

Peter Blom

Betong i