande, skumbildande eller vattenavvisande. Många av ämnena som används kan inordnas i flera av grupperna, till exempel kan ett vattenreducerande ämne också vara luftporbildande.

Silikastoft används bland annat för att påskynda självuttorkningen genom att det reagerar som ett bindemedel, figur 3.8, och påverkar porstrukturen i betongen genom att göra den finare och tätare på grund av färre och mindre kapillärporer. Eftersom större delen av fukttransporten i betongen sker i kapillärporerna ger detta en lägre fukttransport vid i övrigt lika förhållanden. Sorptionsisotermen i figur 3.9 visar hur storleksfördelningen av betongporer förändras med silikastoft. Det finns ett samband mellan relativ fuktighet och porstorlek, som i korthet säger att bara porer med liten diameter är fyllda vid lågt RF medan stora porer fylls först vid högt RF.



Figur 3.8 Inverkan av silika på betongens självuttorkning. Principiell figur

Figur 3.9 skall läsas så att för ett visst RF (till exempel 70 %) kan betong med silikastoft innehålla mer fukt än betong utan silikastoft. Detta beror på att betong med silika har större andel av de porer med en diameter som kan fyllas vid den fuktighetsnivån



Figur 3.9 Inverkan av silika på sorptionskurva (fuktisoterm). Principiell figur från Atlassi (1995).

### 3.3.2 Blandning

Vid betongtillverkningen torrblendades först sand, cement och eventuell silika någon minut. Sedan tillsattes makadamen, hälften av vattnet och tillsatsmedlen. Slutligen tillsattes resten av vattnet och betongen blandades ungefär fyra minuter. Tillsatsmedlen blandades med lite av vattnet innan de hälldes i betongblandaren.

Blandningen av betongen gjordes i en 20 liters tvångsblandare av typen Tecnotest T650 som kunde varvtalsregleras steglöst mellan ungefär 60 – 150 rpm. Den kunde liknas vid en degblandare för storhushåll. Delmaterialen vägdes upp med hjälp av en våg av märket Mettler PM34 som hade två mätområden, ett lågt som gick till 4000g där upplösningen var 0,1g och mätosäkerheten cirka  $\pm 0,2$  g samt ett högt mätområde som gick till 32000 g där upplösningen var 1 g och mätosäkerheten cirka  $\pm 0,6$  g.

### 3.3.3 Gjutning

Tillvägagångssättet vid gjutning av betong var densamma för alla typer av provkroppar som användes i studien. Först fylldes provformen delvis och betongen kompakterades genom att ställa formen på ett vibreringsbord. Sedan fylldes formen nästan full och vibrerades igen. Därefter fylldes formen helt, vibrerades och ytan avjämnades med en stålspackel. Formarna täcktes med byggplast och eventuella mättror som monterats i formen tätades med gummikorkar mot den omgivande luften. Ingen märkbar vattenseparation uppstod förutom i ett fall.

Efter gjutningen härdades provkropparna i klimatstabil rum övertäckta med tätslutande plast. Under denna period skedde en självtorkning av betong med lågt vct. Plasten avlägsnades en tid innan limningen och betongen fick torka. Denna

torkperiod mellan plasten togs bort till limningen av mattan skedde kallas i rapporten för TT (torktid).

Hinken för försök a3.4 hade dåliga gjutegenskaper och viss vattenseparation uppstod. Vid sista vibreringen av hinkarna uppstod små "kratrar" ovanför de grundaste rören. Kratrarna fylldes genom att lite betong utan grovballast lades på och avjämnades med en slev.

I några undersökningar vändes PF2 (cellplastformen), PF3 (petriskålen) samt PF6 (skålen) upp och ner mot en stålplåt efter att de fyllts helt. Sista vibreringen skedde därmed upp och ner. De förvarades upp och ner mot stålplåten i ett dygn innan de vändes. Syftet var att få en jämn yta som mattan senare kunde limmas på. Förfarandet gav en "spegelblank" yta som inte liknar den skrovliga gjutyta som erhålls vid gjutning i verkligheten. Ytan blev fylld med pasta och endast enstaka porer uppstod.

Metoden att jämna till ytan förändrades till senare undersökningar med PF6 (skålen) och till undersökningarna där PF1 (hinken) användes. Istället för att vända dem upp och ner så avjämnades ytan en gång till några timmar efter gjutningen. Metoden gav en yta som mer liknade den som erhålls vid gjutning i verkligheten. Detta förfaringssätt krävde stor vana och skicklighet för att skapa en yta på provkroppen som var tillräckligt jämn för FLEC-mätningar efter det att en matta limmats.

Dagen efter gjutning togs byggplasten bort och de formar som hade varit upp och ner vändes. Ytan täcktes med ett diffusionstätt material för att hindra för tidig uttorkning. Skålarna täcktes med två lager aluminiumfolie i undersökning d1. På resterande provkroppar användes polyolefinfilm (gladpack) istället, ändringen gjordes för att förhindra risken för alkaliska aluminiumreaktioner. Provkroppen förvarades i ett klimatstabilt rum under härdningsprocessen och efterföljande försök. Rummet hade temperaturen +20°C och 50 % relativ fuktighet.



### 3.4 Avjämningsmassa

#### 3.4.1 Material

Avjämningsmassor används för att avjämna betongbjälklag då betongytans jämnhet inte uppfyller kraven för golvbeläggning. Avjämningsmassor är av typen självnivellerande spackel. Tidigare användes namnet ”flytspackel” men den benämningen frångicks och recepturen förändrades eftersom tillsatsmedlen gav upphov till en rad uppmärksammade skadefall.

Avjämningsmassor består av ett bindemedel, fyllmedel och tillsatsmedel. Bindemedlet är vanligtvis cement- eller gipsbaserat. Fyllmedel är exempelvis torkad sand eller krossad dolomit. Exempel på tillsatsmedel kan vara flytmedel och olika polymerer.

I studien användes sju olika avjämningsmassor. Fem hade aluminatcement som bindemedel och de övriga två var gipsbaserade. Av de fem cementbaserade var två snabbhärdande. Avjämningsmassorna finns sammanställda i tabell 3.2 och 3.3.

Tabell 3.2 Avjämningsmassor A1 – A4. Uppgifter enligt tillverkare.

Benämning	A1	A2	A3	A4
Namn	ABS 147	Universal	Ventonit	ABS 154
Leverantör	Optiroc	Stråbruken	Optiroc	Optiroc
Typ	Normal	Normal	Normal	Snabb
Bindemedel	Aluminat-cement	Aluminat-cement	Aluminat-cement	Aluminat-cement
pH	11	–	–	11
Läggningsskikt [mm]	2-30	5-30	2-30	2-30
Gångbar [timmar]	1-3	2-6	6-8	–
Mattläggning [dygn]	7-21	7-42	7-21	0,5-1

Tabell 3.3 Avjämningsmassor A5 – A7. Uppgifter enligt tillverkare.

Benämning	A5	A6	A7
Namn	Snabb	AE 20	Soluflex
Leverantör	Stråbruken	Knauf D.	Strängbtg.
Typ	Snabb	Gips	Gips
Bindemedel	Aluminat-cement	Anhydrit	Syntetisk anhydrit
Ungefärligt pH	–	–	Lågalkaliskt
Skiktjocklek [mm]	2-30	–	> 20
Gångbar [timmar]	1-2	21-24	24
Mattläggning [dygn]	0,7	21-49	14*

\* vid 25 mm tjocklek och optimal uttorkning.

### 3.4.2 Gjutning

Avjämningsmassorna levererades torra, det vill säga att de var färdigblandade med undantag av vatten som tillsattes vid gjutningen. Uppvägning av torrt material och vatten samt blandning gjordes med samma utrustning som användes vid blandning av betong, kapitel 4.2.2.

Blandning och gjutning av avjämningsmassor gjordes i stort sett likadant för alla sorter. Skillnaderna låg i vattenmängd och blandningstider samt skiktjocklek där tillverkarna gav olika anvisningar. Först vägdes det torra materialet upp och torrblendades i någon minut. Därefter tömdes ungefär hälften av vattnet i och blandades i ytterligare några minuter. Resterande vatten tömdes långsamt i blandningen och alltsammans blandades ytterligare några minuter enligt tillverkarens anvisningar.

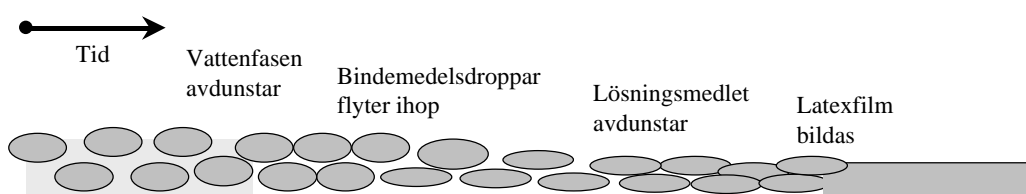
Innan gjutning applicerades primer på provkroppen. Provkropparna fick sedan ”torka” en tid innan avjämningsmassan blandades och tömdes på provkroppen. Allt skedde enligt respektive materialtillverkarens anvisningar.

Provkropparna placerades efter färdigställandet omedelbart i ett klimatstabil rum. De förvarades där under härdningsprocessen och efterföljande försök. Rummet hade temperaturen +20°C och 50 % relativ fuktighet.

## 3.5 Golvlim

### 3.5.1 Material

Dagens golvlim innehåller inte lösningsmedel i traditionell mening. Istället är bindemedlet löst i högkokande lösningsmedel (mjukgörare). Små droppar av denna lösning är finfördelade (dispergerade) i en vätskefas. Denna typ av lim benämns ofta vattenbaserat dispersionslim. När limmet torkar avgår först vätskefasen, sedan flyter bindemedelsdropparna samman och till sist avdunstar lösningsmedlet, se figur 3.10. Avdunstning av lösningsmedlet utgör limmets egenemission, det kallas också primär emission.



Figur 3.10 Principiell bild på torkningsförloppet hos ett vattendispergerat "akrylatlim" (latex). Bilden baseras på Björk (1996).

Alkaliska fuktiga miljöer riskerar att hydrolysera lim med bindemedel som baseras på akrylatsampolymerer av 2-etylhexylakrylat och butylakrylat. Vid hydrolysen bildas alkoholerna etylhexanol och butanol. Denna typ av emission kallas i rapporten för sekundär emission.

Alla lim som användes i studien var vattenbaserade dispersionslim. Fyra olika sorter användes, Bona Futurum, Casco Proff, Bona våtrumslim, samt Evonor 2001, se tabell 3.4. Limmen införskaffades genom golvgrossist. Burkarna förvarades i en mörk och sval lokal.

Tabell 3.4 Limsorter som använts i studien. Uppgifter enligt tillverkare.

Benämning	L1	L2	L3	L4
Namn	Futurum	Casco Proff	Våtrumslim	Evonor 2001
Tillverkare	Bona	Casco	Bona	Bostik
Lösningsmedel	Vatten	Vatten	Vatten	Vatten
Sampolymerer	Akrylat, Acetat	Akrylat, Acetat	Acetat	Akrylat
pH	8,5	7,8	6,5-7,5	7-8
Desitet [ $\text{kg/m}^3$ ]	1250	1300	1400	1270
Torrhalt [%]	68	70	67	–

Med % avses vikts-% av cementvikten.

Bona Futurum (L1) är ett vattenbaserat dispersionslim som lämpar sig väl för limning av homogena vinylmattor med eller utan baksida av glasfiber eller mineralull och för textila mattor med eller utan baksida av skum enligt tillverkaren. Limmets sammansättning redovisas i tabell 3.5.

Tabell 3.5 Bona Futurum (L1).

Ämne	CASnr <sup>♥</sup>	Halt %	Farosymbol	Riskfraser <sup>♣</sup>
<b>Akrylsampolymer</b>		–		
<b>Etylvinylacetat-sampolymer</b>		–		
<b>Esterharts</b>		5-10		
<b>Klorometylisothiazolinon</b>	26172-55-4	<15 ppm	Xi	43

♥ Chemical Abstracts Services Registry Number

♣ Internationell hälso- och miljöklassificering

Casco Proff 3448 (L2) kan användas till många typer av golv och väggmaterial och kan även användas på sugande underlag såsom exempelvis betong enligt tillverkaren. Limmets sammansättning redovisas i tabell 3.6.

Tabell 3.6 CascoProff (L2).

Ämne	CASnr	Halt %	Farosymbol	Riskfraser
<b>Acrylsampolymer</b>		10-30		
<b>Butyldiglykolacetat</b>	124-17-4	1-5	V	R-321
<b>Inert fyllmedel</b>		>30		
<b>Tallharts</b>		5-10		
<b>Vatten</b>	7732-18-5	10-30		
<b>Vinylacetatsampolymer</b>		10-30		

Bona Våtrumslim (L3) baseras inte på 2-etylhexylakrylat. Därför var det inte troligt att det avgav etylhexanol vid hydrolys. Limmets sammansättning redovisas i tabell 3.7.

*Tabell 3.7 Bona Våtrumslim (L3).*

<b>Ämne</b>	<b>CASnr</b>	<b>Halt %</b>	<b>Farosymbol</b>	<b>Riskfraser</b>
<b>Etenvinylacetatcopolymer</b>		–		
<b>Polyvinylacetatdispersion</b>		–		
<b>Metyl-1H-besimidazol-2-yl-karbamat</b>	10605-21-8	<,02		
<b>Klorometylisothiazolinon</b>	26172-55-4	<15 ppm	Xi	43

Evonor 2001 (L4) har höga egenemissioner då det användes i början av arbetet. Tillverkaren ändrade recepturen men det uteslöts ur senare delar av det här arbetet. Limmets sammansättning redovisas i tabell 3.8.

*Tabell 3.8 Evonor 2001 (L4).*

<b>Ämne</b>	<b>CASnr</b>	<b>Halt %</b>	<b>Farosymbol</b>	<b>Riskfraser</b>
<b>Akryl-dispersjon</b>		–		
<b>Fortykningsmiddel</b>		–		
<b>Dolomitt</b>		–		
<b>Harpiks</b>		–		
<b>Stabilisator</b>		–		
<b>Di-n-butylphtalat</b>	84-74-2	1-5		
<b>N-paraffin</b>	64771-72-8	1-5		

### 3.5.2 Limningsmetoder

Tre olika limningsmetoder användes i studien, enkel våtlimning, häftlimning och kontaktlimning. I de flesta försöken användes enkel våtlimning, det vill säga att limmet applicerades på ena ytan och väntetiden var så kort att limmet fortfarande vätte vid beröring då mattan trycktes fast. Vid ett försök studerades effekten av olika limningsmetoder. Metoderna sammanfattas i tabell 3.9. Limningsmetoderna beskrivs närmare i Fritsche *et al* (1997).

Vid limningen applicerades limmet på betongen med en pensel för att få jämn spridning och kunna kontrollera limmängden. Först östes en tillräckligt stor mängd lim över i en plastmugg. Plastmuggen inklusive lim och pensel vägdes med Mettler PM 480 som beskrivs i kapitel 2.2. Sedan ströks den exakta mängden lim ut på betongen. Vikten av det pålagda limmet registrerades genom att väga mugg inklusive lim och pensel och beräkna viktminskningen.

Tabell 3.9 Sammanställning av limningsmetoder enligt Schrewelius (1997).

Limnings- teknik	Enkellimning		Dubbellimning*	
	Våtlimning LM1	Häftlimning LM2	Våtlimning LM3	Kontaktlimning LM4
<b>Väntetid</b>	0 - 15min	från 45 min	0 min	ca 30 min
<b>Konsistens vid montering</b>	Limmet väter	Tejpliknande	Limmet väter	Tejpliknande
<b>Anmärkning</b>	Hög slut- hållfasthet	Vid icke sugande mtrl.	Hög slut- hållfasthet	Omedelbar hög hållfasthet

\* Mattan nedlägges i vått lim, dras isär och får torka under väntetiden innan slutlig montering.

Med enkellimning menas att limmet sprids ut på ena ytan medan det sprids på båda ytorna vid dubbellimning. Gränsen mellan våtlimning och häftlimning är ”flytande”, och ibland kan väntetider som är längre än för våtlimning men kortare än för häftlimning användas. Dessa fall kallas “sen våtlimning” eller “tidig häftlimning”. Gränsen är varierande och beror av bland annat temperatur och luftfuktighet. Generellt gäller att vid sen våtlimning väter fortfarande limmet, denna övervätning försvinner då det övergår till tidig häftlimning.

### 3.6 Matta

Mattor består av bindemedel, fyllmedel, eventuellt bärare och ofta tillsatsmedel. Vanligtvis används naturliga eller processframställda polymerer som bindemedel. Till de naturliga polymererna hör exempelvis linoleum. Processframställda polymerer är det vi kallar plaster, exempelvis PVC (polyvinylklorid) och Polyolefin. Fyllmedel tillsätts för att dryga ut materialet samt i viss mån ge mattan önskade egenskaper. Fyllmedel är exempelvis trä eller stenmjöl. Tillsatsmedel är mjukgörare, stabilisatorer, processhjälpmedel och dylikt. De estetiska egenskaperna förändras genom att blanda i pigment eller inkludera ett tryckt skikt i mattan.

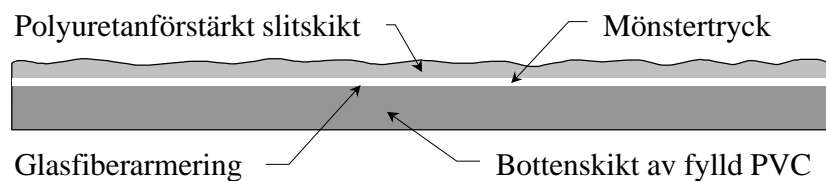
Fyra olika typer av mattor ingick i studien. Typerna var homogen PVC-matta (Smaragd Aqua), skiktad PVC-matta (Novilon Scandinavia), Linoleummatta (Marmoleum Real) samt PVC-matta för lösläggning (Tarkett Stabil). Mattorna finns sammanställda i tabell 3.10.

Tabell 3.10 Mattsorter: Uppgifter enligt tillverkare.

Benämning	M1	M2	M3	M4
Namn	Smaragd Aqua	Novilon Scandinavia	Marmoleum Real	Stabil
Tillverkare	Forbo-Forshaga	Forbo-Forshaga	Forbo-Forshaga	Tarkett
Bindemedel	PVC	PVC	Linolja och harts	PVC
Mjukgörare	DOP	DOP, BBP, DIOA	–	DOP, BBP
Fyllmedel	Dolomit	–	Trämjöl, kalkstensmjöl	Aluminiumsilikat
Baksida	PVC	PVC-skum	Juteväv	Polyester
Tjocklek (mm)	2,0	2,4	2,0	3,0
Vikt (kg/m <sup>2</sup> )	2,8	1,75	2,2	2,3
Ångmotst. (s/m)	2,0·10 <sup>6</sup>	0,5·10 <sup>6</sup>	0,3·10 <sup>6</sup>	–

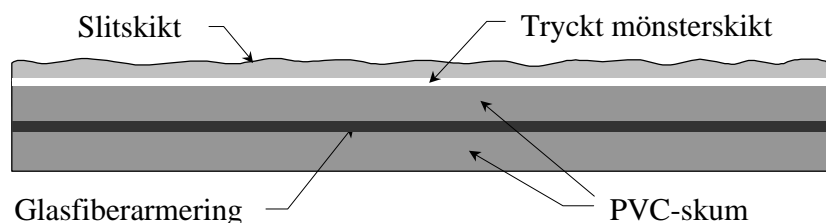
Mattorna införskaffades genom en golvgrossist eller direkt från tillverkaren. Uppskattningsvis var ingen matta äldre än 1 år och ingen matta hade utsatts för UV ljus eller för (städ) kemikalier.

M1, homogen PVC-matta (Smaragd Aqua), figur 3.11. Aqua smaragd var en 1,5 mm tjock PVC-matta avsedd att användas i våtutrymmen. Mattan var uppbyggd av ett slitskikt av transparent polyuretanförstärkt PVC och ett bottenskikt av fylld PVC. Smaragd Aqua innehöll cirka 54 vikt-% PVC, 19 vikt-% mjukgörare dioktylfthalat (DOP) samt cirka 23 vikt-% fyllmedel, dolomit. Stabilisatorer, pigment och övriga komponenter utgjorde tillsammans mindre än 5 vikt-%.



Figur 3.11 Uppbyggnad av homogen PVC-matta.

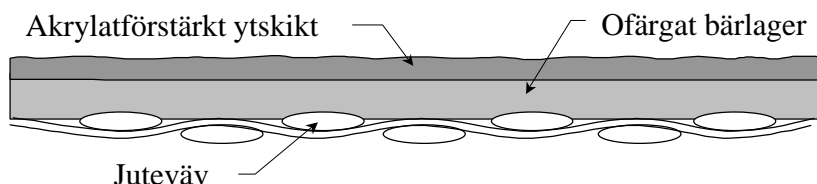
M2, skiktad PVC-matta (Novilon Scandinavia). Novilon Scandinavia var 2,4 mm tjock och uppbyggd i fler skikt enligt figur 3.12. Ytan bestod av genomskinlig polyuretanförstärkt, mjukgjord PVC. Baksidan bestod av ett mineralfiberarmerat PVC-skum. Novilon Scandinavia innehöll cirka 53 vikt-% PVC, 27 vikt-% mjukgörare av typerna butylbensylftalat (BBP), dioktylfthalat (DOP) samt dioktyladipat (DIOA). Det fanns inget fyllmedel i mattan men däremot cirka 15 vikt-% bärare (lateximpregnerad mineralfiber, nonwoven). Stabilisatorer, pigment och övriga tillsatser utgjorde tillsammans mindre än 6 vikt-%.



Figur 3.12 Uppbyggnad av skiktad PVC-matta.

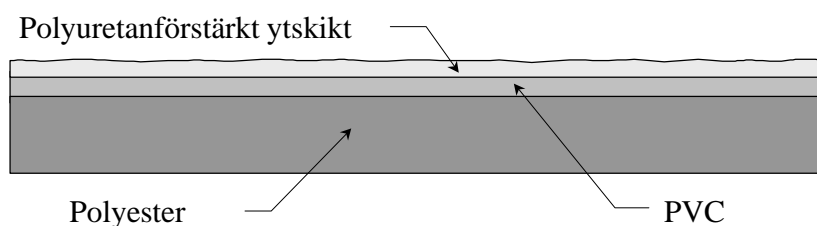


M3, linoleummatta (Marmoleum Real), figur 3.13. Marmoleum Real var 2,0 mm tjock och bestod till cirka 28 vikt-% av bindemedlen oxiderad och polymeriserad blandning av naturliga vegetabiliska torkade oljor och harts. Som fyllmedel användes trämjöl (29 vikt-%) och kalkstensmjöl (26 vikt-%). Bäraren av juteväv utgjorde cirka 10 vikt-%. Färgpigment och övriga komponenter utgjorde mindre än 7 vikt-%.



Figur 3.13 Uppbyggnad av Linoleummatta.

M4, PVC-matta för lösläggning (Tarkett Stabil). Tarkett Stabil var 3,0 mm tjock och uppbyggd i skikt enligt figur 3.14. Ytan bestod av ett polyuretanförstärkt slitskikt. Baksidan bestod av pressade polyesterfiber. Novilon Scandinavia innehöll cirka 54 vikt-% PVC, 17 vikt-% mjukgörare av typen dioktylfthalat (DOP) samt 9 vikt-% av typen butylbensylftalat (BBP). Mattan innehöll 5,2 vikt-% aluminiumsilikat som fyllmedel. Glasfiberbärare och ytskikt utgjorde cirka 5,4 vikt-%. Stabilisatorer, pigment och övriga komponenter utgjorde tillsammans mindre än 10 vikt-%.



Figur 3.14 Uppbyggnad av PVC-matta för lösläggning.

### 3.7 pH-lösning

Med hjälp av pH-lösningar kunde golvbeläggningarna exponeras mot bestämd alkalisk miljö i PF5 (plattan). De lösningar som användes i studien har bestämda pH-värden som ligger i nivå med pH i cementbaserade material.

I studien användes tre olika lösningar, se tabell 3.11. Två var pH-lösningar av märket Titrisol. De hade pH 11 för att efterlikna lågalkalisk avjämningsmassa samt pH 13 för att efterlikna betong. P1 (pH 11) hade stor buffertkapacitet och höll ett stabilt pH-värde även om viss påverkan (alkalisk hydrolys) skedde. P2 (pH 13) hade inte den buffertförmågan utan pH-nivån sjönk i lösningen varefter hydroxidjoner förbrukades av reaktionen.

Den tredje lösningen (P3) hade ungefär samma pH värde som P2. P3 blandades i laboratoriet till skillnad från de andra två som köptes färdigblandade. Receptet på P3 var från början framtaget för att motsvara vätskan som erhöles vid porpressning av betong. Betongen som pressades var baserad på standardcement från Degerhamn med vct 0,5. Det har inte varit möjligt att finna någon referens till den ursprungliga analysen av vätskan eller porpressningen.

Tabell 3.11 *pH-lösningar med bestämt pH-värde. Sammansättning och "fabrikat" av vätskorna..*

Benämning	P1	P2	P3
pH	11	13	13,05 <sup>♥</sup>
Typ	Titrisol	Titrisol	Betong
NaOH [M]	$91 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$
KCl [M]	$48 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> [M]	$94 \cdot 10^{-3}$		
KOH [M]			$83 \cdot 10^{-3}$
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O [M]			$40 \cdot 10^{-6}$

♥ efterliknar betongens pH-värde

## 4 Resultat

### 4.1 Mätplan

Studien omfattade utredningar av fyra parametrar; ytfukt, alkalifördelning samt kolväten i betong och emission av kolväten. Dessa fyra parametrar undersöktes i tolv olika undersökningar (a1 – d5), alla med olika materialkombinationer. Ofta gjordes flera mätningar på varje materialkombination med viss tid mellan för att följa ett förlopp.

De tolv undersökningarna var:

- a) undersökningar av ytfukt, innefattade försök:
  - RF och KMG på provbitar (a1)
  - Mätning av ytfukt i kvarsittande rör (a2)
- b) undersökningar av alkali, innefattade försök:
  - Analys med EPMA (b1)
  - Analys med ICP-MS (b2)
  - pH-mätning med kombinationselektrod (b3)
  - Indikering av pH-förändringar med fenolftalein (b4)
- c) undersökningar av flyktiga kolväten i betong, innefattade försök:
  - Migration ner i betong (c1)
- d) undersökningar av emission av kolväten, innefattade försök:
  - Emission från matta och lim (d1)
  - Inverkan av limningsmetod (d2)
  - Inverkan av avjämningsmassa (d3)
  - Inverkan av limfukt (d4)
  - Diffusion av kolväten genom mattan (d5)

I rapporten har olika begrepp använts såsom studie, undersökning, försök och mätning. Med studie menas hela arbetet som beskrivs i denna rapport. Begreppet undersökning syftar på de tolv undersökningarna a1 – d5 som beskrivs ovan. Ett begränsat antal försök ingår i varje undersökning, exempelvis a2.1 – a2.5. I ett försök kan flera mätningar göras. Exempelvis kan a2.1 mätas flera gånger med viss tid mellan för att följa ett förlopp

## 4.2 Ytfukt (a)

Tidigare undersökningar av Fritsche *et al* (1997) visade att ytfukt var en viktig parameter i samspelet som gav upphov till kemisk emission från golvkonstruktioner. I denna studie gjordes två undersökningar för att kvantifiera tillskottet av ytfukt vid mattläggning. Undersökningarna visade på höjningen av fuktnivå i betongen som orsakades av fuktillskottet. Den ena undersökningen byggde på betongprover som spräcktes och delades i småbitar efter limning av golvbeläggning. RF samt KMG mättes i dessa bitar och fuktprofiler fastställdes. Den andra undersökningen byggde på kvarstående RF-givare på olika djup i betongen. Fuktförändringen registrerades kontinuerligt med hjälp av dessa givare vid limning av golvbeläggning.

### 4.2.1 RF och KMG på provbitar (a1)

I undersökningen bestämdes fuktprofilen i betongprover före limning och vid flera tidpunkter efter limning. Två olika betongkvaliteter användes i försöken, på några av proven göts avjämningsmassa. Väntetiden vid limningen varierades i två steg. Material, väntetider och övriga förhållanden i denna undersökning var desamma som i den emissionsundersökning som redovisas i kapitel 4.5.4. Undersökningen beskrivs närmare Wengholt Johnsson och Sjöberg (1999).

Mätningarna utfördes på två olika sätt, dels mättes RF i provbitar som togs ur provkropparna på olika djup och dels mättes KMG på bitar från motsvarande djup.

## RF i ytan på spräckta prov

I denna del av undersökning mättes RF med kapacitiva givare på provbitar som stoppats i provrör. Försökssammanställning och resultat redovisas i tabell 4.1 och 4.2. Samtliga mätvärden redovisas i bilaga 5.

Tabell 4.1 Försökssammanställning och resultat för undersökning a1-RF.

Försök	a1.1	a1.2	a1.3	a1.4
Väntetid [minuter]	2	10	2	2
Torkning [dygn]	5	5	25	5
Betong	B6	B6	B6	B3
Avj. massa	–	–	–	–
Lim	L2	L2	L2	L3
Matta	M1	M1	M1	M1
Total limmängd [g]	4	4	4	4
Vattenmängd [g/m <sup>2</sup> ]	150	150	150	150
$\Delta RF_{\max}$ [% RF]	10,9	10,3	11,5	11,8
Tid $\Delta RF_{\max}$ [timmar]	28	28	168	168
Mätdjup $\Delta RF_{\max}$ [mm]	5	5	5	5

Tabell 4.2 Försökssammanställning och resultat för undersökning a1-RF.

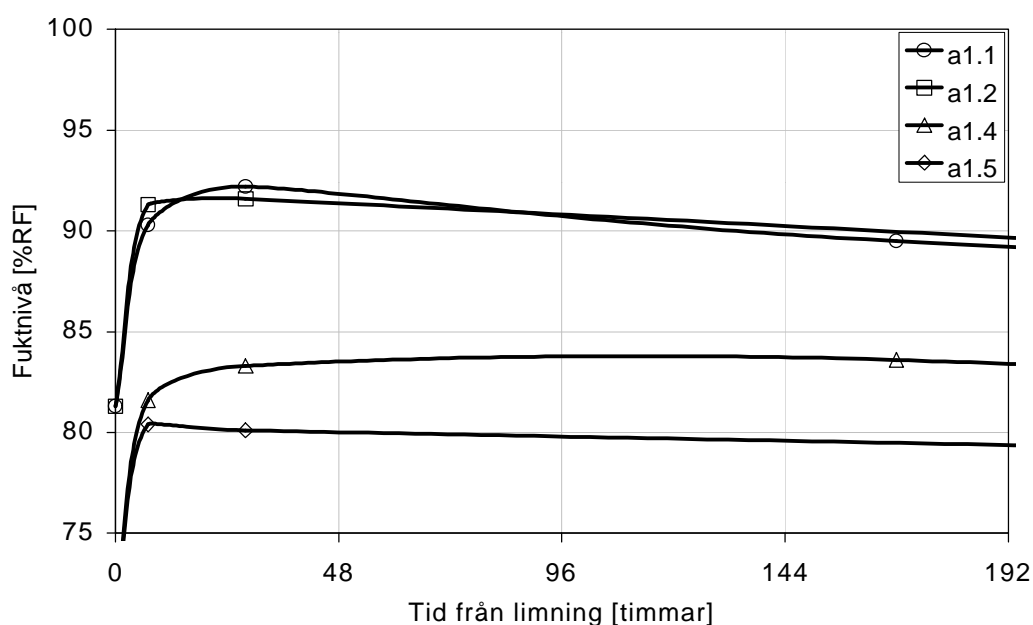
Försök	a1.5	a1.6	a1.7	a1.8
Väntetid [minuter]	10	2	2	2
Torkning [dygn]	5	25	7+5	7+5
Betong	B3	B3	B6	B3
Avj. massa	–	–	A2	A2
Lim	L2	L2	L2	L2
Matta	M1	M1	M1	M1
Total limmängd [g]	4	4	4	4
Vattenmängd [g/m <sup>2</sup> ]	150	150	150	150
$\Delta RF_{\max}$ [% RF]	8,6	22,6	–	1,5
Tid $\Delta RF_{\max}$ [timmar]	7	168	–	21
Mätdjup $\Delta RF_{\max}$ [mm]	5	5	–	25

Betong enligt tabell 4.1 och 4.2 göts i formar av cellplast, se kapitel 3.2.3. Direkt efter gjutningen vändes formarna upp och ned mot en stålplåt under ett dygn. Därefter förvarades de i klimatstabil rum (20°C, 50 % RF) övertäckta med plastfolie i 25 dygn. Efter ytterligare 5 dygn limmades PVC-mattor på betongproverna. Totala mängden påfört lim, 4g, var densamma för samtliga prover. Mattorna våtlimmades och väntetiden var 2 minuter eller 10 minuter. Några prover lufthärdades i 25 dygn istället för 5 dygn.

De prover som avjämnades vändes ej utan förvarades övertäckta med tätslutande plast i 25 dygn och efter ytterligare 7 dygn påfördes cirka 5 mm avjämningsmassa. Mattan limmades på underlaget 5 dygn efter avjämnning.

Betongprovernans fuktprofil bestämdes genom att prover spräcktes och RF mättes på provbitar från olika nivåer i betongen enligt tredje metoden i kapitel 2.2.2. Till denna del av undersökningen användes RF-prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 som beskrivs i kapitel 2.2.1.

I tabell 4.1 och 4.2 redovisas största RF höjning ( $\Delta RF_{\max}$ ), tiden från limning till största höjningen (Tid  $\Delta RF_{\max}$ ) samt mätdjupet detta registrerades på. Fuktförändringen i ytan hos fyra prover som lufthärdats 5 dygn visas i figur 4.1. I bilaga 5 redovisas alla mätresultat i undersökningen i figurform.



Figur 4.1 RF i ytan på fyra prover som lufthärdats i fem dygn. Provkropparna a1.1 och a1.2 bestod av normal husbyggnadsbetong medan a1.4 och a1.5 bestod av byggfuktfrif betong.

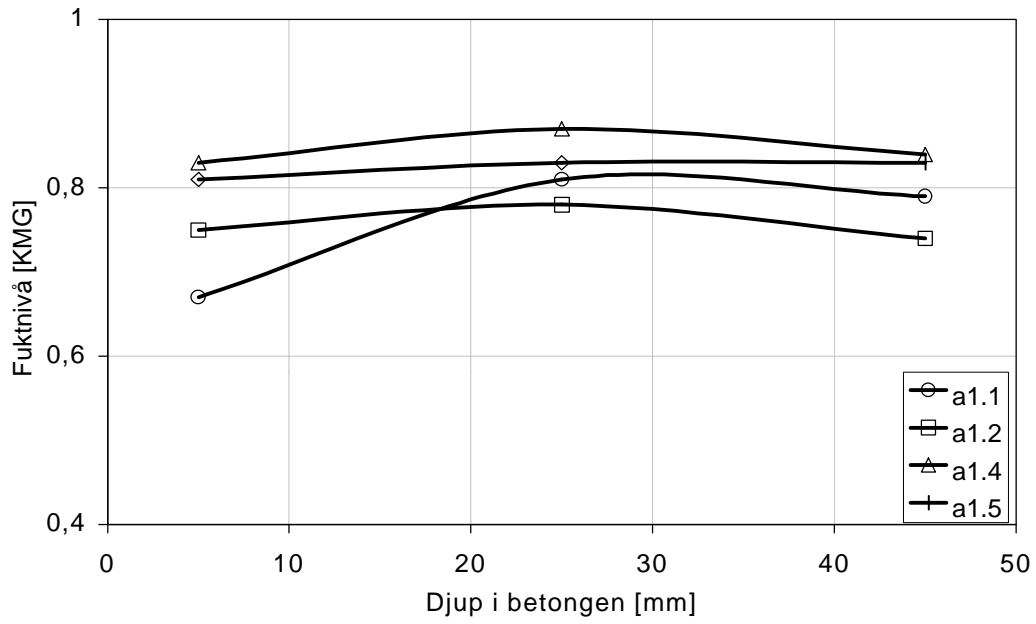
## KMG i ytan på spräckta prov

Denna delundersökning gjordes för att verifiera fuktillståndet i RF-mätningarna. Mätningen av KMG valdes att göras vid sista tillfället för RF-mätning, 28 dygn efter limningen av matta. Samtidigt som bitar valdes ut till RF-mätningen enligt ovanstående stycke valdes också 20 g stora betongbitar ut för bestämning av KMG. KMG bestämdes genom att bitarna vägdes med en precisionsvåg av märket Mettler PM 480 som beskrivs i kapitel 2.2.1. Bitarna vattenmättades och torkades mellan vägningarna enligt fjärde metoden i kapitel 2.2.2 . Försökssammanställningen och resultat har sammanställts i tabell 4.3.

Tabell 4.3 Försökssammanställning och resultat för undersökning a1-KMG.

Försök	a1.1	a1.2	a1.4	a1.5
Väntetid (minuter)	2	10	2	10
Torkning (dygn)	5	5	5	5
Betong	B6	B6	B4	B4
Avj. massa	-	-	-	-
Lim	L2	L2	L2	L2
Matta	M1	M1	M1	M1
Limmängd (g)	4	4	4	4
Vattenmängd (g/m <sup>2</sup> )	150	150	150	150
KMG <sub>ytskikt</sub>	0,67	0,75	0,83	0,81
KMG <sub>mitten</sub>	0,81	0,78	0,87	0,83
KMG <sub>botten</sub>	0,79	0,74	0,84	0,83

KMG på olika djup redovisas i som profiler i figur 4.2. Mätningarna utfördes 28 dygn efter limning av PVC-matta på ytan. I tabell 4 redovisas värdena från mätningen. Mätvärdena redovisas även i bilaga 5.



Figur 4.2 *KMG i ytan av 28 dygn efter limning. a1.1 och a1.2 var normal husbyggnadsbetong medan a1.4 och a1.5 var byggfuktfril betong. Betongbitarna var ungefär 10 mm stora.*



## 4.2.2 Mätning av ytfukt i kvarsittande rör (a2)

För att mäta påverkan av limfukt noggrannare än i undersökning a1 vidareutvecklades en annan mätmetod. Ursprungligen användes metoden att studera fuktillstånd i ytskikt hos betong vid applicering av avjämningsmassor, Nilsson (1984).

I den nya metoden användes kvarsittande RF-prober i ingjutna mätrör. Metoden finns utförligt beskriven i Sjöberg (1997).

Tabell 4.4 Försökssammanställning och resultat för undersökning a2.

Försök	a2.1	a2.2	a2.3	a2.4	a2.5
<b>Betong</b>	B1	B4	B4	B5	B6
<b>Lim</b>	L2	L2		L2	L2
<b>Matta</b>	M1	M1	PE <sup>♣</sup>	M1	M1
<b>Betongålder vid ”limning” [dygn]</b>	14	16	103	33	40
<b>Mättid före [dygn]</b>	1	3	1	2	1
<b>Mättid efter [dygn]</b>	11	42	13	16	10
<b>ΔRF<sub>max</sub> [% RF]</b>	9,5	12,0	26,6	4,1	5,2
<b>Tid ΔRF<sub>max</sub> [timmar]</b>	127	58	42	18	41
<b>Mätdjup ΔRF<sub>max</sub> [mm]</b>	13	3	3	3	5

♥ avjoniserat vatten istället för lim

♣ 5 lager polyeten folie (gladpack)

Provformarna, ”hinken”, som användes till undersökningen hade mätrör monterade från botten enligt beskrivningen i kapitel 3.2.2. Provkropparna göts en och en med betong enligt tabell 4.4. Efter gjutningen förvarades provkropparna i klimatstabil rum (20 °C, 50 % RF). Betongrecept samt förfarandet vid gjutningen är beskrivet i kapitel 3.3.

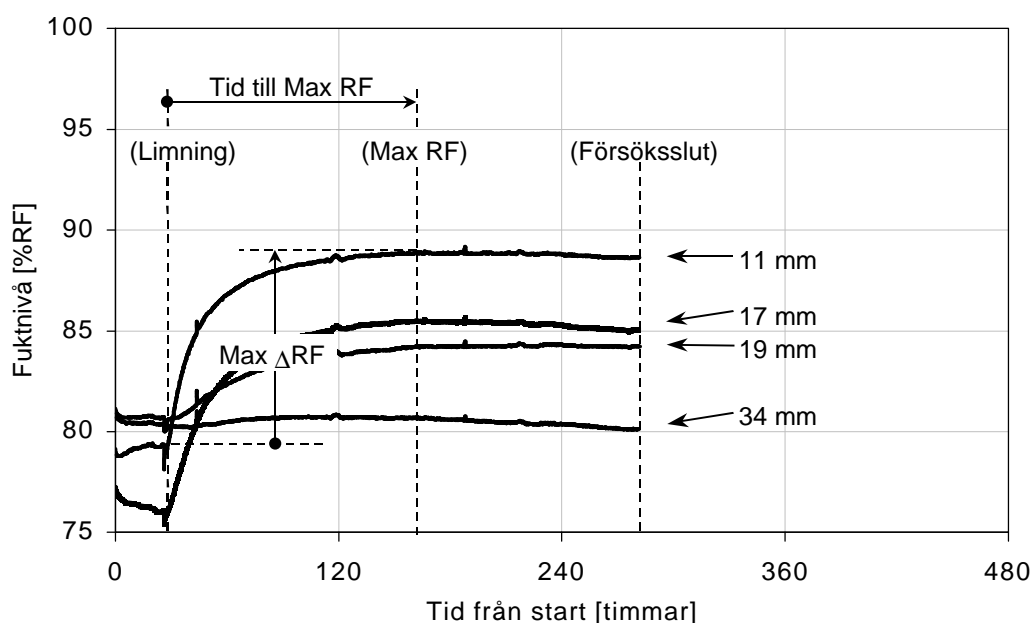
Något dygn innan limningen skedde monterades RF-proberna i provkroppens mätrör. På så sätt kom luften i mätröret samt proberna i jämvikt med fuktillståndet i provkroppen på respektive djup. Till de flesta mätningarna användes RF-prob HMP44 och datasamlingslogger Mitec AT40. Undantaget var försök a2.2, som för övrigt var den första mätningen med denna metod, samt en jämförande mätserie i alla de andra mätningarna utom a2.3. Till dessa mätningar användes RF-prob HMP 36 och handinstrument HMI 31. RF-instrumenten beskrivs i kapitel 2.2.1.

När givarna efter något dygn stabiliserat sig tillfördes ytfukt på betongen. Vid samtliga mätningar utom a2.3 rörde det sig om limfukt från limning av PVC-

matta. Mattan våtlimmades i försöken på det sätt som beskrivs i kapitel 3.5.2. I försök a2.3 bestod ytfukten av cirka  $150 \text{ g/m}^2$  avjoniserat vatten. Vattnet påfördes med en ”blomdusch” under någon minut.

Fukttillståndet följdes genom loggning av temperatur och RF var femte minut under minst tio dygn från mattläggning. Provkropparna var placerade i klimatstabil rum under hela mätningen. Temperaturvariationerna i provkroppen var mindre än  $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Temperaturen på givarna vid mätning i försök a2.1 redovisas i figur B4.3, bilaga 4.

Metoden som användes för RF-mätningar i denna undersökning beskrivs som andra metod i kapitel 2.2.2. Resultaten från försök a2.1 visas i figur 4.3. De viktigaste uppgifterna från mätningen såsom största RF höjning ( $\Delta\text{RF}_{\text{max}}$ ), tiden från limning till största höjningen (Tid  $\Delta\text{RF}_{\text{max}}$ ) samt mätdjupet detta registrerades på redovisas i tabell 4.4. I figur 4.3 redovisas hur värdena i tabellen tagits fram. Samtliga mätresultat redovisas i bilaga 6.

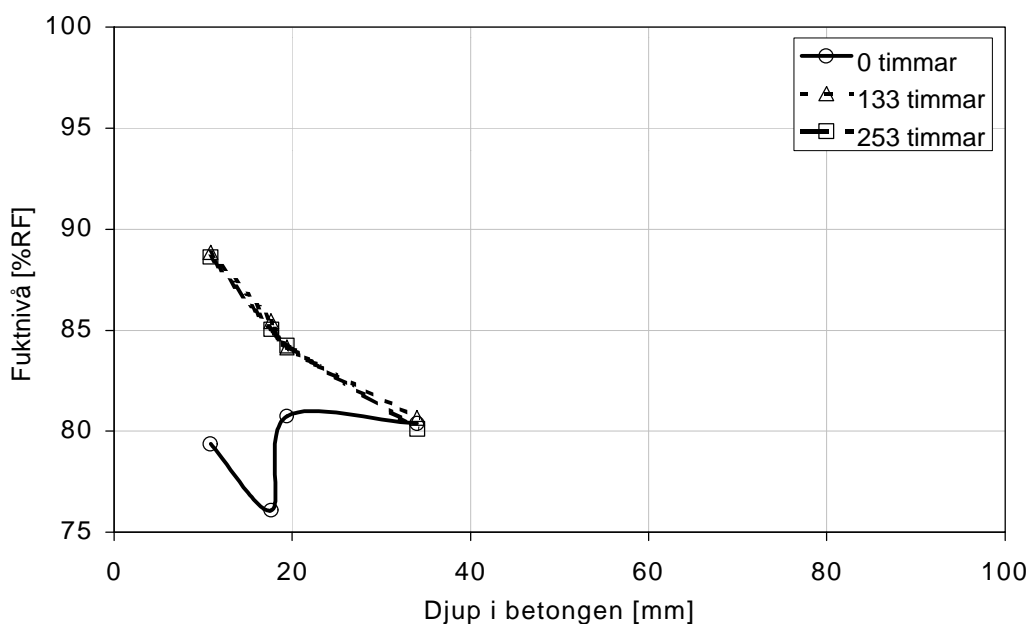


Figur 4.3 *Fuktförändring på olika djup efter limning av PVC-matta på a2.1. Bestämning av viktiga uppgifter såsom största RF-höjningen och tiden från limning till största höjningen inträffar.*

I figur 4.3 redovisas fuktförändringen i försök a2.1. Fukttillståndet på fyra olika avstånd från betongytan, 11, 17, 19 samt 34 mm följdes i försöket under ungefär 280 timmar.

De vertikala linjerna i den övre figuren markerar tiden för mattlimning, det högsta fukttillstånd som mättes upp under försöket samt då mätningen avbröts. Det högsta fukttillståndet sammanfaller med största ökningen av RF-värdet ( $\Delta\text{RF}_{\text{max}}$ ). I figur 4.4 redovisas fuktprofilen i betongen för de tre tiderna som är

markerade med prickade vertikala streck i figur 4.3. Tiderna som anges inom parentes i figur 4.4 är räknade från limningen.



Figur 4.4 Fuktfördelning i betongen innan limning och vid olika tider efter limning av PVC-matta på försök a2.1.

### Första försöket i undersökning a2.2

Detta försök var det första som gjordes med denna metod. Metoden ändrades under mätningarna så dessa mätningar skiljer sig lite från övriga i undersökningen. Till försöket användes RF-prob HMP 36 och handinstrument HMI 31 och avläsningen av temperatur och RF gjordes manuellt.

Gjutning och härdning av provkroppen gjordes på samma sätt som beskrivs tidigare i kapitlet. RF-proberna stoppades in i mätören ungefär tre dygn innan limningen för att säkerställa att luften i mätören samt proberna kom i jämvikt med fuktillståndet i provkroppen på respektive djup. Efter limningen lästes RF-givarna av kontinuerligt de första 10 minuterna. Under den tiden lästes 21 värden, det vill säga ungefär fyra värden för varje givare. Därefter avlästes värdena med ungefär en timmes mellanrum resten av dagen. Dag två och tre avlästes värdena fem gånger per dag och under dag fyra två gånger. Eftersom förändringstakten avtog så avlästes värdena endast en gång om dagen under resterande mätperiod.

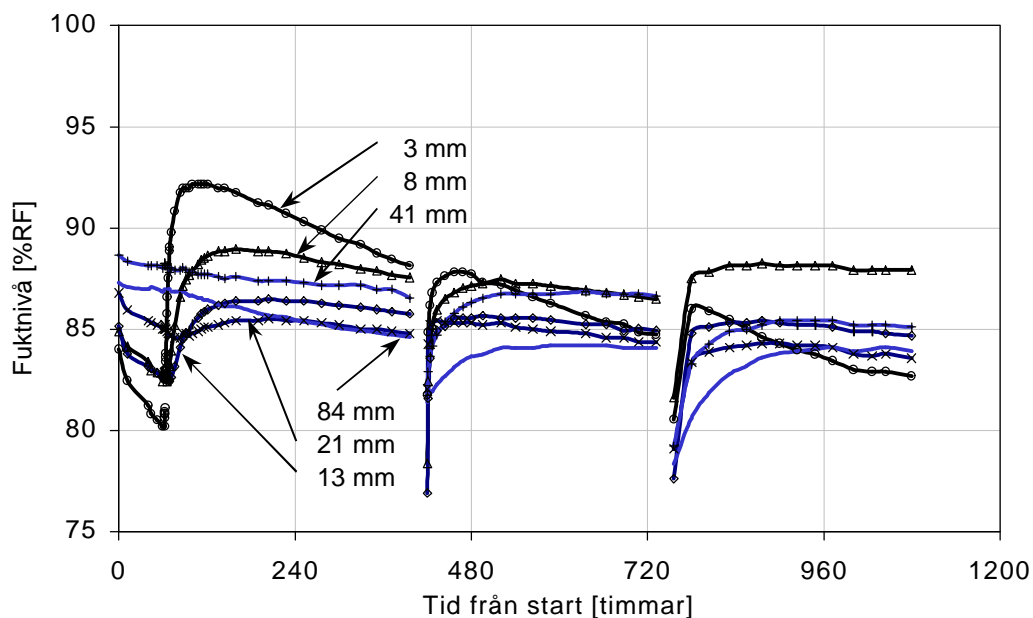
Mätningen avbröts två gånger för att få en uppfattning om probernas stabiliseringstid då mätningen startade på nytt. Den första gången togs givarna ur hålen som genast tätades med gummikorkar. Proberna förvarades i en box med ungefär 75 % RF. Ett dygn senare stoppades givarna tillbaka i samma hål och värdet avlästes omedelbart. Mätarna lästes sedan av ett flertal gånger de närmaste dyggen för att sedan läsas en gång per dygn. Den andra gången mätningen avbröts gjordes det enligt samma förfarande med skillnad att givarna stoppades

in i andra hål än de tidigare suttit i. Detta gjordes för att studera om det spelade någon roll vilket hål givaren satt i. Tabell 4.5 visar givarnas position under de tre mätsekvenserna.

Tabell 4.5 Individuell placering av RF-prober (1 – 6) under tre mätsekvenser i undersökning a2.2.

Mätdjup (mm)	3	8	13	21	41	84
1:a sekvensen	1	2	3	4	5	6
2:a sekvensen	1	2	3	4	5	6
3:e sekvensen	6	5	4	3	2	1

Resultaten av RF-mätningarna redovisas i figur 4.5. Kurvorna visar fuktnivåns förändring med tiden på olika djup. Mätresultatet redovisas utförligt i bilaga 6.



Figur 4.5 Fuktförändring på olika djup efter limning av PVC-matta på normal husbyggnadsbetong. Efter andra uppehållet i mätningen var RF-probernas placering omkastade.

### 4.3 Alkali (b)

Tillgång till alkalisk fukt är ett villkor för att hydrolys av golvmaterialen skall uppstå. I studien gjordes fyra undersökningar i syfte att kvantifiera alkaliteten i olika provkroppar. Dessa provkroppar var utformade för att efterlikna verkliga golvkonstruktioner eller delar av sådana. Materialen som undersöktes var olika typer av betong samt gipsbaserad avjämningsmassa.

Två av undersökningarna byggde på att fördelningen av grundämnena Na och K mättes med kemiska analysinstrument såsom EPMA och ICP MS. Den tredje undersökningen byggde på att pH mättes i vätskelösningar med kombielektrod. I den sista undersökningen registrerades färgförändringen hos en pH-känslig kemikalie (fenolftalein) som sprutades på betongytan.

#### 4.3.1 Analys med EPMA (b1)

Denna undersökning gjordes för att studera omfördelning av grundämnena som kunde vara alkaliska motjoner i betongens ytskikt. Det var främst effekten av transport och omfördelning av alkali till följd av vätsketransport i betongen som beaktats. I betonggolv sker den största vätsketransporten upp mot ytan då den nygjutna betongen torkar. Alkalijonerna som transporteras med fukten mot ytan avlagras i ytskiktet när vattnet avdunstar. Detta leder till mätbara förhöjningar av halterna i betongens yta.

Undersökningen utfördes på konditionerade och provpreparerade betongbitar med hjälp av EPMA. Analysinstrumentet beskrivs i kapitel 2.3.1.

Försökssammanställningen och resultat har sammanställts i tabell 4.6 – 4.9.

Tabell 4.6 Försökssammanställning och resultat för undersökning b1.

Försök	b1.1a	b1.1b	b1.1c	b1.2a	b1.2b	b1.2c
Betong	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Klimat [%RF]	60	60	60	75	75	75
Profil [mm]	0-17	0-2	15-17	0-17	0-2	15-17
Topp♥	0	0	–	0	0	–
Botten	0	–	1	0	–	1

♥ Se förklaring efter tabellerna

Tabell 4.7 Försökssammanställning och resultat för undersökning b1.

Försök	b1.3a	b1.3b	b1.3c	b1.4a	b1.4b	b1.4c
Betong	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Klimat [%RF]	85	85	85	95	95	95
Mätdjup [mm]	0-17	0-1	16-17	0-17	0-1	16-17
Topp	0	0	–	0	0	–
Botten	0	–	0	0	–	1

Tabell 4.8 Försökssammanställning och resultat för undersökning b1.

Försök	b1.5a	b1.5b	b1.5c	b1.6a	b1.6b	b1.6c
Betong	B6	B6	B6	B6	B6	B6
Klimat [%RF]	75	75	75	85	85	85
Mätdjup [mm]	0-17	0-1	0-3	0-17	0-2	16-17
Topp	2	3	0	0	2	–
Botten	0	–	–	0	–	0

Tabell 4.9 Försökssammanställning och resultat för undersökning b1.

Försök	b1.7a	b1.7b	b1.7c
Betong	B6	B6	B6
Klimat [%RF]	95	95	95
Mätdjup [mm]	0-8	0-1	0-4
Topp	0	2	0
Botten	0	–	–

Värdena på topp och botten i tabellerna ovan avser om det observerats förhöjda halter av alkali i ytan. Siffrorna anger storleken på förhöjningen, 0 är ingen förhöjning och 3 är största värdet. Streck (–) betyder att ingen mätning gjorts.

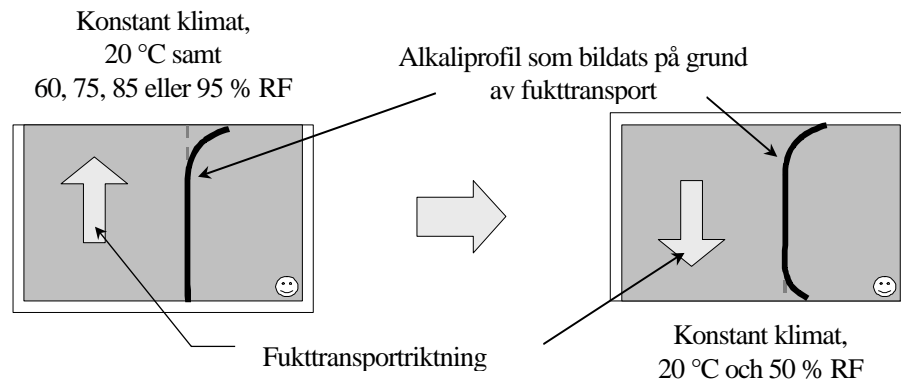
I undersökningen användes sju provkroppar som alla göts vid ett tillfälle med betong enligt tabellerna ovan. Provformarna som bestod av petriskålar som beskrivs i kapitel 3.2.4, betongen och gjutningen beskrivs i kapitel 3.3. Efter gjutningen vändes provkropparna upp och ner mot en stålplåt för att ytan skulle bli jämn. Efter gjutningen låg provkropparna kvar upp och ner i 5 dygn innan de vändes. Provkropparna förvarades i klimatstabilt rum (20 °C, 50 % RF) 28 dygn efter det att de vänts, under den tiden var de täckta med flera lager tätslutande plastfolie. Efter sammanlagt 33 dygn togs plasten av och provkropparna placerades i små klimatboxar av hårdplast. Klimatboxarna var placerade i termostabilt rum (20 °C). RF i boxarna hölls på fyra olika nivåer med hjälp av mättade saltlösningar, se tabell 4.10.

Tabell 4.10 Salter, teoretiska fuktnivåer och uppmätta värden vid konditionering av provkroppar i undersökning b1.

Försök	b1.1	b1.2	b1.3	b1.4	b1.5	b1.6	b1.7
Betong	B4	B4	B4	B4	B6	B6	B6
Salt	NaBr	NaCl	KCl	KNO <sub>3</sub>	NaCl	KCl	KNO <sub>3</sub>
RF <sub>jämvt</sub>	59,1	75,5	85,1	94,6	75,5	85,1	94,5
RF <sub>mätt</sub>	59,6	76,6	85,7	94,8	76,6	85,7	94,8

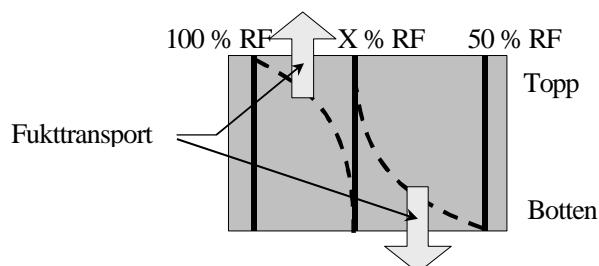
Efter 90 dygn i klimatboxarna var fuktillståndet hos hela provkropparna i det närmaste samma som rådde i klimatboxen. Boxarna öppnades och fuktnivån kontrollerades genom att mäta RF i "dummies" med RF-prob HMP 36 och handinstrument HMI 31, dessa RF-instrument beskrivs i kapitel 2.2.1. Dummies var i detta fallet små träbitar som placerats i klimatboxarna i samband med att provkropparna lades in. Mätningen av RF utfördes i provrör enligt tredje metoden i kapitel 2.2.2.

Uttorkningen och därmed alkalitransporten skedde mot provkropparnas överyta. Alla provkroppar hade torkats från nygjutet tillstånd och därmed fått en alkalitransport som gett upphov till en förhöjd halt i ytan. För att studera om någon alkalitransport förekom vid de lägre fuktnivåerna som provkropparna konditionerats till vändes fukttransporten mot andra ytan. Botten på provkroppen har troligtvis inte någon nämnvärt förändrad alkalihalt, se figur 4.6.



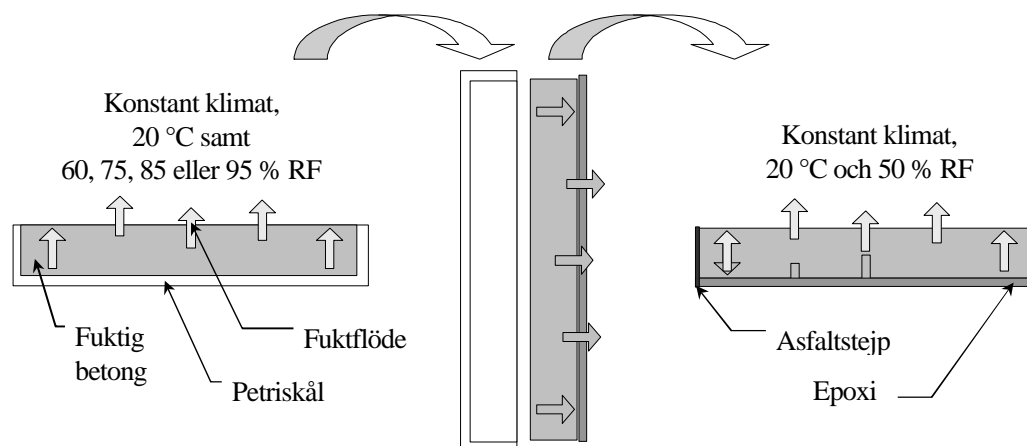
Figur 4.6 Hypotetisk (förväntad) alkaliprofil vid fukttransport mot ytan. Fukttransporten har bytt riktning mellan figurerna genom att "botten" tagits bort och en "lock" lagts på.

De två stegen som torkningen sker med visas i figur 4.7. Betongen som från början håller 100 % RF torkar ut till de fuktnivåer (X) som redogörs för i tabell 4.10. Därefter sker vändning av fukttransporten så att uttorkningen till 50 % RF sker genom botten på betongproven.



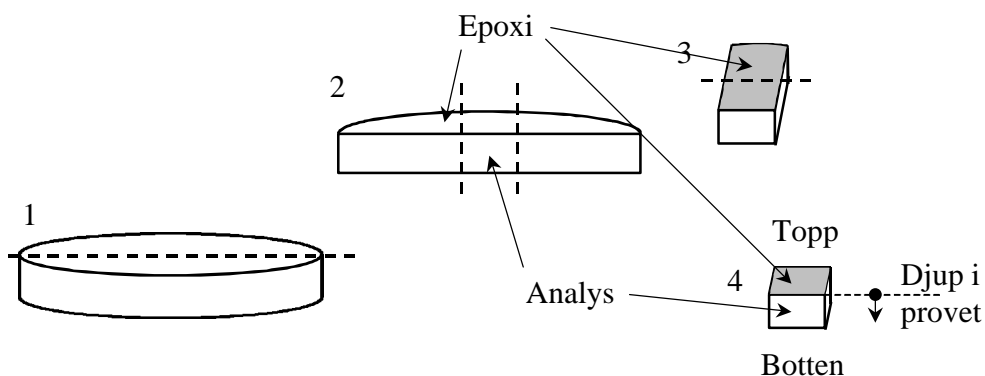
Figur 4.7 Fukttransportriktningar vid uttorkning av betongprover. X % RF står för  $RF_{jämvtikt}$  som beskrivs i tabell 4.10.

Vändningen av fukttransporten mot botten gjordes genom att gjuta en överyta av epoxi på toppen av provet. Därefter avformades betongen genom att försiktigt krossa glasskålen utan att knäcka dem. Till sist lindades uppvärmd asfaltstejp kring kanterna för att säkerställa enkelsidig uttorkning åt motsatt håll mot tidigare, se figur 4.8.



Figur 4.8 Vändning av fukttransportriktningen genom att gjuta epoxi på toppen och ta bort glasformen, kanterna tätades med asfaltstejp.

Alla provkropparna placerades sedan i samma klimat. De lagrades i ungefär fyra månader på hyllor i klimatstabil rum (20 °C, 50 % RF) innan provberedningen. Vid provberedningen spräcktes proverna så att små kuber bildades, se figur 4.9. Kuberna göts in i epoxi och analysytan polerades. Allt skedde enligt den första metoden i kapitel 2.3.2. Efter provberedningen analyserades proverna med EPMA på Institutionen för kemi vid universitetet i Aberdeen, Skottland. Analysinstrumentet beskrivs i kapitel 2.3.1.



Figur 4.9 Delning av prov, se även kapitel 2.3.2.



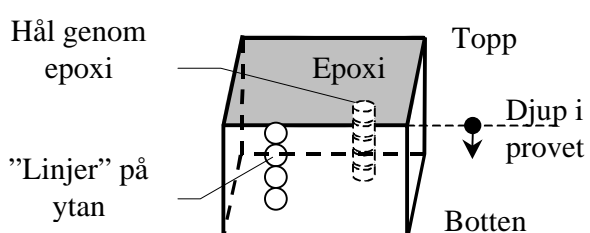
Analysen med EPMA var relativ. Det innebär att skillnader i halter av grundämnena kunde påvisas. I detta fall var det tillräckligt för att avgöra om det skett någon avlagring vid ytan. I ett homogent material är det möjligt att mäta totalhalter med instrumentet genom att jämföra resultatet från mätningen med resultat från analyser med känd totalhalt. Detta är dock inte möjligt att göra för ett inhomogent material som betong.

I tabell 4.5 – 4.8 sammanställs resultatet för undersökningen genom att ange om det fanns förhöjda halter av de analyserade grundämnena i betongprovernans ytor. Värdena anges i en skalan från streck (–) 1 till tre, där streck (–) betyder att ingen höjning kunde identifieras med säkerhet, ett (1) betyder att en liten höjning kunde identifieras, två (2) att en betydlig höjning identifierades och tre (3) att en stor höjning identifierades. Topp och botten som anges i tabellen definieras enligt figur 4.9.

Alla resultat från undersökningen presenteras i bilaga 7. Bilder på fördelningen av kalcium (Ca), kalium (K), natrium (Na), kisel (Si) och järn (Fe) visas i bilaga 8.

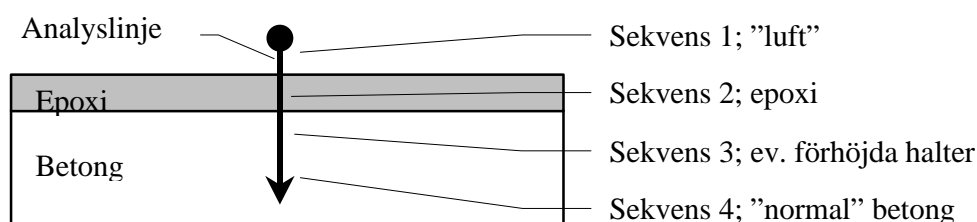
### 4.3.2 Analys med ICP-MS (b2)

Denna undersökning gjordes för att bekräfta fördelningen av natrium och kalium som gavs i ovanstående undersökning där analysen gjordes med EPMA. Sättet att analysera som användes i denna undersökning var inte lika beprövat som med EPMA. Därför gjordes provtagningen på två olika sätt och det ena sättet gjordes med två olika instrument och operatörer. De olika sätten att utföra provtagningen var dels från ett antal punkter i en linje på en betongyta och dels genom att skjuta ett djupare och djupare hål i provet, se figur 4.10. Den efterföljande analysen gjordes i båda fallen med ICP-MS.



Figur 4.10 *Provtagning skedde antingen genom att samla material från ett hål genom epoxi eller från punkter efter en linje på ytan.*

Analysen gjordes över fyra olika sekvenser i materialet. Analysen startades utanför materialet vilket innebär att de första värdena i analysen från luften i provtagningskammaren. Nästa sekvens i analysen var epoxi sedan kom en "övergångszon" innan sekvens tre som var betong med förhöjda halter av alkali. Analysen pågick oftast så länge att den fjärde och sista sekvensen var betong utan förhöjda halter, se figur 4.11.



Figur 4.11 *Olika sekvenser i materialen utefter den analyserade "linjen".*

## Linjer på ytan

I denna undersökning bestämdes fördelningen natrium och kalium i betongens ytskikt genom att spräcka ett betongprov och analysera ytan med ICP-MS. Provtagningen skedde med "laser ablation" vilket i korthet innebär att en liten del av provkroppen förgasas med infraröd strålning. Metoden beskrivs som andra metod i kapitel 2.3.2. Punkterna som analyserades togs från en linje på ytan så att övergången mellan de olika sekvenserna registrerades. Analysinstrumentet som användes fanns på Chalmers och beskrivs i kapitel 2.3.1. Försökssammanställningen och resultat har sammanställts i tabell 4.11.

Tabell 4.11 Försökssammanställning och resultat för undersökning b2.

Försök	b2.1	b2.2
<b>Betong</b>	B6	B6
<b>Klimat [%RF]</b>	75	95
<b>Profiler [mm]</b>	0,5	0,5
<b>Topp</b> ( $\Delta K/\Delta Ca$ ) <sub>34</sub>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
( $\Delta Na/\Delta Ca$ ) <sub>34</sub>	<b>5</b>	<b>2,8</b>
<b>Botten</b> ( $\Delta K/\Delta Ca$ ) <sub>34</sub>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>
( $\Delta Na/\Delta Ca$ ) <sub>34</sub>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>

I undersökningen användes två provkroppar som var de samma som användes i försöket där analysen skedde med EPMA, se kapitel 4.3.1. Betongen som användes i provkropparna var normal husbyggnadsbetong enligt tabell 4.11. Efter gjutningen konditionerades provkropparna först till 75 % RF respektive 95 % RF sedan till 50 % RF enligt beskrivningen i kapitel 4.3.1.

Vid provberedningen spräcktes provkropparna enligt figur 4.9 så att små kuber bildades. Dessa kuber placerades i provtagningskammaren utan någon mer provberedning. Analysen skedde genom att beskjuta punkter på provets yta med laser så provet förgasades. Punkterna valdes i en linje så att kontinuerlig förändring registrerades. Metoden beskrivs som andra metod i kapitel 2.3.2.

Resultatet redovisas i tabell 4.12 som kvoten mellan halten i sekvens 3 och sekvens 4 för tre grundämnen. Kvoterna som anges är för kalium ( $\Delta K_{34}$ ), natrium ( $\Delta Na_{34}$ ) och för kalcium ( $\Delta Ca_{34}$ ). Kalcium används som ett mått på hur stor del av provet som är cementpasta. Genom att dividera de första två kvoterna med kvoten för kalcium "normeras" dessa till pastamängden. I tabell 4.11 och 4.12 redovisas denna kvot för ( $\Delta K/\Delta Ca$ )<sub>34</sub> och för natrium ( $\Delta Na/\Delta Ca$ )<sub>34</sub>. Rådata från analyserna presenteras i bilaga 9.

Analyslinjen går ibland rakt genom ett sandkorn. I vissa fall har sandkornen utgjort så stor del av linjen att det inte varit möjligt att med säkerhet bestämma halten i cementpasta. I de fall har en bedömning gjorts utifrån de värden som kan utläsas ur analysen och de halterna som mätts i övriga analyser.

Det korrekta sättet att behandla dessa problem är att göra flera analyslinjer bredvid varandra och utesluta de delar av dem som är sandkorn. Återstoden av linjerna medelvärdebildas sedan. I den här undersökningen var det dock bara möjligt att göra en linje per försök därför har utvärderingen stor osäkerhet.

*Tabell 4.12 Försökssammanställning och resultat för undersökning b2.*

<b>Försök</b>		<b>b2.1</b>	<b>b2.2</b>
<b>Topp</b>	$\Delta K_{34}$	15	4,5
	$\Delta Na_{34}$	50	7,7
	$\Delta Ca_{34}$	10	2,8
	$(\Delta K/\Delta Ca)_{34}$	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
	$(\Delta Na/\Delta Ca)_{34}$	<b>5</b>	<b>2,8</b>
<b>Botten</b>	$\Delta K_{34}$	2,5	3
	$\Delta Na_{34}$	5	6,7
	$\Delta Ca_{34}$	1,7	2
	$(\Delta K/\Delta Ca)_{34}$	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>
	$(\Delta Na/\Delta Ca)_{34}$	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>

## Hål genom epoxi

I denna undersökning bestämdes fördelningen natrium och kalium i betongens ytskikt genom att beskjuta provet med infraröd strålning så det förgasades. Genom att upprepad beskjutning på samma punkt blev hålet djupare för var gång och materialet som förgasades kom från en lägre nivå. Metoden beskrivs som tredje metod i kapitel 2.3.2. I undersökningen användes två likadana analysinstrument av typen ICP-MS med "laser ablation". Instrumenten fanns i Omaha, USA (b2.3 och b2.4) respektive på Chalmers (b2.5) och de beskrivs i kapitel 2.3.1. Försökssammanställningen och resultat sammanställs i tabell 4.13.

Tabell 4.13 Försökssammanställning och resultat för undersökning b2.

Försök		b2.3	b2.4	b2.5
<b>Topp</b>	<b>K/Ca</b>	B6	B6	B6
	<b>Klimat [%RF]</b>	75	95	95
	<b>Profil [mm]</b>	0-0,2	0-0,3	0-0,3
<b>Topp</b>	$(\Delta K/\Delta Ca)_{34}$	1,8	2,5	2,3
	$(\Delta Na/\Delta Ca)_{34}$	1,7	1,9	1,5

I undersökningen användes fyra provkroppar från försöket där analysen skedde med EPMA, se kapitel 4.3.1. Betongen som användes i provkropparna var av två typer, normal husbyggnadsbetong och byggfuktfri betong enligt tabell 4.12. Efter gjutningen konditionerades provkropparna först till 75 % RF respektive 95 % RF sedan till 50 % RF enligt beskrivningen i kapitel 4.3.1.

Vid provberedningen spräcktes provkropparna enligt figur 4.9 så att små kuber bildades. Dessa kuber placerades i provtagningskammaren utan någon mer provberedning.

Resultatet redovisas i tabell 4.13 som kvoten mellan halten i sekvens 3 och sekvens 4 för tre grundämnen, se figur 4.11. Kvoterna som anges är för kalium ( $\Delta K_{34}$ ), natrium ( $\Delta Na_{34}$ ) och för kalcium ( $\Delta Ca_{34}$ ). Kalcium används som ett mått på hur stor del av provet som är cementpasta. Genom att dividera de första två kvoterna med kvoten för kalcium "normeras" dessa till pastamängden. I tabell 4.13 och 4.14 redovisas denna kvot för kalium ( $\Delta K_{34/Ca}$ ) och för natrium ( $\Delta Na_{34/Ca}$ ). Rådata från analyserna presenteras i bilaga 9.

Tabell 4.14 Försökssammanställning och resultat för undersökning b2.

Försök		b2.3	b2.4	b2.5
<b>Topp</b>	$\Delta K_{34}$	6,0	4,0	15
	$\Delta Na_{34}$	5,8	3,0	10
	$\Delta Ca_{34}$	3,3	1,6	6,5
	$(\Delta K/\Delta Ca)_{34}$	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>
	$(\Delta Na/\Delta Ca)_{34}$	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>

### 4.3.3 pH-mätning med kombinationselektrod (b3)

Syftet med denna undersökning var att bestämma pH-nivån i en gipsbaserad avjämningsmassa. Undersökningen bestod av tre försök där varje försök byggde på erfarenheter från föregående. I första försöket studerades inverkan av faktorer som påverkar mätningen. Det andra försöket bestämde pH-nivån i avjämningsmassan. Det tredje försöket studerade något som kunde liknas vid betongens karbonatisering, det vill säga en pH-sänkande reaktion mellan komponenter i materialet och komponenter i omgivande luft. Försökssammanställningen och resultat redovisas i tabell 4.15.

Tabell 4.15 Försökssammanställning och resultat för undersökning b3.

Material	pH nygjuten	pH "karbonatiserad"
A6	ca 11	ca 9

I undersökningen användes avjämningsmassa som levererats torr. Vattnet blandades i med hjälp av samma blandare som användes vid betongblandning i andra undersökningar i denna studie. Provformarna som användes var 195 ml stora engångsmuggar av plast, de beskrivs i kapitel 3.2.5 och gjutning av avjämningsmassan beskrivs i kapitel 3.4.2.

För att mäta pH sönderdelades proverna och materialet blandades med rent vatten i ett provrör. Efter att de stora partiklarna fallit till botten sattes en kombinationselektrod av fabrikatet Radiometer GK2401B ner i provröret. Hela tiden var lösningen skyddad mot luften med hjälp av en kork. Efter att jämvikt inställt sig lästes värdet av på en display, 702 SM Titrino. Mätinstrumenten beskrivs i kapitel 2.3.1. Metoden som används i denna undersökning för att mäta absolut pH-nivå beskrivs som fjärde metod i kapitel 2.3.2.

#### Flerfaktorförsök av pH-mätning (b3.1)

Det första försöket gjordes för att studera inverkan av faktorer som kunde tänkas påverka mätresultatet. Det var från början osäkert om det gick att få ett tillförlitligt resultat med denna mätmetod. Teorin var att det fanns faktorer i metoden som gav stora osäkerheter i mätvärdet. Försöket planerades därför som ett fullständigt flerfaktorförsök på två nivåer. Fyra faktorer (A-D) som ansågs vara mest sannolika att påverka resultatet bestämdes. För dessa fyra faktorer bestämdes en hög (+) och en låg (-) nivå som var så olika att de gav ett eventuellt utslag i försöket, se tabell 4.16. De valda parametrar var:

- A Provtagningsdjup. Bitar tagna från toppen samt botten av provet.
- B Provberedning. Materialet sönderdelades till kax (borrmjöl) eller (små)bitar enligt beskrivning för metod fyra i kapitel 2.3.2.
- C Provkropp. Två lika provkroppar som konditionerats på samma sätt.
- D Jämviktstid. Mätningen utfördes vid två tillfällen, mindre än 0,5 timmar efter blandningen av vatten och det sönderdelade provet i provröret och ungefär 3 timmar senare.

Tabell 4.16 De fyra faktorerna som varierades i flerfaktorförsöket samt de två nivåerna de studerades vid.

Faktor	Variabel	+ nivå	- nivå
A	djup	topp	botten
B	beredning	kax	bitar
C	provkropp	1	2
D	jämviktstid	kort	lång

Genom att variera dessa fyra faktorer systematiskt i ett begränsat antal mätningar kunde enskilda effekter av variablerna såväl som samverkans effekter mellan dem utvärderas. Försöksplanen i tabell 4.17 anger kombinationen av parametrar i de olika ”försöken” samt utfallet från mätningarna.

Tabell 4.17 Parametrar i samband med mätningar av pH-nivåer.

”Försök”	A	B	C	D	Resultat
1	+	+	+	+	8,41
2	-	+	+	+	10,91
3	+	-	+	+	9,34
4	-	-	+	+	11,14
5	+	+	-	+	9,30
6	-	+	-	+	11,20
7	+	-	-	+	9,24
8	-	-	-	+	11,71
9	+	+	+	-	8,25
10	-	+	+	-	10,64
11	+	-	+	-	9,14
12	-	-	+	-	10,86
13	+	+	-	-	9,10
14	-	+	-	-	10,64
15	+	-	-	-	9,05
16	-	-	-	-	11,40

Arbetsgången vid utvärdering av försöket beskrivs av Box *et.al* (1978). Inverkan av samtliga effekter finns redovisade i tabell 4.18. Resultatet från utvärderingen av de olika parametrarnas inverkan på mätresultatet visade att effekt A, provtagningsdjupet, gav störst genomslag. De andra huvudeffekterna samt olika samverkans effekter inverkade inte lika mycket på mätresultatet.

Tabell 4.18 Huvudeffekter och samverkans effekter.

	Huvud-effekt		Tvåfaktor-effekt		Flerfaktor-effekt
A	2,08	ab	0,00	abc	0,34
B	0,43	ac	-0,02	abd	0,03
C	0,37	ad	-0,08	bcd	-0,04
D	-0,27	bc	-0,14		
		bd	0,03	abcd	0,03
		cd	-0,04		

### pH-mätning med kombinationselektrod (b3.2)

I detta försök studerades inverkan av djupet som provet tas från. Provtagningsdjupet var den faktor som visade sig ha störst påverkan på resultatet i försök b3.1. Övriga parametrar från föregående försök hölls konstanta i detta försök eftersom de hade märkbart mindre inverkan på resultatet. Provkroppar och mätmetod var samma som användes vid föregående försök.

Stor vikt lades vid att arbetsmomenten utfördes lika varje gång. Detta minskade de slumpmässiga effekter som kunde påverka resultatet. Efter gjutningen fick provkropparna torka några dagar innan sönderdelningen skedde enligt fjärde metoden i kapitel 2.3.2. Av det sönderdelade materialet vägdes  $4,9 \pm 0,2$  g kax upp från olika provtagningsdjup och placeras i provrör (180 ml). Provrören tillförs sedan cirka 25 ml rent vatten ( $17,9 \mu\text{S}$ ) med hjälp av en pipett. Alltsammans skakades kraftigt i 5 sekunder efter det att provröret förseglats med en gummikork.

Lösningen fick stå tills den kom i jonjämvikt (~24 tim). Därefter gjordes första pH-mätningen på båda provserierna. A och B var parallellprover från samma provkropp och samma provberedning. Korken togs ur provröret och pH-elektroden stacks in. Avläsningstiden innan värdet stabiliserat sig var cirka 30 minuter. Några av de första mätningarna avlästes vid annan tid än 30 minuter.

Prov B fick sedan stå i cirka 24 timmar med tätslutande kork. Dagen därpå mättes prov B ytterligare en gång, denna mätning kallas B(2). Resultaten från mätningarna presenteras i tabell 4.19 samt figur 4.12.

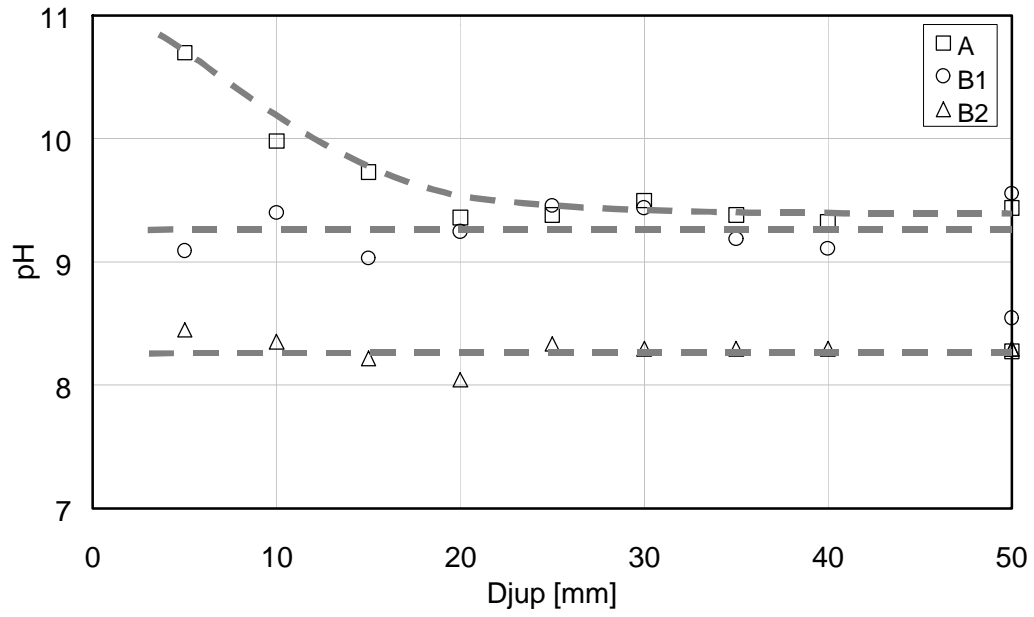
Tabell 4.19 Värden från pH mätningar.

Djup	5	10	15	20	25	30	35	40	50	50
A	10,7	10,0	9,7	9,4	9,4	9,5	9,4	9,3	9,4	8,3
B(1)	9,1 <sup>♥</sup>	9,4 <sup>♥</sup>	9,0 <sup>▲</sup>	9,2 <sup>▲</sup>	9,5	9,4	9,2	9,1	9,6	8,5
B(2)	8,4	8,4	8,2	8,0	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3

♥ cirka 10 minuter avläsningstid

▲ cirka 60 minuter avläsningstid



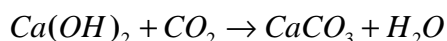


Figur 4.12 *pH*-profiler framtagna genom mätning med *pH*-elektrod på gipsbaserad avjämningsmassa löst i rent vatten. A och B1 var dubbelprover, B2 var en ny mätning på B1 efter ett dygn.

#### 4.3.4 Indikering av pH-förändringar med fenolftalein (b4)

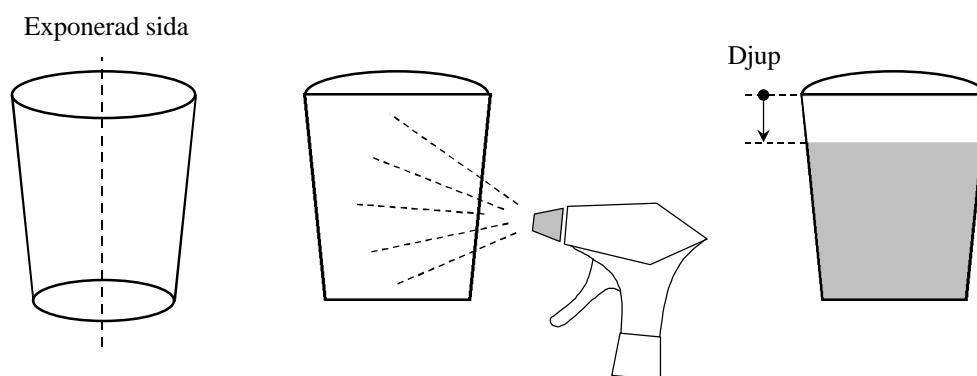
I denna undersökning studerades pH-förändringen som uppmärksammades i försök b2. Teorin var att det skedde en pH-sänkande reaktion mellan bindemedlet i avjämningsmassan och någon beståndsdel i luften.

I betong sker karbonatisering genom att en kolsyremolekyl ( $\text{CO}_2$ ) tar platsen för en vattenmolekyl ( $\text{H}_2\text{O}$ ) i kalciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Vid reaktionen bildas kalciumkarbonat och vatten Czernin (1959) beskriver förloppet med ekvation 4.1.



Detta är en naturlig reaktion som förekommer överallt där kalkhaltiga material lämnas exponerad mot omgivande luft. Reaktionen orsakar en sänkning av pH-värdet i ytan från cirka 13,5 till  $< 8,5$ .

15 st provkroppar av samma typ som till ovanstående försök göts till denna undersökning, se kapitel 4.3.3. Efter gjutning konditionerades provkropparna genom att utsättas för koldioxiden i inomhusluft i laboratorielokalen på Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers. En eller två av kropparna spräcktes sedan i taget efter olika lång konditioneringstid. De spräckta provkropparna besprutades genast med fenolftalein från en "blomdusch" och djupet till färgomslaget mättes med linjal, se figur 4.13. Färgomslaget uppkom genom att fenolftalein ändrar färg och blir rött vid höga pH-värden, se kapitel 2.3.1.

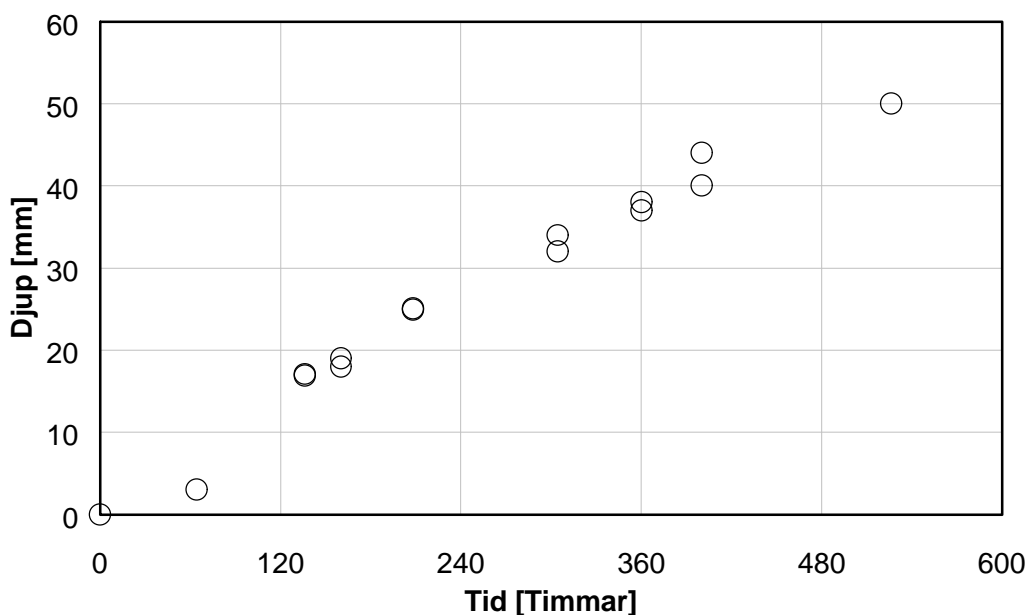


Figur 4.13 Spräckning av provkroppar och applicering av fenolftalein på ytan för att bestämma djupet för pH-omslag.

I samtliga fall utom det som mättes direkt efter gjutning framträdde ett distinkt färgomslag då ytorna då fenolftalein sprutades på. Metoden som användes beskrivs som femte metod i kapitel 2.3.2. Avståndet från ytan till färgomslaget vid olika konditioneringstider anges i tabell 4.20. Avståndet från ytan till färgomslaget presenteras som funktion av tiden från gjutning i figur 4.14.

Tabell 4.20 Djup för färgomslag av fenolftalein.

Tim.	~0	65	136	160	208	304	360	400	526
[mm]	0	3	17	18	25	32	37	40	50
[mm]	-	-	17	18	25	34	38	44	-

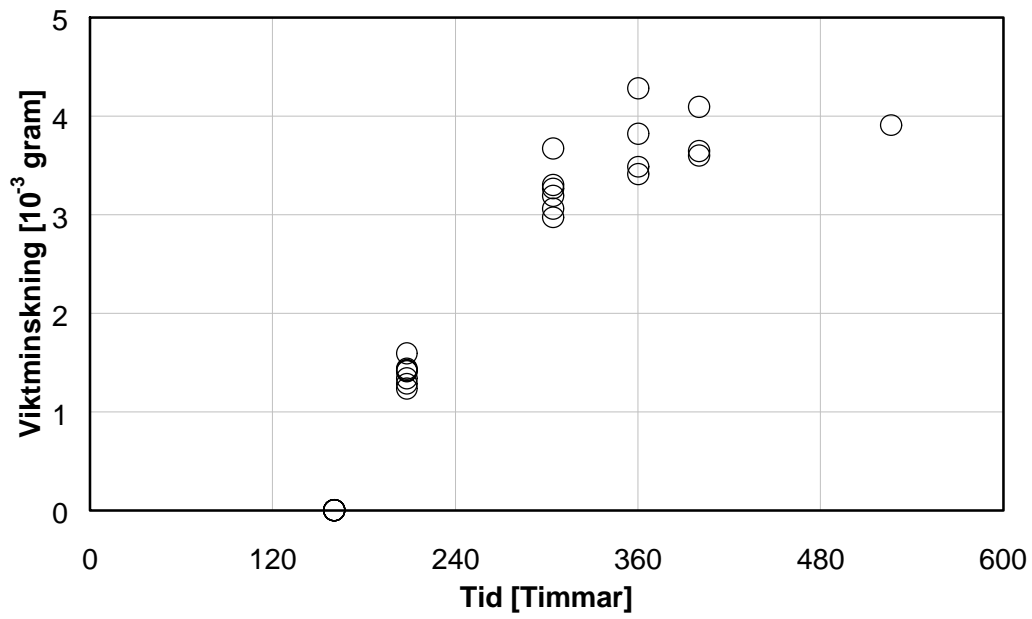


Figur 4.14 Djup från ytan till färgomslag då fenolftalein sprutas på brottyta hos gipsbaserad avjämningsmassa vid olika tider efter gjutning.

Efter cirka en vecka (160 timmar) visade det sig att viktminskningen kunde vara intressant att följa. De kvarvarande nio provkropparna vägdes därefter varje gång ett prov spräcktes, se tabell 4.21. I figur 4.15 presenteras viktminskningen (från 160 timmar) som funktion av tiden från gjutning.

Tabell 4.21 Vikten hos bitarna av gipsbaserad avjämningsmassa.

Form	160 tim	208 tim	304 tim	360 tim	400 tim	526 tim
1	307,36	306,95	306,42	306,29	306,24	306,16
2	327,57	327,10	326,49	326,32	326,23	
3	319,94	319,53	318,99	318,85	318,79	
4	327,31	326,79	326,11	325,91		
5	337,33	336,85	336,23			
6	326,62	326,16	325,58			
7	325,77	325,31				
8	316,55	316,16				
9	318,04					



Figur 4.15 Viktminskning hos plastmuggar med cirka 320 g gipsbaserad avjämningsmassa (enkelsidig uttorkning).

#### 4.4 Flyktiga kolväten i betongen (c)

Kolvätena som bildas under mattan vid alkalisk hydrolys golvlím migrerar in i omkringliggande material. Dels vandrar de upp genom mattan och avges till rumsluften och dels vandrar de ner i betongen där de kan stanna till förhållandena på ytan ändras. I denna studie gjordes en undersökning av mängden butanol och etylhexanol i en gammal provkropp som varit utsatt för alkalisk hydrolys. Innehåll av flyktiga kolväten analyserades med headspaceteknik.

##### 4.4.1 Migration ner i betong (c1)

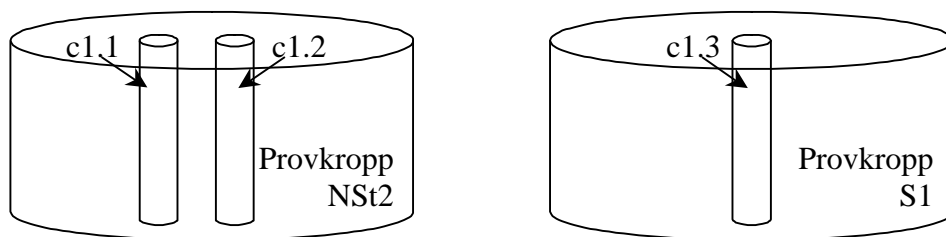
Denna undersökning gjordes för att studera inträngningen av kolväten i betong då limmet hydrolyserats. Provkropparna som användes till undersökningen göts i samband med studien i Wengholt Johnsson (1995). De två provkroppar som valdes att studera hade båda stora emissioner i ursprungliga studien. Provkropparna betecknades ursprungligen NSt2 och S1. Materialen som ingår i provkropparna samt maximal emission som uppmättes under ursprungliga studien är sammanställt i tabell 4.22.

Tabell 4.22 *Försökssammanställning, största emissionen från ytan och mängden inträngda kolväten i betongen, undersökning c1.*

Försök	c1.1	c1.2	c1.3
Matta	M1	M1	M1
Lim	L4	L4	L4
Betong	B6	B6	B4
Provkropp	NSt2	NSt2	S1
BuOH <sub>max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	2470 <sup>♥</sup>	2470 <sup>♥</sup>	660 <sup>♥</sup>
EtHx <sub>max</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ]	1550 <sup>♥</sup>	1550 <sup>♥</sup>	485 <sup>♥</sup>
BuOH [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	60700	38500	~0
EtHx [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	20100	23700	~0

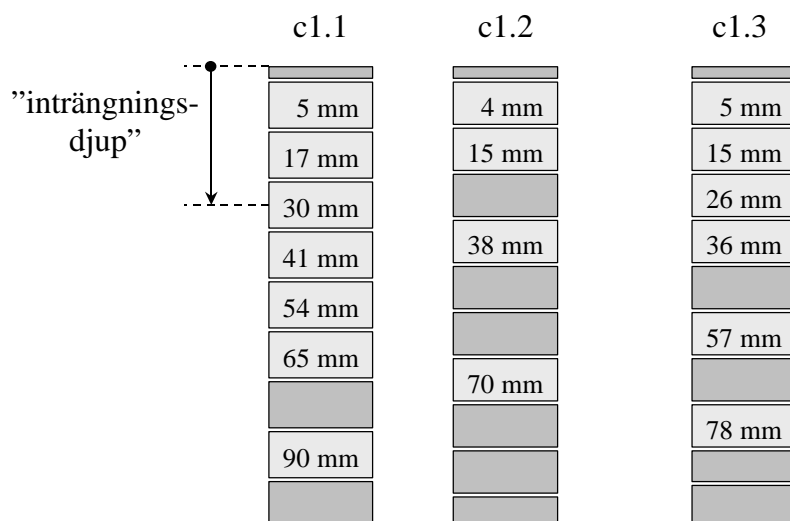
♥ anges som hexanekvivalenter

Provkropparna som användes i undersökningen i Wengholt Johnsson (1995) var likadana som de som beskrivs i kapitel 3.2.7. Betong, lim och matta var av samma sort som använts i denna studie, se tabell 4.20. Gjutning och konditionering av provkropparna beskrivs i Wengholt Johnsson (1995) där också emissionsmätningar är gjorda. Efter den ursprungliga konditioneringen har provkropparna lagrats i normal kontorsmiljö utan inverkan av direkt solljus. Provbiter till de tre försöken i denna undersökning var hämtade ur provkroppar NSt2 och S1 enligt figur 4.16.



Figur 4.16 Kärnorna som analyseras i denna undersökning var hämtade ur provkroppar från undersökningen i Wengholt Johnsson (1995).

Ur provkropparna borrades kärnor med 25 mm diameter. Borrningen gjordes utan kylvatten för att hindra kolväten i kärnans yta att spolats bort. Direkt efter det att kärnorna tagits ur provkropparna lindades de in i aluminiumfolie för att hindra emission av kolväten. Kärnorna delades sedan i olika nivåer och lades i flaskor med specialkonstruerat lock. Dessa beskrivs i kapitel 2.4.1. Borrningen och delningen av kärnorna beskrivs i kapitel 2.4.2. Medeldjupet från ytan för kärnans bitarna redovisas i figur 4.17.

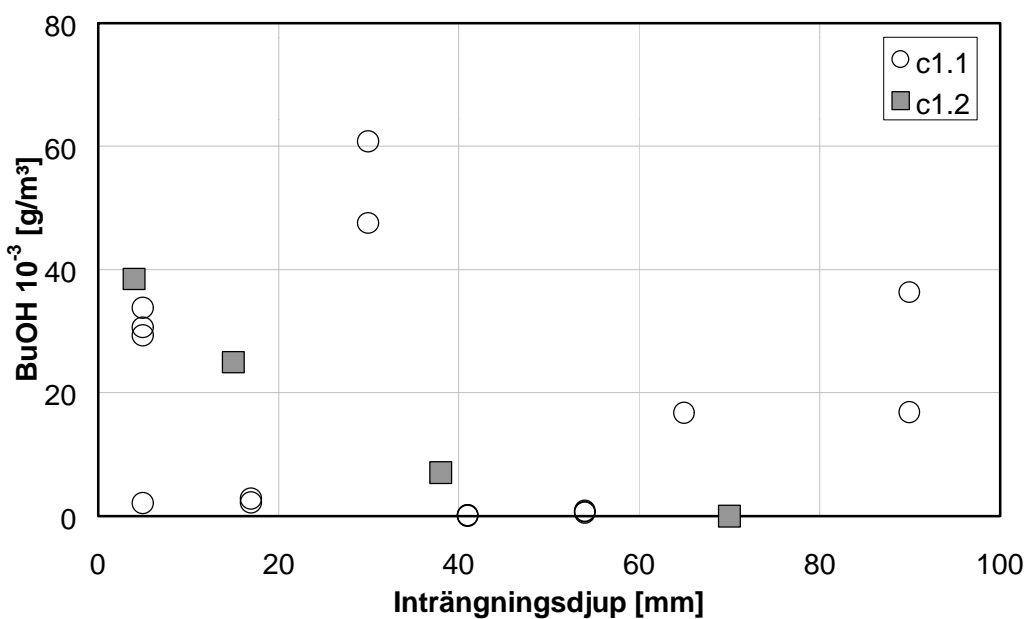


Figur 4.17 Kärnorna skivades upp i skikt med abrasiv vattenskärning, medeldjupet för respektive bit anges.

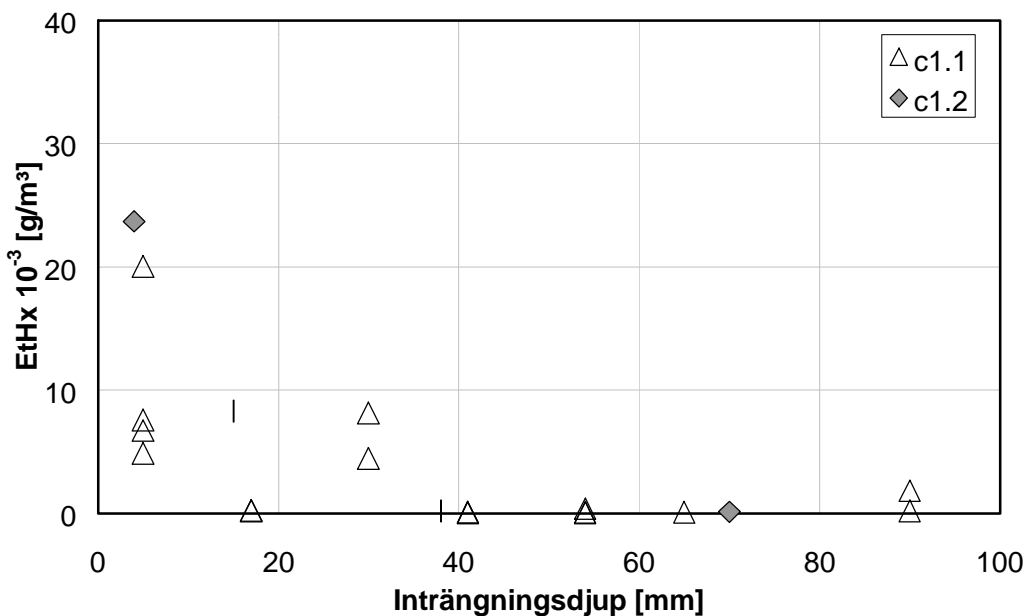
Det första försöket gjordes på kärna c1.1 för att prova metodens känslighet. Olika temperaturer och tider för konditioneringen användes. Flaskan värmdes dock inte över 60°C grader. Risken skulle finnas att kolvätena förändrades vid höga temperaturer under lång tid. Analysen av innehållet i flaskan gjordes med en headspaceteknik som beskrivs i kapitel 2.4. Luft från flaskan suges genom ett TENAX-rör där kolvätena adsorberas. Rörets innehåll analyseras sedan med hjälp av GC-FID.

Flaskorna med bitar från kärna c1.2 och c1.3 konditionerades i 60 °C i ungefär 10 dygn. Därefter förvarades de i rumsklimat något dygn innan de analyserades. Högsta uppmätta koncentration i flaskorna redovisas i tabell 4.22 och samtliga

mätvärden som funktion av djupet redovisas i figur 4.18 och 4.19.  
 I flaskor med bitar från kärna c1.3 fanns inga kolväten.



Figur 4.18 Jämviktskoncentrationer av butanol i normal husbyggnadsbetong några år efter alkalisk hydrolys av golvbeläggning. Under försök c1.1 utarbetades metoden.



Figur 4.19 Jämviktskoncentrationer av etylhexanol i normal husbyggnadsbetong några år efter alkalisk hydrolys av golvbeläggning. Under försök c1.1 utarbetades metoden.

## 4.5 Emission av kolväten (d)

Det gjordes fem undersökningar i denna studie som mätte emissionen av kolväten från provkroppars överyta. Tre av undersökningarna byggde på traditionella provkroppar av den typen som användes av Wengholt Johnsonson (1995). De andra undersökningarna byggde på en annan typ av provkropp där golvmaterialet exponerades mot en alkalisk pH-lösning. I samtliga undersökningar användes provtagning med FLEC och TENAX-rör samt analys med GC-FID.

### 4.5.1 Emission från matta och lim (d1)

I denna undersökning exponerades matta och lim mot olika alkaliska lösningar. Syftet var att studera samverkan mellan lim och golvbeläggning utan att behöva använda fuktig betong som underlag. Genom att betongen ersattes med en alkalisk lösning kunde egenskaper som alkalibeständigheten hos mattan studeras. Efter att provkropparna färdigställts och konditionerats mättes emissionen vid flera tillfällen genom provtagning med FLEC och TENAX-rör och efterföljande analys med GC-FID. Försökssammanställningen samt största uppmätta emission av butanol och etylhexanol har sammanställts i tabell 4.23 – 4.25. Samtliga mätresultat redovisas i bilaga 10.

Tabell 4.23 Försökssammanställning och resultat för undersökning d1.

Försök	d1.00	d1.01	d1.02	d1.03	d1.1a	d1.1b	d1.2a
Lim	–	–	–	–	–	–	L1
Limmängd [g]	–	–	–	–	–	–	Ca 10
Vätska	–	–	–	–	P3	P3	P3
Matta	Stål	M1	M2	M3	M1	M1	M1
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>140</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>506</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	465	243	226	226	240	173	483
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>683</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	465	415	226	226	240	352	186



Tabell 4.24 Försökssammanställning och resultat för undersökning d1.

Försök	d1.2b	d1.3a	d1.3b	d1.4a	d1.4b	d1.5	d1.6
Lim	L1	L1 <sup>♥</sup>	L1 <sup>♥</sup>	L3	L3	L1	L1
Limmängd [g]	Ca 10	Ca 10	Ca 10	Ca 10	Ca 10	Ca 10	Ca 10
Vätska	P3	P3	P3	P3	P3	P1	P2
Matta	M1	M1	M1	M1	M1	M1	M1
BuOH <sub>max</sub>	<b>437</b>	<b>481</b>	<b>568</b>	<b>190</b>	<b>133</b>	<b>11</b>	<b>415</b>
Tid BuOH <sub>max</sub>	119	120	430	355	355	50	118
EtHx <sub>max</sub>	<b>1194</b>	<b>1097</b>	<b>1013</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>959</b>
Tid EtHx <sub>max</sub>	119	120	120	355	49	174	118

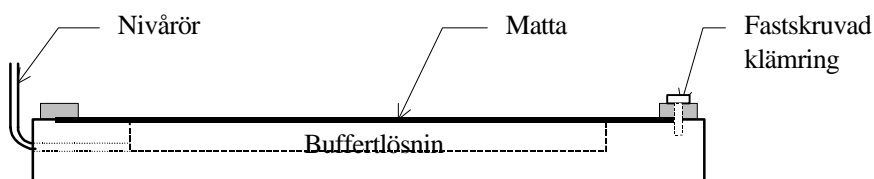
♥ Limmet skilt från mattan med glasfiberväv

Tabell 4.25 Försökssammanställning och resultat för undersökning d1.

Försök	d1.7a	d1.7b	d1.7c	d1.8a	d1.8b	d1.9
Lim	L1 <sup>♠</sup>	L1 <sup>♠</sup>	L1 <sup>♠</sup>	L1	L2	L1
Limmängd [g]	5	10	15	10	10	10
Vätska	P3	P3	P3	P3	P3	P3
Matta	M1	M1	M1	M3	M3	M2
BuOH <sub>max</sub>	<b>370</b>	<b>615</b>	<b>644</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>1453</b>
Tid BuOH <sub>max</sub>	223	223	244	411	293	293
EtHx <sub>max</sub>	<b>781</b>	<b>1644</b>	<b>1160</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>1432</b>
Tid EtHx <sub>max</sub>	233	233	244	411	293	230

♠ Mängden lim varierades

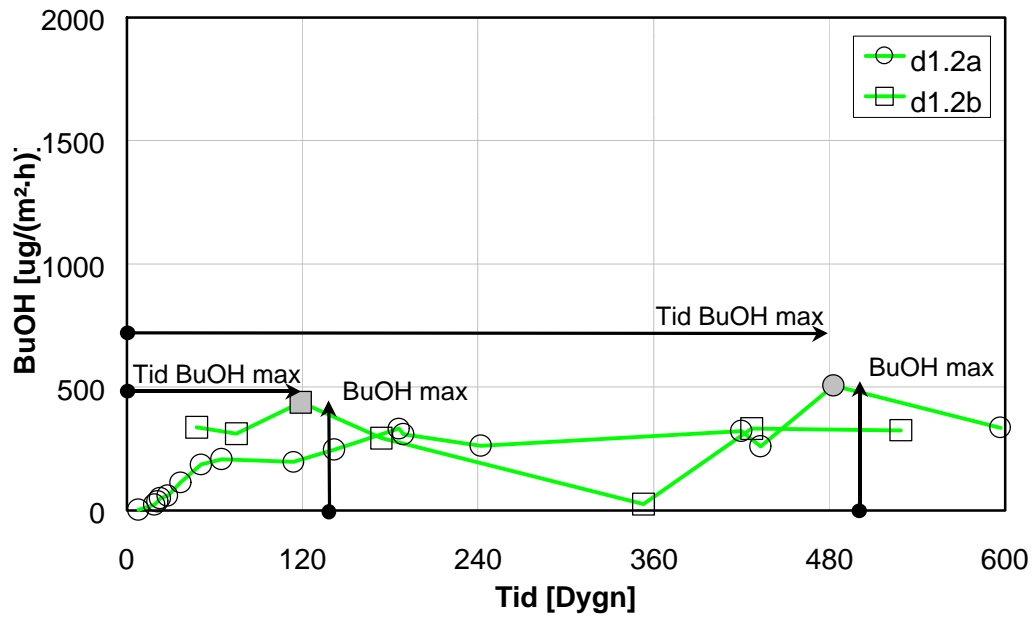
Mattor av tre olika typer skars till och små hål för skruvar till klämringen stansades ut. Därefter ströks lim på baksidan av mattan. Några försök gjordes dock utan lim, se tabell 4.23 – 4.25. I försök d1.3a och b ströks limmet på en glasfiberväv. Vid limning av försök d1.2 – d1.6 användes tandad limspridare som gav ungefär 10 gram lim på den limmade ytan, limskiktet jämnades ut med pensel innan mattan fästes på provkroppen. I försök d1.7a – d1.9 vägdes limmet och ströks på med pensel enligt metoden i kapitel 3.5.2. Väntetiden vid limningen var ungefär 15 minuter innan mattan klämdes fast på provkroppen, se figur 4.20.



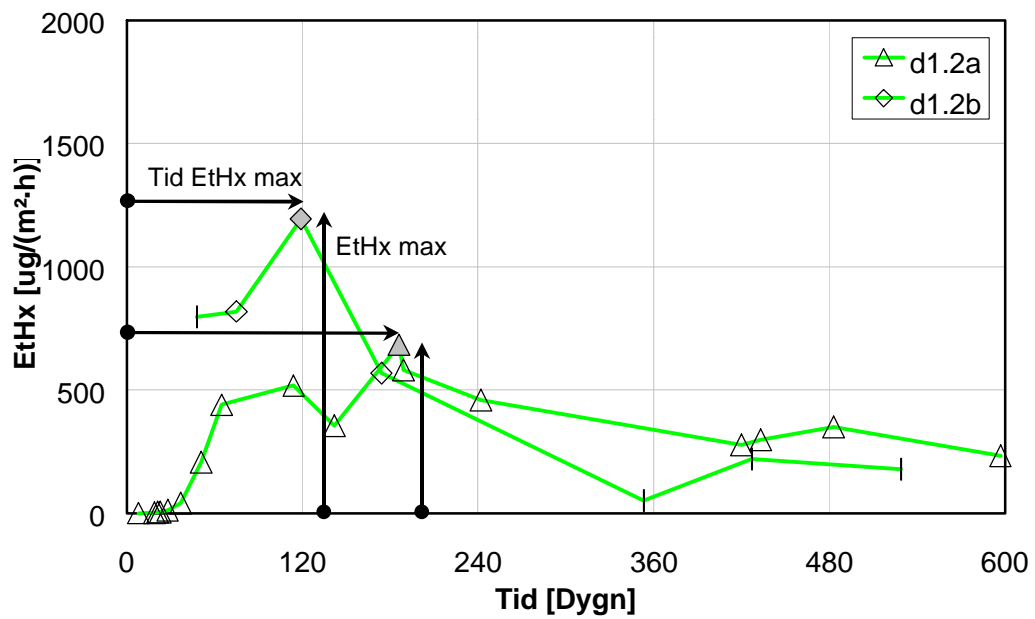
Figur 4.20 Provkroppen som används till undersökningen.

Efter ungefär fyra veckor gjordes de första emissionsmätningarna på proverna. Mätningarna skedde med lite olika intervall för de olika proverna. På några av proverna skedde första mätningen ungefär 32 veckor efter limningen. Provtagningen skedde enligt metoden i kapitel 2.5.2 med FLEC och TENAX-rör. Efterföljande analys på TENAX-röret gjordes med GC-FID enligt metoden i kapitel 2.5.4.

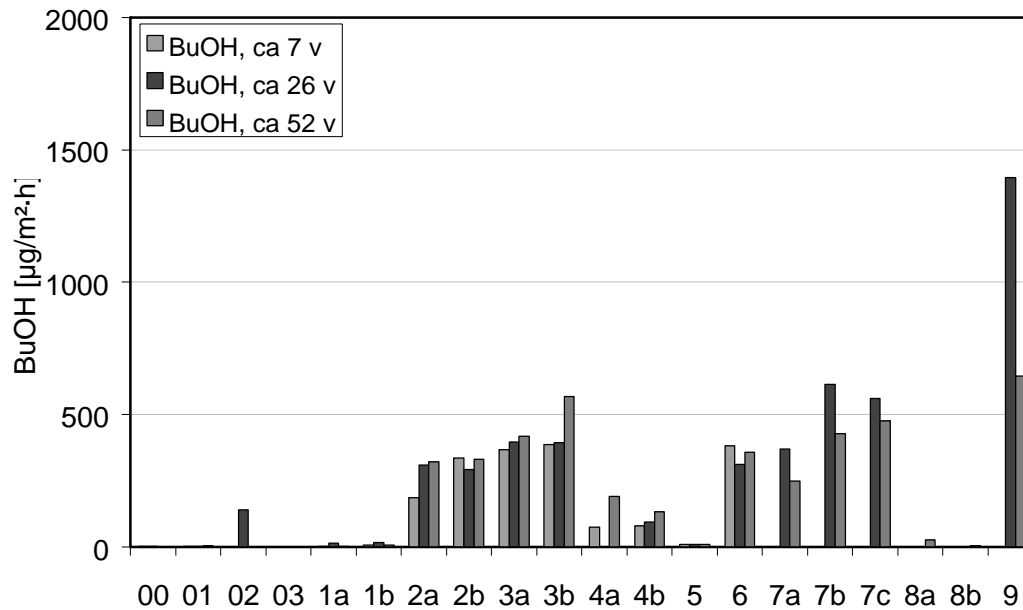
Resultatet presenteras på tre olika sätt. Det första sättet presenterar den högsta uppmätta emissionen för butanol respektive etylhexanol för varje försök (provkropp) samt tiden det mättes vid, se figur 4.21 och 4.22. En sammanställning av dessa värden presenteras i tabell 4.23 – 4.25. Det andra sättet presenterar alla mätvärden som funktion av tiden från ”limning” på det sättet som görs i figur 4.23 och 4.24. Denna presentation innehåller all information men är utrymmeskrävande så den görs i bilaga 10 för samtliga försök. Det tredje sättet är med staplar, se tabell 4.22 och 4.23. Denna metod används då en begränsad mängd mätresultat skall jämföras på ett överskådligt sätt.



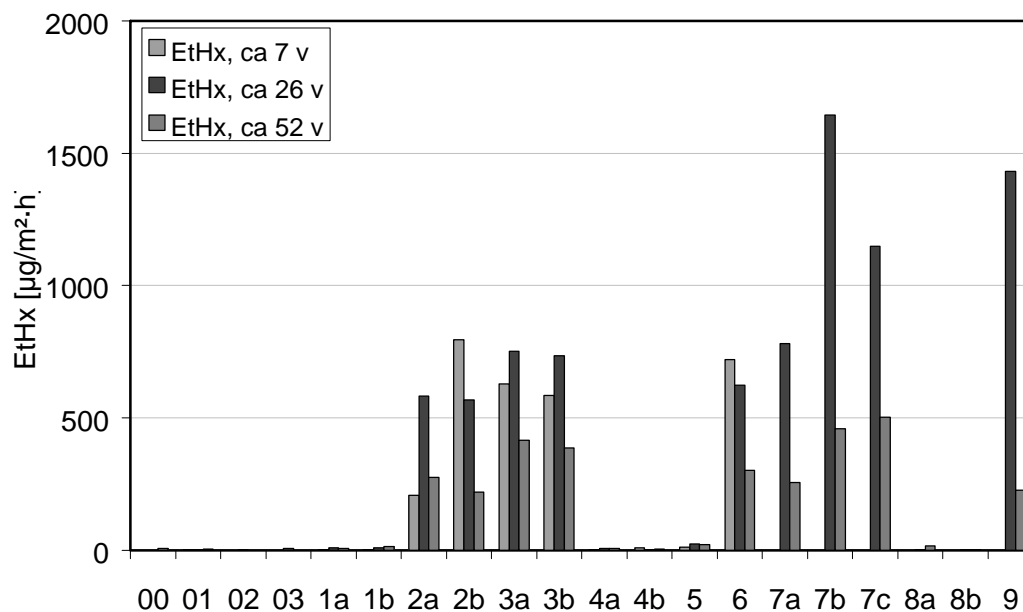
Figur 4.21 Emission av butanol från provkropparna i försök d1.2a och b. Största mätvärde i respektive mätserie är markerat.



Figur 4.22 Emission av etylhexanol från provkropparna i försök d1.2a och b. Största mätvärde i respektive mätserie är markerat.



Figur 4.23 Jämförelse mellan emissionen av butanol från system med matta och lim som exponerats mot pH-lösningar. Referensprovet bestod av matta M1 och lim L1.



Figur 4.24 Jämförelse mellan emissionen av etylhexanol från system med matta och lim som exponerats mot pH-lösningar. Referensprovet bestod av matta M1 och lim L1.

#### 4.5.2 Inverkan av limningsmetod (d2)

Denna undersökning syftade till att närmare klargöra hur emissionen från golvmaterial på underlag av självtorkande betong påverkas av olika omständigheter. Dessa omständigheter är exempelvis limningsmetod, limtyp, cementtyp och torkförlopp. Undersökningen gjordes på traditionella provkroppar för emissionsmätningar som beskrivs i kapitel 3.2.7. Mätningen gjordes genom provtagning med FLEC och TENAX-rör och efterföljande analys med GC-FID. Försökssammanställningen och resultat från undersökningen har sammanställts i tabell 4.26 och 4.27. Närmare beskrivning av försöket görs i Fritsche *et al* (1997).

Tabell 4.26 Försökssammanställning och resultat för undersökning d2.

Försök	d2.01	d2.02	d2.1	d2.2	d2.3	d2.4
<b>Limningsmetod</b>	–	–	LM1	LM1	LM1	LM1 <sup>♥</sup>
<b>Väntetid</b>	–	–	15	15	15	15
<b>Matta</b>	M1	M4	M1	M1	M1	M1
<b>Lim</b>	–	–	L4	L4	L1	L4
<b>Betong</b>	B4	B4	B4	B4	B4	B4
<b>Beteckning</b>	VIa	VIb	I	Ie	II	IIIa
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>203</b>	<b>395</b>	<b>371</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	48	48	49	65	49	50
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>28</b>	<b>44</b>	<b>134</b>	<b>83</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	184	48	49	188	49	50

♥ Limning på mattan

Tabell 4.27 Försökssammanställning och resultat för undersökning d2.

Försök	d2.5	d2.6	d2.7	d2.8	d2.9
<b>Limningsmetod</b>	LM4	LM1 <sup>♠</sup>	LM1	LM1	LM1
<b>Väntetid</b>	60	0	15	15	15
<b>Matta</b>	M1	M1	M1	M1	M1
<b>Lim</b>	L4	L4	L4	L4	L4
<b>Betong</b>	B4	B4	B4 <sup>♣</sup>	B4 <sup>♣</sup>	B4 <sup>♣</sup>
<b>Beteckning</b>	IIIb	IIIc	IVa	IVb	V
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>24</b>	<b>1941</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>26</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	183	46	50	46	45
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>19</b>	<b>326</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>32</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	183	46	50	46	184

♠ Våtlimning

♣ 2 respektive 4 v torkning

♣ Anläggningscement

8 stycken provkroppar göts med betong B4 enligt beskrivningen i kapitel 3.3.3. Provkropparna vändes upp och ner inför den avslutande vibreringen vid gjutningen. Nästa dag vändes formarna tillbaka och de rostfria plåtarna avlägsnades från ytorna. Ytan täcktes istället med två lager aluminiumfolie för att hindra för tidig uttorkning av ytan. Ett av proverna täcktes däremot inte med folie, utan fick torka direkt. Provkropparna förvarades i klimatstabil rum (+20 °C, 50 % RF) till mattläggning. Aluminiumfolien avlägsnades 28 dygn efter gjutning och två dygn senare limmades mattan. I de flesta fallen användes en homogen PVC-matta och ett vattenbaserat dispersionslim, se tabell 4.26 och 4.27 för komplett Försökssammanställning.

I försök d2.01 och d2.02 löslades mattor på betong. Mattorna var av olika typ och fabrikat och hölls på plats med en stålring

Försök d2.1 och d2.2 tillverkades med samma material, väntetid och limningsmetod som i Wengholt Johnsson (1995). Väntetiden vid limning var cirka 15 minuter innan mattan trycktes fast mot betongytan. I försök d2.3 användes ett ”lösningsmedelsfritt” lim. Limningsmetoden varierades i försök d2.4 – 6, försök d2.4 enkellimmades genom att limmet applicerades på mattan istället för på betongen. Försök d2.5 limmades med kontaklimning, vilket innebär att mattan lades direkt i vått lim, togs sedan direkt upp för att åter igen tryckas fast på ytan när limmet på matta och betong torkat till ”klibb” kvarstår. Mattan i försök d2.6 våtlimmades, det vill säga att den lades direkt i vått lim utan någon väntetid.

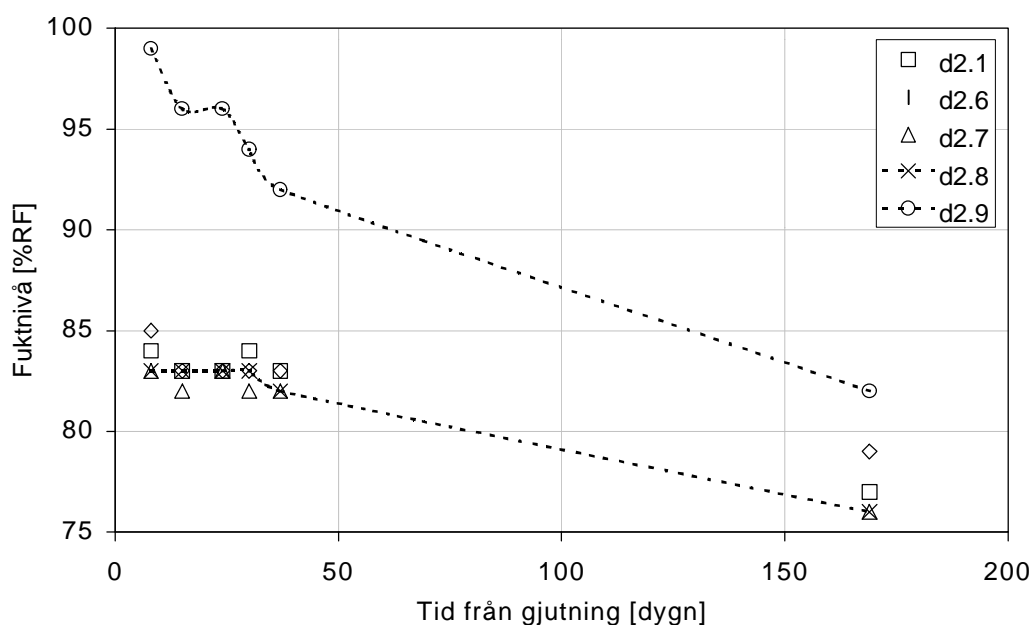
Betongytan hos provet i försök d2.7 täcktes inte med aluminiumfolie utan betongen fick torka direkt. I försök d2.8 avlägsnades aluminiumfolien 14 dygn efter gjutning. Mattan limmades i dessa försök på samma sätt som i referensprovet, 30 respektive 16 dygn efter torkstart. Den enda skillnaden mellan d2.1 och d2.2 (referenserna) och försök d2.9 var att det senare försöket använde sig av anläggningscement istället för standardcement. Detta gjordes för undersöka effekten av lägre alkalihalt i betongen.

Fukttillståndet mättes i provkropparna flera gånger under härdningen. Vid limningen var fuktnivån ungefär 84 % RF för alla provkroppar utom d2.9 som hade en fuktnivå på 94 % RF, se tabell 4.28 och figur 4.25. Fuktnivån mättes även en vecka efter limning och vid ytteligare ett tillfälle ungefär 20 veckor senare. RF-mätningarna gjordes med RF-prober som stacks in i mätrör på provkroppen på 4 cm djup ett dygn innan avläsning. Metoden beskrivs i kapitel 2.2.2.

Tabell 4.28 RF i provkropparna på 40% av höjden vid olika tider efter gjutning, undersökning d2.

Försök	8 dygn	15 dygn	24 dygn	30 dygn*	37 dygn	169 dygn
d2.1	84	83	83	84	83	77
d2.2	–	–	–	–	–	–
d2.3	–	–	–	–	–	–
d2.4	–	–	–	–	–	–
d2.5	–	–	–	–	–	–
d2.6	85	83	83	83	83	79
d2.7	83	82	83	82	82	76
d2.8	83	83	83	83	82	76
d2.9	99	96	96	94	92	82

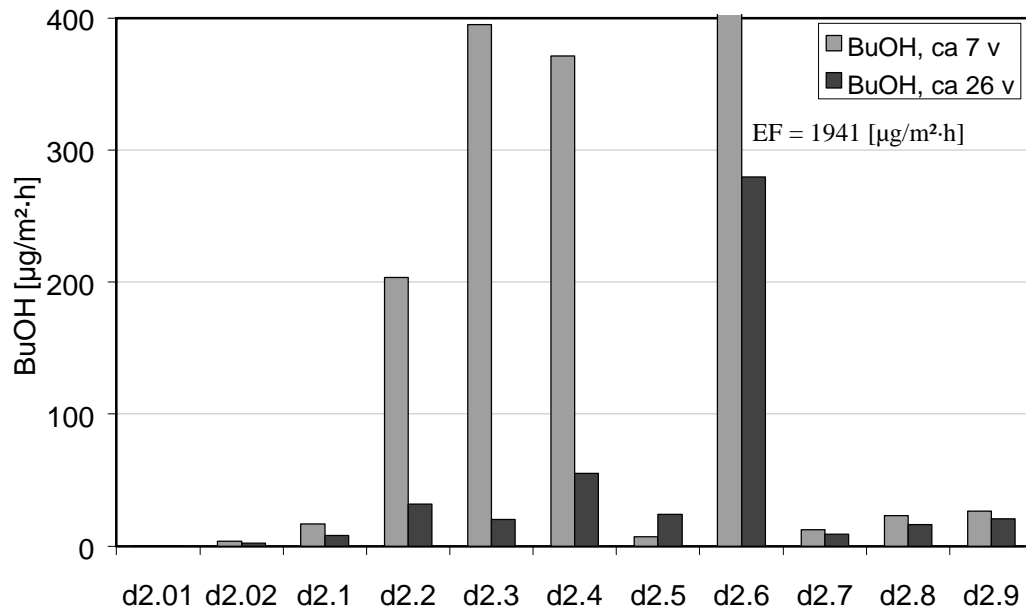
♥ limning av PVC-matta



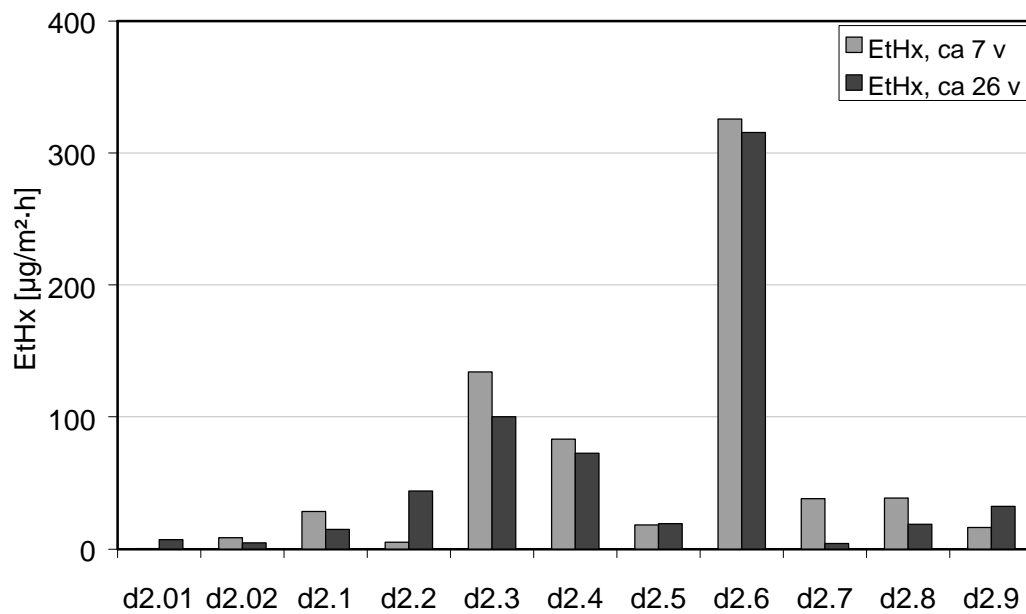
Figur 4.25 RF i provkropparna på 40% av höjden vid olika tider efter gjutning, undersökning d2.

Mätningar av emissionen från provkropparna gjordes vid två tillfällen. Det första var ungefär 7 veckor efter matläggning och det andra ungefär 26 veckor efter matläggning. Provtagningen skedde enligt metoden i kapitel 2.5.2 med FLEC och TENAX-rör. Den efterföljande analysen på TENAX-röret gjordes med GC-FID som fanns på Institutionen för Kemisk Miljövetenskap, Chalmers enligt metoden i kapitel 2.5.4.

Högsta uppmätta emissionen för butanol respektive etylhexanol för varje försök (provkropp) samt tiden det mättes vid finns presenterade i tabell 4.26 och 4.27. I figur 4.26 och 4.27 visas skillnaden mellan emission från olika system. Samtliga analysresultat finns redovisade i bilaga 11.



Figur 4.26 Jämförelse mellan emission av butanol från golvsystem limmade med olika metoder.



Figur 4.27 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från golvsystem limmade med olika metoder.



### 4.5.3 Inverkan av avjämningsmassa (d3)

Tidigare undersökningar av Wengholt Johnsson (1995) visade att avjämningsmassa hade en gynnsam effekt vid limning av PVC-mattor på byggfuktfri betong. Denna undersökning jämförde emissionen när PVC-mattor limmades på provkroppar med olika sorters avjämningsmassa. Sju olika avjämningsmassor studerades. De tre första (d3.1 – d3.3) var normala avjämningsmassor baserade på aluminatcement, se kapitel 3.4.1. Två stycken (d3.4, d3.5) var snabbhärdande avjämningsmassor baserade på aluminatcement och de två sista (d3.6, d3.7) var gipsbaserade avjämningsmassor. Försökssammanställningen och resultat har sammanställts i tabell 4.29 och 4.30. Försöket och resultaten beskrivs också i Konieczny (1997).

Tabell 4.29 Försökssammanställning och resultat för undersökning d3.

Försök	d3.00	d3.01	d3.0	d3.1	d3.2
<b>Avj. massa</b>	–	–	–	A1	A2
<b>Tjocklek [mm]</b>	–	–	–	5	5
<b>Σ Tid [dygn]</b>	–	–	8	7+7	7+7
<b>Matta</b>	Stål	M1	M1	M1	M1
<b>Lim</b>	–	–	L2	L2	L2
<b>Betong</b>	–	–	B4	B4	B4
<b>Beteckning</b>	Stål	Matta	A	G	F
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>141</b>	<b>8</b>	<b>50<sup>♥</sup></b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	193	118	102	183	324
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>193</b>	<b>39</b>	<b>159<sup>♥</sup></b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	278	278	192	329	324

♥ Orimligt höga värden, se figurerna i bilaga 12. Antagligen föroreningar i analysen.

Tabell 4.30 Försökssammanställning och resultat för undersökning d3.

Försök	d3.3	d3.4	d3.5	d3.6	d3.7
<b>Avj. massa</b>	A3	A4	A5	A6	A7
<b>Tjocklek [mm]</b>	5	5	5	20	20
<b>Σ Tid [dygn]</b>	7+7	7+1	7+1	7+14	7+14
<b>Matta</b>	M1	M1	M1	M1	M1
<b>Lim</b>	L2	L2	L2	L2	L2
<b>Betong</b>	B4	B4	B4	B4	B4
<b>Beteckning</b>	H	D	E	C	B
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	175	95	95	172	96
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>35</b>	<b>93<sup>♥</sup></b>	<b>42</b>	<b>95<sup>♥</sup></b>	<b>143<sup>♥</sup></b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	332	331	337	318	319

♥ Orimligt höga värden, se figurerna i bilaga 12. Antagligen föroreningar i analysen.

Åtta provkroppar göts med betong B4 enligt beskrivningen i kapitel 3.3.3. Provkropparna fylldes så att avståndet mellan betongytan och kanten överensstämde med tjockleken på spackellagret som skulle gjutas senare. Provkroppen till försök d3.0 som saknade avjämningsmassa vändes upp och ner på en stålplåt och vibrerades. Nästa dag vändes den rätt och täcktes med plast. De övriga provkropparna täckes med tätslutande plast direkt efter gjutningen. Provkropparna förvarades i klimatstabil rum fram till mätning av emissionen.

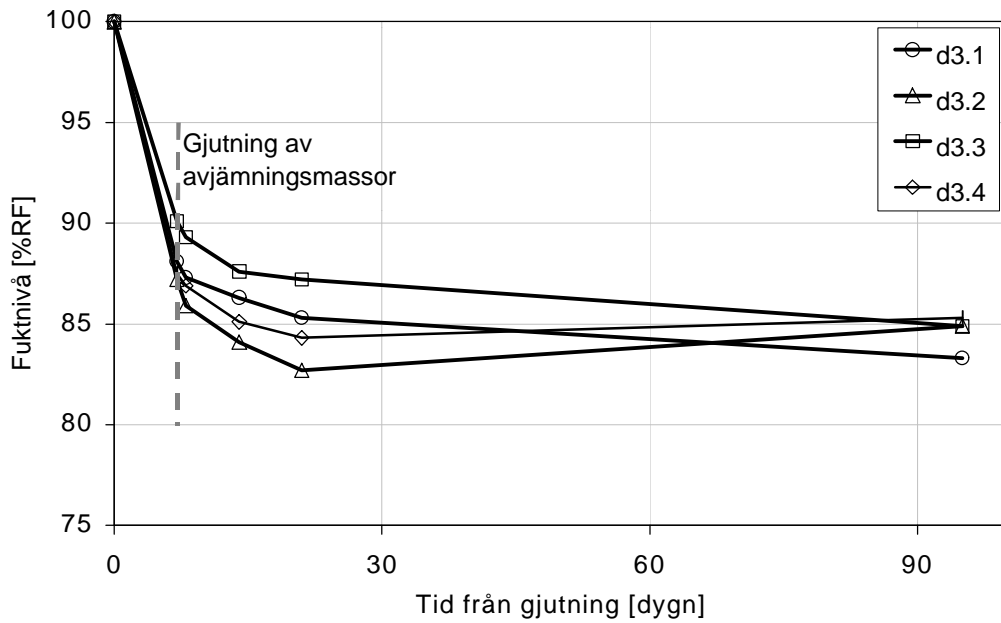
Pågjutning med avjämningsmassor skedde efter sju dygns härdning under tätslutande plastfilm för samtliga prov utom d3.3 och det utan avjämningsmassa (d3.0). RF hade vid det tillfället sjunkit under 90 % , se tabell 4.31 samt figur 4.28 och 4.29. 90 % RF ansågs vara högsta rekommenderade fuktnivån vid pågjutning enligt leverantörerna av avjämningsmassa. Avjämningsmassorna levererades färdigblandade med undantag av vatten som tillsattes vid gjutningen. Efter att vattnet tillsatts blandades avjämningsmassorna i en tvångsblandare och göts enligt kapitel 3.4.2. Avjämningsmassan på provkropp d3.3 göts vid ett separat tillfälle.

Tabell 4.31 RF i provkropparna på 40% av höjden vid olika tider efter gjutning, undersökning d3.

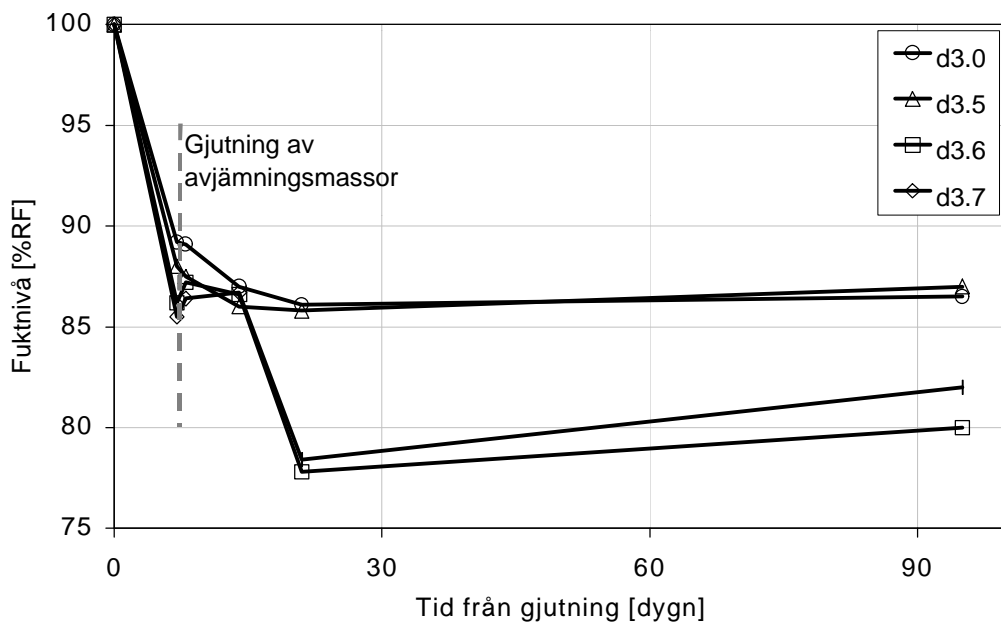
Försök	7 dygn	8 dygn	14 dygn	21 dygn	95 dygn
<b>d3.0</b>	89,2	89,1 <sup>▲</sup>	87,0	86,1	86,5
<b>d3.1</b>	88,1 <sup>▼</sup>	87,3	86,3 <sup>▲</sup>	85,3	83,3
<b>d3.2</b>	87,2 <sup>▼</sup>	85,9	84,1 <sup>▲</sup>	82,7	84,9
<b>d3.3</b>	90,1	89,3	87,6 <sup>▼</sup>	87,2 <sup>▲</sup>	84,9
<b>d3.4</b>	87,5 <sup>▼</sup>	86,9 <sup>▲</sup>	85,1	84,3	85,3
<b>d3.5</b>	88,0 <sup>▼</sup>	87,5 <sup>▲</sup>	86,0	85,8	87,0
<b>d3.6</b>	86,2 <sup>▼</sup>	87,2	86,6	77,8 <sup>▲</sup>	80,0
<b>d3.7</b>	85,5 <sup>▼</sup>	86,4	86,7	78,4 <sup>▲</sup>	82,0

▼ gjutning av avjämningsmassa  
▲ limning av PVC-matta

Mattlimningen skedde ett dygn efter pågjutning av snabbhärdande avjämningsmassor. Vid pågjutning med normalhärdande avjämningsmassor skedde mattlimningen efter 7 dygn och för de gipsbaserade avjämningsmassorna efter 14 dygn. Detta var de kortaste torktiden som rekommenderades för respektive avjämningsmassa. Alla provkroppar våtlimmades på samma sätt med tio minuters väntetid innan mattan trycktes fast. PVC-matta och lim var samma för alla provkropparna. Limningsmetoden beskrivs i kapitel 3.5.2.



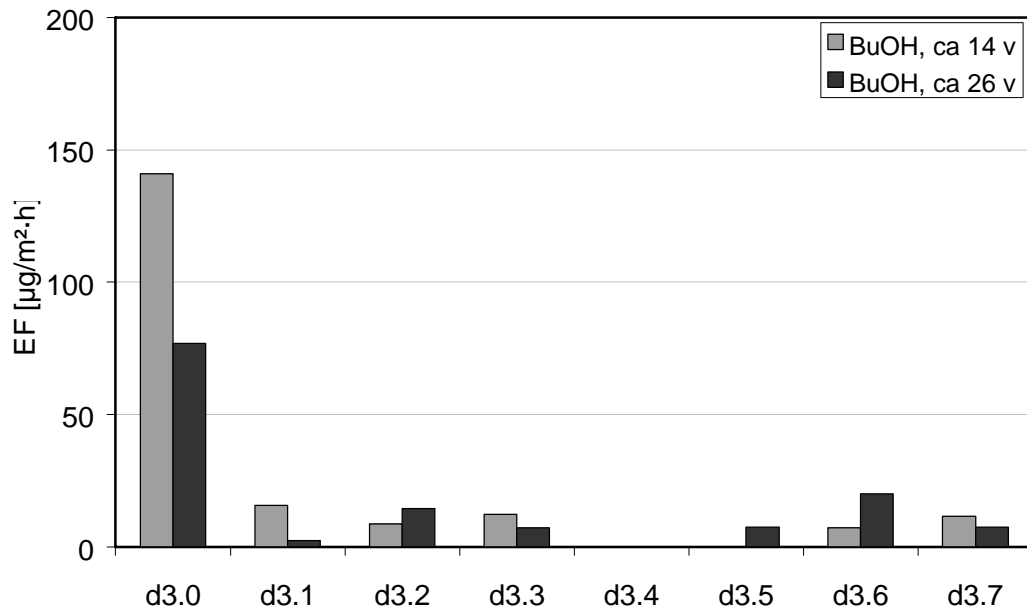
Figur 4.28 RF i provkropparna på 40% av höjden vid olika tider efter gjutning, undersökning d3.



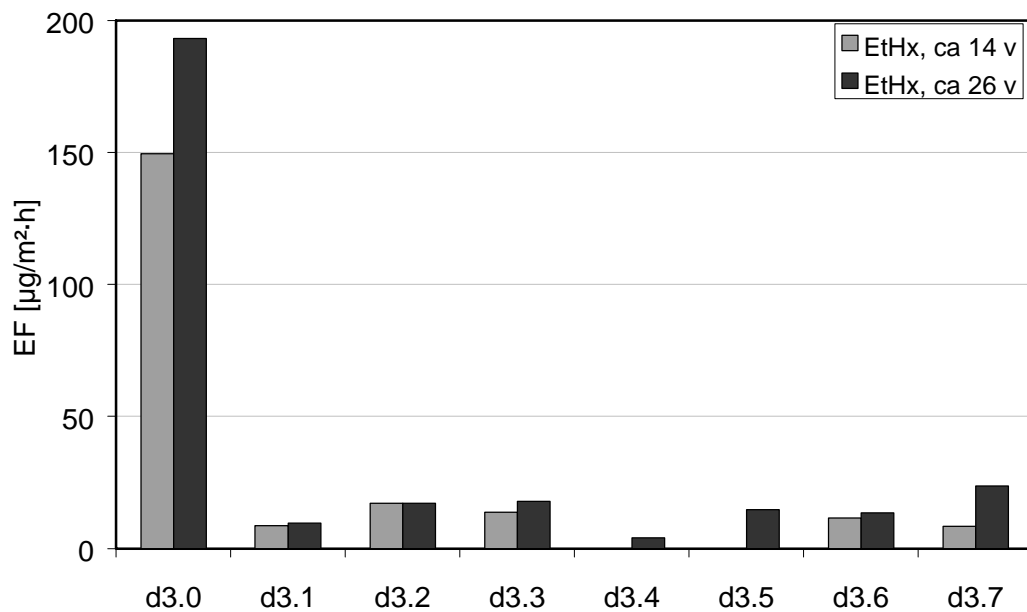
Figur 4.29 RF i provkropparna på 40% av höjden vid olika tider efter gjutning, undersökning d3.

Mätningar av emissionen från provkropparna gjordes vid två tillfällen, det första var 14 veckor efter matläggning och det andra 26 veckor efter matläggning. Provtagningen skedde med FLEC och TENAX-rör enligt metoden som beskrivs i kapitel 2.5.2. Den efterföljande analysen på TENAX-röret gjordes med GC-FID enligt metoden i kapitel 2.5.4.

Högsta uppmätta emissionen för butanol respektive etylhexanol för varje försök (provkropp) samt tiden det mättes vid finns presenterade i tabell 4.28 och 4.29. I figur 4.30 och 4.31 visas skillnaden mellan emission från provkroppar med olika avjämningsmassor. Staplarna visar medelvärdet av provkropparna med respektive typ av avjämningsmassa. Samtliga analysresultat finns redovisade i bilaga 12.



Figur 4.30 Jämförelse mellan emission av butanol från provkroppar med homogen PVC-matta limmad på olika typer av avjämningsmassa. I försök d3.0 har dock mattan limmats direkt på betong.



Figur 4.31 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från provkroppar med homogen PVC-matta limmad på olika typer av avjämningsmassa. I försök d3.0 har dock mattan limmats direkt på betong.

#### 4.5.4 Inverkan av limfukt (d4)

Fuktegenskaper i betongskiktet under lim och matta har betydelse för emissionshastigheten. I undersökning d2 ovan som också beskrivs i Fritsche *et al* (1997) visades att väntetiden vid limning på byggfuktfri betong var en viktig parameter. I den här undersökningen mättes emissionen från mattor med olika betongunderlag och väntetider vid limning. I några fall varierades tiden för luftningen efter plasten avlägsnats till limning skedde. I samband med dessa mätningar bestämdes även fuktprofilen i betongprover med samma material och limningsmetoder. Fuktmätningarna gjordes i undersökning a1 och redovisas i kapitel 4.2.1. Försökssammanställningen och resultat har sammanställts i tabell 4.32 – 4.35. Försöket och resultaten beskrivs närmare i Wengholt Johnsson och Sjöberg (1999). Resultaten redovisas i bilaga 13.

Tabell 4.32 Försökssammanställning och resultat för försök d4.0 – d4.5.

Försök	d4.00	d4.1	d4.2	d4.3	d4.4	d4.5
Väntetid [min]	–	2	5	5	5	2
Luftning [dygn]	–	5	5	5	5	5
Avj. massa	–	–	–	–	–	–
Matta	Stål	M3	M1	M1	M1	M1
Lim	–	L2	L2	L2	L2	L2
Betong	–	B3	B3	B3	B3	B3
Beteckning	00	EB2	EB1	EB3	EB4	EB5
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>899</b>	<b>1254</b>	<b>786</b>	<b>1612</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	68	69	69	69	70	68
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>32</b>	<b>210</b>	<b>726</b>	<b>895</b>	<b>641</b>	<b>1016</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	68	185	183	69	183	182

Tabell 4.33 Försökssammanställning och resultat för försök d4.6 – d4.11.

Försök	d4.6	d4.7	d4.8	d4.9	d4.10	d4.11
Väntetid [min]	2	2	10	2	2	2
Luftning [dygn]	5	20	20	5	5+7	5+7
Avj. massa	–	–	–	–	A2	A2
Matta	M1	M1	M1	M1	M1	M1
Lim	L2	L2	L2	L2	L2	L2
Betong	B3	B3	B3	B3	B33	B3
Beteckning	EB6	EB7	EB8	EB9	EBA1	EBA2
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>1673</b>	<b>152</b>	<b>80</b>	<b>1285</b>	<b>27</b>	<b>20</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	68	181	78	69	71	67
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>876</b>	<b>178</b>	<b>114</b>	<b>1059</b>	<b>26</b>	<b>25</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	182	181	182	181	71	67

Tabell 4.34 Försökssammanställning och resultat för försök d4.12 – d4.17.

Försök	d4.12	d4.13	d4.14	d4.15	d4.16	d4.17
Väntetid [min]	15	25	10	10	2	2
Luftning [dygn]	5+7	5+7	5	5	5	5
Avj. massa	A2	A2	–	–	–	–
Matta	M1	M1	M1	M1	M1	M1
Lim	L2	L2	L2	L2	L2	L2
Betong	B3	B3	B6	B6	B6	B6
Beteckning	EBA3	EBA4	ET1	ET2	ET3	ET4
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>1383</b>	<b>1319</b>	<b>1986</b>	<b>1411</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	67	184	63	63	63	64
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>1303</b>	<b>1177</b>	<b>1504</b>	<b>1232</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	67	68	179	179	178	179

Tabell 4.35 Försökssammanställning och resultat för försök d4.18 – d4.21.

Försök	d4.18	d4.19	d4.20	d4.21
Väntetid [min]	2	2	15	25
Luftning [dygn]	5+7	5+7	5+7	5+7
Avj. massa	A2	A2	A2	A2
Matta	M1	M1	M1	M1
Lim	L2	L2	L2	L2
Betong	B6	B6	B6	B6
Beteckning	ETA1	ETA2	ETA3	ETA4
<b>BuOH<sub>max</sub></b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>7</b>
<b>Tid BuOH<sub>max</sub></b>	185	71	72	75
<b>EtHx<sub>max</sub></b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>25</b>
<b>Tid EtHx<sub>max</sub></b>	185	71	72	75

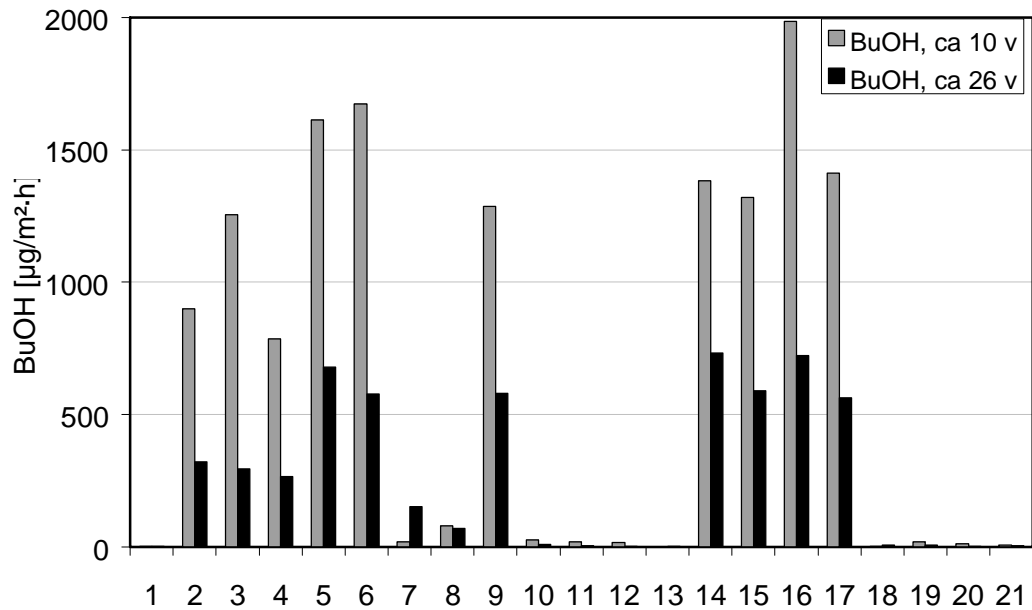
Betong enligt tabell 4.32 – 4.35 göts i rostfria formar enligt beskrivningen i kapitel 3.2.7. Direkt efter gjutningen vändes provkropparna upp och ner på en stålplåt och vibrerades. Nästa dag vändes den rätt och täcktes med plast. Därefter förvarades de i klimatstabil rum (20°C, 50 % RF) övertäckta med plastfolie i 25 dygn. Plastfolien avlägsnades och efter 5 dygn limmades PVC-mattor på betongproverna. Mängden påfört lim, 15 g, var densamma för samtliga prover. Mattorna våtlimmades och väntetiden var 2 minuter eller 10 minuter, se kapitel 3.5.2 för beskrivning av limningsmetoder. Några prover lufthärdades i 20 dygn istället för 5 dygn.

De prover som avjämnades vändes ej utan förvarades övertäckta i 25 dygn och efter ytterligare 5 dygn påfördes ca 5 mm avjämningsmassa. Mattan limmades på underlaget 7 dygn efter avjämning.

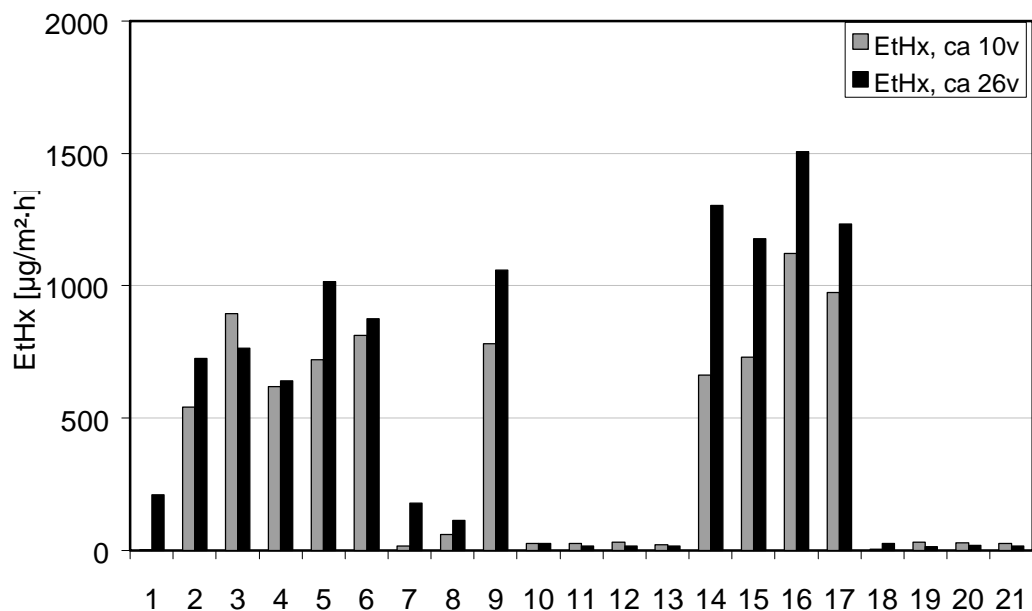
Emissionsmätningarna utfördes ungefär 10 respektive 26 veckor efter mattläggning. Vid mätningarna användes provtagning med FLEC och TENAX-rör som beskrivs i kapitel 2.5.1, metoden beskrivs i kapitel 2.5.2. Efterföljande analys av TENAX-rören gjordes med GC-FID, utrustningen beskrivs i kapitel 2.4.3 och metoden i kapitel 2.4.4.

Högsta uppmätta emissionen för butanol respektive etylhexanol för varje försök (provkropp) samt tiden det mättes vid finns presenterade i tabell 4.32 – 4.35. I figur 4.32 och 4.33 visas skillnaden mellan emission från provkroppar med olika avjämningsmassor. Staplarna visar medelvärdet av provkropparna med respektive typ av avjämningsmassa. Samtliga analysresultat finns redovisade i bilaga 13.





Figur 4.32 Jämförelse mellan emission av butanol från provkroppar med olika torktid (TT) och väntetid (VT). Matta M1 och lim L2 har kombinerats med betong B3 och B6 samt ibland avjämningsmassa A2.



Figur 4.33 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från provkroppar med olika torktid (TT) och väntetid (VT). Matta M1 och lim L2 har kombinerats med betong B3 och B6 samt ibland avjämningsmassa A2.

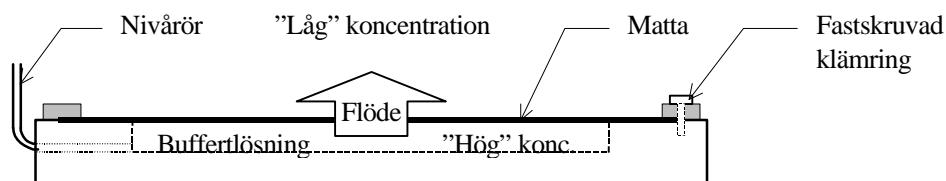
#### 4.5.5 Diffusion av kolväten genom mattan (d5)

Kolvätena som bildas under mattan vid alkalisk hydrolys av golvlim riskeras att migrera in i omkringliggande material. Dels vandrar de upp genom mattan och avges till rumsluften och dels vandrar de ner i betongen där de kan stanna tills förhållandena ändras. I denna undersökning exponerades en matta med kända koncentrationer av butanol och etylhexanol med hjälp av provkroppen som beskrivs i kapitel 3.2.6. Fyra försök gjordes i denna undersökning. I två av försöken mättes flödet av butanol genom mattan och i de andra två mättes etylhexanol. Koncentrationen var olika på mattans sidor och flödet genom mattan mättes med FLEC och TENAX-rör samt efterföljande analys gjordes med GC-FID. Utrustningen beskrivs i kapitel 2.4.3 och metoden i kapitel 2.4.4. Försöksammanställning och resultat redovisas i tabell 4.36.

Tabell 4.36 Försöksammanställning och resultat för undersökning d5.

Försök	d5.1	d5.2	d5.3	d5.4
Ämne	BuOH	BuOH	EtHx	EtHx
Kontaktmedium	gas	vätska	gas	vätska
Matta	M1	M1	M1	M1
EF <sub>medel</sub> [ $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ]	12 800	16 100	10 000	7 000

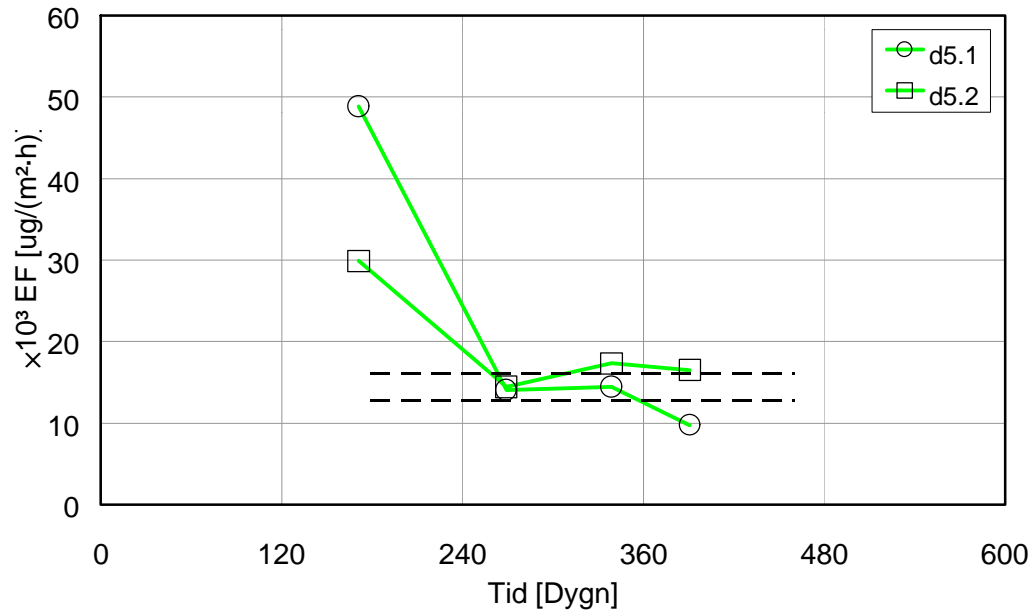
Mattorna skars till och klämdes fast på provkroppen som beskrivs i kapitel 3.2.6. Därefter fylldes utrymmet för pH-lösningen med butanol respektive etylhexanol genom hålet för nivåörret, se figur 4.34. En provkropp med butanol och en med etylhexanol fylldes helt så att vätskan låg i kontakt med mattan. Den andra provkroppen med respektive vätska fylldes ungefär till hälften så att det bildades en luftspalt mellan vätskan och mattan. Luften i spalten antog mätnadskoncentration.



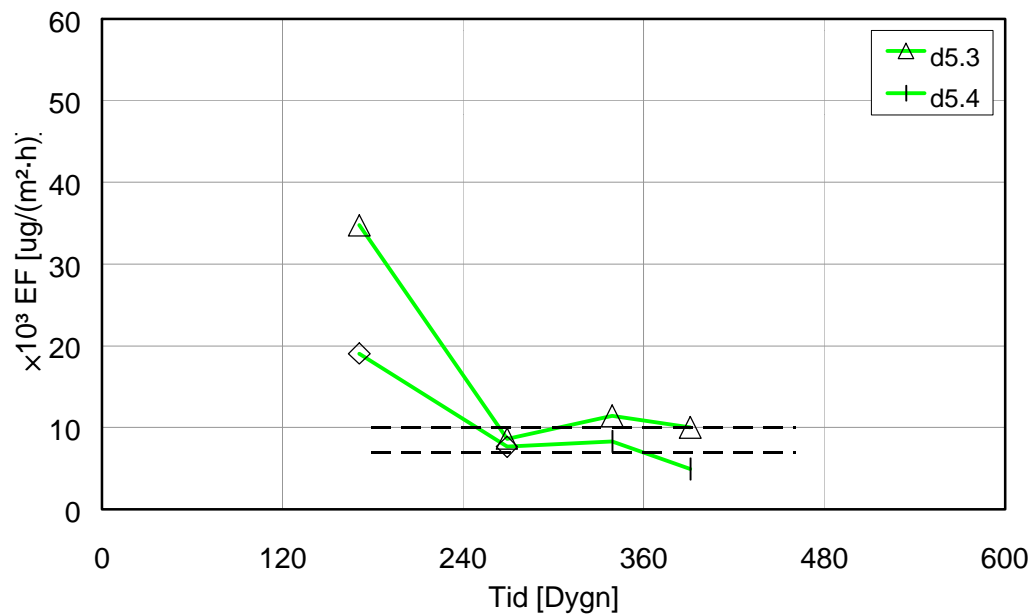
Figur 4.34 Provkroppen där en matta kan spännas fast över ett utrymme med pH-lösning. Flödet av kolväten genom mattan mäts med FLEC.

Efter ungefär 24 veckor gjordes de första emissionsmätningarna på proverna. Mätningarna skedde sedan med ungefär tio veckors mellanrum. Provtagningen skedde med FLEC och TENAX-rör enligt metoden i kapitel 2.5.2. Efterföljande analys på TENAX-röret gjordes med GC-FID enligt metoden i kapitel 2.5.4.

Resultatet presenteras som medelemission från de tre sista mätningarna i tabell 4.35. I figur 4.35 och 4.36 visas mätresultaten som funktion av tiden mattan varit exponerad.



Figur 4.35 Emission från matta som exponeras för butanol på baksidan. I försök d5.1 sker exponeringen som mättad luftblandning och i d5.2 som vätska.



Figur 4.36 Emission från matta som exponeras för etylhexanol på baksidan. I försök d5.3 sker exponeringen som mättad luftblandning och i d5.4 som vätska.



## 5 Analys

Resultaten som analyseras redovisas mer eller mindre komplett i kapitel 4 och i bilagor. De intressantaste resultaten sammanställs dock i det här kapitlet i samband med analysen av varje undersökning.

### 5.1 Limfukt

#### 5.1.1 Resultat från spräckta prover (a1)

Undersökningen visade att RF ökade i ytskiktet av betongen när PVC-matta limmades med vattenbaserat dispersionslim. Fukten i limmet trängde in i betongen och höjde fukttillståndet markant i de bitar som var uttagna från 0 – 10 mm djup. Fuktnivån ökade däremot inte i de betongbitar som var tagna från 20 – 30 mm djup. I betongbitarna från 40-50 mm djup var fuktnivån konstant eller minskade monotont. Sänkningen berodde antagligen på att det skedde en uttorkning av betongen i botten av provkropparna. Formarna av cellplast (PF2) var troligen inte helt täta utan en viss fuktransport kunde ske under tiden för undersökningen.

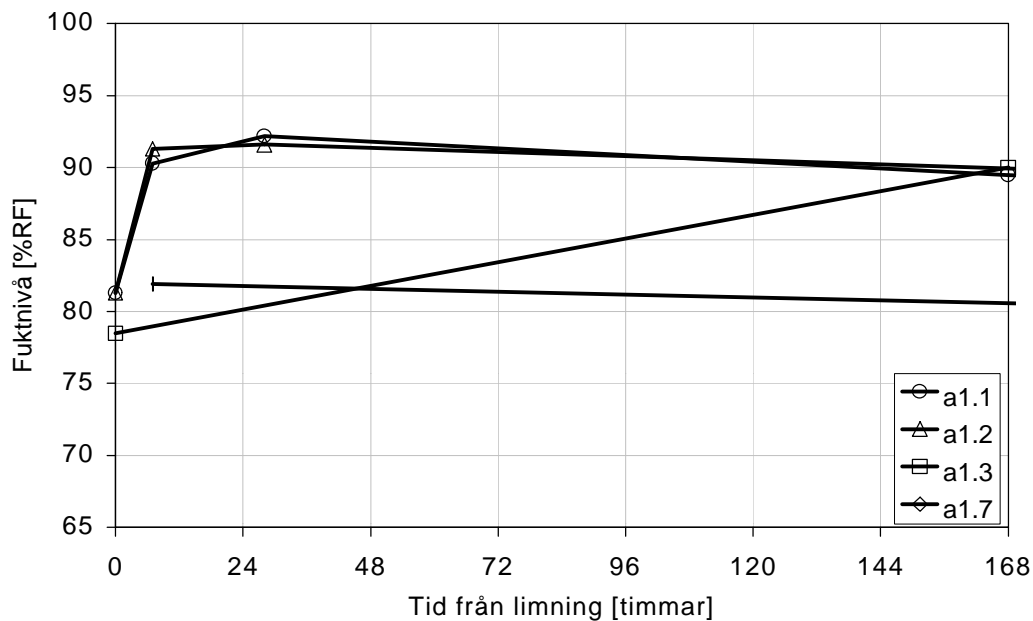
Det visade sig att en skillnad i fuktnivå kunde mätas i ytskiktet vid förändring av väntetiden (VT) från det att limmet applicerades på betongen till dess att mattan trycktes fast. Skillnaden var störst för byggfuktfri betong (B4). Försök a1.4 och a1.5 som redovisas i figur 5.2 visar hur fuktnivån i ytan av byggfuktfri betong förändrades vid limningen och sju dagar framåt. I dessa två försök torkade betongen i 5 dygn (TT) och väntetiden (VT) var 2 respektive 10 min. I figur 5.1 visas motsvarande försök (a1.1 och a1.2) med normal husbyggnadsbetong (B6). Ingen avgörande skillnad mellan de olika väntetiderna kunde observeras.

Vid en väntetid på 60 min avdunstar en viss mängd vatten. Vid en väntetid på 2 min avdunstar cirka 5% av denna mängd och vid 10 mins väntetid cirka 25% enligt Wengholt Johnsson och Sjöberg (1999). I undersökningen var totala mängden påfört lim 4g, det motsvaras av cirka  $150 \text{ g/m}^2$  vatten. Maximal skillnad i avdunstat vatten mellan 2 och 10 min VT blir om allt vatten avgår på 60 min. Skillnaden blir då  $((0,25-0,05) \cdot 150) 30 \text{ g/m}^2$ .

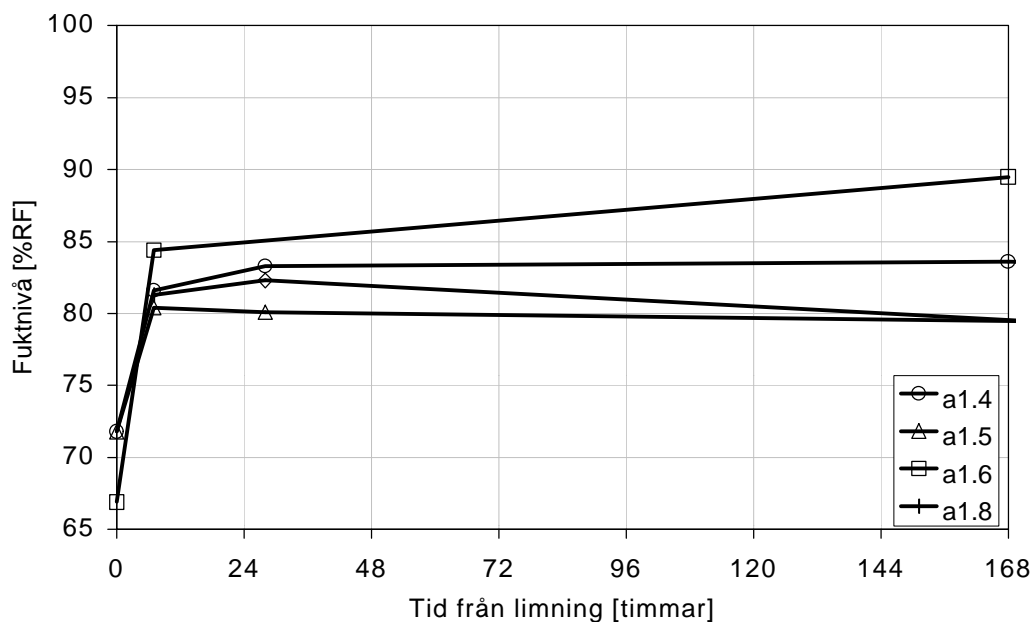
I två försök torkades (TT) betongerna 25 dygn, istället för 5, innan limningen. Försök a1.6 som visas i figur 5.2 ger att fukthöjning vid limning efter 25 dygns torkning av byggfuktfri betong blir större än i prov som torkat 5 dygn, se försök a1.3 i figur 5.1. Motsvarande mätningar för normal husbyggnadsbetong saknas.

Fukthöjning när avjämningsmassa använts studerades för normal husbyggnadsbetong i försök a1.7 som visas i figur 5.1 samt för byggfuktfri betong i försök a1.8 som redovisas i figur 5.2.

- Generellt för undersökningen var att fuktökningen enbart skedde i ytan och att fuktnivån snabbt höjdes ungefär 10 % RF för de flesta försök.



Figur 5.1 Fukttillståndet i normal husbyggnadsbetong (B6) olika tider efter limning av matta. I försök a1.1 var TT 5 dygn och VT 2 min, i a1.2 var TT 5 dygn och VT 10 min, i a1.3 var TT 25 dygn och VT 2 min. Försök a1.7 var med avjämningsmassa, TT var 7 dygn och VT 2 min.



Figur 5.2 Fukttillståndet i normal byggfuktfril betong (B4) olika tider efter limning av matta. I försök a1.4 var TT 5 dygn och VT 2 min, i a1.5 var TT 5 dygn och VT 10 min, i a1.6 var TT 25 dygn och VT 2 min. Försök a1.8 var med avjämningsmassa, TT var 7 dygn och VT 2 min.

### 5.1.2 Resultat med kvarsittande prober (a2)

Undersökningen visade att limfukten gav ett stort fuktillskott till det yttersta betongskiktet på de fyra betongkvaliteterna som studerades. Dessa var vct 0,32 (B1), vct 0,42 (B4), vct 0,50 (B5) samt vct 0,66 (B6). Höjningen av RF var dock olika för de olika betongerna.

I försöken med byggfuktfri betong (B1 och B4) uppmättes en RF-höjning som var dubbelt så stor som i försöken med betong med högre vct (B5 och B6). Mängden påförd limfukt var dock olika stor i försöken. Det går inte att se ett direkt samband mellan påförd limfukt och fukthöjning. Exempelvis gav den minsta limmängden (10 g) den största fukthöjningen (12 % RF), se tabell 4.4. Dessa effekter kan förklaras med olika mätdjup i försöken samt betongernas olikheter i fuktkapacitet, det vill säga förmåga att ta upp fukt i förhållande till ökning av RF. Några generella samband kunde dock observeras;

- Höjningen var störst i betongens ytskikt. För B5 och B6 registreras höjningen ner till 30 mm djup. Höjningen registrerades ner till ungefär 20 mm djup i betong B1 och B4.
- Höjningen gick fortast i betong med högt vct. I betong B5 och B6 inträffade de högsta fuktillstånden efter ett eller några dygn beroende på vilket djup i betongen som avses. I betong B1 inträffade de efter ungefär 5 dygn.
- Höjningen på grund av limfukt var ungefär 9,5 % RF på 13 mm djup i försöket med betong B1. I de andra försöken mättes fukten på 3 mm djup. Det är troligt att fukthöjningen var större närmare ytan för betong B1.
- Med största sannolikhet är fuktnivån 100 % RF precis under mattan en tid efter limningen. Det är rimligt att anta att betongen blir vattenmättad precis efter limning eftersom limmet innehåller en stor andel vatten.
- Omfördelningen av fukt tog olika lång tid för de olika betongerna. I försöket med normal husbyggnadsbetong (B6) hade fuktnivån på 3 mm djup återgått till ursprungligt värde då mätningen avbröts 10 dygn efter limningen. I försöket med byggfuktfri betong kvarstod hela höjningen då mätningen avbröts 10 dygn efter limningen.
- Den snabba fukthöjningen som sker i betongytan efter limning visar att limfukten transporteras genom insugning i kapillärporerna. Kapillärinsugning är en snabb transportprocess som på kort tid kan transportera stora mängder fukt men som bara förekommer vid höga fuktillstånd.
- När fuktillståndet sjunker under uttorkningen sker transporten huvudsakligen genom ångdiffusion. Detta är en betydligt långsammare transportprocess än kapillärtransport. Skillnaden av transporthastighet syns i figur 4.3. På 11 mm nivå ger den snabba kapillära uppfuktningen en brant stigande kurva de första dygnen medan diffusionen ger en flackare lutning vid uttorkningen.

- Uttorkningen av betongen sker olika fort på olika djup i betongen. Nära ytan sker sänkningen av fuktnivån snabbast på grund av att där samverkar tre olika fenomen att sänka fuktigheten. Dessa tre fenomen är:
  1. Självtorkning som är kemisk bindning av vatten till ohydratiserad cement. Fuktminskningen på grund av denna reaktion är störst i betong med lågt vct. Det beror på att där mängden ohydratiserad cement är större i sådan betong vid tiden för mätningarna.
  2. Utjämning av fuktnivån genom transport (ner) till torrare områden i betongen. Transporten sker genom kapillär fuktransport och ångdiffusion. Vilket sätt eller hur fördelningen mellan sätten som transporten sker med beror på fuktnivån och porsystemets finhet.
  3. Uttorkning genom betongytan. Efter mattläggningen beror torkhastigheten av mattans täthet, det så kallade ångmotståndet ( $z$ ).

Vissa av mätningarna i denna undersökning visar på orimliga värden. Bland annat är det inte troligt att fuktfördelningen innan mattlimning i betong B1 ser ut som visas i figur 4.4. Fuktnivån borde inte vara högre på 11 mm djup än den är på 17 mm efter att uttorkning skett uppåt. Alla försöken uppvisar något eller några orimliga värden. Det är troligt att dessa avvikelser beror på osäkerheten hos instrumenten och i metoden. Metoden kan ännu inte ses som fullt utvecklad.



### 5.1.3 Beräkning av inträngd fukt

Mängden limfukt som trängt in i betongen kan bestämmas genom beräkningar som baseras på höjning av fukthalten. Den totala förändringen av fukttinnehållet i betongen kan utvärderas ur exempelvis figur 5.3. Förändring av fukthalt kan beskrivas som förändring av RF multiplicerat med betongens fuktkapacitet:

$$\Delta w = \Delta RF \cdot \frac{\partial w}{\partial f}$$

där

$$\Delta w = \text{ändring av fukthalt} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\Delta RF = \text{ändring av relativ fuktighet} \quad [-]$$

$$\partial w / \partial f = \text{fuktkapacitet} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Den totala förändringen av fukttinnehållet erhålls om förändringen av fukthalten integreras över djupet i betongen:

$$\Delta W_{tot} = \int_0^L \Delta w \cdot dx$$

där

$$\Delta W_{tot} = \text{total förändring av fukttinnehållet} \quad [\text{kg/m}^2]$$

$$L = \text{maximalt inträngningsdjup} \quad [\text{m}]$$

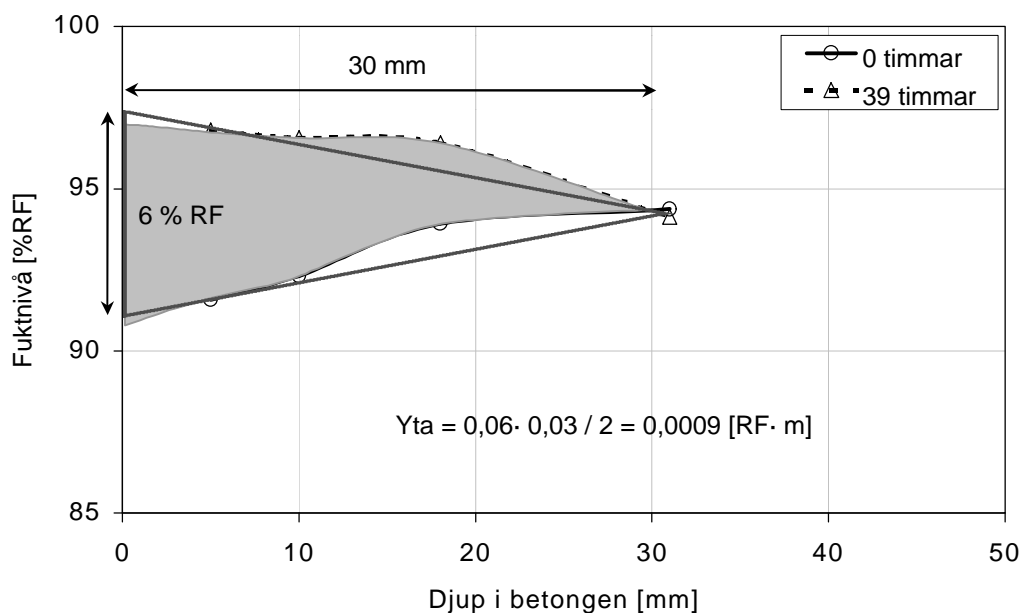
Totala förändringen av fukttinnehållet kan beskrivas som funktion av RF genom att kombinera de ovanstående ekvationerna.

$$\Delta W_{tot} = \int_0^L \Delta RF \cdot \frac{\partial w}{\partial f} \cdot dx$$

Genom antagandet att fuktkapaciteten är konstant kan integralen förenklas. Antagandet är rimligt att göra inom vissa delar av fuktområdet eller då det rör sig om små fuktförändringar.

$$\Delta W_{tot} = \frac{\partial w}{\partial f} \cdot \int_0^L \Delta RF \cdot dx$$

Totala förändringen av fukttinnehållet är lika med fuktkapaciteten för betongen multiplicerat med en integral. Integralen är detsamma som summan av förändring i RF på varje djup. Enkelt uttryckt är integralen lika med ytan mellan de olika RF-profilerna på det sätt som visas i figur 5.3.



Figur 5.3 Beräkning av ytans storlek för försök a2.5 för att bestämma totala fuktmängden från limmet som trängt in i betongen.

I tabell 5.1 görs en sammanställning fuktmängder som tillförts betongen i undersökning a1 och a2. Sammanställningen innehåller också total inträngd fuktmängd ( $W_{tot}$ ) för samtliga försök enligt beräknings sättet med ytor i figuren 5.6.

Tabell 5.1 Försökssammanställning och resultat för undersökning a1-RF. Tillförd limfukt och total uppmätt inträngd fukt ( $w_{tot}$ ).

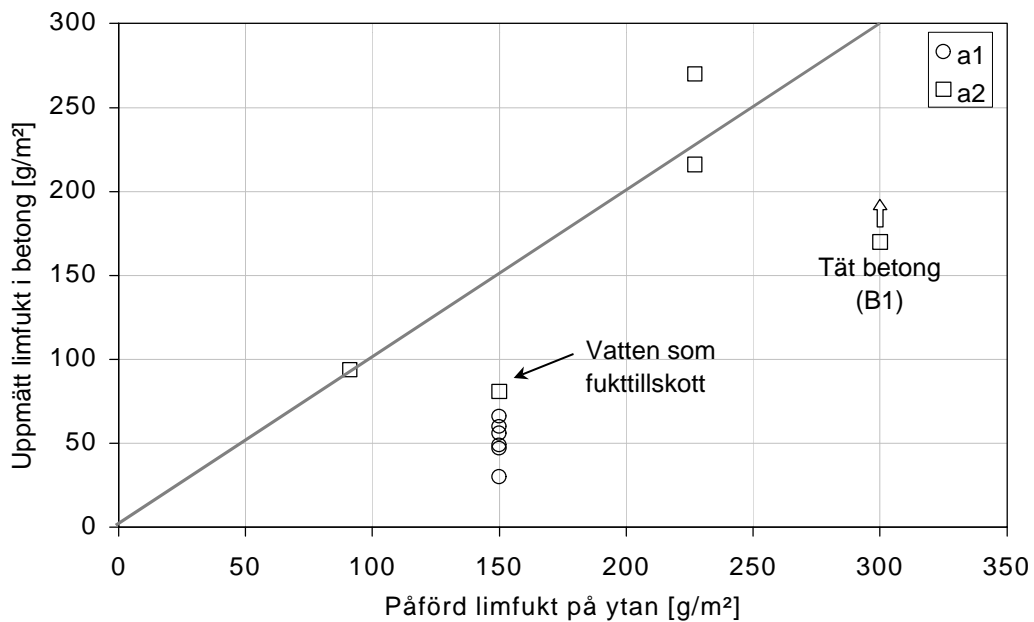
Försök	Btg	Limfukt ( $\cdot 10^{-3}$ ) [kg/m <sup>2</sup> ]	VT [min]	Yta ( $\cdot 10^{-3}$ ) [RF·m]	RF-nivå [%]	$\frac{\partial w}{\partial f}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$W_{tot}$ ( $\cdot 10^{-3}$ ) [kg/m <sup>2</sup> ]
a1.1	B6	150	2	0,33	75-95	170	56
a1.2	B6	150	10	0,29	75-95	170	49
a1.3	B6	150	2	0,35	75-95	170	60
a1.4	B3	150	2	0,36	65-85	130	47
a1.5	B3	150	10	0,23	65-85	130	30
a1.6	B3	150	2	0,51	65-85	130	66
a1.7	B6	150	2	–			
a1.8	B3	150	2	–			
a2.1	B1	300	1	0,47	80-95	>360 <sup>♠</sup>	>170
a2.2	B4	91	1	0,26	80-95	360	94
a2.3	B4	150 <sup>♥</sup>	1	0,58	50-90	140	81
a2.4	B5	227	1	0,54	95-100	400	216
a2.5	B6	227	1	0,90	92-97	300	270

♥ vatten sprutades på ytan med blombusch

♠ använt sorptionskurvan för vct 0,4 istället för 0,31

Enligt sammanställningen i tabell 5.1 har stor del av limfukten inte återfunnits som uppmätt total inträngd fuktmängd ( $w_{tot}$ ). Anledningen till att det ”fattas” en stor mängd fukt kan bero på mätmetoden. Då bitar togs ur betongprovet för att läggas i provrör kunde en del fukt avgå. Likaså hade RF-proberna en fuktkapacitet som gjorde att en del av fukten i biten åtgick till att fukta upp givaren. Dessa avvikelser borde dock ta ut varandra eftersom de kan antas vara i samma storleksordning vid både mätningar av det lägre fuktillståndet före limning och det högre fuktillståndet en tid efter limning.

Det är troligare att avvikelserna beror på något annat, systematiskt, fel. En förklaring kan vara upplösningen i mätningarna. Varje mätpunkt var medelvärde över 1 cm. Stora fuktförändringar på korta avstånd tenderas att jämnas ut. Detta är inte heller en tillfredsställande förklaring. Metoderna i undersökning a1 resp a2 gav olika överensstämmelse mellan påförd limfukt och uppmätt limfukt, se figur 5.4.



Figur 5.4 Överensstämmelse mellan påförd limfukt och uppmätt limfukt i undersökning a1 och a2.

Två av de lägsta värdena på total inträngd fuktmängd ( $\Delta W_{tot}$ ) mäts i försök där längst VT använts i undersökning a1. Genom att sammanställa resultat för flera försök i undersökningen blir medelvärdet för försöken med 2 min väntetid ungefär 57 g medan medelvärdet är under 40 g i försöken med 10 min väntetid. Det indikerar att fukttillskottet till betongen blir mindre vid längre väntetid. Det innebär också att fuktillståndet totalt sett troligen blir lägre i betongen om längre väntetid används.

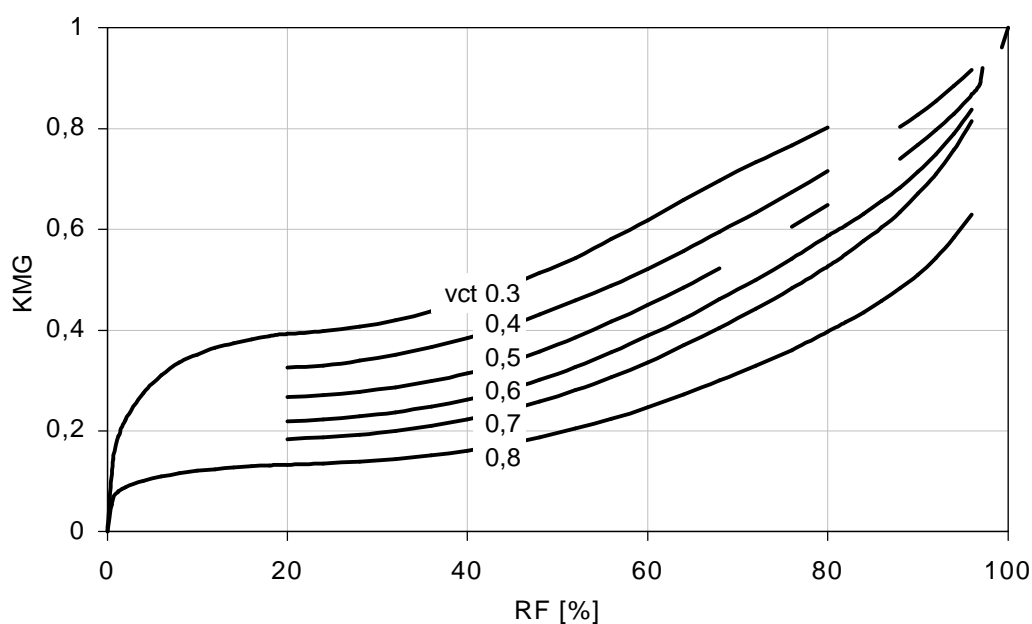
Beräkningarna av total inträngd fuktmängd ( $W_{tot}$ ) utifrån mätningarna i undersökning a2 stämmer anmärkningsvärt bra med applicerad mängd limfukt. Källor till de skillnaderna som finns kan vara:

- Fukt i limmet har inte trängt ner i betongen. En del av fukten är fortfarande kvar i limmet medan andra delar sakta diffunderar ut genom mattan.
- Mätningarna visar inte korrekt RF. Två effekter som stör fuktillståndet kan vara temperaturvariationer samt effekter av att de ingjutna mätrören.
- Ytan i ”RF-djup” diagrammet, exempelvis figur 5.3, är inte korrekt bestämd. Det är exempelvis svårt att bedöma fuktnivåerna nära ytan, där inga mätningar gjorts. Här bör RF vara uppåt 100 %. Fuktkapaciteten är här också som störst, vilket kan ge en stor ”förlust”.

#### 5.1.4 Resultat från KMG - höjning av ytfukt (a1)

Mätningarna av KMG som gjordes i undersökning a1 visade på att den kapillära mätnadsgraden var lägre i de prover där 10 min väntetid använts istället för 2 min. Inga förhöjda fuktnivåer i ytan registrerades eftersom mätningarna utfördes efter fyra veckor, det vill säga då fukten utjämnats i provkropparna.

För att kunna jämföra mätresultaten med övriga resultat i undersökningen översattes de till RF genom de samband som presenteras i figur 5.5. De är baserade på värden ur Nilsson (1980).

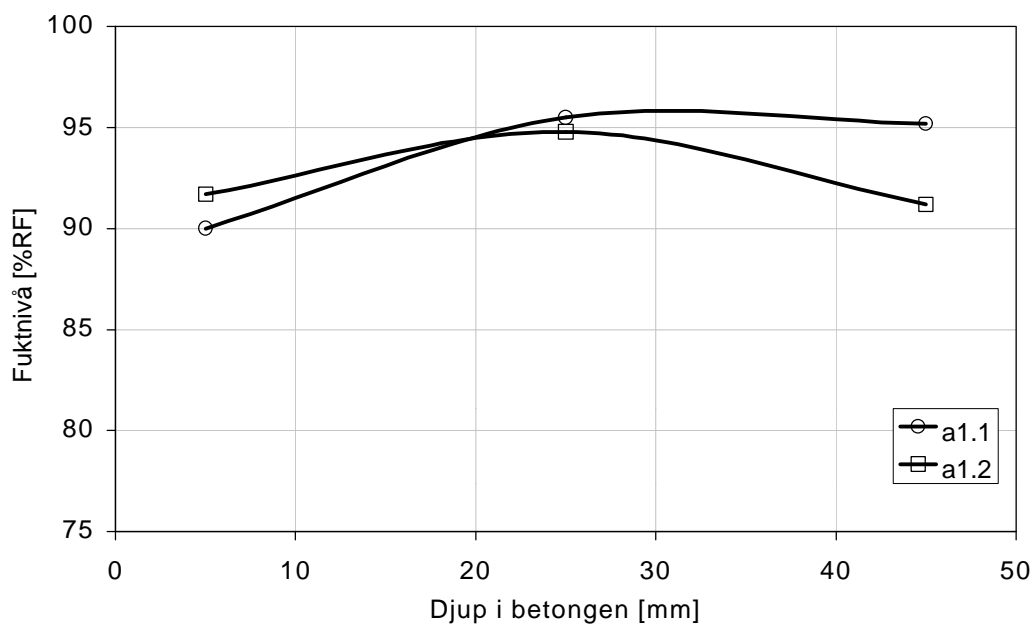


Figur 5.5 Samband mellan RF och KMG, baserade på värden ur Nilsson (1980).

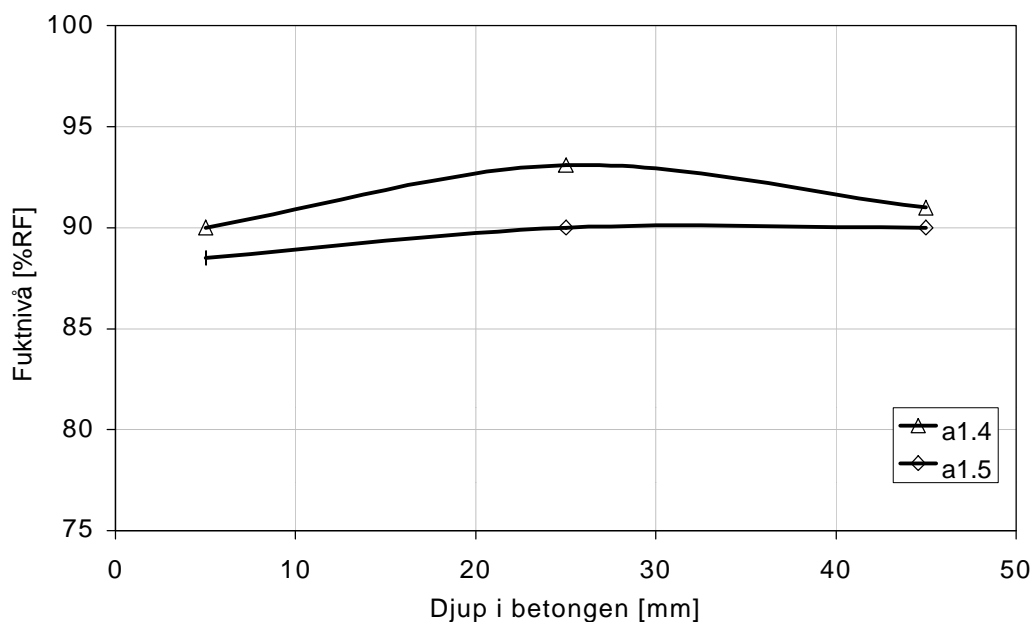
Två olika betongkvaliteter, B3 och B6, samt två olika väntetider 2 och 10 min användes i denna del av undersökning a1 se figur 5.6 och 5.7.

Mätningarna visar på att total inträngd fuktmängd ( $W_{tot}$ ) var mindre vid 10 min väntetid än vid 2 min för både normal husbyggnadsbetong och byggfuktfri betong. Skillnaden har beräknats enligt metoden med ytan i RF-djup diagram som beskrivs tidigare i detta kapitel. Skillnaden blev 133 g för betong B6 och 212 g för betong B3. Skillnaderna kan rimligen inte enbart orsakad av vattenavgång från limfukten under den förlängda väntetiden då det beaktas att total mängd påförd limfukt var endast 150 g/m<sup>2</sup>.

Skillnaden kan dock till viss del förklaras med osäkerheter i mätningarna, inhomogena prover samt att provkropparna kan ha haft lite olika torkningsförhållande innan limningen.



Figur 5.6 RF-profil utvärderat från KMG för normal husbyggnadsbetong (B6) fyra veckor efter limning. Väntetiden mellan limning och mattan trycks fast är 2 min i försök a1.1 och 10 min i a1.2. Totalt påfört limfukt är  $150 \text{ g/m}^2$ . Ytan mellan linjerna är  $0,35 \times 10^{-3} [\text{RF} \times \text{m}]$ . Det motsvarar  $133 \text{ g/m}^2$  vatten.

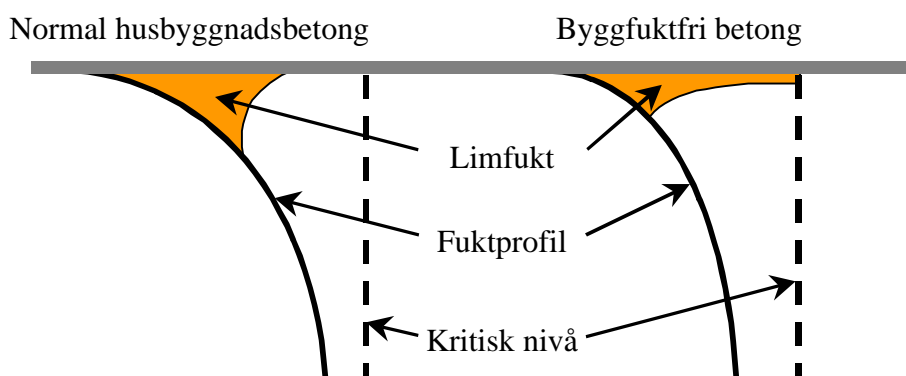


Figur 5.7 RF-profil utvärderat från KMG för byggfuktfri betong (B3) fyra veckor efter limning. Väntetiden mellan limning och mattan trycks fast är 2 min i försök a1.4 och 10 min i a1.5. Totalt påfört limfukt är  $150 \text{ g/m}^2$ . Ytan mellan linjerna  $0,56 \times 10^{-3} [\text{RF} \times \text{m}]$ . Det motsvarar  $212 \text{ g/m}^2$  vatten

### 5.1.5 Slutsatser

Resultaten från undersökningarna a1 och a2 uppvisade inte den skärpa som varit önskvärd. Spridningen var stor i några av undersökningarna medan andra mätningar visar orimliga resultat. Det går i alla fall att dra vissa slutsatser från undersökningarna:

- Alla tre mätmetoderna, kvarsittande RF-prober, RF mätning på betongbitar i provrör samt bestämning av KMG, visade på samma resultat. Det faktum att det inte förekommer några egentliga motstridigheter i resultaten ökar styrkan i de övriga slutsatserna.
- Det sker en höjning av fuktnivån i betongytan på grund av limfukten. Höjningens storlek är beroende av mängden limfukt, limningsmetoden samt betongkvaliteten.
- Höjningen av fuktnivån på grund av limfukten är högre i byggfuktfri betong, det vill säga betong med lågt vct, än i normal husbyggnadsbetong, högt vct. Fenomenet förklaras med att limfukten snabbare omfördelas i betong med högt vct än i betong med lågt, se figur 5.8.

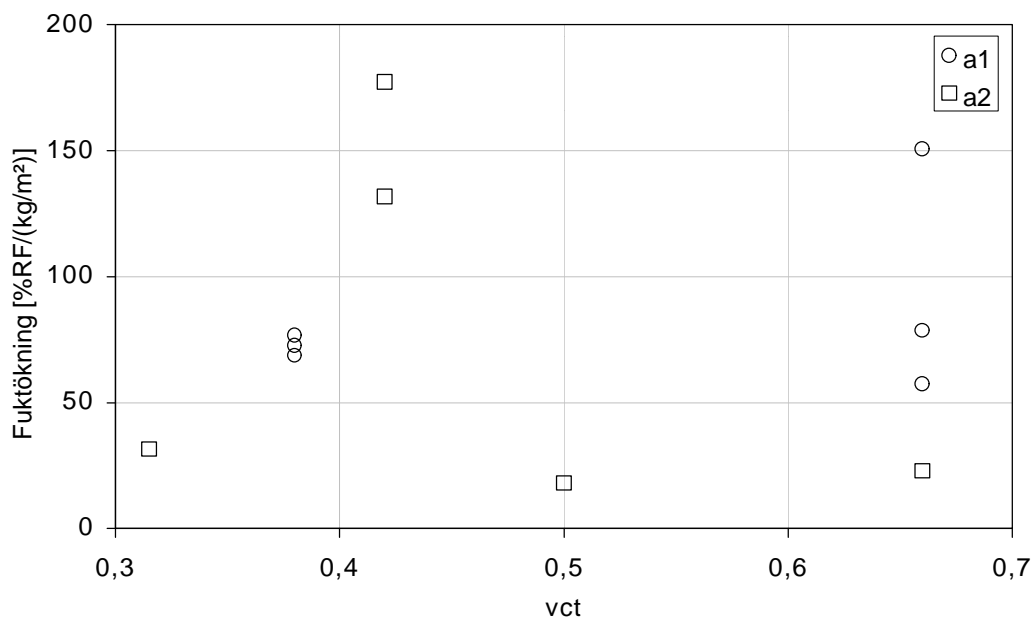


Figur 5.8 Profilen av RF (%) före limningen samt fukttillskott på grund av limfukten. Fritsche et al (1997).

- Höjningen av fuktnivån till följd av limfukt sker snabbt vilket tyder på kapillär insugning. Omfördelningen och uttorkningen sker långsammare vilket tyder på att transport huvudsakligen sker genom ångdiffusion.
- Det går att vid varje tidpunkt visa var limfukten befinner sig i betongen. Detta sker genom att utvärdera mätningar på olika djup vid de tidpunkterna med hjälp av RF-djup diagram.
- Undersökning a2 där kvarsittande RF-prober användes gav bättre och säkrare resultat än undersökning a1 där RF mättes på betongbitar som lagts i provrör.
- RF-mätningar med kvarsittande prober gav en god bild av fuktförloppen på olika djup i betongen. Mätningarna av förloppen visade på rimliga resultat för varje nivå. Däremot var inte absolutnivån på alla mätserier i undersökning a2 rimliga.

Förutom dessa slutsatser kan den kritiska gränsen för RF diskuteras. För normal betong har 90% RF sedan lång tid betraktats som kritisk fuktnivå. Dessa undersökningar tyder på att det kan vara samma kritiska gräns för byggfuktfrifri betong om limfukten beaktas. Fuktmätningar på karakteristiskt djup i betong visar inte vilket fuktillstånd som kommer att råda under mattan en tid efter limning, speciellt inte om underlaget består av tät byggfuktfrifri betong. Mätningen nere i betongen visar däremot på fortvarighetstillståndet då kvarvarande byggfukt jämnat ut sig. Detta är också en viktig parameter, antagligen den viktigaste i normal husbyggnadsbetong. I byggfuktfrifri betong däremot måste även limfukten beaktas eftersom den höjer fuktnivån under relativt lång tid så att alkalisk nedbrytning kan ske.

Vid en sammanställning av fuktökningen per mängd påfört vatten förväntades ett klart samband. Tidigare i rapporten har olika försök utvärderats mot varandra parvis. Det har då visat sig att det går att utläsa ett samband mellan vct och fuktökningens storlek. När alla försöken sammanställs i figur 5.9 bleknar det sambandet till en svag tendens. Förklaringen till spridningen i figuren är antagligen att många parametrar inverkar på resultatet på ett sätt som denna begränsade studie kan klarlägga.



Figur 5.9 Fuktökning som funktion av betongens vct. Fuktökningen är dividerad med kg påfört vatten per m<sup>2</sup>.



### 5.1.6 Fortsatt forskning

Mätmetoden att använda kvarsittande RF-prober verkar vara en framkomlig väg för fortsatt forskning om ytfukt och limfukt. Metoden bör utvecklas så att den ger rimliga absolutnivåer på RF utan de oförklarade avvikelserna som påvisats i dessa undersökningar. Avvikelserna beror med stor sannolikhet delvis på effekter av de ingjutna mätroren..

Fukthöjningen som orsakas av limfukten har visat sig ha avgörande betydelse för emissionen från golvsystem. Det är därför av intresse att studera hur olika parametrar påverkar fukthöjning. Det är viktigt att förstå när inverkan av limfukten behöver beaktas om risken för nedbrytning av lim skall minskas. Parametrar som kan påverka fukthöjningen som orsakas av limfukten är:

- Olika betongkvaliteter. Hur påverkar betongens porstruktur och fukttransportegenskaper fuktfördelningen? Inom detta område har det bedrivits mycket forskning som kan ligga till grund för kommande studier.
- Linningsförfarande, det vill säga limtyp, limmängd, väntetid med mera samt limmens fukttekniska egenskaper. Dessa parametrar har studerats översiktligt i Wengholt Johnsson och Sjöberg (1999) samt varierats i några undersökningar av emissionen från provkroppar. Ytterligare studier behövs för att utreda dess inverkan.
- Torkförlopp innan limning påverkar troligtvis fuktfördelningen efter limning. Även tiden som en kritisk RF-nivå överskrids är beroende av fuktprofilen innan limning och betongens förmåga till självuttorkning, både innan och efter limning.
- Ytmaterialets täthet mot att släppa genom fukt och dess förmåga att absorbera fukt är avgörande för fuktfördelningen i betongen.
- Eftersom många golv beläggs med fukt- och alkalispärrar efter gjutning och vid renovering är det intressant att förstå och dokumentera dessa spärrskiktets funktion.

Vid fortsatta forskningsinsatser kan det även vara intressant att mäta kolväten från samma provkroppar som fuktförändringen mäts i. Resultat från mätningar i en ”kombinerad provkropp” för kvarsittande RF-prober och emissionsmätningar kan visa hur emissionsförloppet förhåller sig till fuktförloppet. Även fördelningen av kolväten som tränger in i betongen är intressant att mäta i den provkroppen vid olika tidpunkter.

## 5.2 Alkali

### 5.2.1 Alkalitransport (b1 & b2)

Två undersökningar som syftar till att utreda höjningen av alkaliteten i ytan av betong sammanfattas i tabell 5.2 och 5.3. De visar att det sker en höjning av alkalihalten i ytan. Höjningen sker på grund av fukttransport men resultaten från mätningarna var ej tillräckligt exakta för att avgöra vid vilket fuktillstånd transporten sker och hur stor alkalihöjningen blir.

Tabell 5.2 Undersökning b1, sammanställning av förhöjda alkalihalter i konditionerade prover som analyserats med EPMA. Utslaget som redovisas är en bedömning av trendlinjerna i bilaga 7.

	$\Delta$ RF	B4		B6	
		Prov	Utslag	Prov	Utslag
Topp	100 – 95	b1.4a,b	–	b1.7a,b,c	2
	100 – 85	b1.3a,b	–	b1.6a,b	2
	100 – 75	b1.2a,b	–	b1.5a,b,c	3
	100 – 60	b1.1a,b	–		
Botten	95 – 50	b1.4a,c	–		
	85 – 50	b1.3a,c	–	b1.6a,c	–
	75 – 50	b1.2a,c	1	b1.5a	–
	60 – 50	b1.1a,c	1		

”Summan” i tabell 5.3 är framtagen genom att summera värdena för  $\Delta K_{34/Ca}$  och  $\Delta Na_{34/Ca}$  i tabeller 4.11 och 4.13. Dessa tabeller innehåller resultat från undersökning b2 där betongprover analyserats med LA-ICP-MS. Fullständiga analysresultat redovisas i bilaga 9.

Tabell 5.3 Undersökning b2, sammanställning av förhöjda halter i konditionerade prover av betong (b6) som analyserats med LA-ICP-MS. ”Summan” som redovisas är en beräkning från resultaten i tabell 4.11 och 4.13.

	$\Delta$ RF	Chalmers				USA	
		Prov <sup>♥</sup>	Summa	Prov <sup>♠</sup>	Summa	Prov <sup>♠</sup>	Summa
Topp	100 – 95	b2.2	4,4	b2.5	3,8	b2.4	4,4
	100 – 75	b2.1	6,5			b2.3	3,5
Botten	95 – 50	b2.2	4,8				
	75 – 50	b2.1	4,4				

♥ Linjer på ytan

♠ Hål genom epoxi

Undersökningarna b1 och b2 visar att det sker en transport av alkali som resulterar i höjda halter nära ytan. Resultaten från analysen i undersökning b1 hade stor spridning och har därmed varit svåra att tolka. Utifrån resultaten som sammanställs i 5.2 kan dock följande konstateras.

I normal husbyggnadsbetong (B6) sker en höjning vid höga fuktnivåer, se tabell 5.2. Höjningen kan förklaras med att joner lösta i porvätskan avsätts nära ytan då vattnet avdunstar. Vid höga fuktnivåer sker vattentransporten mot ytan som vätska i betongens kapillärporer. De joner som finns lösta i vätskan kan då transporteras fram till ytan från större djup. På så sätt ökar halten av joner nära ytan där vattnet avdunstar.

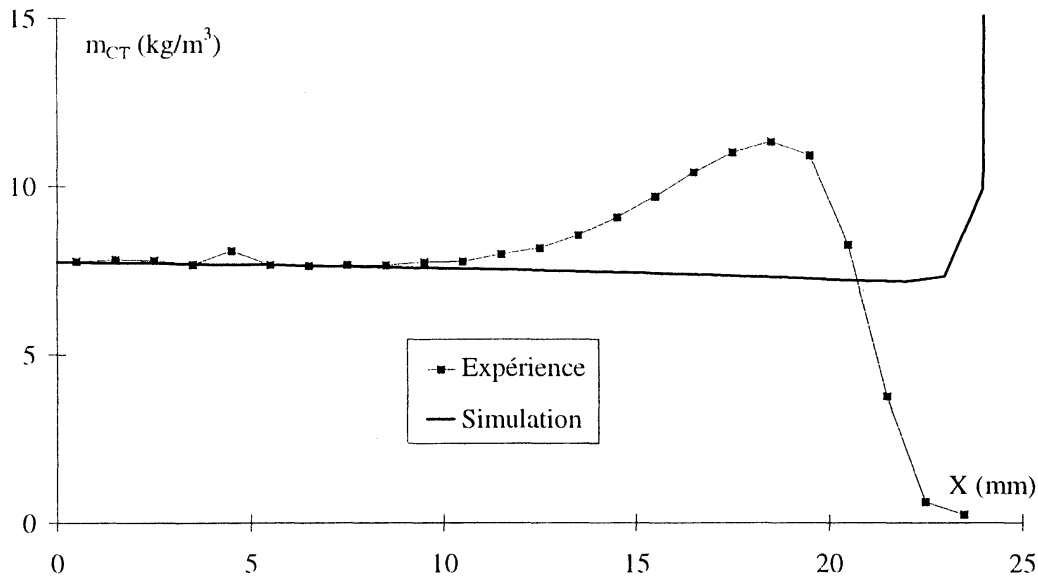
I byggfuktfri betong (B4) sker en höjning vid uttorkning av betongen vid relativt låga fuktnivåer, se tabell 5.2. Det är rimligt att transporten av joner skall kunna ske vid låga fuktnivåer i betong med lägre vct. Detta beror på att sådan betong har ett finare porssystem, det vill säga en större andel små porer. De små porerna vätskefylls och kan transportera vätskan kapillärt vid lägre fuktnivåer än stora porer, se även kapitel 3.3.1. Det är dock underligt att det inte sker någon transport vid de höga fuktnivåerna i betongen. Antagligen beror det på att resultaten från mätningarna varit svåra att tolka. Spridningen hos mätvärdena var stor i dessa analyser.

Resultaten från analyserna i undersökning b2 hade mindre spridning än de i b1. Antalet analyser har dock varit begränsat så att det i vissa fall har varit svårt att utvärdera resultaten. I några analyser har exempelvis ”linjen” som analysen sker efter gått genom så många sandkorn att det varit svårt att bestämma bakgrundsnivån, se kapitel 4.3.2.

Undersökning b2 visar också på att det sker en höjning av alkalinitet nära ytan i normal husbyggnadsbetong (B6), se tabell 5.3. Alla tre mätningarna som gjorts i undersökningen visar på att höjningen sker. Mätningen som gjordes med linjer på ytan (Chalmers) visar på att det också sker en höjning vid ytan vid låga fuktnivåer. Det resultatet är motstridigt med resultaten i undersökning b1. Där kunde ingen höjning med säkerhet utvärderas vid låga fuktnivåer i betong B6. Antagligen sker höjningen men resultaten i b1 har för stor spridning för att höjningen skall kunna bestämmas.

Det har lagts fram teorier om att transporten av joner i betong vid så låga fuktnivåer som 50 % RF. Bland andra påstår Francy (1998) detta. Han förutsätter att konduktiviteten för elektrisk ström i betong är ett mått på ledningsförmågan för joner. Detta kan sedan översättas till hur joner transporteras i betongens porer.

Resultatet från en simulering som utvärderar transporten av kloridjoner ( $\text{Cl}^-$ ) med hjälp av resistensen visas i figur 5.10, hämtad ur Francy (1998). Figuren visar både en simulering och mätvärdena från ett experiment. Analysen av  $\text{Cl}^-$  gjordes med våtkemiska metoder.



Figur 5.10 Simulering respektive experimentella mätningar av jontransport i betong. Vänster kant har varit exponerad mot vätska med konstant halt  $Cl^-$  medan höger kant varit exponerad mot luft, Francy (1998).

Betongprovet som är 25 mm tjockt har exponerats för vätska med konstant halt av joner på vänster sida. Höger sida av provet har varit exponerat mot luft så fukten i provet har avdunstat och ett stationärt flöde genom betongen ställt in sig. Fuktnivån i betongen har varit låg i höger kant och vattenmättad i vänster kant.

Resultatet från simuleringen visade på en jämn nivå av joner i hela tvärsnittet förutom i den högra ytan där fuktnivån är så pass låg att inte längre kan transporteras i vätskefasen utan de har avsatts och därmed ökar halten. Den experimentella undersökningen visar däremot på att jonerna avsätts mycket tidigare, vid en högre fuktnivå än beräknat. Jonerna transporteras inte vid de låga fuktnivåer som antogs i beräkningarna. Halten av  $Cl^-$  är som högst en bit in i betongen där betongen har en högre fuktnivå.

Transporten av alkali är beroende av transport av motjonerna  $Na^+$  och  $K^+$ . Det är rimligt att tro att dessa joner skulle bete sig på ett liknande sätt som  $Cl^-$  och transporteras med porvätskan i betong till en viss fuktnivå. Denna fuktnivå är antagligen olika för olika betongkvaliteter.

## 5.2.2 pH-mätning med kombinationselektrod (b3)

### Analys av flerfaktorförsök (b3.1)

Uppskattning av osäkerheten för alla mätningar i försök b3.1 kan göras genom att studera skillnaden mellan medelvärdet och varje enskilt mätvärde.

En viss del av denna skillnad förklaras av de effekter som tilläts inverka. Genom att ta hänsyn till effekterna av de variabler som kontrollerat varierades i försöket kan den oförklarade avvikelserna bestämmas, se tabell 5.4

Tabell 5.4 Sammanställning av utvärdering av (oförklarad) avvikelserna i försök b3.1.

Mätning	Mätvärde	= Medelvärde	+	Effekter	+	Avvikelse
1	8,41	10,02		-2,61		1,00
2	10,91	10,02		1,56		-0,67
3	9,34	10,02		-1,75		1,07
4	11,14	10,02		2,42		-1,30
5	9,30	10,02		-1,87		1,15
6	11,20	10,02		2,30		-1,12
7	9,24	10,02		-1,02		0,23
8	11,71	10,02		3,15		-1,46
9	8,25	10,02		-3,15		1,38
10	10,64	10,02		1,02		-0,39
11	9,14	10,02		-2,30		1,42
12	10,86	10,02		1,87		-1,03
13	9,10	10,02		-2,42		1,50
14	10,64	10,02		1,75		-1,13
15	9,05	10,02		-1,56		0,59
16	11,40	10,02		2,61		-1,23

Den oförklarade avvikelserna som beskrivs i femte kolumnen är stor. Den är som störst i ”mätning” 13 där den antar värdet 1,50. Vid utvärdering av avvikelserna blir medelvärdet av alla oförklarade avvikelser 0, vilket är självklart i denna utvärdering. Standardavvikelsen är 1,1. Det vill säga att i ungefär 68% av mätningarna är den oförklarade avvikelserna mindre än 1,1 pH-steg och i resterande 32 % av mätningarna är den större.

Avvikelsen är stor Effekten av de flesta faktorerna som varierats är bara hälften så stor som den oförklarade avvikelserna. Inte ens den största effekten (2,1 pH) är signifikant med TF2 (täckningsfaktor), det vill säga med 95 % säkerhet.

### Analys av pH-mätning (b3.2)

Analysmetoden som innebär att mäta med pH-elektrod på krossat material som blandats upp med rent vatten hade god repeterbarhet. Det vill säga att avvikelsen blev liten när en upprepad mätning genast skedde på samma prov. Försök att reproducera mätningen med ett bubbelprov eller ytterligare en mätning av samma prov efter ett dygn gav sämre resultat, se figur 4.12.

Vid mätning av prov B i försök b3.2 visade det sig att pH-nivån sjunker från ett konstant värde på ungefär pH 9 till ungefär pH 8 nästa dag. Sänkningen sker antagligen på grund av karbonatisering av provet som är upplöst i rent vatten i ett provrör. Det var svårt att täta provrörets öppning så att luft inte kom i kontakt med vätskan under mätningen när pH-elektroden var nerstucken i provröret. Även om mättiden och därmed exponeringen mot luft bara var ungefär en halvtimme så skedde det en reaktion som gav ett sänkning av pH-värdet vid nästa mätning.

Mätning på dubbelprover A och B den första dagen gav olika utseende på pH-värdets profil genom avjämningsmassan. Prov A uppvisade en höjning i ytan på nästan två pH-enheter från ungefär pH 9 till pH 11. Prov B hade däremot ett konstant pH-värde på ungefär 9 genom hela avjämningsmassan. Den profil hos pH-värdet som prov B uppvisar med en höjning i ytan är motstridigt med resultaten från undersökning b4. Där har en pH-sänkning i ytan registrerats med omslagsindikator fenolftalein.

En tänkbar anledning till pH-höjningen i ytan kan vara separation av materialet under gjutning. En högre koncentration av alkalijoner skulle i så fall av någon anledning ha hamnat uppe i ytan. Denna omfördelning kan även ha skett vid uttorkningen av avjämningsmassan efter gjutningen. Fenomenet diskuteras för betong i början av detta kapitel. Joner som är lösta i porvätskan i avjämningsmassan transporteras mot ytan och avsätts där när vattnet avdunstar. Proverna A och B förvarades på samma sätt från gjutning till provtagning men små variationer i torkförhållandena kan inte uteslutas.

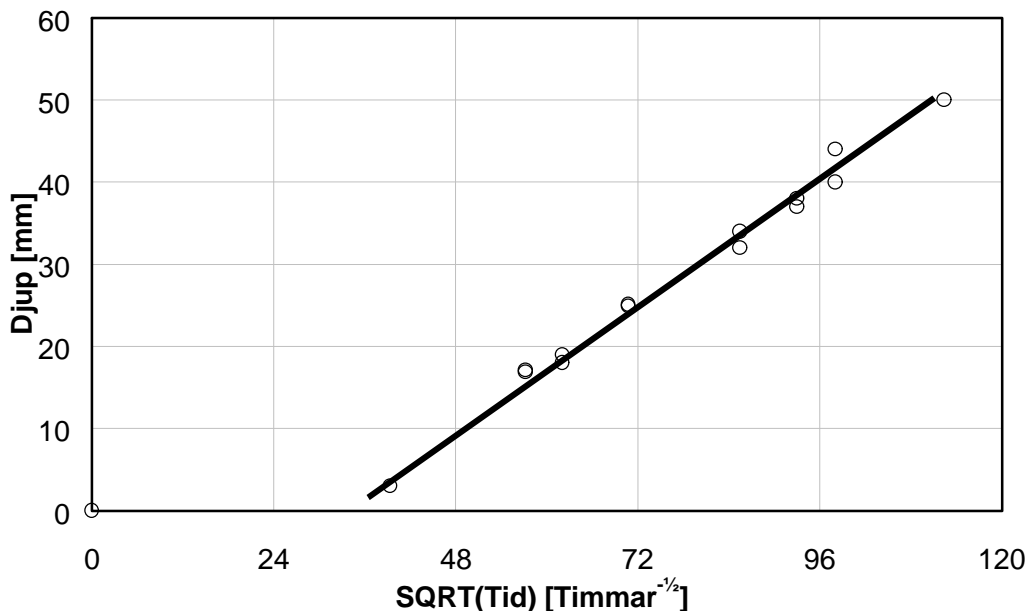
Skillnaden kan möjligen ligga i tiden mellan provberedning och analysen. Tiden för analys av ett prov är cirka sex timmar eftersom analysen består av tio mätningar som varje har en jämviktstid på en halv timme. Tiden från provberedningen till början av första analysen var ungefär 24 timmar. Analyserna av prov A och B skedde samma dag vilket innebär att den första mätningen gjordes ungefär 24 timmar efter provberedningen och den sista efter 36 timmar. Enligt anteckningar från mätningen gjordes dock analys av prov A först med början med proverna nära ytan. Det borde innebära att analysen av proverna nära ytan i prov B gjordes i mitten eller möjligtvis sist.

### 5.2.3 Indikering av pH-förändringar med fenolftalein (b4)

Resultaten från undersökningen visar att det sker en sänkning av pH-nivån i avjämningsmassan. Sänkningen sker först i ytan och sedan allt längre in i materialet med tiden. Med hjälp av omslagsindikatorn fenolftalein kan det avgöras när pH-nivån i materialet har sjunkit under ungefär pH 9,5.

Den pH-sänkande reaktionen som sker i avjämningsmassan är med stor sannolikhet karbonatisering, det vill säga en reaktion mellan bindemedlet i avjämningsmassan och koldioxid i luften. Reaktionen sker först i materialets yta och därefter kan koldioxiden tränga in och reagera med bakomliggande material. Eftersom det blir längre transportväg för koldioxiden när karbonatiseringen tränger djupare in i materialet avtar karbonatiseringshastigheten. Ett vanligt antagande är att karbonatiseringsdjupet är linjärt mot kvadratroten av tiden  $\sqrt{t}$ .

Inträngningsdjupet för karbonatiseringen i undersökning b4 är linjär med kvadratroten av tiden, se figur 5.11. Dock går linjen inte genom tiden noll som den borde göra enligt allmänt rådande teori. Antagligen beror avvikelsen på att avjämningsmassan var fuktig i början så att koldioxiden inte kunde tränga in och karbonatisera material innanför ytan. Efter ungefär ett dygn hade materialet torkat så att koldioxiden kunde transporteras i porsystemet och karbonatisera materialet.



Figur 5.11 Karbonatiseringsdjupet som funktion av kvadratroten för tiden, Undersökningen (b4) är gjord på gipsbaserad avjämningsmassa.

Viktminskningen som visas i figur 4.15 är ett resultat av porvattnets uttorkning samt en viktökning på grund av bindningen av koldioxid vid karbonatiseringen.

#### 5.2.4 Slutsatser

Resultaten från undersökningarna av alkalihöjning nära ytan har inte varit tillfredsställande. I undersökning b1 var spridningen så stor att det var svårt att tolka resultatet. I undersökning b2 var antalet mätningar för litet för att det med säkerhet skall gå att göra en god utvärdering. Det går trots allt att dra några slutsatser från undersökningarna:

- Det har skett en höjning av alkalihalten ( $\text{Na}^+$  och  $\text{K}^+$ ) i ytan på betongen som kan registreras efter att betongen torkat.
- Höjningen blir olika stor i provkroppar under olika förhållanden. Faktorer såsom betongens vct och fuktnivå samt torkklimat påverkar alkalihöjningen. Resultaten i denna studie är dock ibland motstridiga i fråga om hur dessa faktorer påverkar av höjningen.
- Höjningen av alkali sker med största sannolikhet på grund av fukttransport. Ämnen som är lösta i porvätskan följer med då denna transporteras mot ytan. När fukten avdunstar blir ämnena kvar nära ytan. Forskning om förhöjda halter av  $\text{Cl}^-$  sker enligt analog hypotes.

Undersökning b3 som baserades på att mätning av pH med pH-elektrod har gett stor spridning och oförklarade fenomen. Slutsatsen från undersökningen är:

- Det sker en karbonatisering av materialet under uttorkningen. Materialet karbonatiserar även efter provberedningen om det exponeras mot luft.
- pH nivån för avjämningsmassan (A6) som användes i undersökningen är ungefär 11 i okarboniserat tillstånd och 9 när den karboniserat.
- Många faktorer som inte kontrollerades påverkar osäkerheten i mätningen som gjorts. Oförklarade variationer i mätningarna är i flera fall över 1 pH-enhet.

Undersökning b4 där karboniseringsdjupet detekteras vid olika tidpunkter med hjälp av omslagsindikator visade på följande:

- Det sker en pH-sänkande reaktion mellan gipsbaserad avjämningsmassa och beståndsdelar av luften. Antagligen är det en karbonatisering av avjämningsmassan till följd av kontakt med luftens koldioxid.
- Karboniseringsdjupet är proportionellt mot kvadratroten av tiden, vilket stämmer med allmänt rådande teori för karboniseringsförlopp.



### 5.2.5 Fortsatt forskning

För att gå vidare inom detta delområde är det avgörande att skapa en förståelse för vad det är som mäts.

- Stämmer hypotesen att  $\text{Na}^+$  och  $\text{K}^+$  är motjoner till  $\text{OH}^-$ . Enligt rådande hypotes kan alkalihalten eller rättare sagt pH-värdet bestämmas från fördelningen av dessa metalljoner.
- Om hypotesen förkastas kan mätning av alkali ( $\text{OH}^-$ ) ske med hjälp av pH-elektrod eller omslagsindikator som gjorts i studien. Metoden med pH-elektrod behöver förbättras men den kan användas att detektera förändringar i materialsystem.
- Om hypotesen accepteras kan fortsatta mätningar göras med LA-ICP-MS för att öka förståelsen för transporten. Genom att välja större mätserier får resultatet större säkerhet.
- Små men intressanta frågeställningar är om höjningen i ytan på avjämningsmassan går att upprepa. Var det ett fysikaliskt fenomen hos ”golvkonstruktionen” som är förklaring eller var det ett mätfel?
- Vilken alkalitet eller pH-värde har egentligen undergolven då mattan limmas i riktiga golv. Undersökningen visar att första veckan sänks pH-nivån två enheter i de översta cm avjämningsmassa och på tre veckor har karbonatiseringen skett till 5 cm djup. Sådana studier bör göras också på betong och cementbaserade avjämningsmassor.

### 5.3 Flyktiga kolväten i betongen (c1)

Resultaten från undersökningen av kolväten i betongen under mattan visar att kolväten från nedbrytning av limmet trängt in djupt i betongen.

Butanol och etylhexanol har enligt undersökningen trängt in olika mängd och till olika djup. Det är ett rimligt resultat eftersom de olika kolvätena skiljer sig åt beträffande egenskaper som är viktiga för transporten. Kolvätenas löslighet i vatten samt kokpunkt är exempel på sådana egenskaper som är viktiga för transporten i material. I 100 g vatten kan 10,4 g butanol lösas men endast 0,021 g etylhexanol. De båda kolvätena är också olika lättflyktiga. Kokpunkt för butanol är 118 °C och för etylhexanol 185 °C, CRC (1997).

Vattenlösligheten har avgörande betydelse för transporten av kolväten i vätskefyllda porer samt för bindningen i fuktig betong. I betong med hög fuktighet bindas butanol i betongens porvätska i högre grad än vad etylhexanol gör.

Det är möjligt att modellera transporten av kolväten ner i betongen med utgångspunkt från resultaten i försök c1.2. Detta försök uppvisar en bra profil som stämmer överens med teorier om transport av ämnen i genom diffusion.

Ett vanligt, förenklat sätt att behandla flöden och transport av ämnen i material är att utgå ifrån att den drivande kraften är koncentrationsskillnaden. Flödet går alltid från högre halt eller koncentration till lägre och hastigheten bestäms dels av skillnaden i koncentration men också ett flödesmotstånd hos materialet flödet går genom.

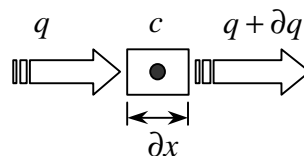
Flödet ( $q$ ) kan uttryckas med Ficks första lag:

$$q = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

där

$q$	= flöde	[kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
$D$	= diffusionskoefficient	[m <sup>2</sup> /s]
$\partial c$	= koncentrationsskillnad	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\partial x$	= avstånd	[m]

Ändring av koncentrationen ( $c$ ) i en punkt kan beskrivas som skillnaden i flöde till och från punkten under en kort tidsperiod ( $\partial t$ ). "Punkten" ges en utbredning ( $\partial x$ ) enligt figur 5.12.



Figur 5.12 Koncentrationsändringen ( $\partial c$ ) i en "punkt" med utbredning ( $\partial x$ ) beskrivs av flödet till och från punkten under en kort tidsperiod.

Under ett litet tidssteg blir koncentrationsskillnaden i en "cell" lika med:

$$\partial c = \frac{q - (q + \partial q)}{\partial x} \cdot \partial t$$

där

$$\partial t = \text{kort tidsperiod} \quad [\text{s}]$$

Förkortat och omskriven får ovanstående ekvation formen:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \cdot q$$

Om flödet (q) införs enligt Ficks lag (översta ekvationen) blir:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot D \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

Förenklingen att D är konstant kan ofta göras. Ekvationen får då formen av Ficks andra lag:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

Den matematiska lösningen till Ficks andra lag vid en stegändring i ett halv-  
oändligt medium är komplementet till "felfunktionen", Crank (1975):

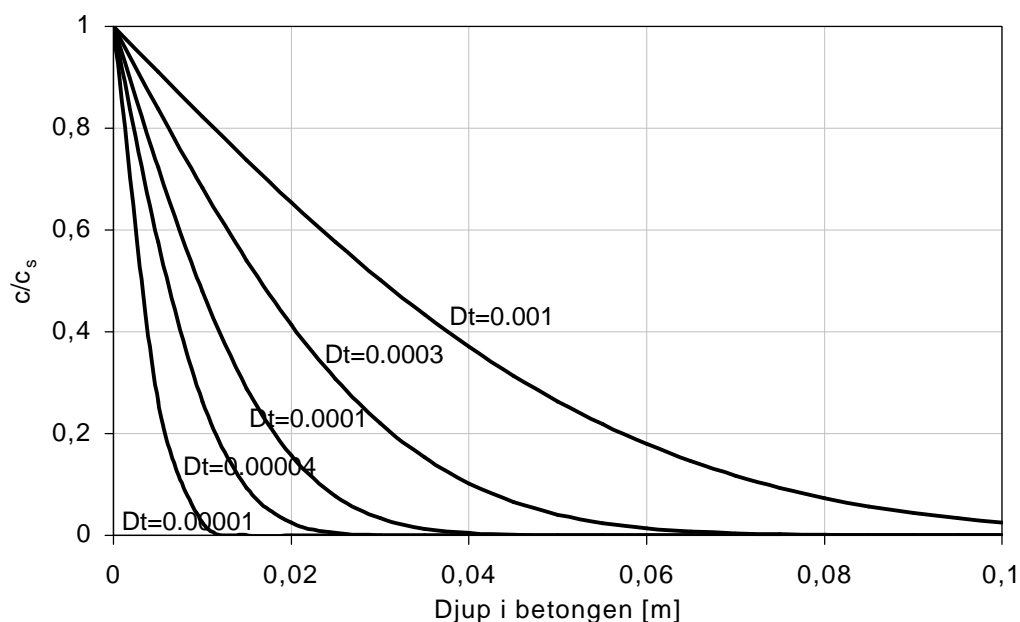
$$c(x, t) = c_s \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) \right]$$

där

$$c_s = \text{ytkoncentration} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Lösningen för ekvationen ovan redovisas för olika värden på D·t i figur 5.13

Det bör observeras att koncentrationerna i Ficks första lag och koncentrationen i vänstra ledet av Ficks andra lag är olika eftersom den senare är koncentrationen av gas samt det som är bundet. Därför blir diffusionskoefficienterna också olika, Nilsson (1992). Här utnyttjas dock bara Ficks andra lag, som då definierar diffusionskoefficienten.



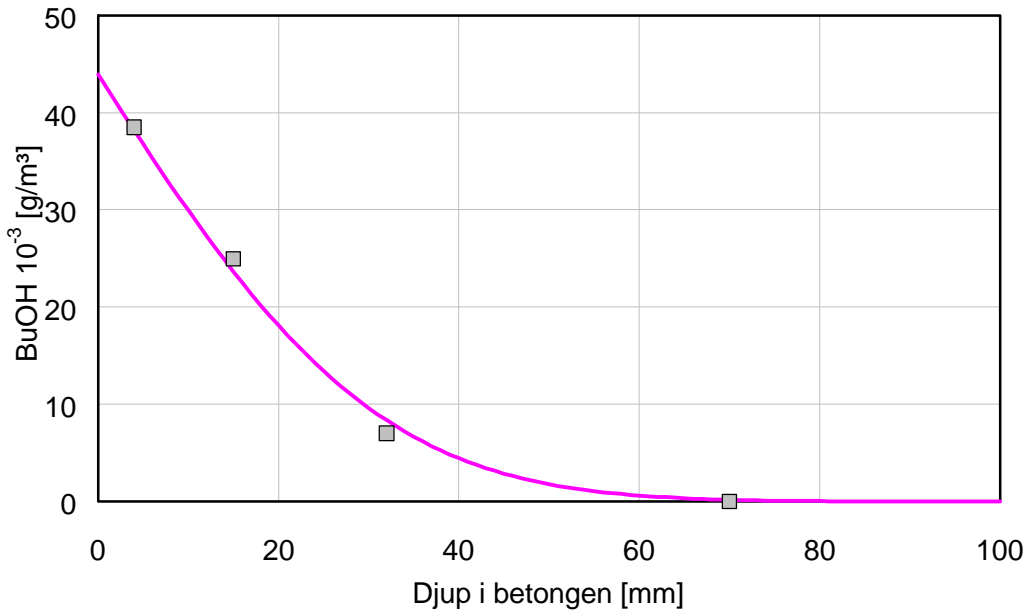
Figur 5.13 Komplementet till felfunktionen. Siffrorna vid kurvorna i figuren är värdena på  $Dt$ , se sista ekvationen på föregående sida.

Utvärdering av resultaten från försök c1.2 med betongbitar från olika djup har gjorts med errorfunktion. I figur 5.14 visas den bästa passningen av errorfunktion till mätvärdena för butanol. Passningen har gjorts med minsta kvadratmetoden för skillnader i koncentration på de olika mätdjupen. Passningen av errorfunktion för resultatet av etylhexanol redovisas i figur 5.15.

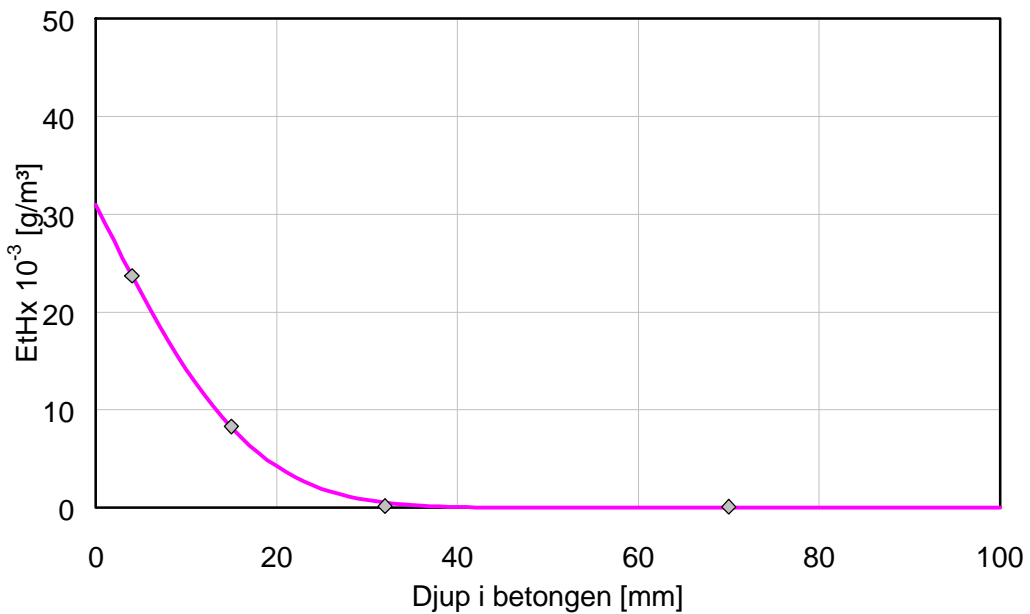
Butanol har trängt in lägre i betongen än vad etylhexanol gjort. Det beror dels på att ytkoncentrationen ( $c_s$ ) varit högre för butanol än för etylhexanol,  $43,9 \cdot 10^{-3}$  respektive  $30,9 \cdot 10^{-3} \text{ g/m}^3$ . Men det beror också på att diffusiviteten ( $D$ ) är högre för butanol än för etylhexanol i betongen,  $4,86 \cdot 10^{-12}$  respektive  $1,48 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Ytkoncentrationen ( $c_s$ ) som beräknats är med största sannolikhet ett effektivt medelvärde på den koncentration som varit under mattan. Provkroppen var ungefär två år gammal då kärnan borrades ut, det är troligt att koncentrationen av kolväten ändrats under mattan under dessa två år. Betongen kan ha torkat ut genom mattan så att reaktionen och därmed produktionen av kolväten avtagit.

Diffusionskoefficienten ( $D$ ) som utvärderats är också ett effektivt värde. Transporten av kolvätena ner i betongen har troligtvis påverkats av fuktförhållandena i betongen och därmed har det inte bara varit diffusion på grund av koncentrationsskillnader.



Figur 5.14 *Fördelningen av Butanol i betong från försök c1.2 samt bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden*  
 $C_s = 43,9 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3$  samt  $D = 4,86 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .



Figur 5.15 *Fördelningen av etylhexanol i betong från försök c1.2 samt bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.*  
 $C_s = 30,9 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3$  samt  $D = 1,48 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

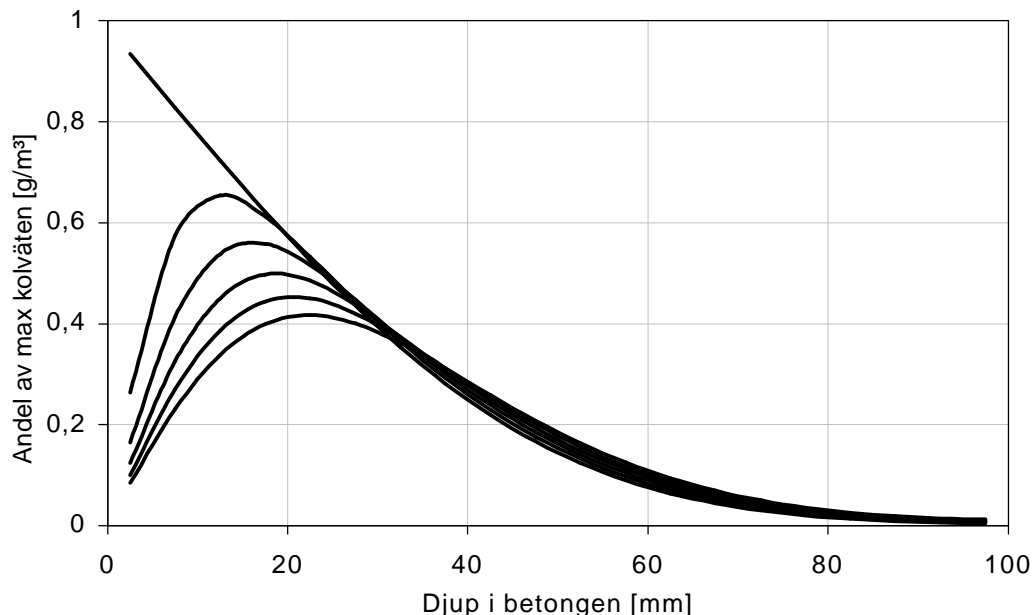
## Ändring av ytförhållandena

Om förhållandena på ytan ändras så att koncentrationen sjunker till nästan noll kan kolväten börja att vandra ut genom överytan. Koncentrationen av kolväten i betongen kommer då att sjunka.

En sådan sänkning av ytkoncentrationen kan till exempel uppstå då en gammal skadad golvbeläggning tas bort och betongen slipas ren från limrester. Koncentrationen av kolväten sjunker olika fort på olika djup i betongen då kolväten avgår från ytan, se figur 5.16.

Förloppet som beskrivs i figuren tar olika lång tid beroende på vilket kolväte som avges samt från vilken typ av betong. Sänkningen av koncentrationen, alltså flödet ut ur betongen är beroende av samma egenskaper som tidigare diskuterats för inträngning av kolväten i betong. Dessa var betongens fuktfördelning och diffusivitet samt koncentrationen av kolväten. Som tumregel kan användas att det tar längre tid för föroreningarna att transporteras ut ur betongen än det tog för dem att tränga in.

Förhållandena på ytan förändras igen om en ny matta läggs på betongen. Beroende på mattans täthet mot kolväten kommer transporten ut ur betongen att minska eller helt sluta.



*Figur 5.16* Transporten av kolväten ut från bjälklaget sänker koncentrationen enligt figuren. Tidsförloppet beror bland annat av kolvätets egenskaper och betongens täthet. Nilsson (1998).

### 5.3.1 Slutsatser

Resultaten från undersökningen av flyktiga kolväten i betongen har varit tillfredsställande. Det är dock för litet underlag med en mätserie att utvärdera de viktiga egenskaperna som behövs för att göra beräkningar. Det går i alla fall att dra ett flertal slutsatser från undersökningen.

- Kolväten tränger långt in i betongen och kan bli kvar där länge. Hur mycket som tränger ner i betongen är bland annat beroende av flera faktorer som exempelvis koncentrationen under mattan samt betongens diffusivitet för det aktuella kolvätet.
- Olika kolväten tränger in till olika djup på samma tid.
- Kolväten som trängt in i betongen kan senare avgå från överytan om ytförhållandena ändras. Exempel på sådana förändringar är om mattan avlägsnas och betongytan slipas ren från limrester.
- Koncentrationen av kolväten i betongporerna under mattan ( $c_s$ ) var i storleksordningen  $30 - 40 \cdot 10^{-3} \text{ g/m}^3$  samt diffusionskoefficienten ( $D$ ) var ungefär  $1 - 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Mätmetoden är användbar. Den ger rimliga resultat som enkelt går att utvärdera och använda som grund för exempelvis en beräkningsmodell.

### 5.3.2 Fortsatt forskning

I fortsatt forskning inom detta område bör analogin till fukt beaktas. Kolvätena har mycket gemensamt med molekylerna  $\text{H}_2\text{O}$  när det gäller transport och bindning i betongens porer. Intressanta egenskaper att undersöka hos kolväten är:

- Effekten av kolvätens löslighet i fukten som finns i betong, samt vilka effekter det ger på betong i olika fuktillstånd och under uttorkning respektive uppfuktning av betongen.
- Jämviktskurvor för kolväten i betong. Är den olika för olika betongkvaliteter, som det är för fukt, eller finns det någon annan avgörande egenskap hos betongen.
- Transportkoefficienten ( $D$ ). Troligtvis är den unik för varje kolväte men också beroende av flera faktorer hos betongen. Exempel på sådana faktorer kan vara vct och fuktfördelning.
- Ett intressant projekt är att utveckla en beräkningsmodell för kolväten i betong. Modellen skulle kunna användas för dimensionering av åtgärder vid renovering av "emissionsskadade" golv.





## 5.4 Emission

### 5.4.1 Emission från matta och lim (d1)

I tabell 5.5 är de viktigaste skillnaderna mellan provkropparna i undersökningen sammanställda. Kompletta beskrivningar av provkropparna finns i tabell 4.23 - 4.25.

Tabell 5.5 Sammanställning av de viktigaste skillnaderna hos provkropparna i undersökning d1. "Grunduppsättningen" hos provkropparna är: matta M1 – lim L1 – VT 15 min – RF = 100 % (vätska).

försök	Speciellt för provkroppen i försöket		BuOH	EtHx
d1.00	nollprov	stål	8	12
d1.01	nollprov		5	4
d1.02	nollprov	M2 (skiktad)	3	7
d1.03	nollprov	M3 (linoleum)	140 <sup>♥</sup>	0
d1.1a		inget lim	15	12
d1.1b		inget lim	16	14
d1.2a	referens		506	683
d1.2b	referens		437	1194
d1.3a		lim på väv	481	1079
d1.3b		lim på väv	568	1013
d1.4a		L3 (Våtrumslim)	190	7
d1.4b		L3 (Våtrumslim)	133	8
d1.5	P1 (pH 11)		11	22
d1.6	P2 (pH 13)		415	959
d1.7a		5 g lim	370	781
d1.7b		10 g lim	615	1644
d1.7c		15 g lim	644	1160
d1.8a		M3 (linoleum)	26	17
d1.8b		M3 (linoleum) L2 (Casco Proff)	10	9
d1.9		M2 (skiktad)	1453	1432

♥ orimligt högt värde, troligen mätfel

Förklaring till tabell 5.5.

**Andra kolumnen**, när inte P1 eller P2 anges har P3 (porvätska) använts.

**Tredje kolumnen**, när inte M2 eller M3 anges har M1 (homogen PVC-matta) använts

**Fjärde kolumnen**, när inget anges har L1 (Bona Futurum) använts.

**Femte & sjätte kolumnen**, värdena anger högsta uppmätta värden för butanol respektive etylhexanol under undersökningen.

## Kritiskt pH för nedbrytning av lim

Jämförelsen som görs här visar att det är limmet som bryts ned samt att det finns ett kritiskt pH-värde någonstans mellan 11 och 13 för denna nedbrytning. Jämförelsen görs mellan emissionen från sju försök som har delats in i två grupper, de med låg emission samt de med hög emission.

Staplarna till vänster i figur 5.17 och 5.18 har låg emission, de visar ingen eller små tecken på nedbrytning. Det första försöket d1.01 är mätt på en homogen PVC-matta (M1). Mattan ligger löst på en stålplåt och har ej blivit utsatt för kemikalier eller solljus. Försök d1.1a och d1.1b är parallellprov som består av samma typ av matta som exponeras mot pH-lösning med pH 13 (P2) utan lim. Försök d1.5 består av samma typ av matta samt ett vattenbaserat dispersionslim (L1) som exponeras mot pH-lösning med pH 11. Emissionen från alla dessa försök är låg under hela mätperioden vilket visar på att ingen nedbrytning skett. Till alla försök har plattan (PF5) använts.

Staplar till höger i figurerna uppvisar stor emission från provkroppen till följd av kraftig nedbrytning av limmet. Försök d1.6 består av samma matta och lim som beskrivits för föregående försök fast de har blivit exponerade mot pH-lösning med pH 13 (P2). Försök d1.2a och d1.2b är parallellprov som består av samma typ av matta och lim som övriga försök, pH-lösning (P3) har pH ungefär 13.

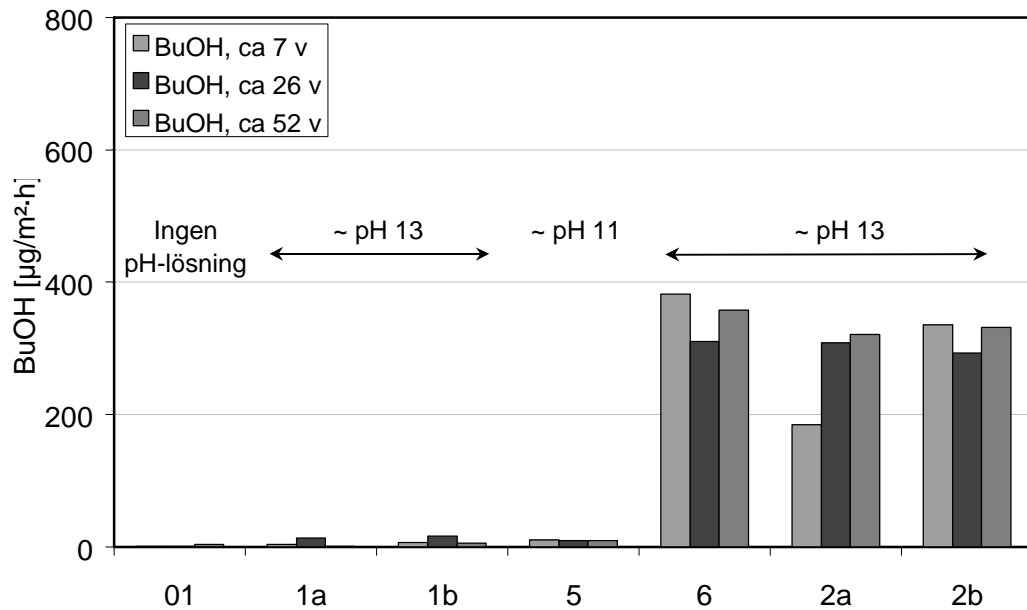
En jämförelse mellan emissionen från dubbelprovet d1.1a och d1.1b med dubbelprovet d1.2a och d1.2b visar att det inte sker någon nedbrytning i försöket om provkroppen inte innehåller något lim. Betänk också att limmet består till 10 – 30 % av en sampolymer som kan brytas ned till butanol och etylhexanol. Slutsatsen att det är limmet som bryts ned är rimligt att dra utifrån dessa resultat.

Genom att jämföra försök 5 med dubbelprov d1.2a och d1.2b visar det sig att pH-lösningens sammansättning spelar mindre roll. Det verkar inte vara avgörande vilka motjoner till  $\text{OH}^-$  som finns i vätskan utan enbart dess pH-nivån.

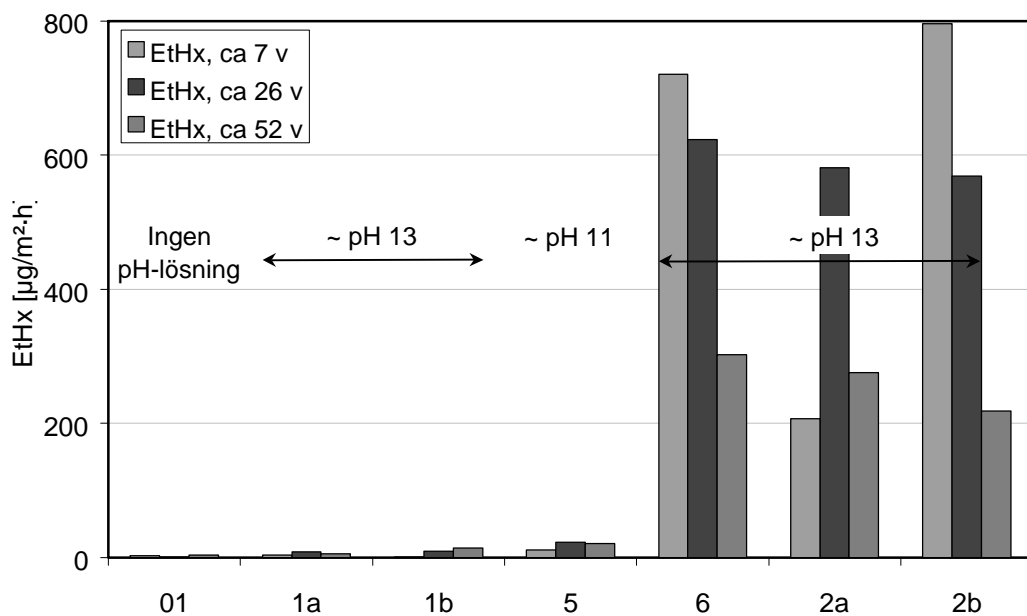
Ovanstående påstående, att pH-nivån är viktigast för nedbrytningen, bekräftas av att jämföra försök d1.5 med d1.6. Skillnaden mellan provkropparna i dessa försök är endast pH-lösningens pH-värde. Vid pH 11 (d1.5) är emissionen låg medan vid pH 13 (d1.6) är den hög. Det verkar sannolikt finnas ett kritiskt pH-värde för nedbrytningen som ligger någonstans mellan 11 och 13. Detta verkar rimligt om man betänker att pH-skalan är logaritmisk så att koncentrationen  $\text{OH}^-$  är 100 gånger högre vid pH 13 än vid 11.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Limmet bryts ned, inte mattan, i denna materialkombination
- Kritiskt pH ligger mellan 11 och 13
- System där någon avgörande komponent såsom (sampolymeren i) limmet eller hydroxidjonerna tagits bort ger låg emission.



Figur 5.17 Emission av butanol från golvsystem med olika pH. Matta på plåt (01), matta utan lim på pH 13 (1a och b), matta med lim på pH 11 (5), matta med lim på pH 13 (6) samt matta med lim på ungefär pH 13 (2a och b).



Figur 5.18 Emission av etylhexanol från golvsystem med olika pH. Matta på plåt (01), matta utan lim på pH 13 (1a och b), matta med lim på pH 11 (5), matta med lim på pH 13 (6) samt matta med lim på ungefär pH 13 (2a och b).

## Betydelsen av materialval

Jämförelsen som görs här visar på materialvalets betydelse för emissionen från provkropparna. Emissionen har mätts från sju försök där tre lim och tre mattor kombinerats på olika sätt. I försök 8a och b samt 9 saknas mätning vid 7 veckor.

I de fyra första försöken som visas i figur 5.19 och 5.20 har samma lim (L1) använts tillsammans med olika mattor. Kombinationen av matta och lim har exponerats mot pH-lösning P3 med ungefär pH-värde 13. I första försöket (8a) användes en linoleummatta (M3). I försök d1.2a och d1.2b som är dubbelprover och något av en referens i denna undersökning användes en homogen PVC-matta (M1). I försök d1.9 användes en skiktad PVC-matta (M2)

Emissionsmätningarna visar på stora skillnader i emission av både butanol och etylhexanol från dessa försök. Provkropparna i försöken har behandlats på samma sätt. De består av samma lim som exponerats mot samma pH-lösning så rimligtvis borde lika stor nedbrytning ske av limmet i alla fyra försöken. En rimlig förklaring är att mattorna har olika täthet mot kolvätena. Linoleummattan är tätast eftersom flödet är minst och den skiktade PVC-mattan är minst tät.

Detta är en rimlig förklaring för PVC-mattorna om deras täthet mot kolväten är proportionellt mot ångmotståndet (tätheten mot vattenånga). Den homogena PVC-mattan (M1) har ungefär fyra gånger högre ångmotstånd än den skiktade (M3). För linoleummattan måste en annan förklaring användas eftersom den har ungefär lika stort ångmotstånd som den skiktade PVC-mattan.

Linoleummattans stora täthet mot kolväten i förhållande till PVC-mattorna kan bero på att kolvätena kan "lösa sig" i PVC-mattan och därmed transporteras på ett sätt som inte är möjligt i linoleummattan.

Försök d1.2a har lägre emission än d1.2b fast de är dubbelprover där alla material är lika. Skillnaderna beror antagligen på osäkerheten i metoden. I figur 5.24 och 5.25 kan osäkerheten i mätningarna uppskattas. I figuren redovisas mätvärden och ett troligt emissionsförlopp från dessa försök.

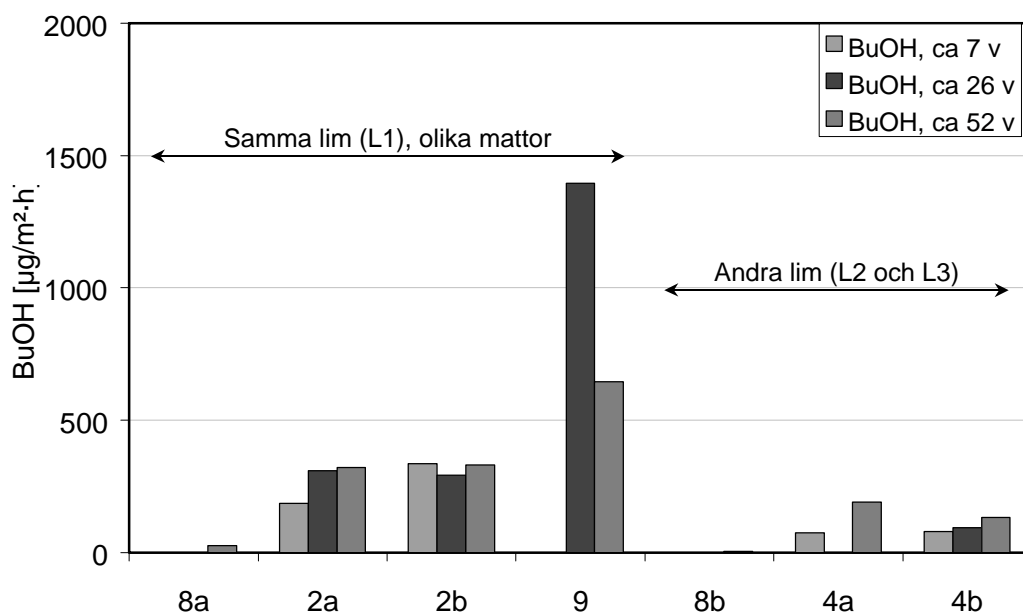
Försök d1.8b är linoleummatta med annat lim (L2). Även denna materialkombination får låg emission precis som d1.8a där linoleummatta också användes.

Försök d1.4a och 4b är dubbelprover där ett lim baserat på etenvinylacetat-copolymer använts tillsammans med homogen PVC-matta. Eftersom limmet saknar den akrylatsampolymer som är upphov till etylhexanol kan detta kolväte inte bildas vid nedbrytningen. Endast små emissioner mäts i försöken. Emissionen av etylhexanol är i storleksordning med mattans egenemission.

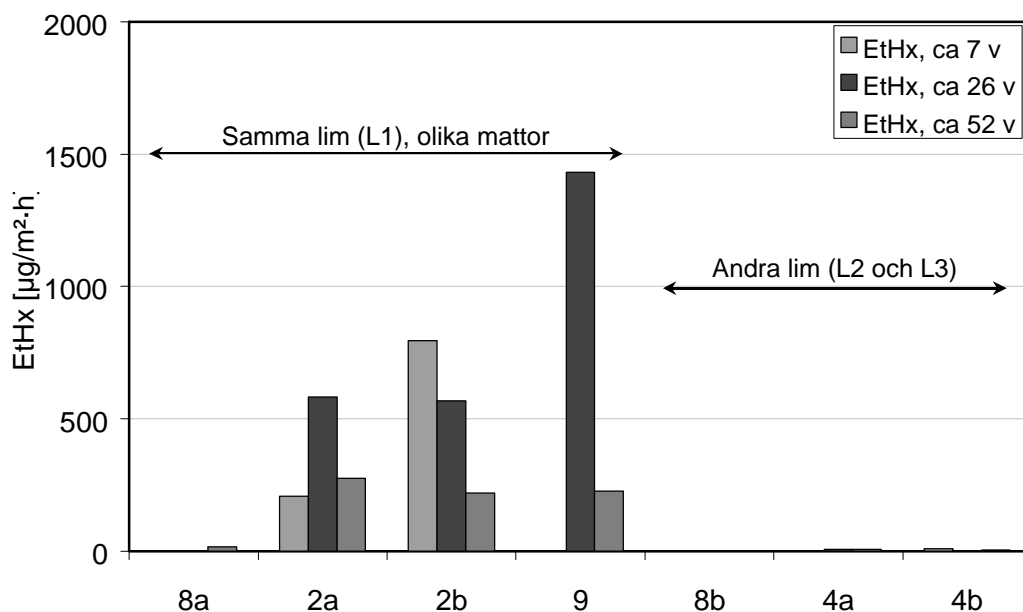
### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Val av lim påverkar emissionen vid alkalisk nedbrytning därför att mängden nedbrytningsprodukter blir olika.
- Val av matta påverkar emissionen vid alkalisk nedbrytning därför att olika mattor är olika täta mot nedbrytningsprodukter.

- Materialkombinationer med linoleummatta ger små emissioner vid alkalisk nedbrytning av limmet, därför att linoleummattan är tätare mot limmets nedbrytningsprodukter.



Figur 5.19 Emissionen av butanol beror på hur tre olika lim och tre mattor kombineras enligt undersökning d1. Stapel 8a är linoleummatta (M3) samt lim L1, 2a och 2b är homogen PVC-matta (M1) och samma lim (L1), 9 är skiktad PVC-matta (M2) och samma lim (L1). 8b är linoleummatta med annat lim (L2) och 4a samt 4b är homogen PVC-matta med annat lim (L3).



Figur 5.20 Emissionen av etylhexanol beror på hur tre olika lim och tre mattor kombineras enligt undersökning d1. Stapel 8a är linoleummatta (M3) samt lim L1, 2a och 2b är homogen PVC-matta (M1) och samma lim (L1), 9 är skiktad PVC-matta (M2) och samma lim (L1). 8b är linoleummatta med annat lim (L2) och 4a samt 4b är homogen PVC-matta med annat lim (L3).

## Limmängdens betydelse

Jämförelsen som görs här visar på limmets betydelse för emissionen från provkropparna. Emissionen har mätts från sju försök där samma lim (L1), samma matta (M1) och samma pH-lösning (P3) använts. I försök 7a, b och c saknas mätning vid 7 veckor.

I de tre första försöken som visas i figur 5.21 och 5.22 har olika mängder av lim L1 använts i för övrigt likadana provkroppar. Mängderna är 5, 10 och 15 g i försök d1.7a, b respektive c. Mätningarna visar att det är minst emission från försöket med minst lim men ungefär lika stor emission från de andra två försöken.

Ser man till hela mätserien för butanol som presenteras i figur 5.28 är det tydligt att emissionen är större från försöket med 15 g lim än det med 10 g. Hela mätserien för emission av etylhexanol presenteras i figur 5.29 och där visas att de båda försöken har ungefär samma emissionsförlopp.

I försök d1.3a och 3b har ungefär 10 gram lim lagts på en flätad glasfiberväv. Efter att limmet torkat ungefär 15 min lades väven på plattan (PF5) med limmet neråt. Mattan lades ovanpå väven utan att ha direkt kontakt med limmet. Detta exponerades sedan mot P3. Försöken gjordes för att undersöka om det gick att mäta någon skillnad när limmet inte var i direktkontakt med mattan.

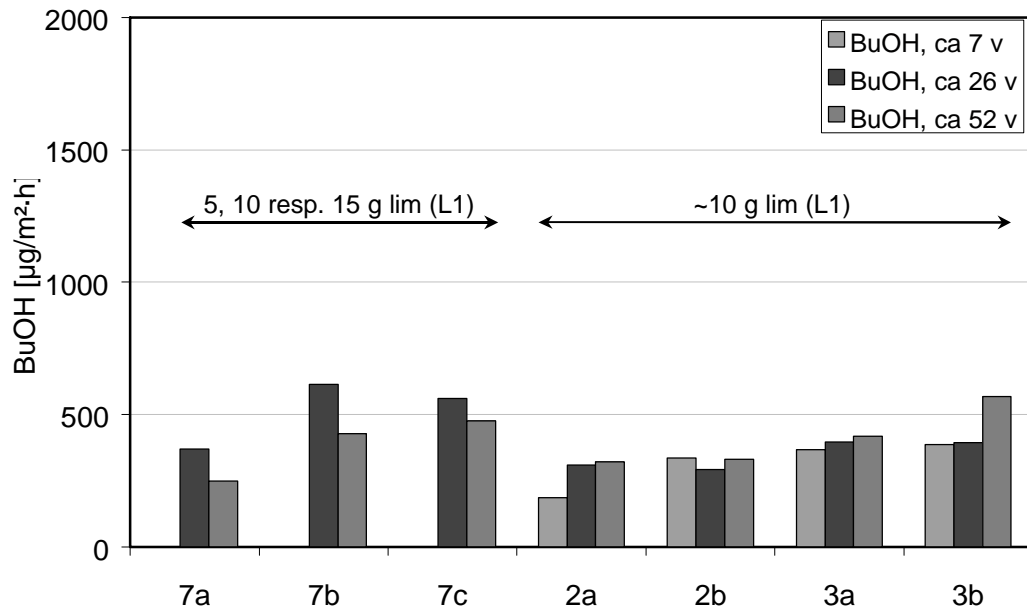
I försök d1.2a och 2b har ungefär 10 gram lim använts. Limmet är som vanligt applicerat direkt på mattan. Dessa dubbelprover kan betraktas som referenser i en jämförelse med dubbelproverna d1.3a och 3b. Emissionen från försöken var i stort sett lika stora för både butanol och etylhexanol.

Ser man till hela mätserien för butanol som presenteras i figur 5.24 är det tydligt att emissionen har samma storlek och förlopp från alla fyra försöken. Samma sak gäller även för etylhexanol. Emission av hela mätserien för etylhexanol presenteras i figur 5.25. Variationerna som kan ses i dessa figurer beror snarare på mätosäkerheter och slumpmässiga variationer än systematiska effekter av den studerade parametern.

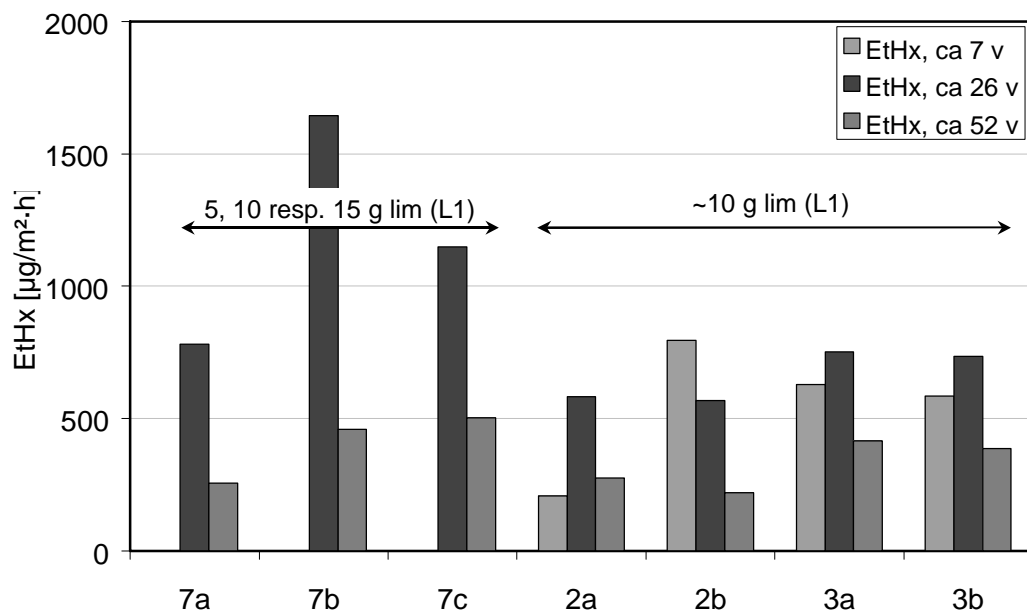
Då några andra plattor med samma lim och matta demonterades observerades det att limmet löst sig i pH-lösningen. Ett lager av limmet satt fortfarande kvar på mattans baksida av mattan. pH-lösningen hade ändrat konsistens och var nu mjölkaktig och vit istället för att som från början vara klar och genomskinlig.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Mängden påfört lim påverkar emissionen vid riklig alkalisk nedbrytning för den aktuella materialkombinationen.
- Emissionen är lika stor oberoende av om limmet har direktkontakt eller inte med mattan vid alkalisk nedbrytning.



Figur 5.21 Jämförelse av emissionen av butanol då limmängd och sättet att applicera limmet varierar. d1.7a, 7b och 7c är tillverkade med 5, 10 respektive 15 g lim på matta. d1.2a och 2b har ungefär 10 g lim på mattan, d1.3a och 3b har ungefär 10 g lim på en vävd glasfiberduk som under mattan. Samtliga kombinationer av lim och matta exponeras för pH-lösning P3.

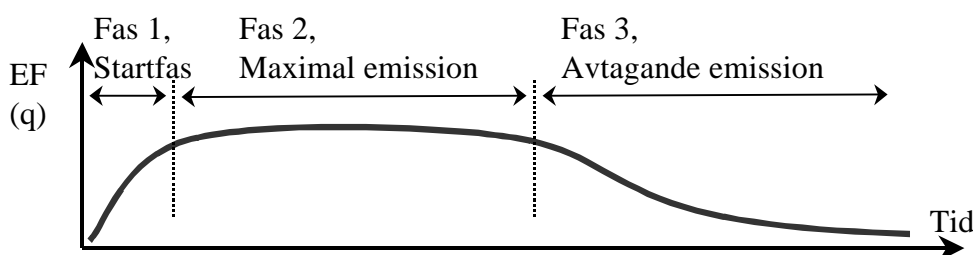


Figur 5.22 Jämförelse av emissionen av butanol då limmängd och sättet att applicera limmet varierar. d1.7a, 7b och 7c är tillverkade med 5, 10 respektive 15 g lim på matta. d1.2a och 2b har ungefär 10 g lim på mattan, d1.3a och 3b har ungefär 10 g lim på en vävd glasfiberduk som under mattan. Samtliga kombinationer av lim och matta exponeras för pH-lösning P3.

## Medellinje

Emissionsförloppet är generellt sett lika för all golvsystem där nedbrytning av limmet ägt rum. Förloppet går att dela in i tre faser se figur 5.23. Faserna kan variera något i utsträckning beroende på nedbrytningens omfattning, mattans täthet och underlagets beskaffenhet. Faserna karakteriseras av:

1. Under en inledande startfas ökar emissionen från ytan med tiden. Det beror på att kolvätena som bildats behöver en viss tid att tränga genom mattan. Tiden som det tar beror på nedbrytningens intensitet och mattans täthet.
2. Under fas två är emissionen ungefär lika stor hela tiden. Storleken beror på nedbrytningens intensitet och mattans täthet. Fasens längd beror på nedbrytningens omfattning och underlagets beskaffenhet. Förhållandena i underlaget är avgörande för hur länge nedbrytningen fortgår.
3. Under fas tre avtar emissionen från ytan. Detta beror på att nedbrytningen har minskat eller slutat. Det som emitterar från ytan är kvarvarande kolväten från den tidigare nedbrytningen. Fasens längd beror på mattans täthet samt underlagets beskaffenhet. Kolvätena migrerar också ner i underlaget och kan eventuellt transporteras tillbaka mot ytan senare.



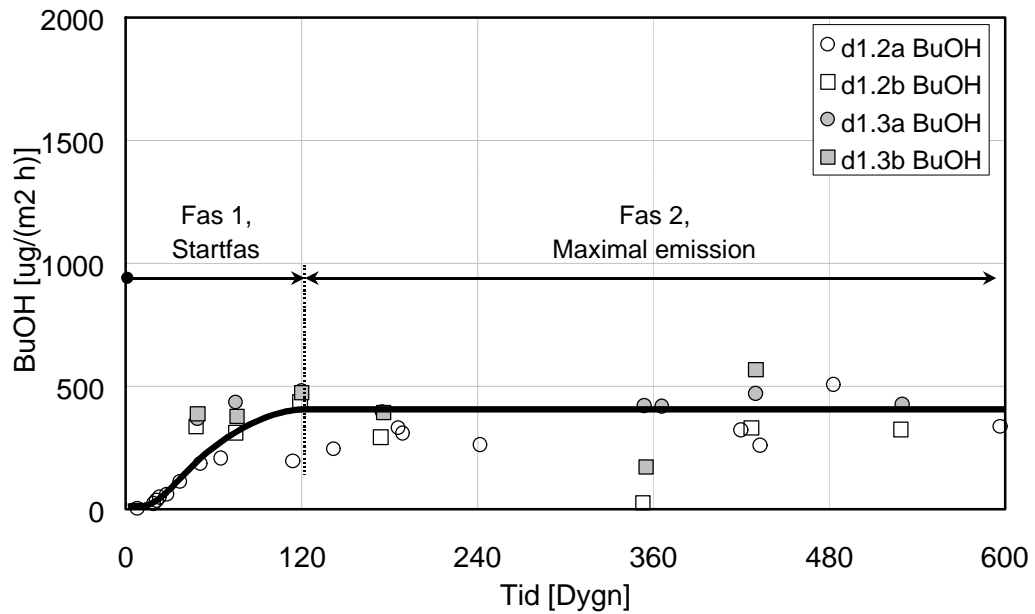
Figur 5.23 Emissionsförloppets tre faser vid alkalisk nedbrytning av lim i golvkonstruktioner.

Genom att lägga in resultaten från försök d1.2a och b samt från d1.3a och b kan en medellinje för emissionsförloppet uppskattas, se figur 5.24 och 5.27.

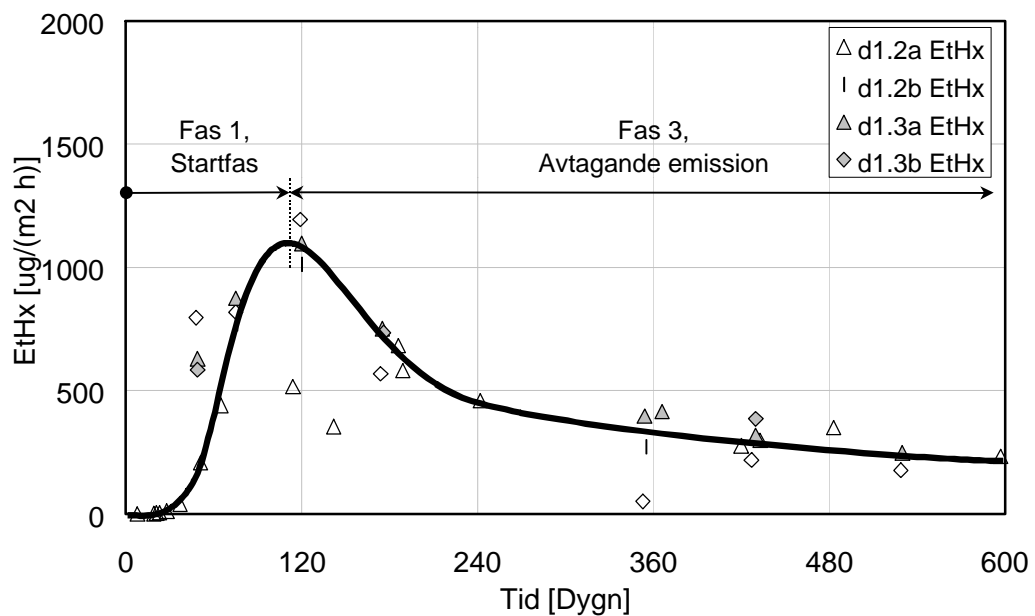
Fas två har inte slutat efter drygt 1,5 år för butanol enligt figur 5.24. Trolig förklaring är att butanol är mycket vattenlösligt. En kraftig nedbrytning av lim har antagligen ägt rum och den butanol som bildades löstes i pH-lösningen. På grund av att butanol kunde avgå från vätskefasen upprätthölls en konstant koncentrationsskillnad över mattan och därmed ett konstant flöde (emission).

Fas två finns inte för etylhexanol i försöken enligt figur 5.25. Trolig förklaring är att etylhexanol har liten vattenlöslighet. En kraftig nedbrytning av lim har antagligen ägt rum och eftersom endast lite kunde lösas i vätskan blev följden en hög koncentration i gasfas under mattan. Koncentrationen under matta avtar monotont varefter etylhexanol avgår. Denna minskande koncentrationsskillnad över mattan medför att flödet (emissionen) minskar.





Figur 5.24 Medellinje för butanol då ungefär 10 gram lim (L1) exponeras mot pH-lösning (P3) under homogen PVC-matta (M1). Medellinjen är framtagen genom sammanvägning av de fyra mätseriernas trendlinjer.



Figur 5.25 Medellinje för etylhexanol då ungefär 10 gram lim (L1) exponeras mot pH-lösning (P3) under homogen PVC-matta (M1). Medellinjen är framtagen genom sammanvägning av de fyra mätseriernas trendlinjer.

## Bokföring av OH<sup>-</sup> samt kolvätemolekyler

Genom att föra protokoll över avgörande komponenterna i provkroppen som förbrukas av nedbrytningen kan en uppskattning göras om det stämmer med mängden kolväten som emitterat från provkroppen. Sampolymeren i limmet och OH<sup>-</sup> är de avgörande komponenterna enligt tidigare slutsatser i detta i detta kapitel.

Huvudprotokollet av avgörande komponenter i försök d1.2 samt d1.3 förs i tabell 5.6. Alla värden i huvudprotokollet anges för en platta (PF5). Volymen pH-lösning är 0,214 liter och ytan med lim är 0,0214 m<sup>2</sup>. Förklaringen av värdena i tabellen görs i kommande stycken.

Tabell 5.6 Huvudprotokoll för kolväten i försök d1.2 samt d1.3 [g].

ämne	"Tillverkade" kolväten (+)		"Förbrukade" kolväten (-)	
	Limmängd	pH sänkning	Löst i vatten	Yta i figur
BuOH	0,2 – 0,8	0,79	21	0,11
EtHx	0,4 – 2,1	1,39	0,021	0,13

### Limmängd

Leverantören av limmet som använts i försöken anger i produktinformationen att det består till 10 – 30 % av sampolymerer. Det är dessa akrylatsampolymerer som kan ge upphov till emission av kolväten vid nedbrytning. Torrhalten i limmet är ungefär 70 %. Detta innebär att 7 – 21 % av limmets våta vikt utgörs av akrylatsampolymer.

Antag att all sampolymer kan spjälkas till butanol och etylhexanol utan att det blir några rester kvar. Detta är kanske osannolikt men det ger maximal mängd nedbrytningsprodukter. Resonemanget innebär att maximalt skulle 10 g lim brytas ned till 0,7 – 2,1 g butanol eller etylhexanol.

Det är rimligt att båda kolvätena bildas, inte bara ett av dem. Antag för enkelhetens skull att det bildas lika många mol butanol och etylhexanol. Viktfördelningen av respektive kolväte blir då proportionell mot kolvätets molmassa (vikt per mol, 1 mol = 6,0·10<sup>23</sup> molekyler).

Molmassa för butanol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) är 4·12,11 + 10·1,01 + 1·16 = 74,54 g/mol

Molmassa för etylhexanol (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>O) är 8·12,11 + 18·1,01 + 1·16 = 131,06 g/mol

Detta innebär att mängden kolväten vid fullständig nedbrytning blir:

$$0,7 \cdot \frac{74,6}{74,6 + 131,1} < \text{butanol} < 2,1 \cdot \frac{74,6}{74,6 + 131,1} \Rightarrow \text{butanol} = 0,2 - 0,8 \text{ g}$$

$$0,7 \cdot \frac{131,1}{74,6 + 131,1} < \text{etylhexanol} < 2,1 \cdot \frac{131,1}{74,6 + 131,1} \Rightarrow \text{etylhexanol} = 0,4 - 2,1 \text{ g}$$

### *Sänkning av pH*

Eftersom pH-lösningen P2 inte har någon buffertkapacitet sjunker i princip pH-värdet för varje  $\text{OH}^-$  som förbrukas vid nedbrytningen. Eftersom kritiskt pH värde bedömts till mellan 11 och 13 enligt en av slutsatserna tidigare i detta kapitel kan mängden  $\text{OH}^-$  beräknas.

pH-lösningen har pH-värde 13 innan nedbrytningen börjat. Antag att den kritiska gränsen ligger så att nedbrytningen fortgår till pH-värdet sjunkit till 11. Med hjälp av vattnets jonprodukt  $pK_w$  som är 14,0 vid 25 °C enligt CRC (1997) kan antalet förbrukade  $\text{OH}^-$  beräknas enligt definitionen av pH;

$$\text{pH är } [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

Mängden  $\text{OH}^-$  per liter vätska kan bestämmas med logaritmräkning;

$$\text{pH 13 } [10^{-13}] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-1} \approx 0,1 \text{ mol/l}$$

$$\text{pH 11 } [10^{-11}] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-3} \approx 0,001 \text{ mol/l}$$

Vid en sänkning från pH 13 till pH 11 minskas antalet  $\text{OH}^-$  med  $99 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ . Eftersom plattan rymmer ungefär 0,214 l pH-lösning innebär det att sammanlagt  $21,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol OH}^-$  förbrukats vid reaktion som gett pH-sänkning från 13 till 11.

Antalet mol förbrukade  $\text{OH}^-$  är lika stort som antalet mol bildade kolväten eftersom det åtgår en  $\text{OH}^-$  till varje kolväteatom. Antag igen att det bildas lika många butanol som etylhexanol. Totala mängden av respektive kolväte beräknas med hjälp av molmassor.

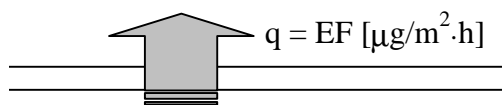
Detta innebär att  $(10,6 \cdot 10^{-3} \cdot 74,54 =) 0,79 \text{ g butanol}$  samt  $(10,6 \cdot 10^{-3} \cdot 131,06 =) 1,39 \text{ g etylhexanol}$  bildas.

### Löst i vätska

Det finns inget porsystem som kolvätena kan vandra ner i men väl en vätska de kan lösa sig i. Butanol löses 10,4 g/100g vatten och etylhexanol 0,01 g/100g vatten enligt CRC (1997). Eftersom det ryms ungefär 214 gram vatten i fördjupningen på plattan så kan 22 g butanol samt 0,021 g etylhexanol lösas i detta.

### Total mängd emitterat kolväte genom matta

Den totala mängden kolväten som emitterat genom mattan kan beräknas. Beräkningen förutsätter att emissionsförloppet kan uppskattas för den period beräkningen skall göras för. Flödet genom mattan är detsamma som EF (emissionsfaktor), se figur 5.26.



Figur 5.26 Flödet  $q$  genom matta är samma sak som EF (emissionsfaktor).

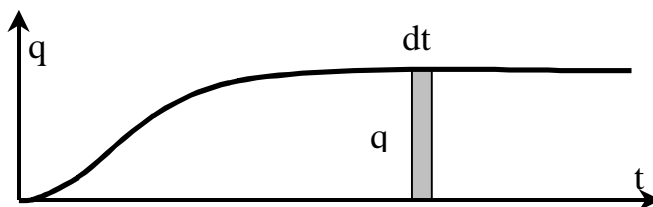
Total mängd emitterat kolväte genom mattan erhålls om flödet integreras över beräkningsperiodens längd:

$$Q = \int_0^t q \cdot dt$$

där:

$Q$	= totalt avgiven mängd	$[\text{g}/\text{m}^2]$
$q$	= flödet genom mattan	$[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$
$t$	= beräkningsperiodens sluttid	$[\text{s}]$

Integralen kan tolkas som ytan under kurvan i ett diagram med flödet och tiden på axlarna, se figur 5.27.



Figur 5.27 Summan av alla strimlor ( $q \times dt$ ) blir ytan under kurvan. Enkelt uttryckt är integralen som beskrivs i det här stycket lika med ytan under kurvan.

I fallet med butanol blir integralen som motsvarar ytan under medellinjen i figur 5.24 lika med  $5,3 \text{ [g/m}^2\text{]}$ . Multiplicerat med plattans yta ( $21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ ) blir totala mängden emitterat butanol  $0,11 \text{ g}$ .

I fallet med etylhexanol blir integralen som motsvarar ytan under medellinjen i figur 5.25 lika med  $6,3 \text{ [g/m}^2\text{]}$ . Multiplicerat med plattans yta ( $21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ ) blir totala mängden emitterat etylhexanol  $0,13 \text{ g}$ .

### Bokslut

Enligt antagandena har det bildats  $0,2 - 0,8 \text{ g}$  butanol och  $0,11 \text{ g}$  har emitterat genom ytan. Kvarvarande  $0,09 - 0,69 \text{ g}$  finns lösta i mattan samt i pH-lösningen.

Det bildades även  $0,4 - 2,1 \text{ g}$  etylhexanol enligt antagandena.  $0,13 \text{ g}$  har emitterat genom ytan och  $0,02 \text{ g}$  har löst sig i pH-lösningen men vart har resterande  $0,25 - 1,95 \text{ g}$  tagit vägen? Antagligen bildades de aldrig. Anledningen kan antingen vara att akrylatsampolymeren inte bryts ned fullständigt eller att antagandet om fördelningen mellan nedbrytningsprodukter inte stämmer. Det är också möjligt att kritiskt pH-värde ligger över 11.

## Olika limmängd – 5, 10 samt 15 g –protokoll

En jämförelse görs här mellan tre försök med olika limmängd men i övrigt lika förhållande. Till skillnad från tidigare jämförelse som gjorts av dessa tre försök, d1.7a, b och c, utnyttjas här tekniken att föra protokoll över viktiga komponenter.

I tabell 5.7 förs protokoll på sampolymeren och  $\text{OH}^-$  som är de avgörande komponenterna i för emission från systemet enligt tidigare slutsats i detta kapitel. Startvärdena innan någon nedbrytning skett är följande;

$\text{OH}^-$  tillgängliga för nedbrytningen beräknas på samma sätt som tidigare i kapitlet.  $21,2 \cdot 10^{-3}$  mol finns tillgängligt innan nedbrytningen avstannar.

Sampolymeren som finns tillgänglig för nedbrytningen beräknas på samma sätt som tidigare i kapitlet. Antag att 10 % av limmet är akrylatsampolymer. Vid 5 g limmängd kan  $(5 \cdot 0,10 \cdot 0,7 =)$  0,35 g kolväten bildas vid fullständig nedbrytning. Analogt blir motsvarande mängd vid 10 och 15 g lim lika med 0,70 respektive 1,05 g.

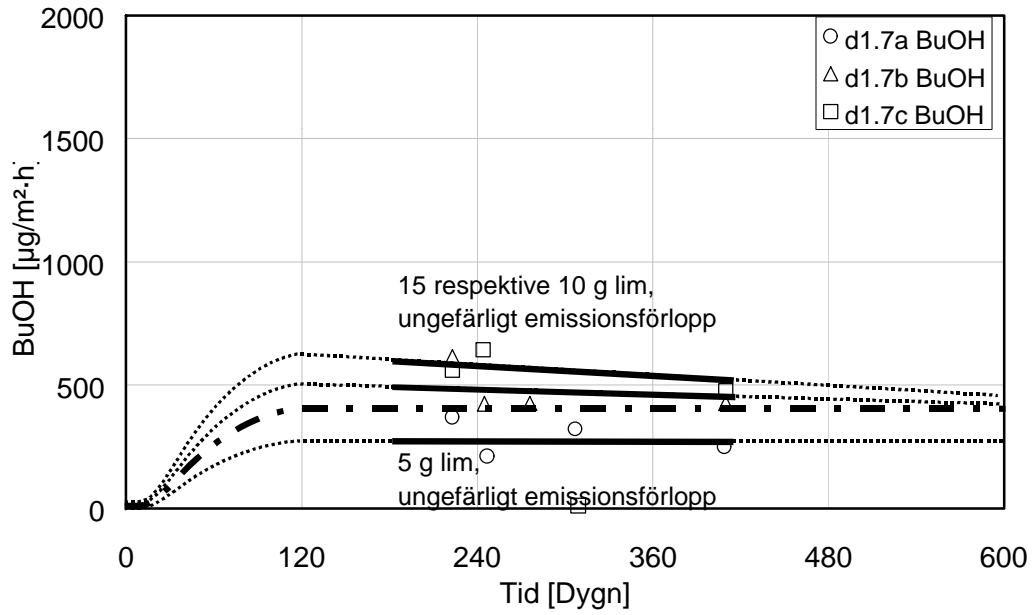
Tabell 5.7 Protokoll för kolväten i försök d1.7a, b och c. Mängderna [g] baserar sig på ytan  $0,0214 \text{ m}^2$  samt 0,214 liter vätska.

	d1.7a		d1.7c		d1.7c	
	Polymer $\cdot 10^{-3}$ [g]	$\text{OH}^-$ $\cdot 10^{-3}$ mol	Polymer $\cdot 10^{-3}$ [g]	$\text{OH}^-$ $\cdot 10^{-3}$ mol	Polymer $\cdot 10^{-3}$ [g]	$\text{OH}^-$ $\cdot 10^{-3}$ mol
Start	350	21,2	700	21,2	1050	21,2
$Y_{\text{ta}_{\text{BuOH}}}$	-79	-1,1	-121	-1,6	-143	-1,9
$Y_{\text{ta}_{\text{EtHx}}}$	-125	-1,0	-214	-1,6	-214	-1,6
”saknas”	146	19,1	365	18,0	693	17,7
%	42 %	90 %	52 %	85 %	66 %	83 %

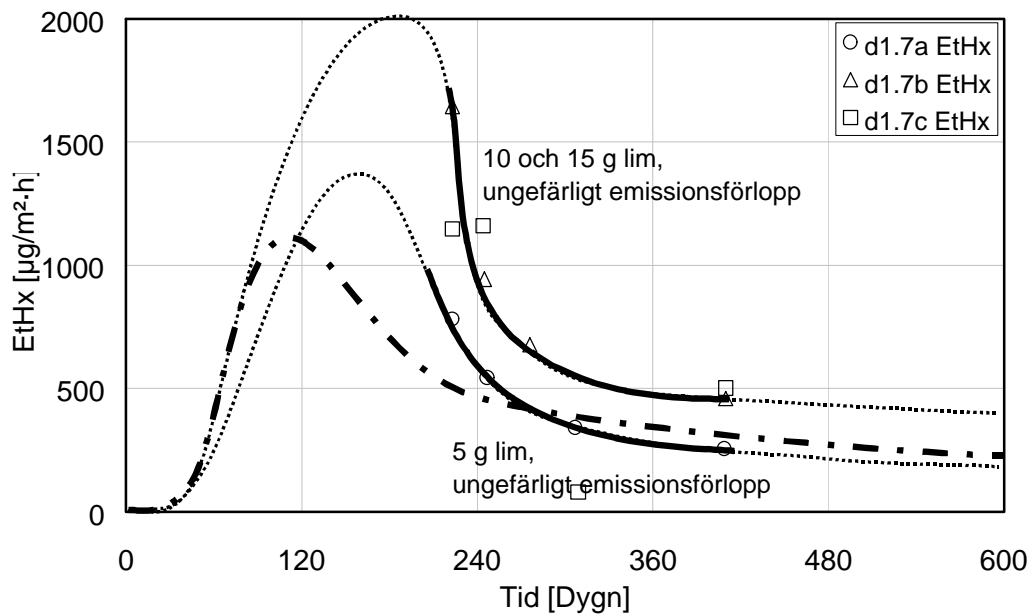
Emitterade kolväten från ytan beräknas på det sätt som diskuterats tidigare i kapitlet. Eftersom det inte finns mätvärden för fas 1 och att de värden som finns bara är under ett halvt år görs en uppskattning av emissionsförloppet. Uppskattningen bygger dels på de mätvärden som gjorts i försöken men också på utseendet av medellinjen som bestämdes för emissionsförloppet hos fyra andra försök tidigare i detta kapitel.

De punkt-streckande linjerna i figur 5.28 och 5.29 är medellinje för undersökningen. Den heldragna linjen är emissionsförloppet under den period mätningar utförts och den prickade linjen är en uppskattning av emissionsförloppet med hänsyn till medellinjens form.

Protokollet blev inte komplett med dessa uppgifter. Den mängd polymerer som ”saknas” i protokollet har antingen inte brutits ned eller så finns kolvätena lösta i vätskan eller i mattan. Eftersom emissionen inte slutat finns det fortfarande en betydande koncentration av kolväten under mattan och i mattan. En del av dessa kommer med tiden att emittera.



Figur 5.28 Troliga emissionsförlopp av butanol då 5, 10 respektive 15 g lim (L1) exponeras mot pH-lösning (P3) under homogen PVC-matta (M1).



Figur 5.29 Troliga emissionsförlopp av etylhexanol då 5, 10 respektive 15 g lim (L1) exponeras mot pH-lösning (P3) under homogen PVC-matta (M1).





#### 5.4.2 Inverkan av limningsmetod (d2)

I tabell 5.8 är de viktigaste skillnaderna mellan provkropparna i undersökningen sammanställda. Kompletta beskrivningar av provkropparna finns i tabell 2.26 - 4.27.

*Tabell 5.8 Sammanställning av de viktigaste skillnaderna hos provkropparna i undersökning d2. "Grunduppsättningen" hos referensprovkropparna är:  
matta M1 – lim L4 – VT 15 min – TT 2 dygn – RF » 83 % – B4.*

försök	Speciellt för provkroppen i försöket		BuOH	EtHx
d2.01	nollprov	M1♥ (Smaragd)	0	7
d2.02	nollprov	M4♥ (Stabil)	4	9
d2.1	referens		12	28
d2.2	referens		203	44
d2.3		L1 (Futurum)	395	134
d2.4			371	83
d2.5		lim på matta	24	19
d2.6		häftlimning	1960	326
d2.7		våtlimning	12	38
d2.8		LT 2v.	23	39
d2.9		LT 4v.	26	32
		anl.cement		

♥ löslagda på betong

Förklaring till tabell 5.8.

**Tredje kolumnen**, när inte annat uppges har M1 (Aqua Smaragd) och L4 (Evenor 2001) använts. Provkropparna har torkat (TT) i två dagar då inte annat uppges.

**Fjärde kolumnen**, när inte annat uppges har väntetiden (VT) varit 15 min. Vid häftlimning var VT cirka 60 min och vid våtlimning ca 1 min.

**Femte & sjätte kolumnen**, värdena anger högsta uppmätta värden för butanol respektive etylhexanol under undersökningen.

## Inverkan av limningsmetod och limsort

Jämförelsen som görs här visar på betydelsen av limningsmetoden för emissionen från det färdiga golvsystemet, samt vilken betydelse valet av limsort har. Jämförelsen görs mellan emissionen från sju försök.

Staplarna till vänster i figur 5.30 och 5.31 visar på stor emission från provkropparna. Mattan våtlimmades på provkroppen i försök d2.6 vilket troligen är förklaringen till den stora emissionen. All limfukt stängdes in under mattan eftersom väntetiden var så kort att inget vatten kunde dunsta. Fuktnivån under mattan höjdes enligt modellen i figur 5.8 och det uppstod kraftig nedbrytning av limmet.

I nästa försök (d2.4) applicerades limmet på mattan och väntetiden var ungefär 15 min. Emissionen var högre än referenserna (nedan) även i detta försök. Det kan bero på att limfukten inte har möjlighet att sugas in och omfördelas i betongen under väntetiden. När vattnet dunstar från limmet bildas en ”hinna” med högre andel fast material i limmets yta. Denna hinna kommer i detta fall att hamna mot betongen då mattan trycks fast till skillnad från när limmet appliceras på betongen, då hamnar hinnan mot mattan.

Dubbelproverna i försök d2.2 och d2.1 kan anses som referenser i denna undersökning. Det har skett en nedbrytning även i dessa prover om man jämför med den löslagda mattan. Möjligen är det ett mätfel som gör det höga värdet på butanol vid första mätningen av d2.2.

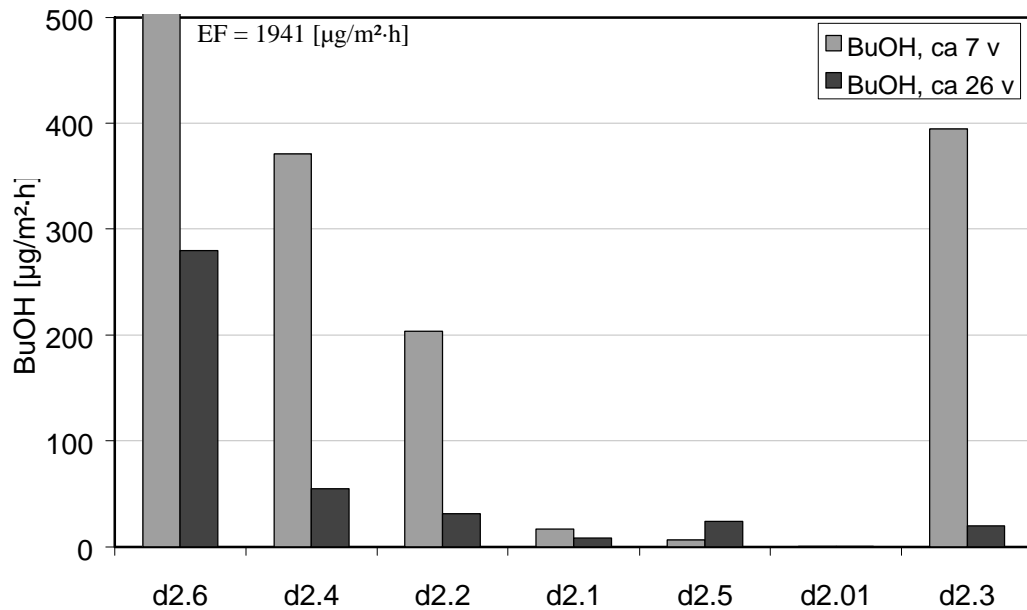
I försök d2.5 häftlimmades mattan på det sätt som beskrivs i kapitel 3.5.2. Emissionen är låg från dessa provkroppar. Limfukten fick möjlighet att avgå samt även eventuellt börja sugas in i betongen innan mattan krycktes fast.

Den löslagda mattan i försök d2.1 hade låga egenemissioner.

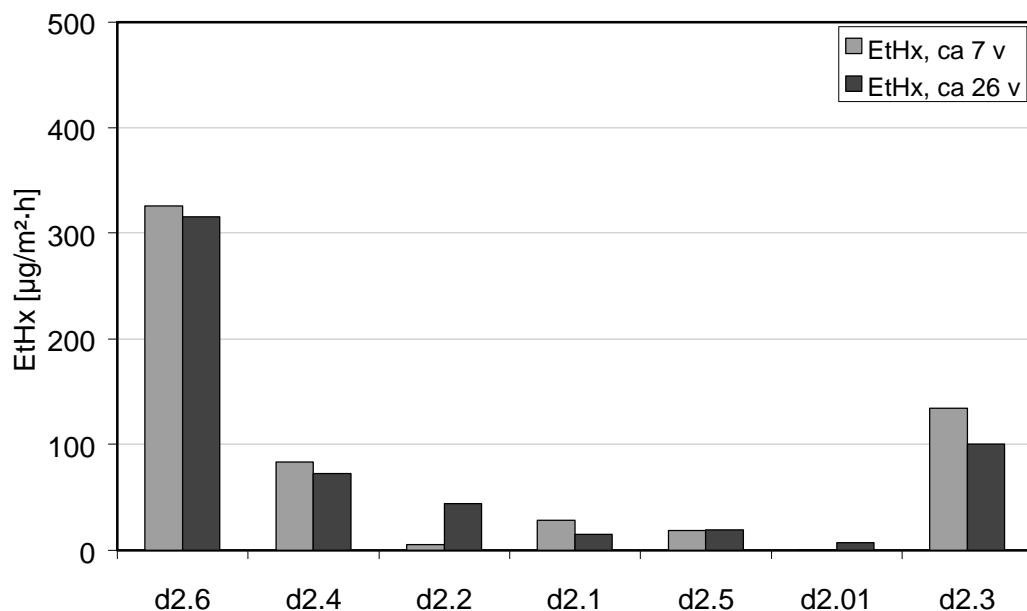
Staplarna i högra kanten kommer från ett försök med ett annat lim (L1) som baseras på i stort sett samma polymerer som referenslimmet (L4). Förhållandena var i övrigt samma som i referensen d2.2 och d2.1 men emissionen var högre. Skillnaden visar att tillsynes lika material kan ge olika emission.

Slutsatsen av denna jämförelse är

- Limningsmetoden har stor betydelse för emissionen
- Häftlimning ger mycket lägre emission än våtlimning
- Valet av limsort, med i stort sett samma bindemedel, påverkar emissionen



Figur 5.30 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från golvsystem limmade med olika metoder. Våtlimning (d2.6), limning på matta (d2.4), limning på betong (d2.2 och d2.1), häftlimning (d2.5) samt lösläggning (d2.01.). Slutligen var d2.3 limmad på betong med annat lim (L1).



Figur 5.31 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från golvsystem limmade med olika metoder. Våtlimning (d2.6), limning på matta (d2.4), limning på betong (d2.2 och d2.1), häftlimning (d2.5) samt lösläggning (d2.01.). Slutligen var d2.3 limmad på betong med annat lim (L1).

## **Inverkan av torkning av betongytan samt cementsort**

Jämförelsen som görs här visar att det inte var någon skillnad på provkropparna som fått torka under 2 respektive 4 veckor innan limning. Inte heller en annan cementsort med lägre alkaliinnehåll förändrade emissionen. Den uteblivna skillnaden kan exempelvis förklaras med att alla provkroppar inklusive de provkroppar som utgjorde referenser hade låg emission.

De två grupperna med staplar till vänster i figur 5.32 och 5.33 visar emissionen från försök d2.1 och d2.2 som är referenser. Dessa prover har varit täckta med aluminiumfolie i 28 dygn efter gjutning. Därefter torkade de två dygn utan folien innan limning av mattan.

Provkroppen i försök d2.7 var täckt med aluminiumfolie de första 14 dyggen och provkroppen i försök d2.8 täcktes inte alls. Alla dessa provkroppar göts och limmades samtidigt.

Förklaringen till att det inte blev någon skillnad är antagligen självtorkningen hos betongen. När betongen med lågt vct härdar förbrukas stor del av vattnet som blandas i vid gjutning. Sådan betong är inte lika beroende av uttorkning genom att vatten avdunstar från ytan som betong med högt vct är. I dessa försök var troligtvis betongen i samtliga fall tillräckligt uttorkad för att den skulle kunna ta hand om fukttillskottet från limfukten.

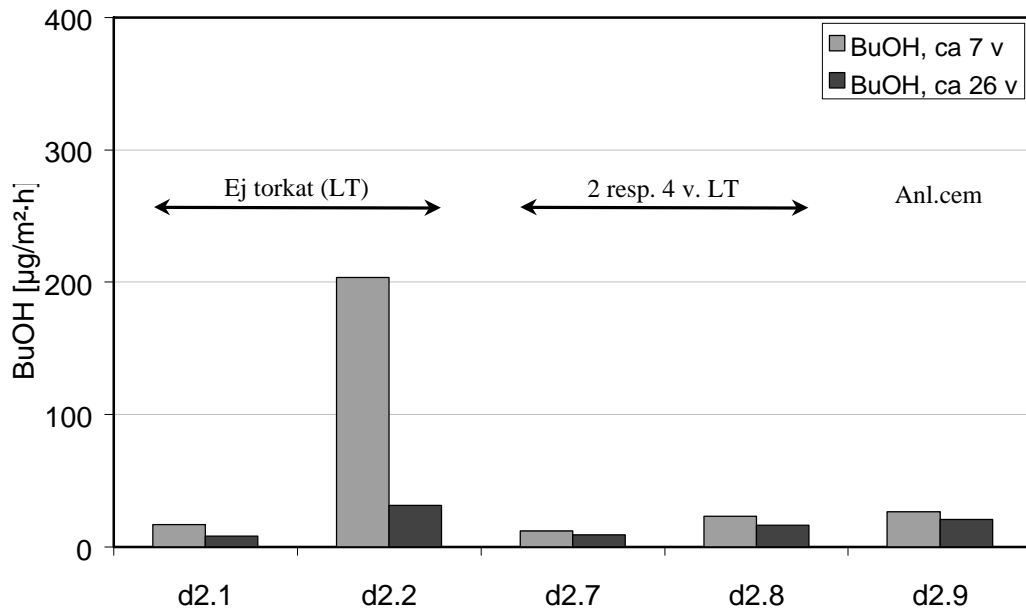
Antagligen skulle mätvärdena skilt sig mer åt om väntetiden varit kortare så att mattorna våtlimmats istället, eller om en betong med högre vct (normal husbyggnadsbetong) valts att studera.

Betongen som användes i provkroppen i försök d2.9 är blandad på anläggningscement från Degerhamn. Vid blandning med detta cement får betongen lägre alkalihalt än om stdP cement används, vilket har gjorts i övriga försök i studien.

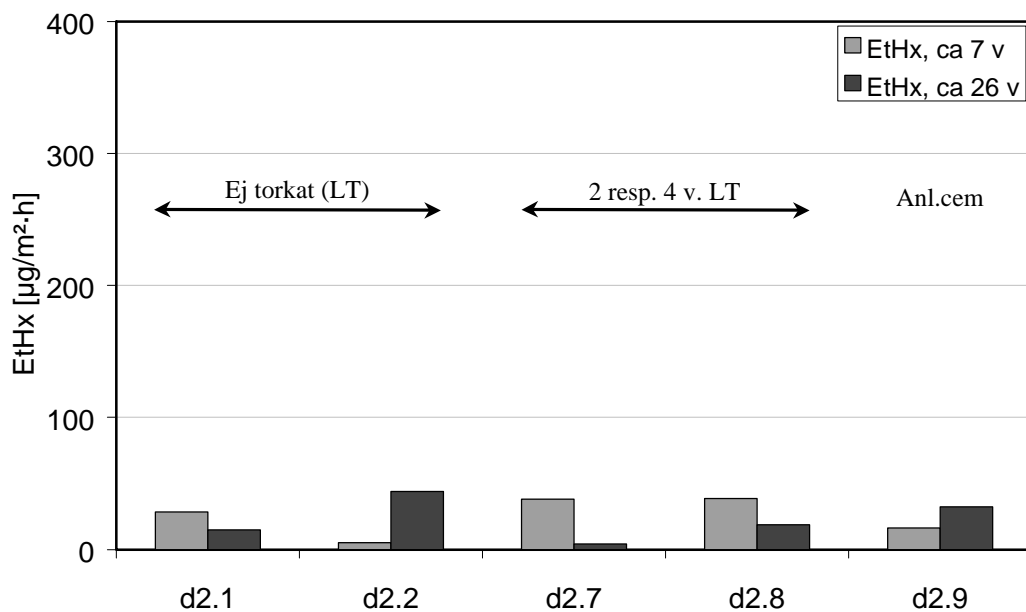
Anledningen till att det inte blev någon skillnad i resultaten från emissionsmätningarna kan bero på att alkalihalten i betongen inte är en avgörande faktor. Det skulle i så fall finnas tillräckligt mycket alkali i båda försöken för att tillgodose nedbrytningen, alltså att fuktnivån under mattan sjunker under kritisk nivå innan  $\text{OH}^-$  "tagit slut". Den rimligaste förklaringen är dock den som ges ovan, att fukttillskottet är för litet för att ordentligt starta nedbrytningen. Därmed kan inga skillnader observeras.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Betong med låg vct kan ta hand om begränsade mängd limfukt
- Betong med lågt vct kan beläggas även fast den bara självtorkat
- Cementsorten har ingen avgörande betydelse vid begränsad mängd limfukt



Figur 5.32 Jämförelse mellan emission av butanol från olika golvsystem. ref (d2.1 och 2) betong som fått lufthärda 2 respektive 4 veckor (d2.7 och 8) samt betong tillverkad på anläggningscement (d2.9).



Figur 5.33 Jämförelse mellan emission av etylhexanol från olika golvsystem. ref (d2.1 och 2) betong som fått lufthärda 2 respektive 4 veckor (d2.7 och 8) samt betong tillverkad på anläggningscement (d2.9).

## Emissioner vid lösläggning

Jämförelsen som görs här visar på att löslagda mattor inte påverkas av betongen. Två olika typer av PVC-mattor har löslagts och värdena har jämförts med deras egenemissioner.

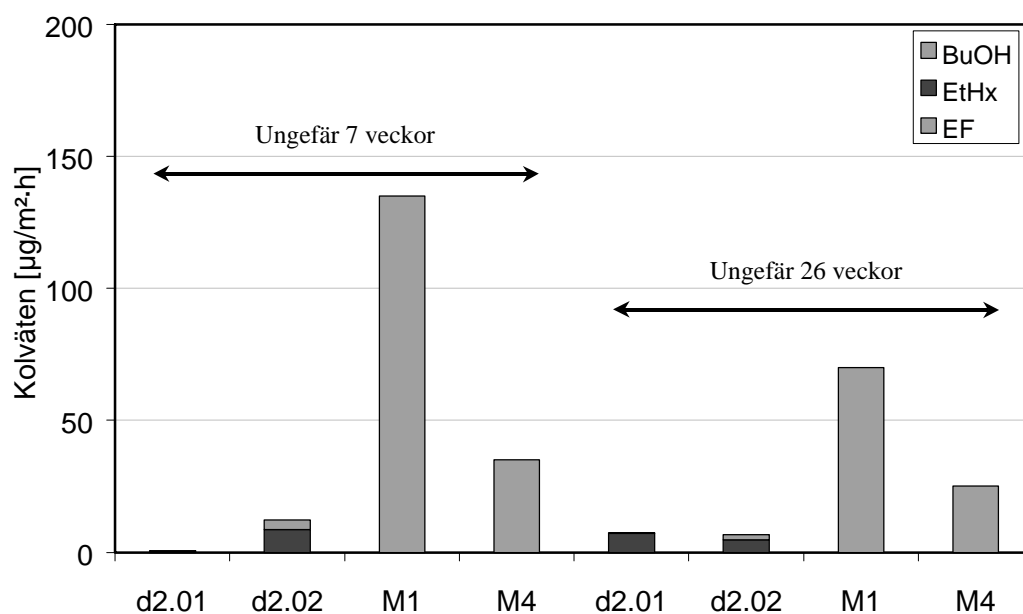
Mattan i försök d2.01 är en homogen PVC-matta (M1) avsedd för limning. Emissionsmätningar visar att den emitterar endast en liten del av det som uppges som egenemission, se figur 5.34.

Mattan i försök d2.02 är en skiktad PVC-matta (M4) med baksida av pressade polyesterfiber avsedd för lösläggning. Polyesterfibrerna på baksidan av mattan påminner om filt. Emissionsmätningar visar att även denna matta endast emitterar en liten del av det som uppges som egenemission.

Eftersom emissionen från de löslagda mattorna är låg, till och med mycket lägre än tillverkarnas värden på egenemissioner, kan det antas att det inte skett någon nedbrytning av mattan. Skillnaden beror på att egenemissionen mäts 4 respektive 26 veckor efter tillverkning. I försöken som gjorts med löslagda mattor har de varit inpackade i några lager aluminiumfolie och sedan en plastpåse under en tid efter tillverkningen.

Slutsatsen av denna jämförelse är

- Mattor som lösläggs påverkas inte av betongen
- Löslagda mattor har lägre emission än deklarerad egenemission



Figur 5.34 Emissioner från löslagda mattor efter 7 respektive 26 veckor och tillverkarnas angivna värden på egenemissioner,  $EF_4$  och  $EF_{26}$  är egenemissioner från mattan vid 4 respektive 26 veckor efter tillverkning. d2.01 är matta M1 och d2.02 är matta M4.

### 5.4.3 Inverkan av avjämningsmassa (d3)

I tabell 5.9 är de viktigaste skillnaderna mellan provkropparna i undersökningen sammanställda. Kompletta beskrivningar av provkropparna finns i tabell 2.29 - 4.30.

*Tabell 5.9 Sammanställning av de viktigaste skillnaderna hos provkropparna i undersökning d3. "Grunduppsättningen" hos provkropparna är: matta M1 – lim L2 – VT 10 min – RF » 87 %.*

försök	Speciellt för provkroppen i försöket		BuOH	EtHx	
d3.00	nollprov	stål	2	8	
d3.01	nollprov	homogen PVC	6	5	
d3.0	(ca 90%RF)	Betong (B4)	141	193	
d3.1		ABS 147	normal	8	39
d3.2		Strå Universal	normal	50	159♥
d3.3		Ventonit	normal	20	35
d3.4		ABS 154	snabb	12	93♥
d3.5		Strå snabb	snabb	12	42
d3.6		AE 20	gips	15	95♥
d3.7		Soluflex	gips	16	143♥

♥ orimligt höga värden, troligen felmätningar

Förklaring till tabell 5.9.

**Andra kolumnen**, när inte annat uppges var fuktnivån ungefär 87 % RF i betongen. Nollproven lades inte på betong.

**Andra kolumnen**, anger underlaget som mattan limmades på utom för nollproverna.

**Fjärde kolumnen**, anger typ av avjämningsmassa.

**Femte & sjätte kolumnen**, värdena anger högsta uppmätta värden för butanol respektive etylhexanol under undersökningen.

## **Inverkan av limningsmetod och limsort**

Jämförelsen som görs här visar på att det inte är någon avgörande betydelse vilken typ av avjämningsmassa som används på byggfuktfri betong. De sju avjämningsmassorna som användes hade alla gynnsam effekt

Staplarna till vänster i figur 5.35 och 5.36 visar på förhöjd emission från provkropparna. Resultaten som kallas ”btg” i figuren är från försök d3.0. PVC-matta limmades på betong (B4) med tio min väntetid. Limningen skedde 8 dygn efter gjutning.

De övriga staplarna är från försök där mattan limmats på provkroppar med avjämningsmassa. De gipsbaserade avjämningsmassorna lades med 20 mm tjocklek medan övriga lades med 5 mm. Detta var minsta rekommenderade tjocklek av leverantörerna.

Staplarna som kallas ”gips” i figurerna är medelvärdet från mätningar i försök d3.6 och d3.7. Gemensamt för dessa var att avjämningsmassorna baserades på gips. Avjämningsmassorna göts efter att betongen torkat 7 dygn. Avjämningsmassorna torkade sedan 14 dygn innan limning av PVC-matta.

Staplarna som kallas ”snabb” i figurerna är medelvärdet från mätningar i försök d3.4 och d3.5. Gemensamt för dessa avjämningsmassorna var att torkande snabbt samt var baserades på aluminatcement. Ett dygn efter gjutning av avjämningsmassorna limmades PVC-mattan. Avjämningsmassorna göts efter att betongen torkat 7 dygn.

Staplarna som kallas ”vanlig” i figurerna är medelvärdet från mätningar i försök d3.1, d3.2 och d3.3. Gemensamt för dessa var att avjämningsmassorna baserades på aluminatcement. Avjämningsmassorna göts efter att betongen torkat 7 dygn. Avjämningsmassorna torkade sedan 7 dygn innan limning av PVC-matta.

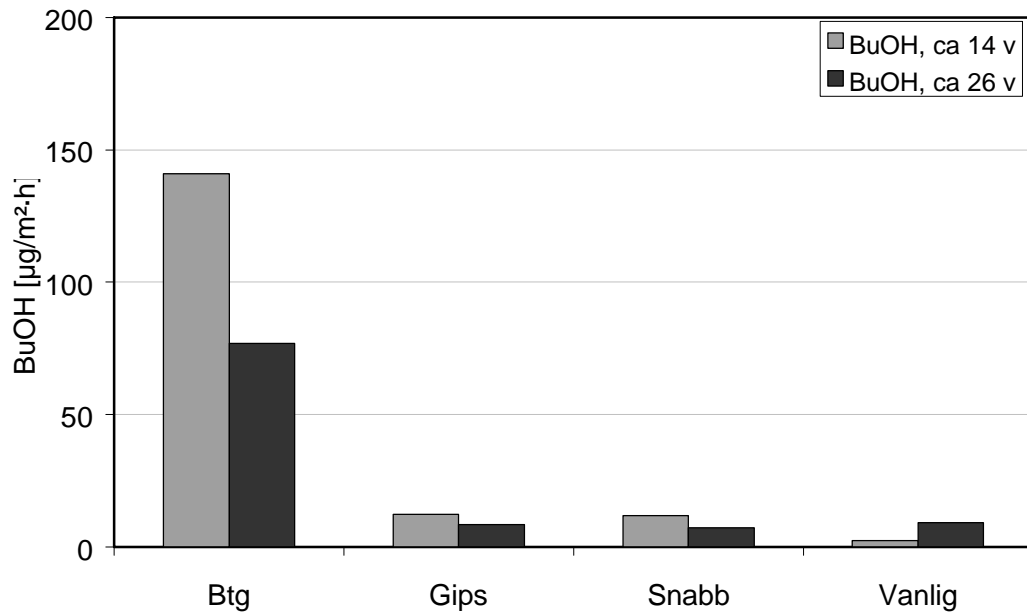
Det är anmärkningsvärt att fuktnivån i betongen sjunkit till ungefär 87 %RF efter 7 dygn. Avjämningsmassorna kunde då gjutas. De snabbtorkande avjämningsmassorna kunde sedan beläggas med PVC-matta ett dygn senare, alltså totalt 8 dygn efter gjutning.

En brist i undersökningen är att alla cementbaserade avjämningsmassorna var baserade på aluminatcement. Aluminatcementbaserade avjämningsmassor är lågalkaliska med pH omkring 11.

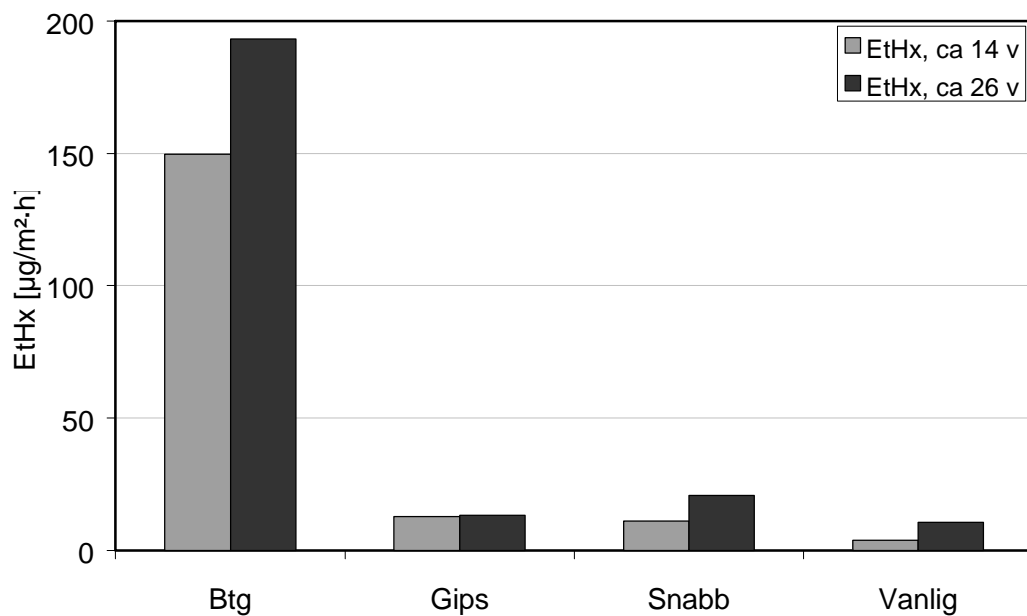
### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Avjämningsmassor minskar emissionen på betong med lågt vct.
- Alla typer av avjämningsmassor har en skyddande effekt vid lågt vct.
- Golvkonstruktioner av byggfuktfri betong och avjämningsmassa kan beläggas efter kort tid.





Figur 5.35 Emission av BuOH vid 14 och 26 veckor vid olika typer av avjämningsmassa. Staplarna motsvarar värdena vid ungefär 100 och 180 dygn i figur 5,39. De olika staplarna är medelvärden av två eller tre avjämningsmassor inom respektive typ.



Figur 5.36 Emission av BuOH vid 14 och 26 veckor vid olika typer av avjämningsmassa. Staplarna motsvarar värdena vid ungefär 100 och 180 dygn i figur 5,40. De olika staplarna är medelvärden av två eller tre avjämningsmassor inom respektive typ.

## Långtidsmätningar av ”snabba” golvkonstruktioner

Jämförelsen som görs här visar på att avjämningsmassan minskar emissionen från golvsystemet under ”lång” tid när den används på betong med lågt vct.

Det finns grundläggande skillnad mellan byggfuktfri betong (lågt vct) och normal husbyggnadsbetong (högt vct). Skillnaderna ligger i mängden byggfukt och hur betongen torkar. På grund av denna skillnad är avjämningsmassor i ena fallet en permanent lösning för att minska emissionen. I det andra fallet är det en osäkrare lösning, där långtidsmätningar av Alexandersson (1998) visar att verkan avtar med tiden.

I de fall avjämningsmassan får ett fukttillskott underifrån är det en osäker lösning. Fukttillskottet kan exempelvis vara ett stationärt fuktflöde genom källargolv eller kvarvarande byggfukt som utjämnas i bjälklaget och torkar ut genom mattan. Alexandersson (1998) visade att i extremt fuktig betong med vct 0,7 ökar emissionen något år efter mattläggning.

Avjämningsmassa är en permanent lösning i de fall betongen som den gjuts på byggfuktfri betong utan större fukttillskott. Sådan betong konsumerar själv sin ”byggfukt”. Förutsättningen för att systemet skall fungera är att det inte finns något stort fukttillskott till avjämningsmassan underifrån. Golvkonstruktionen får inte ha något stort fukttillskott underifrån och betongen får inte innehålla för mycket byggfukt som transporteras upp i avjämningsmassan för att torka ut genom mattan.

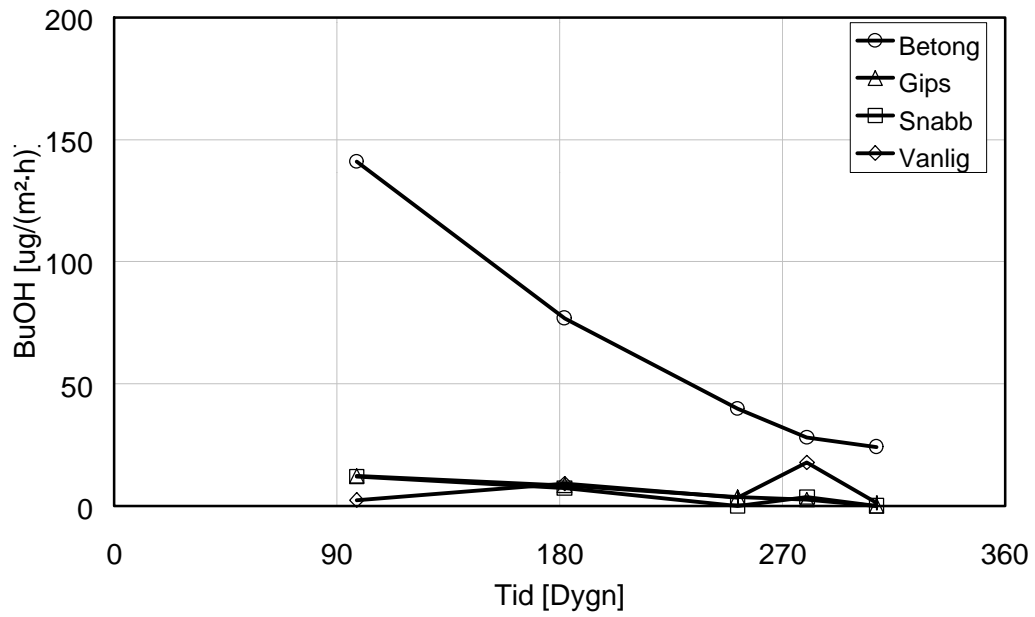
Utan fukttillskott och med en betong som konsumerar fukt är risken för nedbrytning av limmet störst precis efter limning. Avjämningsmassan har dock så stor fuktkapacitet att limfukten inte orsakar någon bestående höjning av fukttillståndet. Dessutom är de flest avjämningsmassor lågalkaliska (pH 11).

Mätningarna som redovisas i figur 5.37 och 5.38 visar att emissionen är låg för de provkroppar där avjämningsmassa användes. Undantaget är mätvärdena vid ungefär 270 dagar efter gjutning. Dessa mätvärden är med största sannolikhet felmätningar på grund av föroreningar i utrustningen. Utrustningen gjordes ren och en ny mätning gjordes någon vecka senare. Den redovisas som de sista mätpunkterna i diagrammet.

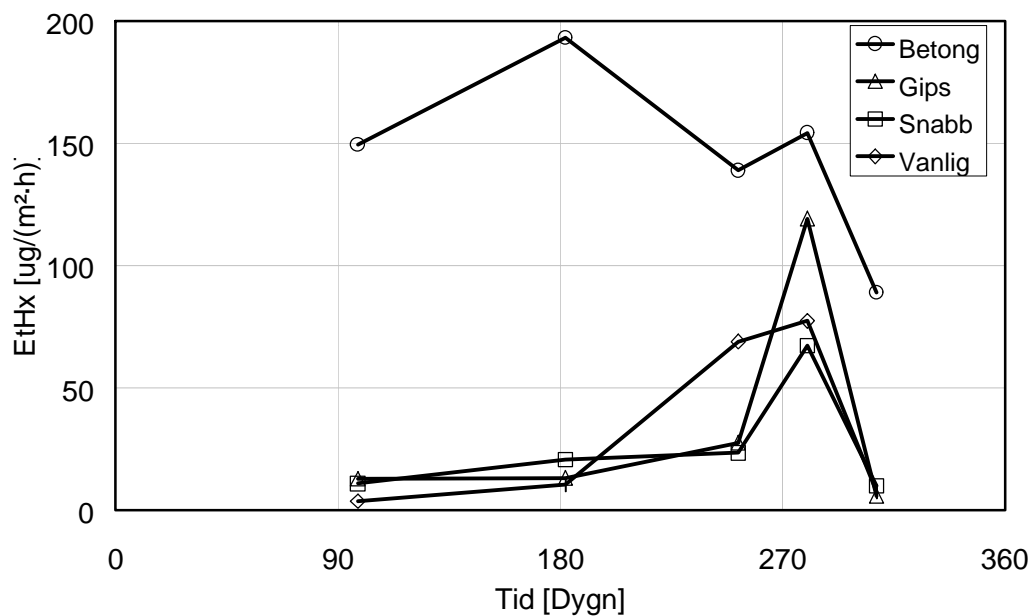
Emissionen från provkroppen utan avjämningsmassa sjunker snabbt. Nedbrytningen har troligtvis avtagit och emissionen är inne i fas tre (avtagande emission).

Slutsatsen av denna jämförelse är

- Avjämningsmassa är en ”säker” lösning på betong med lågt vct utan fukttillskott.
- Avjämningsmassa är en ”osäker” lösning på betong med högt vct eller om det sker ett stort fukttillskott till avjämningsmassan.



Figur 5.37 Emission av BuOH från olika typer av avjämningsmassor. De olika linjerna är medelvärden av två eller tre avjämningsmassor inom respektive typ. Observera den oförklarade höjningen vid ungefär 280 dagar.



Figur 5.38 Emission av EtHx från olika typer av avjämningsmassor. De olika linjerna är medelvärden av två eller tre avjämningsmassor inom respektive typ. Observera de oförklarade höjningarna vid ungefär 280 dagar.



#### 5.4.4 Inverkan av limfukt (d4)

I tabell 5.10 är de viktigaste skillnaderna mellan provkropparna i undersökningen sammanställda. Kompletta beskrivningar av provkropparna finns i tabell 2.32 - 4.35.

*Tabell 5.10 Sammanställning av de viktigaste skillnaderna hos provkropparna i undersökning d4. "Grunduppsättningen" hos provkropparna är: matta M1 – lim L2 – RF » 90 %.*

försök	Speciellt för provkroppen i försöket		BuOH	EtHx	
d4.00	nolla	stål	15	32	
d4.1	B4♥	LT 5	VT 5	3	210
d4.2	---	---	---	899	726
d4.3	---	---	---	1254	895
d4.4	---	---	---	786	641
d4.5	---	---	VT 2	1612	1016
d4.6	---	---	---	1673	876
d4.7	---	LT 20	---	152	178
d4.8	---	---	VT 10	80	114
d4.9	---	LT 5	VT 5	1285	1059
d4.10	---	Avj.	VT 2	27	26
d4.11	---	---	---	20	25
d4.12	---	---	VT 15	17	31
d4.13	---	---	VT 25	3	21
d4.14	B6	LT 5	VT 10	1383	1303
d4.15	---	---	---	1319	1171
d4.16	---	---	VT 2	1986	1504
d4.17	---	---	---	1411	1232
d4.18	---	Avj	---	7	26
d4.19	---	---	---	18	32
d4.20	---	---	VT 15	12	30
d4.21	---	---	VT 25	7	25

♥ belagd med linoleum, matta M3.

Förklaring till tabell 5.10.

**Tredje kolumnen**, TT 5 är 5 dygn torktid (luft), Avj är Strå universal.

**Fjärde kolumnen**, VT 5 är 5 min väntetid vid limning.

**Femte & sjätte kolumnen**, värdena anger högsta uppmätta värden för butanol respektive etylhexanol under undersökningen.

## Inverkan av olika väntetid vid limning

Jämförelsen som görs här visar att det har liten betydelse för emissionen om väntetiden vid limning är två eller fem min. Inte heller en väntetid på tio min gör märkbar skillnad. Jämförelsen görs mellan emissionen från nio försök.

Staplarna för emission av butanol i figur 5.39 visar inte på några klara skillnader mellan två och fem min väntetid vid limning på byggfuktfri betong (B4). De visar inte heller på någon klar skillnad mellan två och tio mins väntetid vid limning på normal husbyggnadsbetong (B6). Överhuvud taget är det svårt att utläsa några tendenser i figuren.

Staplarna för emission av etylhexanol i figur 5.40 visar inte heller på några klara skillnader mellan olika väntetider vid limning på de båda betongerna.

Det som syns genomgående i figur 5.39 är att emission av butanol minskar för samtliga försök. "Butanolen" befinner sig i fas tre med avtagande emission enligt tidigare diskussion. Om mattans motstånd inte har ökat måste koncentrationen på undersidan av mattan sjunka för att flödet genom mattan skall minska. Den rimligaste förklaringen till att koncentrationen minskar är att nedbrytningen minskat eller slutat.

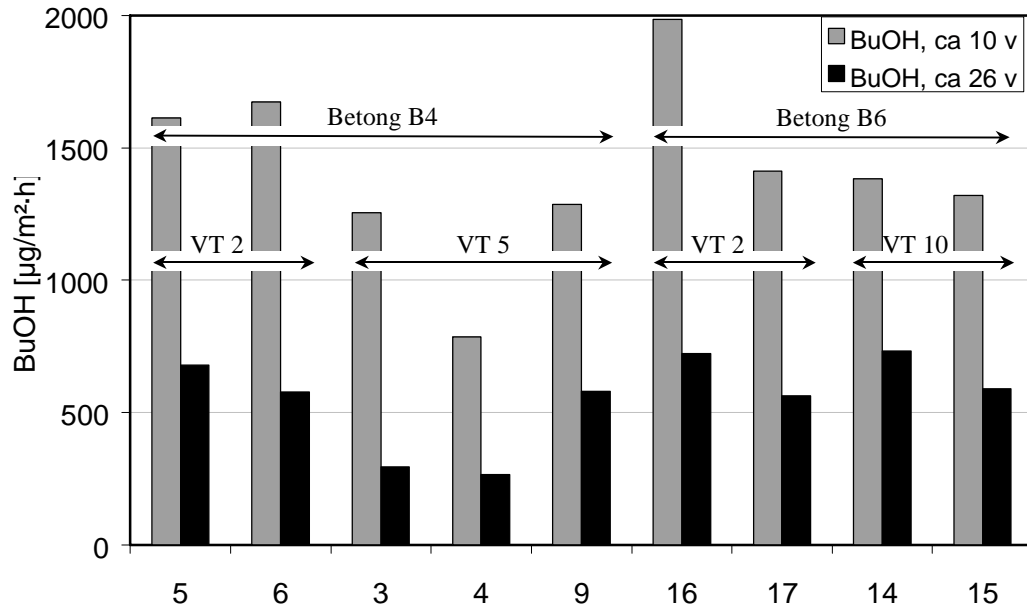
Det är intressant är att emissionen för etylhexanol ökar i de flesta försöken i figur 5.40. Det är möjligt att emissionen har ökat monotont hela tiden. Det skulle innebära att "etylhexanol" befinner sig i fas ett eller möjligen i fas två medan butanol befinner sig i fas tre. Det skulle innebära att nedbrytningen som ger etylhexanol fortgår medan nedbrytningen som ger butanol avstannat vilket inte är rimligt att tro.

För att nedbrytningen skall avstanna måste en avgörande komponent avlägsnas. Den avgörande faktorn som saknas är rimligen  $\text{OH}^-$  det vill säga alkalisk fukt. Fukttillståndet har minskat så pass mycket att nedbrytningen avstannat. Det är inte rimligt att tro att akrylatsampolymeren tagit slut på mindre än 26 veckor när fas två varade i över 80 veckor i undersökning d1 där ett liknande lim använts, se figur 5.26.

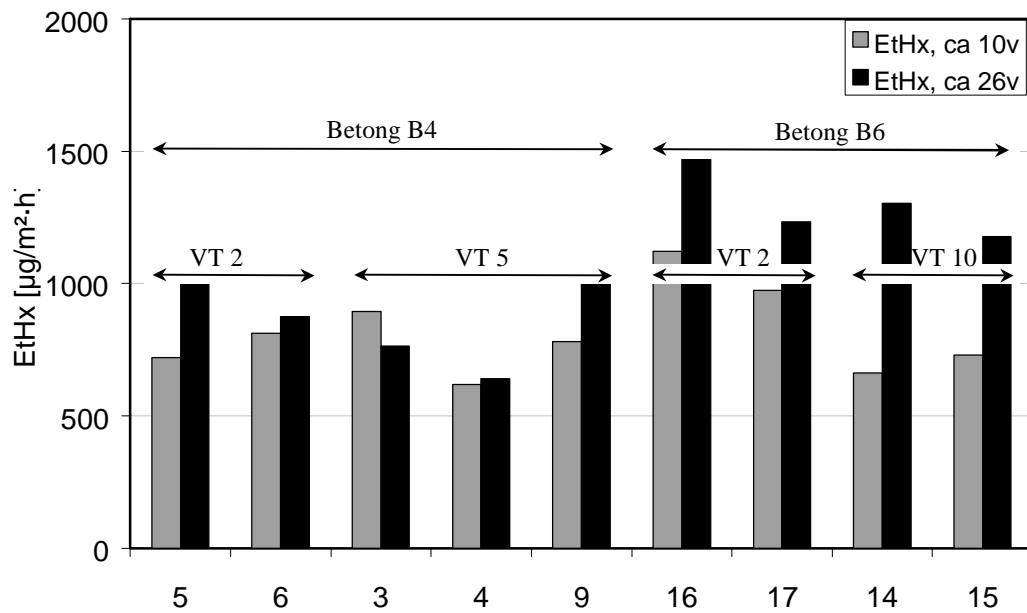
Mätvärdena för etylhexanol som visas i figur 5.40 kommer antagligen från fas två. Variationerna är spridningen i mätningen. Det kan också vara så att det första värdet vid cirka 10 veckor kommer från fas ett medan det andra värdet kommer från fas tre. Det skulle innebära att emissionsförloppet liknar det för etylhexanol i figur 5.25.

Slutsatsen av denna jämförelse är

- Variationen av väntetid inom intervallet 2 – 10 min påverkar ej emissionen.
- Butanol och etylhexanol har olika emissionsförlopp.



Figur 5.39 Medelvärde av butanol från provkroppar med betong B4 och B6. Väntetiden vid limning har varierats mellan 2 och 10 min. Betongen har torkat i 5 dagar.



Figur 5.42 Medelvärde av etylhexanol från provkroppar med betong B4 och B6. Väntetiden vid limning har varierats mellan 2 och 10 min. Betongen har torkat i 5 dagar.

## **Inverkan av torktid av betongytan innan limning**

Jämförelsen som görs här visar på betydelsen av torktiden innan. Emissionen har mätts från 20 försök där samma lim och samma matta använts. De har dock limmats med olika väntetid på två betonger, med och utan avjämningsmassa.

Staplarna i figur 5.41 och 5.42 visar att emissionen är lägre när ytan torkat i 20 dygn än i de försök där den torkat 5 dygn. Provkropparna var av byggfuktfri betong (B4). Skillnaden syns både för butanol och för etylhexanol.

Förklaringen till fenomenet är troligen att pH-värdet sjunkit i betongens yta under torkningen. Bindemedlet i betongen har reagerat med koldioxiden i luften och bildat kalciumkarbonat. Förloppet beskrivs i kapitel 4.3.4. Reaktionen kallas karbonatisering och sänka betongens pH från ungefär 13 till under 9.

En sådan pH-sänkning ger antagligen ett ”osäkert skydd” mot alkalisk nedbrytning. Effekten av karbonatiseringen klarar dock att hålla alkaliteten låg under tiden limfukten utjämnas. Det är rimligt att anta att alkaliteten kan höjas igen i betongens yta genom transport av alkali från okarbonatiserade delar av betongen. Transporten av alkali kan ske då golvkonstruktionen har ett fukttillskott underifrån eller då extremt mycket byggfukt skall torkas ut genom mattan. Effekten borde bli det samma som Alexandersson (1998) visar på för avjämningsmassa.

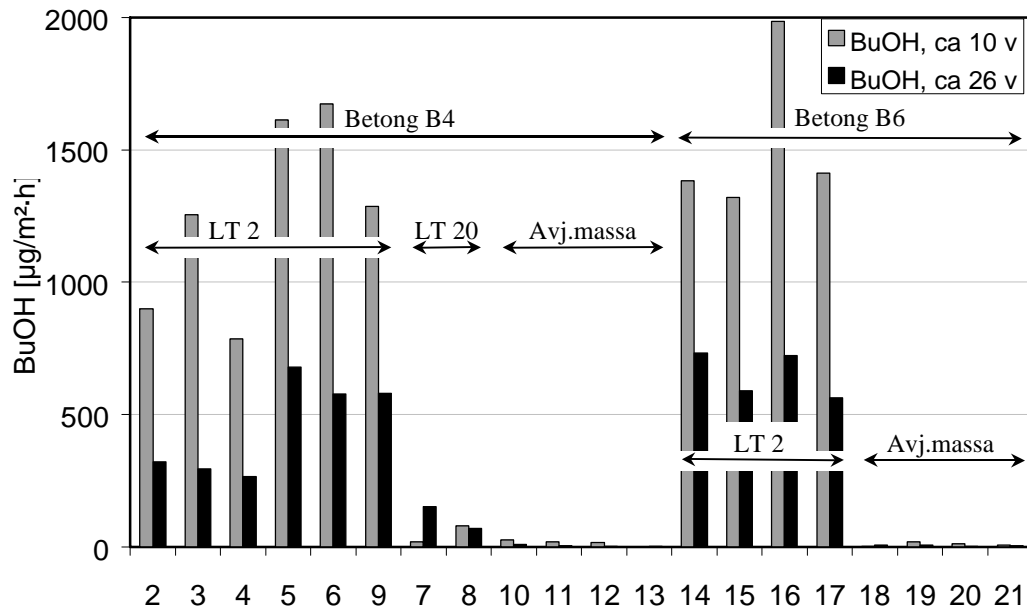
Staplarna i figurerna visar också på lägre emission i de försök där avjämningsmassa gjutits på betongen innan mattan limmats. Avjämningsmassan har en positiv effekt både vid gjutning på byggfuktfri betong (B4) och på normal husbyggnadsbetong (B6).

Långtidseffekten hos avjämningsmassan kan dock skilja sig mellan de olika betongtyperna beroende på eventuella fukttillskott till avjämningsmassan enligt diskussionen tidigare i kapitlet.

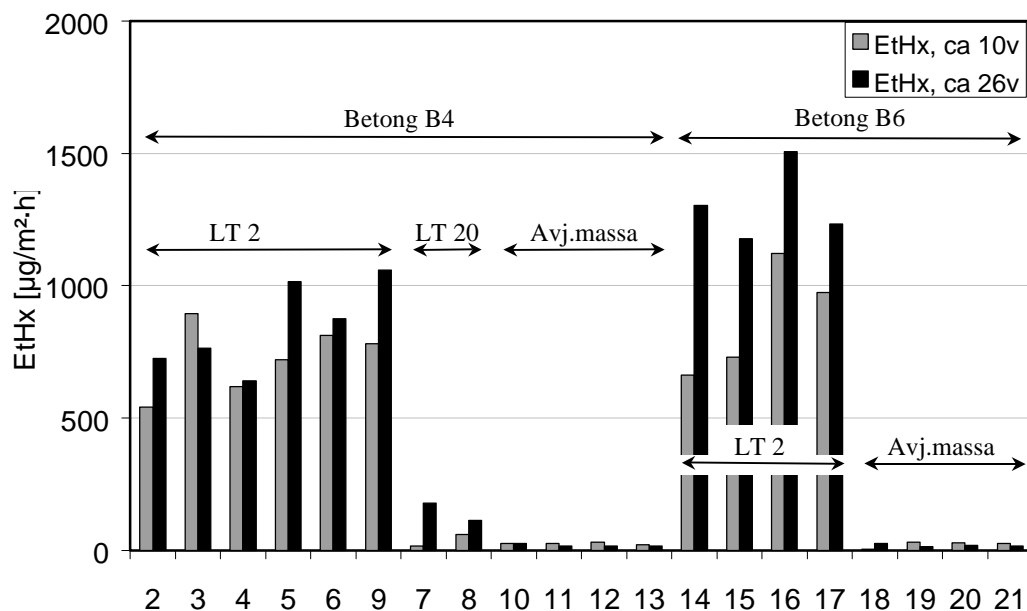
Slutsatsen av denna jämförelse är

- 20 dagar torkning (inklusive karbonatisering) av betongytan före limning sänker emissionen.
- Avjämningsmassa sänker emissionen vid limning på byggfuktfri betong.
- Avjämningsmassa sänker emissionen vid limning på normal husbyggnadsbetong.





Figur 5.41 Inverkan på emission av butanol vid olika torktider av betongytan innan limning samt vid användning av avjämningsmassa. Försöken har gjorts på två betongtyper med ungefär 90 % RF vid limning av PVC-matta.



Figur 5.42 Inverkan på emission av etylhexanol vid olika torktider av betongytan innan limning samt vid användning av avjämningsmassa. Försöken har gjorts på två betongtyper med ungefär 90 % RF vid limning av PVC-matta.



#### 5.4.5 Diffusion av kolväten genom mattan (d5)

Resultaten från mätningarna i undersökning d5 kan användas för att utvärdera motståndet i mattan för transport av kolväten. Beräkningen bygger på Ficks första lag som beskrivs i början av kapitel 5.3. Genom att använda medelvärdet av mätningarna när flödet genom mattan stabiliserat sig samt rimliga antaganden om koncentrationerna på båda sidor om mattan, kan genomgångsmotståndet i mattan beräknas.

I tabell 5.11 redovisas försöksparametrarna och resultatet från emissionsmätningar i undersökning d5 samt det beräknade genomgångsmotståndet för butanol och etylhexanol genom matta.

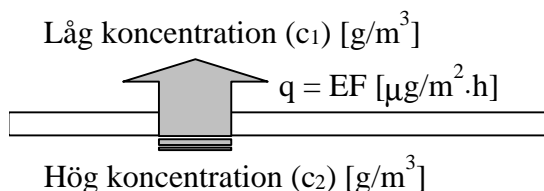
*Tabell 5.11 Försökssammanställning för d5, diffusion genom matta.*

<b>Försök</b>	<b>d5.1</b>	<b>d5.2</b>	<b>d5.3</b>	<b>d5.4</b>
<b>Matta</b>	M1	M1	M1	M1
<b>Vätska</b>	butanol	butanol	etylhexanol	etylhexanol
<b>Kontaktmedium</b>	gas	vätska	gas	vätska
<b>EF [<math>\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})</math>]</b>	12 800	16 100	10 000	7 000
<b><math>z \cdot 10^3</math> [s/m]</b>	4 800	3 800	250	360

Teorin bakom beräkningarna beskrivs på nästa sida.

## Teori bakom beräkning av genomgångsmotståndet för kolväten hos PVC-matta

Flödet genom mattan sker från hög koncentration till låg och är detsamma som EF (emissionsfaktor), se figur 5.43.



Figur 5.43 Flödet  $q$  genom matta är samma sak som EF (emissionsfaktor).

Den drivande kraften i transporten antas vara att koncentrationskillnaden strävar efter att jämna ut sig. Flödets hastighet bestäms dels av skillnaden i koncentration men också av genomgångsmotståndet i mattan.

Flödet ( $q$ ) kan uttryckas med Ficks första lag:

$$q = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

där

$q$	= flöde	[kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
$D$	= diffusionskoefficient	[m <sup>2</sup> /s]
$\partial c$	= koncentrationskillnad	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\partial x$	= avstånd	[m]

Ekvationen kan skrivas om för att gälla ett skikt mellan två olika koncentrationer:

$$q = -D \cdot \frac{c_1 - c_2}{\Delta x}$$

där:

$c$	= koncentration	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta x$	= skiktets tjocklek	[m]

Genomgångsmotståndet för mattan är lika med:

$$z = \frac{\Delta x}{D}$$

där:

$$z = \text{genomgångsmotstånd} \quad [\text{s/m}]$$

Genom att sätta in uttrycket för genomgångsmotståndet i omskrivningen av Ficks första lag samt att ändra om ordningen så minustecknet försvinner erhålls:

$$q = \frac{(c_2 - c_1)}{z}$$

Ekvationen kan skrivas om för att gälla det fall som mättes i undersökning d5. Koncentrationen ( $c_2$ ) på undersidan av mattan var ungefär lika med mätnadskoncentrationen ( $c_m$ ). På ovsidan av matta var koncentrationen ( $c_1$ ) lika med bakgrundskoncentrationen i lokalen ( $c_0$ ). Ekvationen får då formen:

$$q = \frac{(c_m - c_0)}{z}$$

där:

$$c_m = \text{mätnadskoncentration} \quad [\text{kg}/(\text{m}^3)]$$

$$c_0 = \text{bakgrundskoncentration} \quad [\text{kg}/(\text{m}^3)]$$

Proven var placerade i ett dragskåp som kördes på basflöde. Koncentrationen i dragskåpet kan försummas så att  $c_0$  blir 0. Ekvationen kan då förenklas till:

$$q = \frac{c_m}{z}$$

Genomgångsmotståndet ( $z$ ) kan sedan beräknas efter att ha lösts ut ur ovanstående uttryck;

$$z = \frac{c_m}{q}$$

### Beräkning av genomgångsmotståndet hos PVC-matta (M1)

För att beräkna genomgångsmotståndet ( $z$ ) för mattan används den förenklade ekvationen som beskrivs ovan.

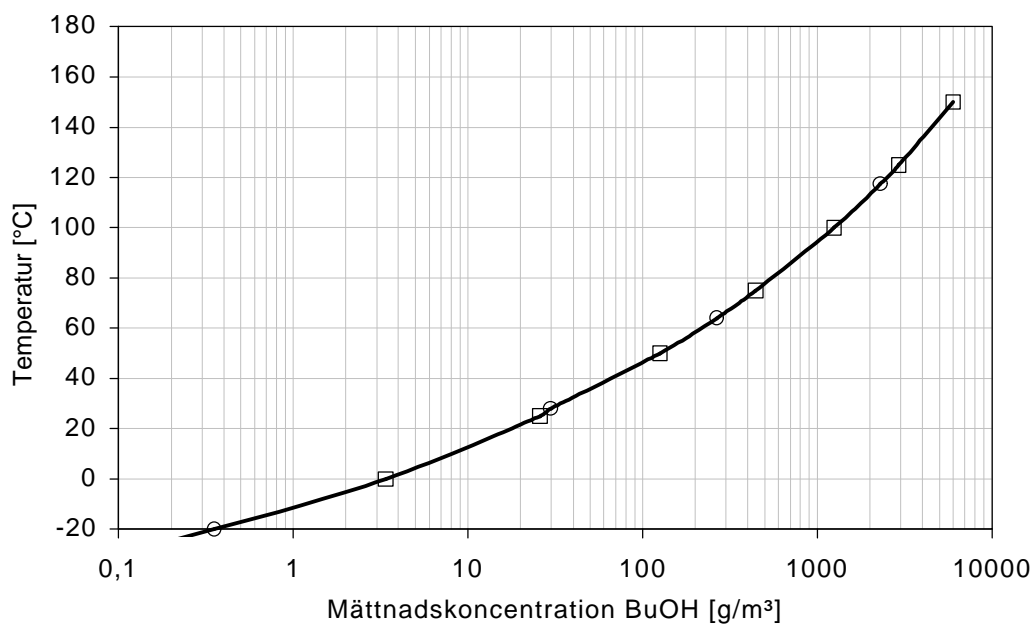
Flödet ( $q$ ) genom mattan bestäms som medelvärdet av de tre sista emissionsmätningarna i de olika försöken, se tabell 4.36.

Mättnadsånghalten ( $c_m$ ) för butanol och etylhexanol avläses för rumstemperatur (20 °C) i figur 5.44 respektive 5.45. Dessa är  $17 \cdot 10^{-3}$  respektive  $0,710^{-3}$  [kg/m<sup>3</sup>].

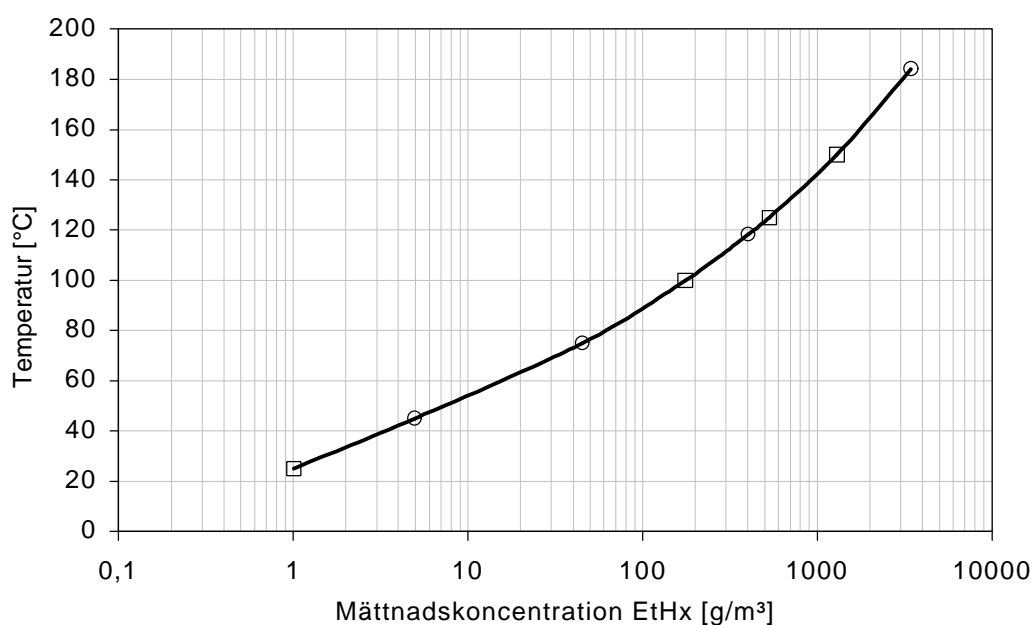
I tabell 5.12 redovisas parametrarna och resultatet från undersökning d5 samt det beräknade genomgångsmotståndet för butanol och etylhexanol genom matta.

Tabell 5.12 Sammanställning av de värden som använts för att räkna fram de diffusionskoefficienter som redovisas för mattan.

Försök	d5.1	d5.2	d5.3	d5.4
EF [µg/(m <sup>2</sup> ·h)]	12 800	16 100	10 000	7 000
$q \cdot 10^{-9}$ [kg/(m <sup>2</sup> ·s)]	3,56	4,48	2,79	1,94
$C_m \cdot 10^{-3}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	17	17	0,7	0,7
$z \cdot 10^3$ [s/m]	4 800	3 800	250	360



Figur 5.44 Mättnadsånghalt för butanol vid olika temperaturer, värden hämtade ur CRC (1997). Värden markerade med fyrkant i figuren är dock hämtade ur 76:e upplagan, år 1995.



Figur 5.45 Mättnadsånghalt för etylhexanol vid olika temperaturer, värden hämtade ur CRC (1997). Värden markerade med fyrkant i figuren är dock hämtade ur 76:e upplagan, år 1995.





#### 5.4.6 Jämförelse mellan försök från olika studier

Det förekommer jämförelser av resultat från flera olika emissionsstudier. Detta är mycket osäkert att jämföra klimatbetingelser såsom torktid och RF på detta sätt eftersom materialvalet i provkropparna sällan varit detsamma.

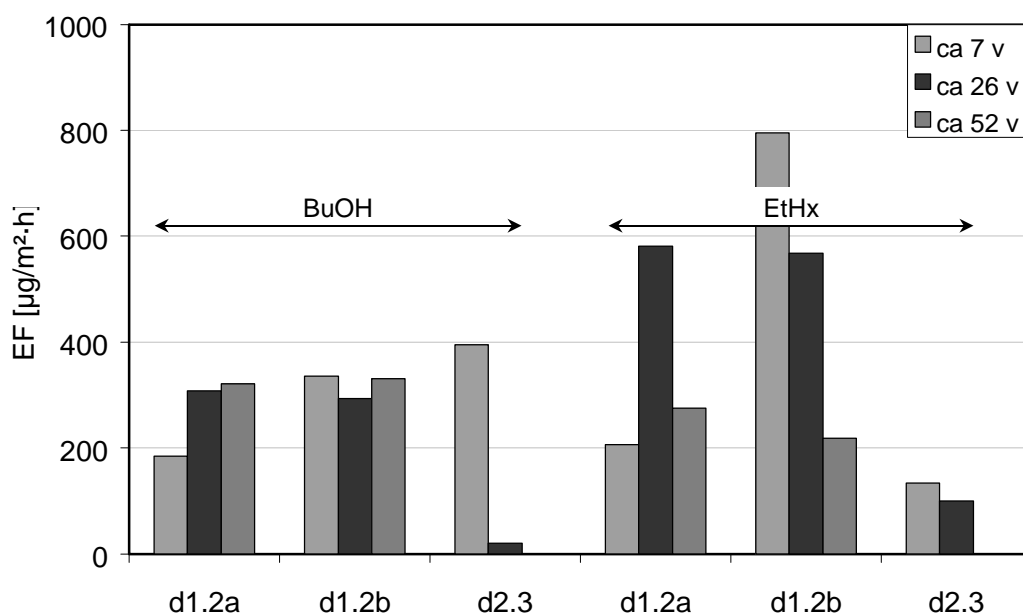
I detta kapitel har dock några försök sammanställts där materialvalet varit detsamma. Försöken är dels hämtade från den här studien men också från studien av Wengholt Johnsson (1995) och den som gjordes av Alexandersson (1998).

#### Jämförelse mellan olika försök innehållande Aqua Smaragd från Forbo-Forshaga (M1) samt Futurum från Bona kemi (L1)

Undersökningarna visar olika resultat enligt figur 5.46. Både emissionsnivå och emissionsförlopp skiljer undersökningarna åt. Detta kan dock till viss del förklaras av nedanstående olikheter.

Två saker skiljer mellan undersökningarna, typen av underlag samt att olika instrument använts för analysen. I försök d1 var underlaget pH-lösning (P3) medan det var betong (B4) i försök d2.

Provtagning har skett med samma utrustning. Analysen har däremot skett av olika personer på olika instrument. I undersökning d1 användes GC:n på Institutionen för byggnadsmaterial medan GC:n på Institutionen för kemisk miljövetenskap användes i undersökning d2.



Figur 5.46 Jämförelse mellan emission från två olika undersökningar där lim (L1) samt matta (M1) använts. Mätvärde vid 52v saknas för d2.3.

## Jämförelse mellan olika försök innehållande Aqua Smaragd från Forbo-Forshaga (M1) samt CascoProff 3448 (L2)

Undersökningarna visar skillnader i resultat från emissionsmätningarna när mattan limmades på betong (B4) men inga skillnader när mattan limmades på Strå universal avjämningsmassa, se figur 5.47 och 5.48.

Gjutning, mattläggning, provtagning samt analys av TENAX-rör gjordes av samma personer med samma utrustning i de båda undersökningarna. Om inte alla parametrar som inverkar är kända antas det att ”allt” var lika mellan undersökningarna. Resultaten skiljer sig åt vilket innebär att någon eller några viktiga parametrar som skilde inte hade beaktats.

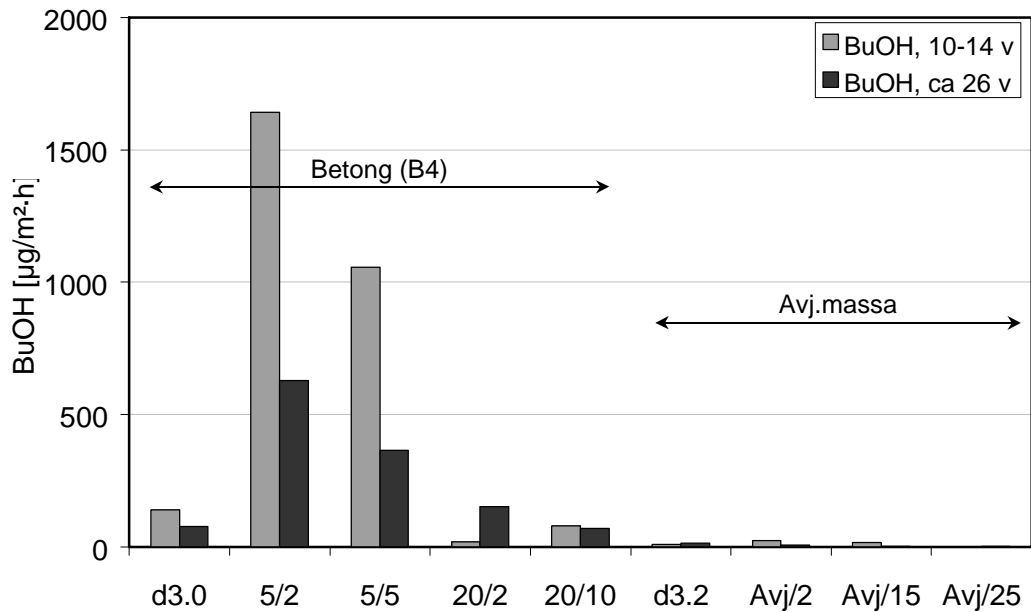
Emissionen från försök d3.0 är låg i förhållande till emissionen av försöken i undersökning d4. Värdena från d4 anges i figurerna som exempelvis 5/2. Femman (5) står för fem dygns torktid (TT) av betongen innan limning och tvåan (2) står för två min väntetid vid limning. TT var ungefär ett dygn i försök d3.0. Genom att bara studera staplarna kan felaktiga slutsatser dras om att torktiden var längre.

Emissionen från försök d3.2 är låg. Emissionen från försöken i undersökning d4 som innehållit avjämningsmassa är också låg. Det är inte möjligt att avgöra om nedbrytningen haft samma intensitet och förlopp i de olika försöken eftersom det är så liten skillnad mellan emissionen.

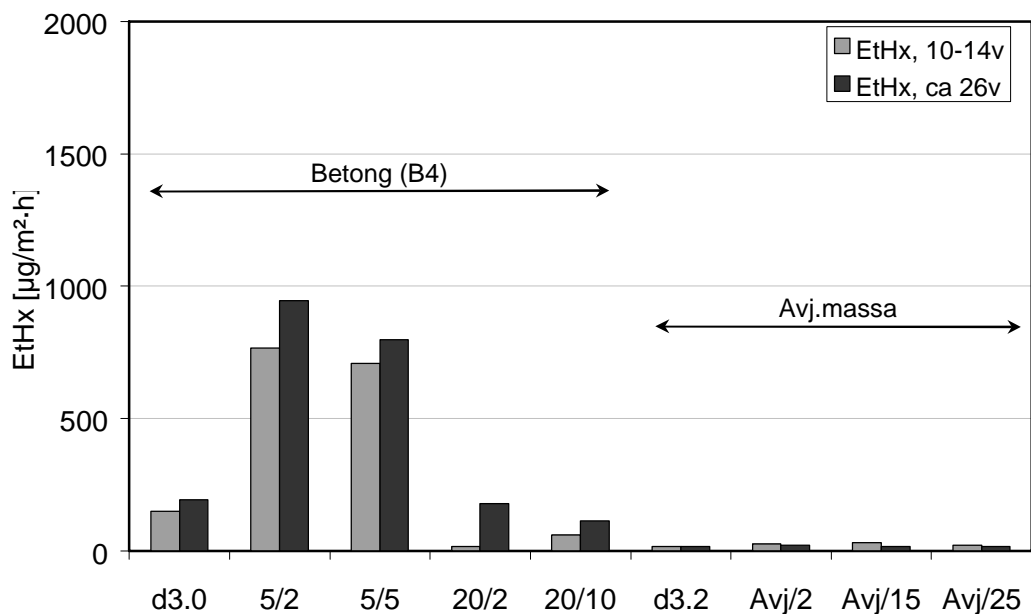
Alla försöken visar på låga emissioner men det finns dock en skillnad i till exempel butanol mellan d3.2 och avj/25 om man tittar noga. Det är dock inte möjligt att avgöra om det är någon skillnad mellan försöken då skillnaden är mycket mindre än osäkerheten i mätmetoden.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Reproducerbarheten vid undersökning av emission från provkroppar är låg eftersom alla parametrar inte beaktas.
- Det går inte att jämföra mätvärden från olika undersökningar med varandra, inte ens om samma person gjort båda undersökningarna.
- Parametrar som ger resultat av karaktären on/off där det antingen sker nedbrytning eller inte går att jämföra mellan olika undersökningar.



Figur 5.47 Jämförelse av emissionen mellan två undersökningar där samma lim (L2) och matta (M1) använts. Värdena från undersökning d4 har sammanställts så att medelvärdet av flera försök presenteras i en stapel. Värdet före snedstrecket är LT, torktiden i dygn och efter är VT, väntetiden vid limning i min.



Figur 5.48 Jämförelse av emissionen mellan två undersökningar där samma lim (L2) och matta (M1) använts. Värdena från undersökning d4 har sammanställts så att medelvärdet av flera försök presenteras i en stapel. Värdet före snedstrecket är LT, torktiden i dygn och efter är VT, väntetiden vid limning i min.

## Jämförelse mellan olika försök innehållande Aqua Smaragd från Forbo-Forshaga (M1) samt Evonor 2001 från Bostik (L4)

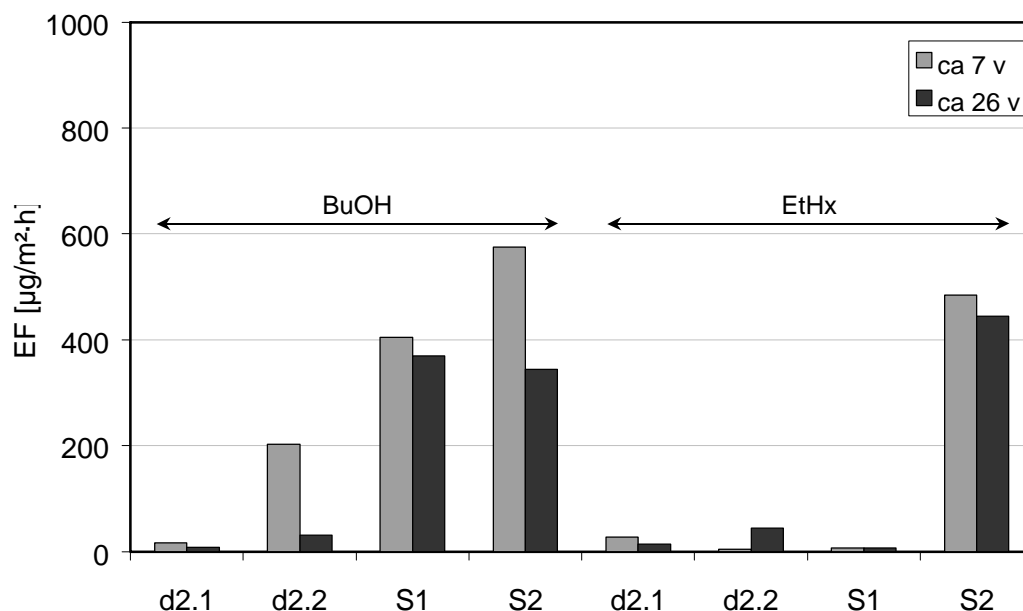
Jämförelsen visar olika värden vid emissionsmätningar på försök i denna studie (d2.1 och d2.2) och försök gjorda av Wengholt Johnsson (1995) (S1 och S2), se figur 5.49. Dessa fyra försök har behandlats på samma sätt hela tiden från gjutning till analys men emissionsbilden från dem stämmer ändå inte överens.

Betongen (B4) har blandats med samma recept och gjutits av samma personer i båda undersökningarna. Torktiden, limningsmetoden och väntetiden (VT) har enligt uppgift varit lika. Provtagningen och analysen vid emissionsmätningarna har gjorts av samma person och med samma utrustning i undersökningarna.

Reproducerbarheten i försöken är så låg att det inte går att dra slutsatser om nivån på emissionen. Några mer generella slutsatser kan dock dras.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Båda undersökningarna visar på att det förekommit nedbrytning i provkroppen.
- Emissionen minskar mellan 7 och 26 v för alla försök utom vid mätningar av etylhexanol från d2.2.
- Emissionsförloppet är på gränsen till, eller inne i fas tre, med avtagande emission, vid 26 veckor.



Figur 5.49 Jämförelse mellan samma materialkombination; betong B4, lim L4 samt matta M1. S1 och S1 ingick i undersökningen som beskrivs i Wengholt Johnsson (1995).

## Jämförelse mellan olika försök där PVC-matta limmats med vattenbaserat dispersionslim på byggfuktfri betong med avjämningsmassa.

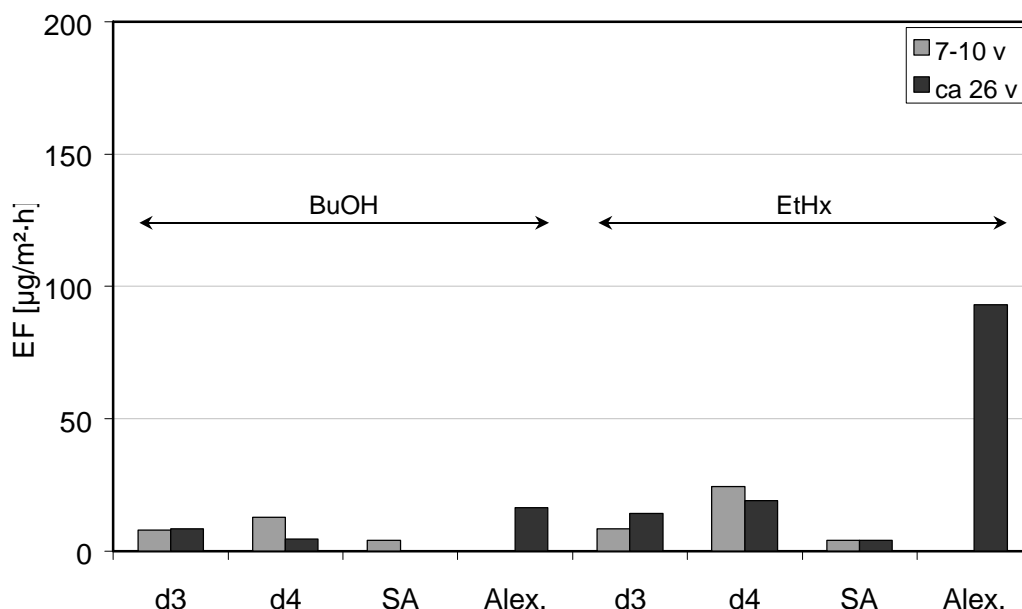
Gemensamt för försöken är att PVC-matta limmas på aluminatbaserad avjämningsmassa och att emissionsnivån är låg, se figur 5.50. Effekter av karaktären on/off är möjliga att jämföra mellan undersökningar.

Försöken d3 och d4 är hämtade ur denna rapport. SA är namnet på provkroppar från Wengholt Johnsson (1995). Alex. står för resultat som hämtas från undersökningen i Alexandersson (1998). Alla värden är medelvärden från emissionsmätningar på flera provkroppar.

Alla försöken visar på låga emissioner från materialkombinationer där avjämningsmassa ingår. Det är därför rimligt att anta att det är avjämningsmassorna som hindrar nedbrytningen av limmet. Det verkar i alla fall som om avjämningsmassa baserad på aluminatcement har den effekten. Eftersom "ingen" nedbrytning sker uppstår inte heller någon emission från provkropparna.

### Slutsatsen av denna jämförelse är

- Aluminatcementbaserade avjämningsmassor på byggfuktfri betong hindrar nedbrytning av limmet.



Figur 5.50 Jämförelse mellan fyra undersökningar där emissionen mätts från golvsystem med aluminatbaserad avjämningsmassor. Provkropparna var belagda med limmade PVC-mattor.

## Jämförelse mellan olika försök där linoleummatta limmats med vattenbaserat dispersionslim på byggfuktfrif betong.

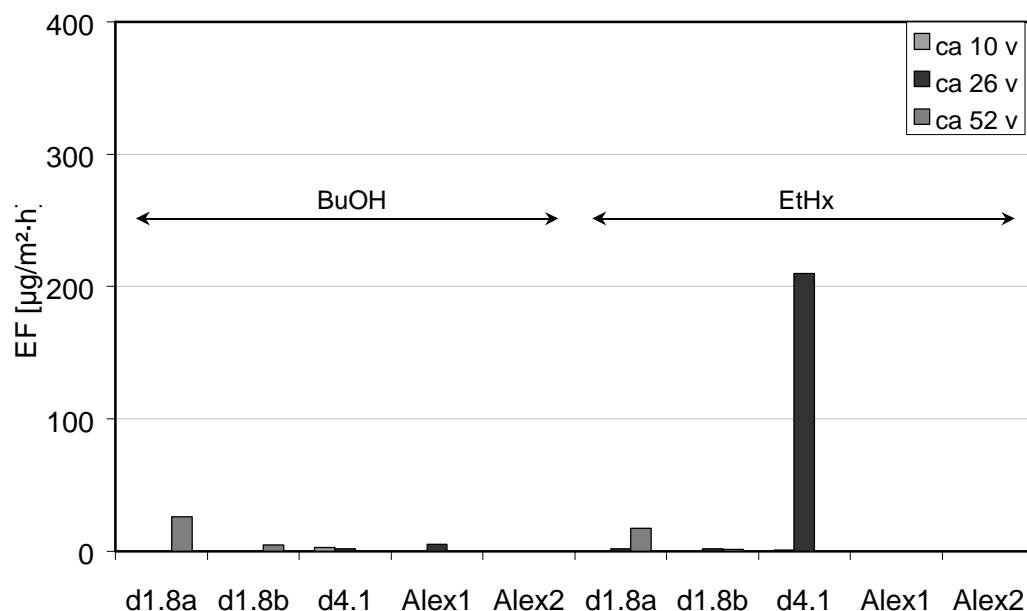
Gemensamt för försöken är att linoleummatta limmas på byggfuktfrif betong och att emissionsnivån är låg, se figur 5.51. Effekter av linoleummatta är av karaktären on/off på samma sätt som med avjämningsmassa. Det sker ingen nedbrytning av limmet under en sådan matta, åtminstone avges inga kolväten från mattans översida. Linoleummattorna är av tre olika fabrikat och tre olika lim har använts. Endast försök d1.8b och d4.1 har haft samma kombination av matta och lim.

Försöken d1 och d4 är hämtade ur denna rapport och Alex1 samt Alex2 kommer från Alexandersson (1998). Alla försök är inte mätta vid tre tillfällen, vid mätningen efter 10 veckor saknas d1.8a och b samt Alex1 och 2. Vid mätningen efter 52 veckor saknas d4.1 samt Alex1 och 2.

Nedbrytning av limmet borde rimligen ske i undersökning d1 eftersom de avgörande komponenterna  $\text{OH}^-$  och akrylatsampolymer finns närvarande. Av någon oförklarad anledning är dock emissionen låg från alla försöken.

Slutsatsen av denna jämförelse är

- Golvsystem med linoleummatta ger låg emission, även då nedbrytning av limmet rimligen sker.



Figur 5.51 Jämförelse mellan tre undersökningar där emissionen mätts från golvsystem med linoleummatta. Olika fabrikat av linoleummatta och lim har kombinerats på byggfuktfrif betong. I undersökning d1 var underlaget pH-lösning (P3).

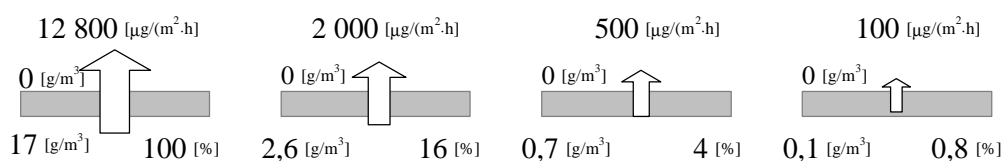
#### 5.4.7 Slutsatser

De flesta slutsatserna i detta kapitel har redan dragits i samband med de olika jämförelserna. En sammanfattning av de viktigaste slutsatserna görs dock nedan.

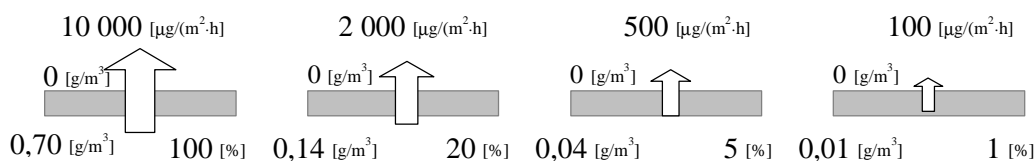
- Ett effektivt kritiskt pH för nedbrytning av lim ligger mellan 11 och 13. Det finns antagligen ingen absolut gräns; nedbrytningen avtar (exponentiellt) i förhållande till tillgången av  $\text{OH}^-$ .
- Valet av material påverkar emissionen. Olika lim bryts ned olika fort och mycket. Mixen av kolväten som bildas vid nedbrytningen blir olika för olika lim. Valet av matta påverkar också emissionen. Linoleum ger av någon oförklarad anledning låga emissioner i alla försök.
- Det måste finnas vissa avgörande komponenter i systemet för att nedbrytningen skall kunna ske. Dessa komponenter är alkalisk fukt ( $\text{OH}^-$ ) och nedbrytbart organiskt material. I lim är detta organiska material akrylatsampolymerer.
- Den totala mängden kolväten som kan bildas under mattan begränsas av tillgången av de avgörande komponenterna. Alkalisk fukt är antagligen den i praktiken avgörande komponenten. Det vill säga att det blir för torrt för att nedbrytningen skall kunna fortgå.
- Emissionsförloppet är olika för olika kolväten men kan generaliseras i tre faser:
  1. Startfas då emissionen ökar. Fenomenet beror på att det tar en tid för kolvätena att transporteras genom mattan.
  2. Stationär fas då emissionen är konstant. Koncentrationen av kolväten under mattan förändras inte under denna fas.
  3. Avklingning med avtagande emission. Nedbrytningen har slutat och koncentrationen under mattan avtar med tiden.
- Avjämningsmassa reducerar emissionen. En undersökning visar att alla typer av avjämningsmassa har den effekten. Flera undersökningar av olika forskare visar på att åtminstone aluminatcementbaserad avjämningsmassa gör det.
- Torktiden för betong är avgörande i olika avseenden. Dels sker en uttorkning av betongen eller i täta betonger bara ytan och dels sker antagligen en pH-sänkande karbonatisering.
- Limningsmetoden har avgörande betydelse för limning av PVC-mattor direkt på byggfuktfri betong. Antagligen inverkar den vid limning på normal husbyggnadsbetong också. Häftlimning ger mindre emission än våtlimning.
- Reproducerbarheten, alltså samstämmigheten mellan resultaten när försöket görs om av samma eller annan person, är låg. Emissionsmätningarna visar på olika resultat när likadana provkroppar används i olika undersökningar.

- Repeterbarheten, alltså när en mätning görs om med samma förutsättningar, går inte att studera. Enligt bilaga 3 påverkas provkroppen av provtagningen. I någon mån kan dock repeterbarheten hos en del av provtagningen samt i analysen bestämmas genom att analysera flera TENAX-rör från samma provtagning.
- Mattans genomgångsmotstånd har avgörande betydelse för emissionen i alla faser. Tidsförloppet i fas ett är bland annat proportionellt mot mattans genomgångsmotstånd. Emissionens nivå under fas två är beroende av mattans genomgångsmotstånd men också av koncentrationen under mattan. Avklingningsförloppet under fas tre är beroende av mattans genomgångsmotstånd.

Genom att veta mattans genomgångsmotstånd kan koncentrationen under mattan utvärderas genom att mäta flödet (EF) genom mattan, se figur 5.52 och 5.53. Värdet på koncentrationen under mattan kan sedan ligga till grund för dimensionering av åtgärdsförslag vid renovering. Inträngningen av kolväten i betongen kan beräknas enligt kapitel 5.3.



Figur 5.52 Sammanställning av koncentrationen av butanol under matta som kan skapa olika flöden och därmed emissionsfaktorer [EF].



Figur 5.53 Sammanställning av koncentrationen av etylhexanol under matta som kan skapa olika flöden och därmed emissionsfaktorer [EF].



#### 5.4.8 Fortsatt forskning

I fortsatt forskning inom området bör insatserna inriktas på att förbättra förståelsen för processerna som sker i materialen. Många av de viktiga egenskaperna i systemet är inringade. Intressanta frågeställningar att utreda är:

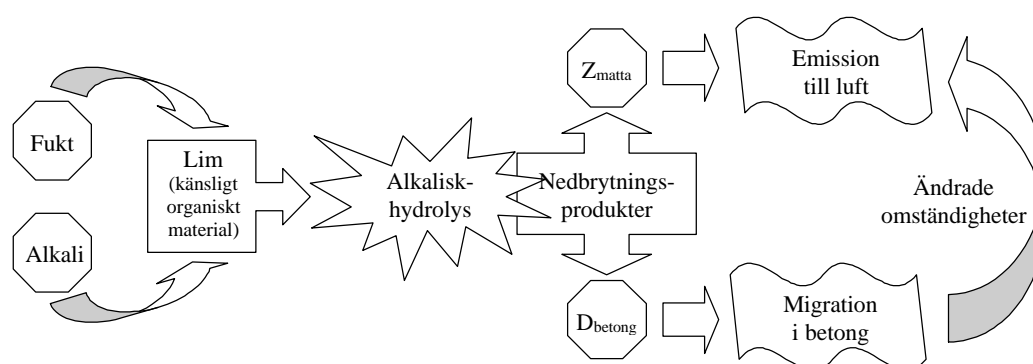
- Skillnader i materialval har visat oförklarade resultat i flera försök. Det är avgörande att förstå vad som orsakar dessa skillnader och att kunna reproducera den.
- Närmare studera avjämningsmassans skyddande effekt på både byggfuktfri betong och normal husbyggnadsbetong med långtidsförsök. Detta kan göras för att förstå mekanismerna och bekräfta de effekter som påvisats.
- Förklara karbonatiseringens eventuella roll.
- Studera inverkan av spärnskikt såsom fuktspärrar och alkalispärrar.
- Bestämma genomgångsmotståndet för fler mattor än den som använts i undersökningen. Mattornas genomgångsmotstånd förklarar antagligen en del av skillnaderna som påvisats då olika mattor ställts mot varandra.
- Öka noggrannheten i ”protokollet” genom att ta fram ett lim där nedbrytningsprodukternas mängder är bestämda. Sedan kan variabelanalys göras med limmängder och pH-värden med det limmet på plattan.
- Sammanställa ”protokoll” för riktiga golvkonstruktioner. Detta kan göras genom att bestämma emissionen från golvet, hur stor del av limmet som är nedbrutet samt mängden kolväten som trängt ner i betongen.
- Skapa en beräkningsbar modell av emissionsförloppet. Modellen baseras på fysikaliska processer och tar hänsyn till nedbrytning av lim, transport ner i betongen samt emission från mattans yta.
- Öka reproducerbarheten i emissionsmätningarna, exempelvis genom att standardisera metoderna mer, alternativt bestämma de faktorer som påverkar spridningen så de kan kontrolleras.



## 6 Kvalitativ modell

### 6.1 Allmänt

Modellen som diskuterades i det inledande kapitlet har verifierats av mätningarna i den här studien. Samband och egenskaper som avgör emissionen från golvkonstruktionen har bestämts, se figur 6.1. Några av de viktiga egenskaperna i systemet är uppmätta för åtminstone ett av materialen i materialgruppen.



Figur 6.1 Blockschema över den kvantitativa modellen.

De två avgörande komponenterna för nedbrytningen är alkalisk fukt och akrylat-sampolymer. I blockschemat ovan visas det genom att fukt och alkali måste påverka limmet. Det räcker inte med den ena av dem. Om dessa villkor är uppfyllda sker en nedbrytning, så kallad alkalisk hydrolys av limmet och nedbrytningsprodukter bildas.

Dessa nedbrytningsprodukter, som bland annat är de kolväten som mätts i studien, kan sedan transporteras bort. Beroende på genomgångsmotståndet hos mattan och diffusiviteten i betongen vandrar nedbrytningsprodukterna i olika omfattning uppåt och nedåt.

Den mängd som migrerat ner i betongen kan senare, när omständigheterna på ytan förändrats, vandra upp igen och avgå till luften.

För att ge en uppfattning om vad denna modell får för konsekvens har tre typfall gåtts igenom och kvalitativt utvärderats. Tidsskalan och omfattningen av reaktionen och transportererna är svåra att avgöra med modellen på det här stadiet. Typfallen är limning av PVC-matta på:

1. Normal husbyggnadsbetong
2. Byggfuktfri betong
3. Byggfuktfri betong med avjämningsmassa

## **6.2 Normal husbyggnadsbetong**

### **Gjutning fram till limning, figur 6.2**

Fuktnivån sjunker i betongen den första tiden efter gjutning. Uttorkningen sker från ytan. En starkt lutande fuktprofil bildas då fukt transporteras upp genom betongen.

Alkali transporteras med fukten upp mot ytan och avlagras där vattnet avdunstar. Karbonatisering av betongytan sänker pH-värdet.

### **Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter, figur 6.3**

Limfukten höjer fuktnivån i betongens överkant. Den kritiska fuktigheten överskrids dock inte.

Alkali följer troligtvis med limfukten tillbaka in i betongen. Transporten är antagligen så liten att den inte har någon praktisk betydelse.

### **Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare, figur 6.4**

Fuktnivån jämnar ut sig till samma nivå i hela betongen. Om betongen var fuktig då mattan limmades kommer nivån att ligga över kritisk fuktighet för nedbrytning av limmet.

Det karbonatiserade skiktet realkaliseras.

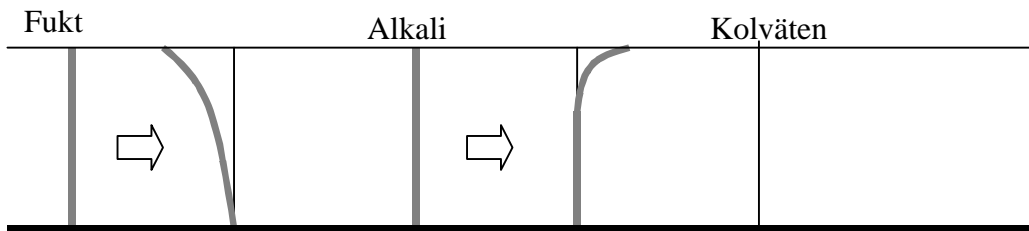
Kolväten bildas genom nedbrytning av limmet. En hög koncentration av dessa kolväten precis under mattan gör att de vandrar upp genom mattan och ner i betongen. Det tar en tid för dessa kolväten att diffundera genom mattan och börja avges till rumsluften. Under hela tiden tränger kolväten ner i betongen.

### **Från någon månad efter limningen till flera år senare, figur 6.5**

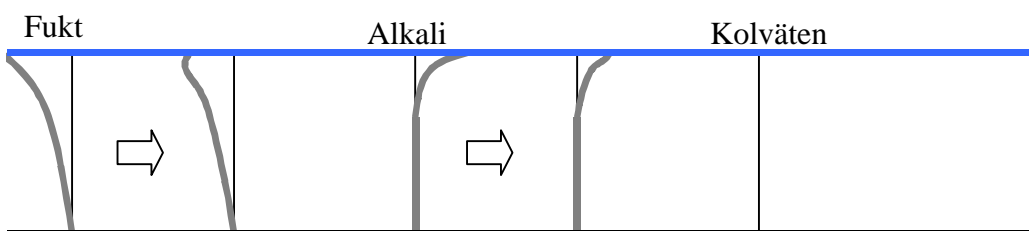
Fukten i betongen torkar mycket långsamt ut genom mattan. Så småningom sjunker fuktnivån så att den ligger under kritiskt värde.

Efter en tid minskar nedbrytningen och slutar helt om fuktnivån blir tillräckligt låg. Koncentrationen under mattan minskar då nedbrytningen stannar eftersom inga nya kolväten bildas och det sker transport både uppåt och nedåt. Diffusionen genom mattan och avgivningen till rumsluften avtar proportionellt med minskande koncentration under mattan. Migrationen ner i betongen fortsätter men minskar i omfattning då koncentrationen under mattan minskar.

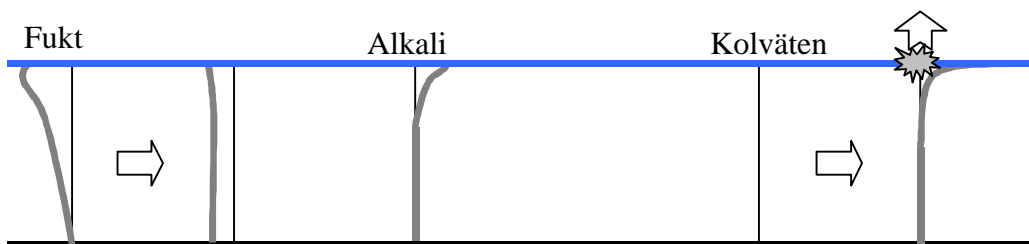
Blir koncentrationen under mattan lägre än den i betongen kommer transporten att vända och kolvätena transporteras upp från betongen och vidare ut genom mattan till rumsluften. Om det förblir fuktigt länge, pågår nedbrytningen och emissionen till avgörande komponent tar slut.



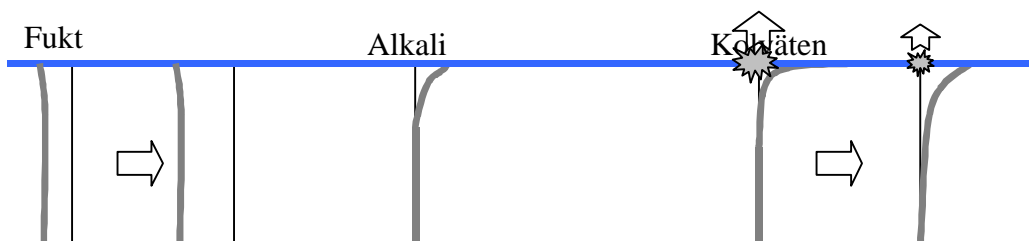
Figur 6.2 Gjutning fram till limning.



Figur 6.3 Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter.



Figur 6.4 Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare.



Figur 6.5 Från någon månad efter limningen till ungefär något år senare.

### **6.3 Byggfuktfri betong**

#### **Gjutning fram till limning, figur 6.6**

Fuktnivån sjunker i betongen den första tiden efter gjutning. Uttorkningen sker till största del genom självuttorkning. En liten del av vattnet transporteras till ytan där det avdunstar, det bildas en liten fuktprofil som är lägre i ytan

Alkali transporteras med fukten upp mot ytan och avlagras när vattnet avdunstar. Betongytan karbonatiseras något så att pH-värdet sjunker.

#### **Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter, figur 6.7**

Limfukten höjer fuktnivån i betongens överkant. Kritisk fuktnivå överskrids eftersom betongen är så tät att den inte kan omfördela fukten.

Alkali följer troligtvis med limfukten tillbaka in i betongen. Transporten är antagligen så liten att den inte har någon praktisk betydelse. En total rekarbonatisering kan ske.

Kolväten bildas genom alkalisk hydrolys av limmet. En hög koncentration av dessa kolväten precis under mattan gör att de vandrar upp genom mattan och ner i betongen. Det tar en tid för dessa kolväten att penetrera mattan och börja avgas till rumsluften. En liten nerträngning av kolväten i betongen sker under den här tiden.

#### **Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare, figur 6.8**

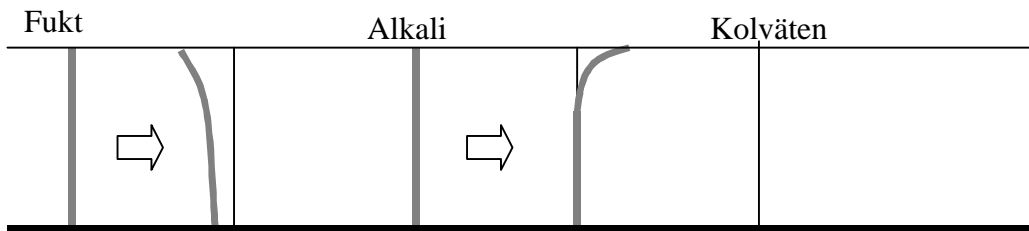
Fuktnivån fortsätter att sjunka på grund av självuttorkningen fast i mindre omfattning nu. Fukttillskottet av limfukten har jämnat ut sig liksom det mesta av fuktprofilen på grund av ytuttorkningen. Fuktnivån i ytan ligger inte längre över kritisk nivå.

Kolväten som bildats under mattan har nu penetrerat den och avgår till rumsluften. Nedbrytningen har upphört i och med att fuktnivån har sjunkit under kritisk nivå. Koncentrationen av kolväten under mattan minskar då nedbrytningen stannar eftersom det sker transport både uppåt och nedåt och inga nya kolväten tillkommer.

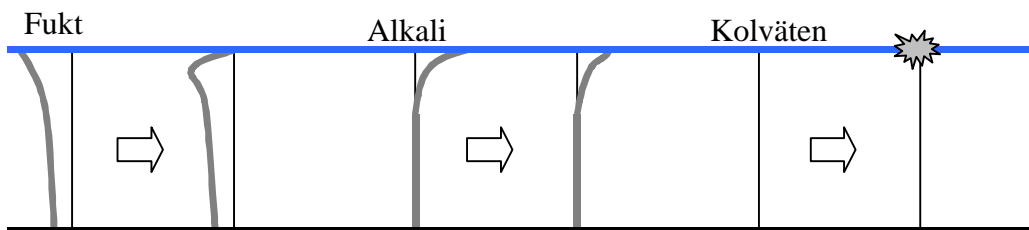
#### **Från någon månad efter limningen till ungefär något år senare, figur 6.9**

Fukten i betongen torkar långsamt ut genom mattan. Självuttorkningen har i det närmaste upphört. Visserligen fortsätter betongen att hydratisera och förbruka vatten men det är i så låg omfattning att det saknar betydelse..

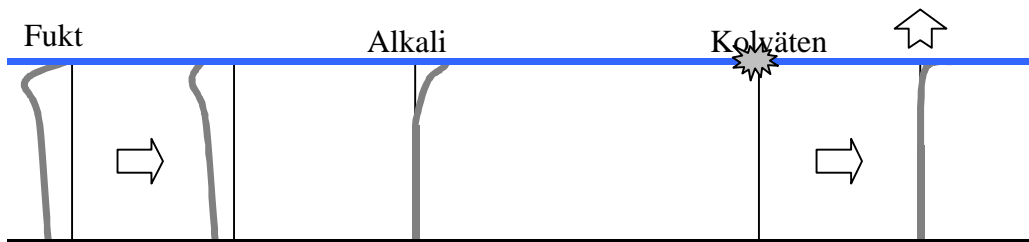
Penetrationen av mattan och avgivningen till rumsluften avtar proportionellt med minskande koncentration under mattan. Migrationen ner i betongen fortsätter men minskar i omfattning då koncentrationen under mattan minskar. Blir koncentrationen under mattan lägre än den i betongen kommer transporten att vända och kolvätena transporteras upp från betongen och vidare ut genom mattan till rumsluften.



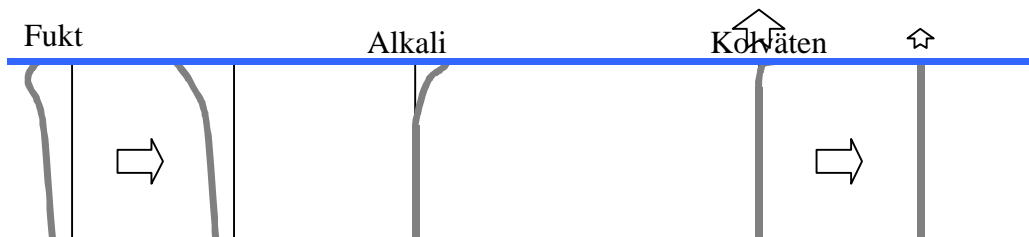
Figur 6.6 Gjutning fram till limning.



Figur 6.7 Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter.



Figur 6.8 Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare.



Figur 6.9 Från någon månad efter limningen till ungefär något år senare.

## **6.4 Byggfuktfri betong med avjämningsmassa**

### **Gjutning fram till limning, figur 6.10**

Fuktnivån sjunker i betongen den första tiden efter gjutning. Uttorkningen sker till största del genom självuttorkning. Avjämningsmassan når en låg fuktnivå på kort tid eftersom den är diffusionsöppen och snabbt kan torka ut genom ytan.

Avjämningsmassan karbonatiserar lätt.

Alkali transporteras med fukten upp mot ytan innan avjämningsmassan lagts. Alkali följer troligtvis med fukt från avjämningsmassan tillbaka in i betongen. Transporten är antagligen så liten att den inte har någon praktisk betydelse.

### **Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter, figur 6.11**

Limfukten höjer fuktnivån i avjämningsmassan. Avjämningsmassan är så öppen och porös att fukten omfördelas i skiktet utan att kritiskt fuktnivå överskrids.

Dessutom är de flesta avjämningsmassor baserade på aluminatcement vilket gör att de har ett pH på omkring 11 i okarboniserat tillstånd.

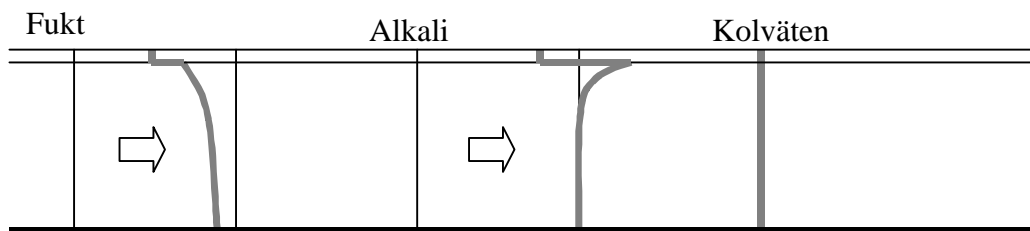
### **Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare, figur 6.12**

Fukttillskottet av limfukten i avjämningsmassan börjar att fördela sig ner i betongen samt torka ut genom mattan. Fuktnivån i betongen fortsätter att sjunka på grund av självuttorkningen fast i mindre omfattning nu.

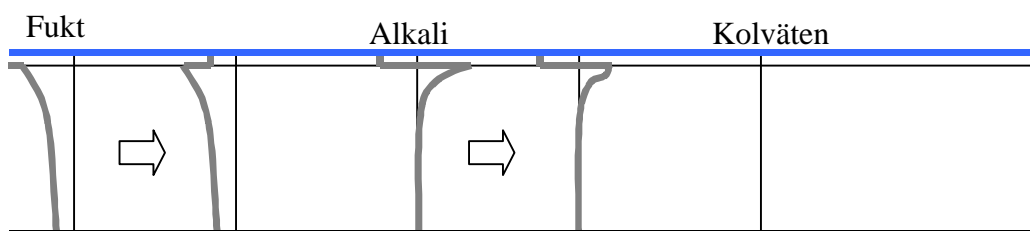
### **Från någon månad efter limningen till ungefär något år senare, figur 6.13**

Fukten i avjämningsmassan torkar långsamt ut genom mattan. Självuttorkningen i betongen har i det närmaste upphört. Visserligen fortsätter betongen att hydratisera och förbruka vatten men det är i så låg omfattning att det saknar betydelse.

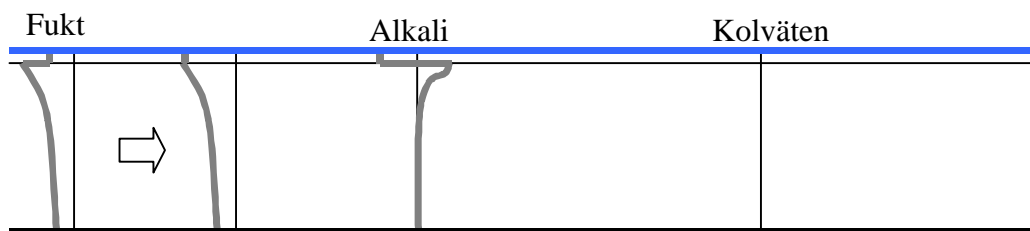




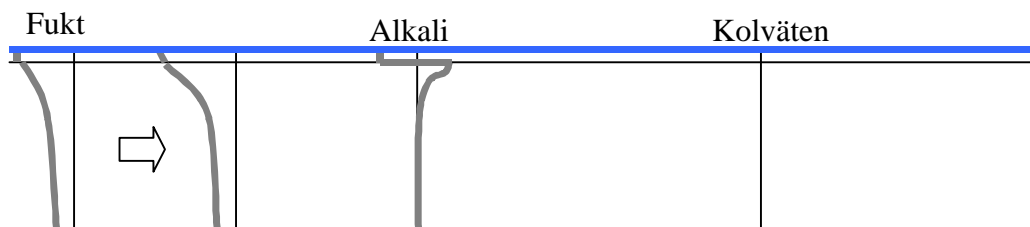
Figur 6.10 Gjutning fram till limning.



Figur 6.11 Precis innan limningen till ungefär ett dygn efter.



Figur 6.12 Från ett dygn efter limningen till ungefär någon månad senare.



Figur 6.13 Från någon månad efter limningen till ungefär något år senare.



## 7 Fältmätningar av kolväten i betongen

För att verifiera laboratoriemätningarna av kolväten som trängt in i betongen gjordes fyra fältmätningar. Provtagning och analys har gjorts med samma teknik som i laboratoriemätningarna. Objekten som valdes hade alla limmad PVC-matta på betong och uppvisade tecken på nedbrytning av limmet.

Provtagningen har skett av erfarna utredningstekniker från två utredningskonsulter i Stockholm. Resultatet av undersökningarna sammanställs i tabell 7.1.

Provtagningen i objekt tre är utförd av utredningsingenjör Aime Must på BARAB och analysen utfördes av Tekn. Dr. Jan Kristiensson på Chemik Lab AB. Tillvägagångssättet vid analysen skilde sig från det som användes på Chalmers. Maximala koncentrationen under mattan har inte kunnat utvärderats på grund av den skillnaden. För övrigt har skillnaden inte påverkat resultaten.

Provtagningarna i de övriga tre objekten utfördes av olika medarbetare på AK-konsult Indoor Air AB.

Tabell 7.1 Beräknade koncentrationer under mattan samt diffusionskoefficienten för ett antal skadefall.

Objekt	Ålder på skadan [år]	BuOH		EtHx	
		C <sub>s</sub> [10 <sup>-3</sup> g/m <sup>3</sup> ]	D [10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s]	C <sub>s</sub> [10 <sup>-3</sup> g/m <sup>3</sup> ]	D [10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s]
1	1	10,0	16 <sup>♥</sup>	5,8	19 <sup>♥</sup>
2	3,5	49	4,1	3,3	3,6
3	6	–	4,9	–	6,1
4	10	2	5,2	0,9	8,4
<b>Labb</b>	2	43,9	4,9	30,9	1,5

♥ tät betong med vct=0,5

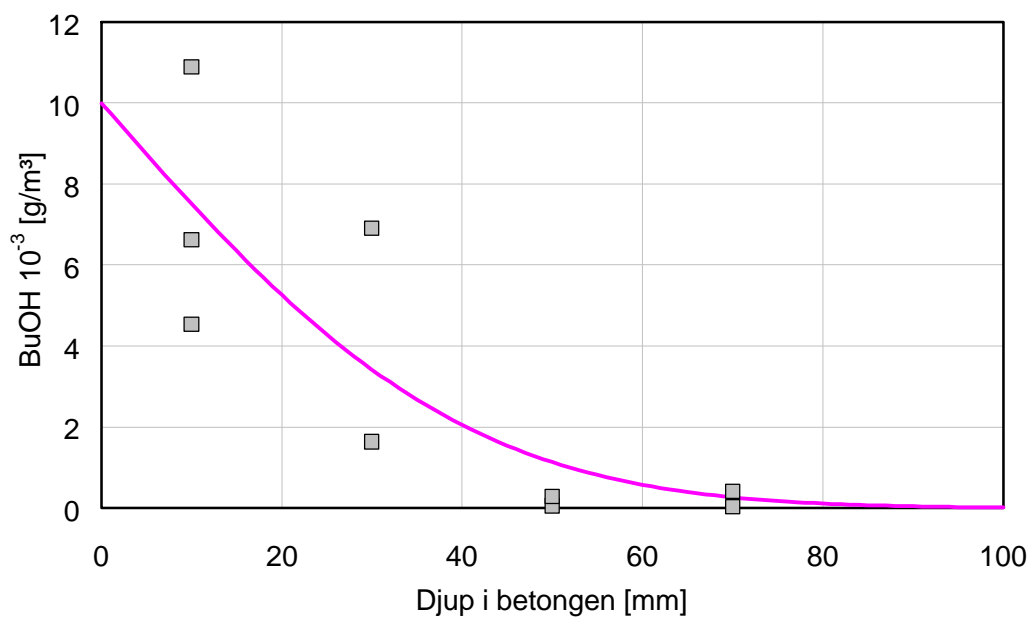
Det har inte varit möjligt bestämma flödet genom mattan då mätningar med FLEC inte gjorts. I de flesta fall objekt har flödet däremot indikerats genom koncentrationshöjningen under ett kupa som lagts på golvet. Det är möjligt att utvärdera flödet med denna metod också om flera mätningar görs av koncentrationen med lämpliga tidsintervall.

De värden som inte är ”fyllda” i figurerna 7.2, 4, 7 samt 8 har bedömts som orimliga. Antagligen är de felmätningar så de har inte tagits med i utvärderingen.

### Slutsatsen från fältmätningarna är

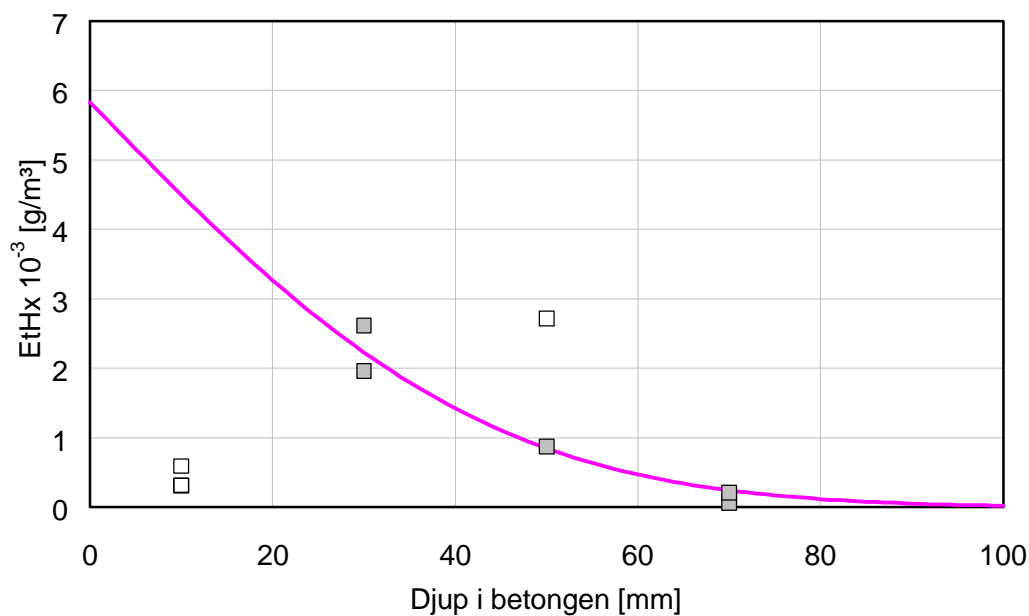
- Resultatet från fältmätningarna stämmer väl med laboratorieundersökningen.
- En viss spridning i resultaten finns. Spridningen beror antagligen på att modellen inte tar hänsyn till bindningen av kolväten i exempelvis porvätskan.
- Diffusionskoefficienten (D) beror på betongkvaliteten.

## Objekt 1 - ungefär 1 år gammal emissionskada



Figur 7.1 Fördelningen av butanol i betong från fältmätning i ungefär 1 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

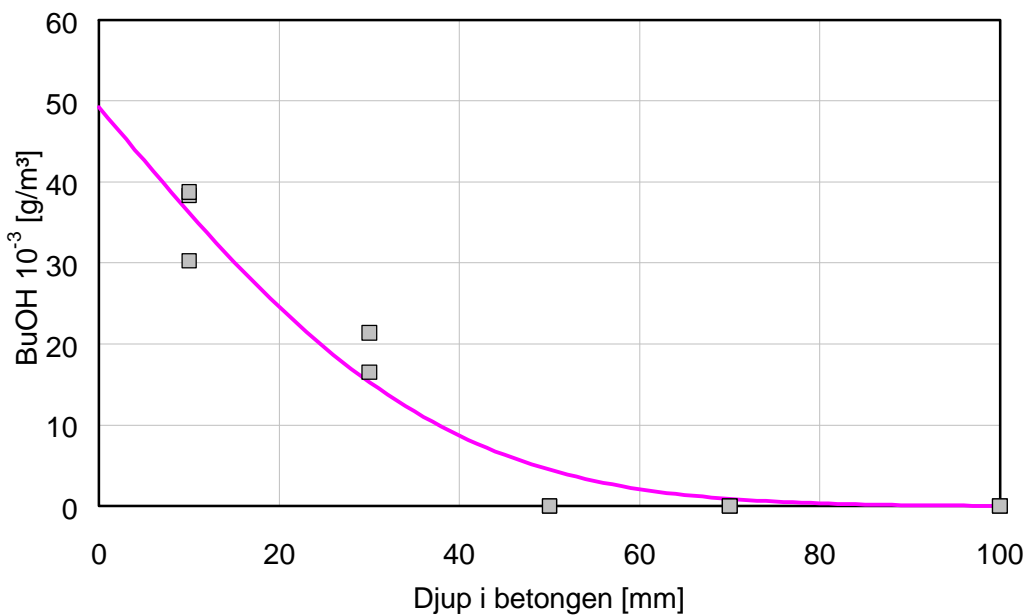
$$C_s = 10,0 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ sam } D = 16 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$



Figur 7.2 Fördelningen av etylhexanol i betong från fältmätning i ungefär 1 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

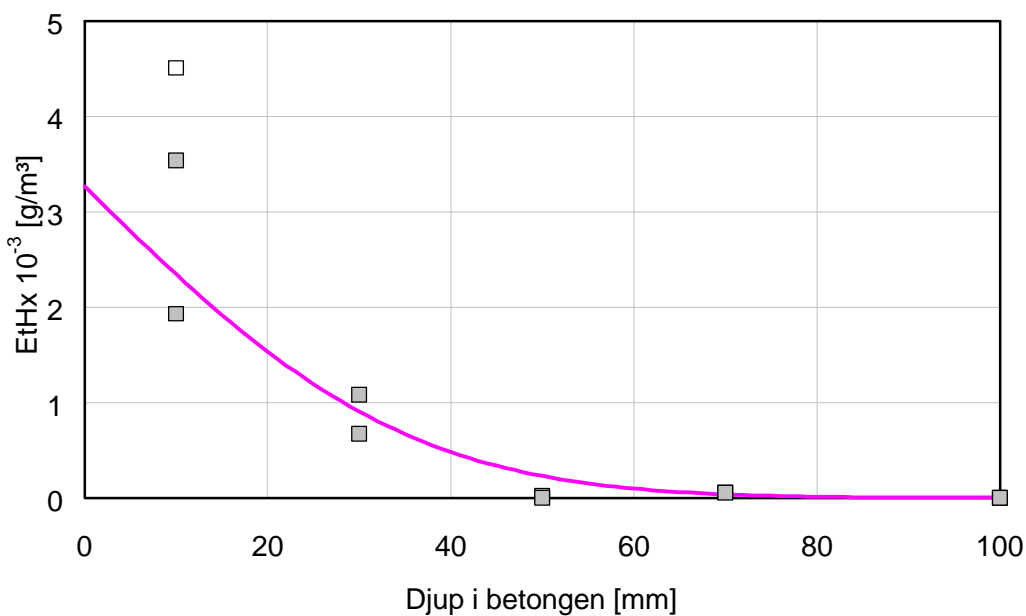
$$C_s = 5,8 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ samt } D = 19 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$

## Objekt 2 – ungefär 3,5 år gammal emissionskada



Figur 7.3 Fördelningen av butanol i betong från fältmätning i ungefär 3,5 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

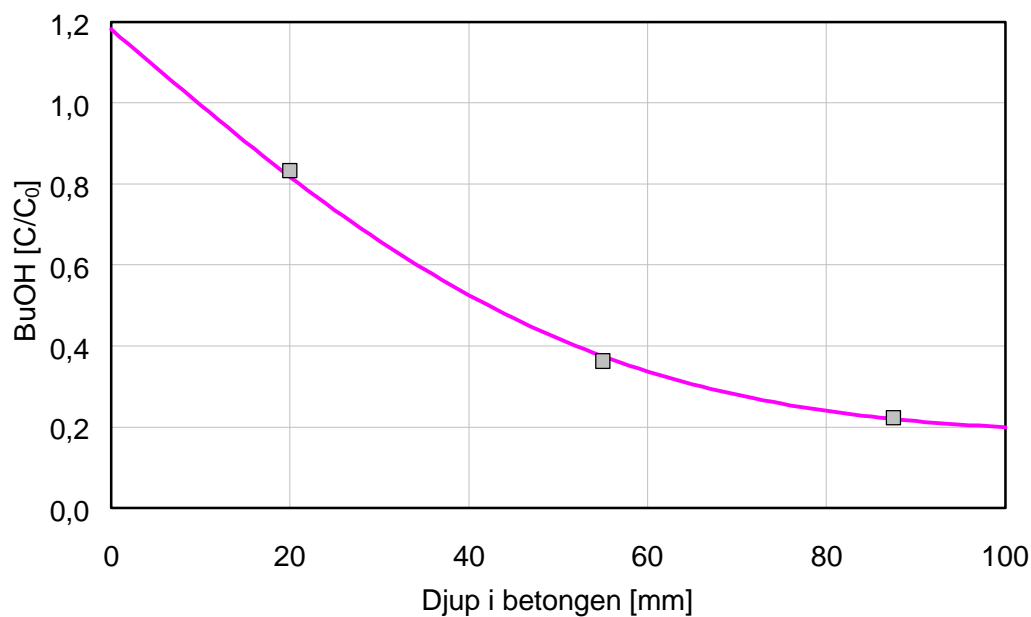
$$C_s = 49 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ samt } D = 4,1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$



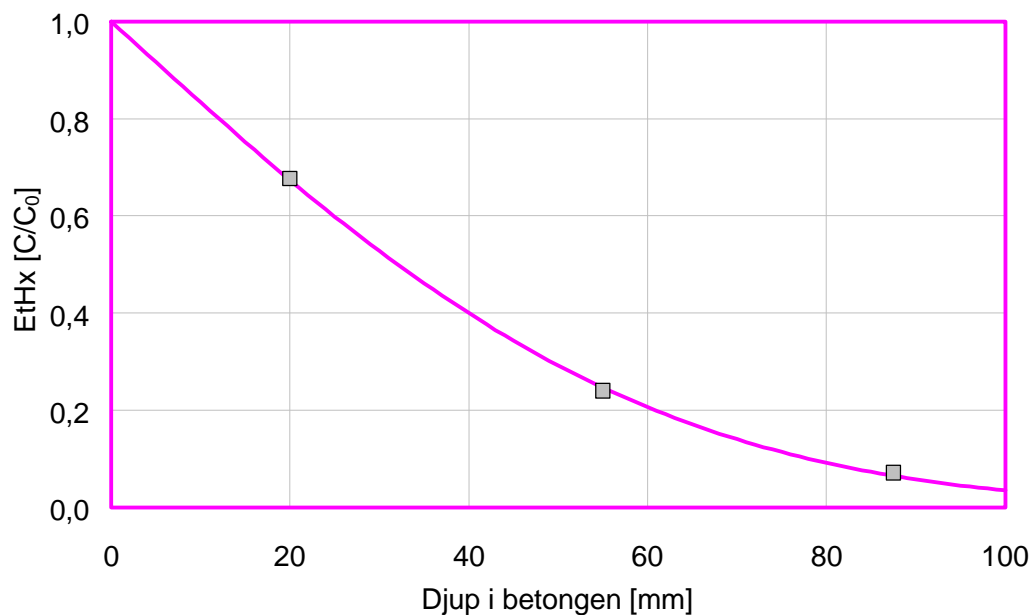
Figur 7.4 Fördelningen av etylhexanol i betong från fältmätning i ungefär 3,5 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

$$C_s = 3,3 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ samt } D = 3,6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$

### Objekt 3 – ungefär 6 år gammal emissionskada

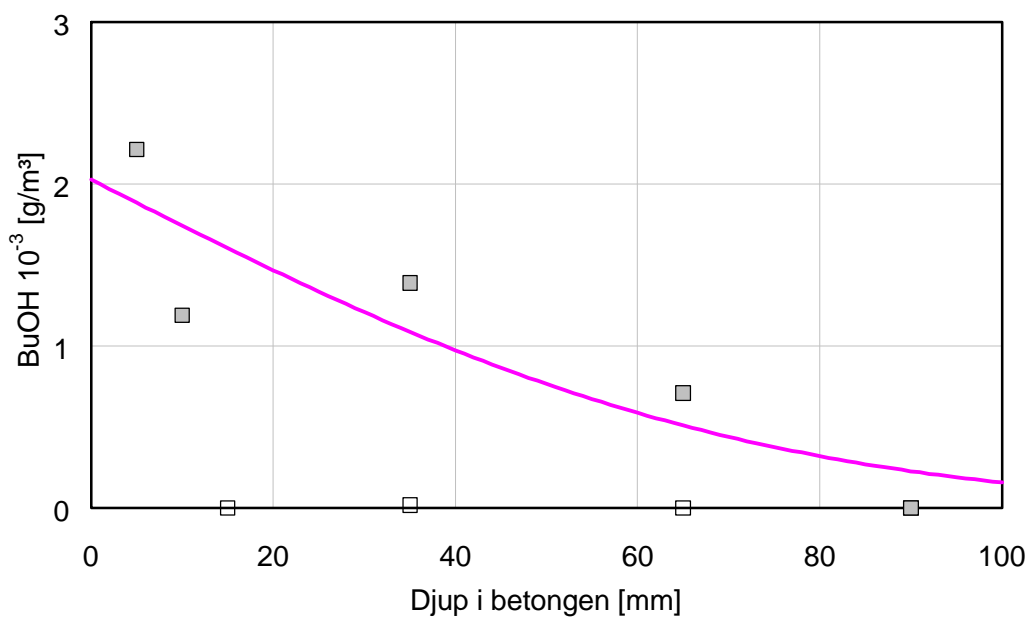


Figur 7.5 Fördelningen av butanol i betong från fältmätning i ungefär 6 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.  
 $D = 4,86 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Samt bakgrund på 0,2.



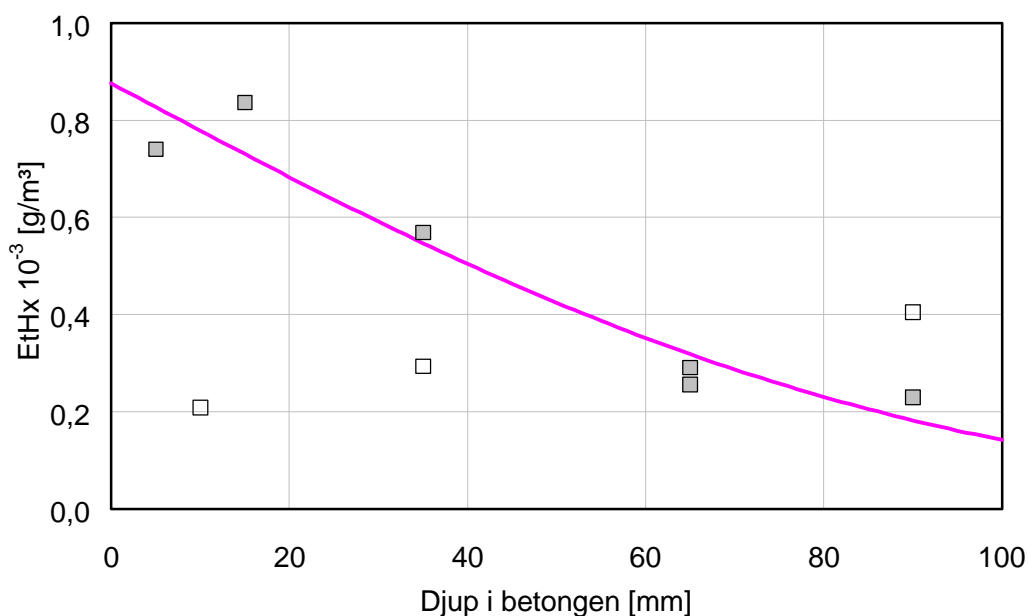
Figur 7.6 Fördelningen av etylhexanol i betong fältmätning i ungefär 6 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.  
 $D = 6,13 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

#### Objekt 4 – ungefär 10 år gammal emissionskada



Figur 7.7 Fördelningen av butanol i betong från fältmätning i ungefär 10 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

$$C_s = 2 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ samt } D = 5,2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$



Figur 7.8 Fördelningen av etylhexanol i betong fältmätning i ungefär 10 år gammal skada. Linjen är bästa passningen av errorfunction med minsta kvadratmetoden.

$$C_s = 0,9 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 \text{ samt } D = 8,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}.$$

## 8 Konklusion och fortsatta studier

Studien som presenteras i denna rapport hade ett antal mål som beskrivs i kapitel 1.3. Alla dessa mål har i någon mån uppfyllts i denna studie. Målen kan sammanfattas i följande punkter.

- Öka kunskapen om samverkan inom materialkombinationer där betong ingår.
- Skapa en modell som kan förutse förkortad livslängd av materialkombinationer som förekommer i golvkonstruktioner.
- Modellen ska bygga på fysikalisk förståelse av förlopp i golvkonstruktionen.
- Utveckla metoder för att icke accelererat mäta egenskaper i konstruktionen som är viktig för dessa förlopp.

Samt att:

- Ta fram kunskap, som hjälper till att hindra eller begränsa emissionen av kolväten till inomhusluft, från byggnaden, på lång och kort sikt.

Projektet har hittills behandlat samtliga dessa punkter. Kunskapen har ökat i högsta grad om mekanismerna i de ingående processerna som ger upphov till emission. Flera av processerna har också kvantifierats genom att mätmetoder använts och utvecklats där de saknades.

En kvalitativ modell som innehåller alla relevanta delprocesser har formulerats som kan beskriva olika tillämpningar: normal husbyggnadsbetong, byggfuktfri betong med och utan avjämningsmassa.

En del kvarstående kunskapsbrister som identifierats och kvantifierats är ibland osäkra på grund av mätmetodens onoggrannhet.

Det verkar dock fullt möjligt att utreda kvarstående frågetecken, åstadkomma säkrare mätmetoder och utveckla en modell som ger kvantitativt konkreta prognoser om materialval.



## 9 Referenser

- Alexandersson J. 1996. Alkalisk nedbrytning i golv. Golv till tak nr 5, 1996. 3 sidor.
- Alexandersson J. 1998. Långtidseffekter av alkalisk nedbrytning i golv. Golv till tak nr 3, 1998. 3 sidor.
- ASTM 1985 Standard E104-85. Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions. American Society for Testing and Materials, USA. 3 sidor .
- Atlassi E., Norling K., Radocea A. 1991. Fuktfri betong – en fråga om rätt materialkombination. Betong nr 3, 1991. Sida 24–26.
- BBR 94. Boverkets Bygg Regler – Föreskrifter och allmänna råd, BFS 1993:57. Boverket. 1993. 131 sidor.
- Betonghandboken, 1994. Betonghandboken, Material, utgåva 2. AB Svensk Byggtjänst, Solna. 1127 sidor.
- Björk F. 1996. Kursmaterial i ”Utvecklingsmöjligheter för plaster i byggtillämpningar”. Institutionen för Byggnader och Installationer, KTH
- Björk F., Eriksson C.-A. 1997. Alkalitetsmätning av golvavjämningsmassa utsatt för påskjutande alkalitet: Slutrapport till SBUF-projekt 1997, Stockholm. 24 sidor.
- Björk F., Eriksson C.-A. 1998. Alkalisk nedbrytning av golvkomponenter. Avdelningen för byggnadsmaterial, Institutionen för byggnader och installationer, KTH, Stockholm. Meddelande 177. Under utarbetning.
- Blom P. 1998. Betong i byggnader - en vurdering av konsekvenser for inneklime og helse. BYGGFORSK, Norges byggforskningsinstitutt. Prosjektrapport 236-1998. 37 sidor.
- Box G., Hunter W., Hunter S. 1978. Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building. John Wiley & Sons, USA. 653 sidor.
- Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. Second edition. Clarendon Press.
- CRC 1997. Handbook of Chemistry and Physics, 78:e upplagan. CRC press, INC., USA. Sid 6–74 samt 8–17.
- Czernin W. 1959. Cementkemi för byggare. Översatt av Svenska Cementföreningen, Malmö. 104 sidor.
- Francy O. 1998. Modelisation de la penetration des ions chlorures dans les mortiers partiellement satures en eau. These du Doctorant UPS, Toulouse (På franska) 172 sidor.

Fritsche M. 1996. Kemisk emission från golvljm på betong – effekt av olika fukt- och alkalispärrar. Examensarbete vid Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. E-96:1. 44 sidor.

Fritsche M., Sjöberg A., Wengholt Johnsson H. 1997. Kemisk emission från golvsystem av limmad PVC-matta på självtorkande betong –inverkan av limningsteknik, torkförlopp samt cement-, lim- och mattyper. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. P-97:2. 17 sidor.

Gustafsson H., Jonsson B. 1993. Trade Standards for Testing Chemical Emission from Building Materials. Part 1: Measurements of Flooring Materials. Conference Proceeding. Indoor Air '93. Helsinki. Vol 2, 437–442.

Gustafsson H., Jonsson B., Lundgren B. 1995. Emissionen aus Beschichtungsstoffen – Stand der Technik, Analyse der Emissionen und deren Einfluß auf die Innenraumluft. (Bidragets titel:) Chemical Emission from Paints and Other Surface Materials – Measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC) and other climate chambers. Kontakt & studium Band 478, Expert verlag. Sid 95 – 105.

Gustafsson H. 1996. Golvmaterial på olika typer av fuktiga betonggolv – översikt och kommentarer till undersökningar med inriktning på kemisk nedbrytning och emission. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås. SP-RAPPORT 1996:25. 27 sidor.

Hedenblad G., Nilsson LO. 1985. Kapillär mättnadsgrad – ett verktyg för noggrann bestämning av fukttinnehåll i betong. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, LTH. Lund. Rapport TVBM-3022. 35 sidor.

Konieczny H. 1997. Gypsum and Gypsum Based Screeds. Examensarbete vid Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. E-97:2. 88 sidor.

Nilsson LO. 1979. FUKTMÄTNING Del 2 av Byggfukt i Betongplatta på Mark, Torknings och Mätmetoder. Avdelningen för byggnadsmateriallära, LTH. Lund. Rapport TVMB-3008. 75 sidor.

Nilsson LO. 1980. Hygroscopic moisture in concrete - drying, measurements & related material properties. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, LTH. Lund. Rapport TVBM-1003.

Nilsson LO. 1984. Fukt i flytspackel. Verksamheten 1981 – 84; Fuktgruppen vid LTH, Lund. Fuktgruppen informerar 1984:1.

Nilsson LO. 1987. Temperature effects in relative humidity measurements on concrete – some preliminary studies. Proceedings of Nordic Symposium on Building Physics, Lund. BFR-Rapport D13:1988. 7 sidor.

Nilsson LO. 1992. A theoretical study on the effects of non-linear chloride binding on chloride diffusion measurements in concrete (Toulouse in May 1992) Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. P-92:13.

Nilsson LO. 1998. Personlig kommunikation med Lars- Olof Nilsson, Chalmers.

Schrewelius K. 1997. Personlig information av Kaj Schrewelius, Bona kemi AB.

Sjöberg A. 1997. En mätmetod för studier av fukttillskottet till betong under nylimmad PVC-matta. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. P-97:4. 21 sidor.

Sjöberg A. 1998. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare – en bedömning av faktorer som påverkar osäkerheten samt hur de kan minskas. Institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers, Göteborg. P-98:1. 60 sidor.

Svenska Betongföreningen 1997. Betong för sunda golv - fuktdimensionering, materialval och produktion. Svenska betongföreningens rapportserie, rapport nr 6. Stockholm. 36 sidor.

Wengholt Johnsson H. 1995. Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers. P-95:4. 58 sidor.

Wengholt Johnsson H., Sjöberg A. 1999. Fukt- och emissionsförhållanden vid limning av golvmaterial på betong. Institutionen för Byggnadsmaterial, Chalmers. P-99:1. Under utarbetning.

Wolkoff P., Clausen P.A., Nielsen P.A., Gustafsson H., Jonsson B., Rasmusen E., 1991 Field and Laboratory Emission Cell: FLEC. Conference Proceeding. Healthy Building '91. Washington D.C. Page 160–165.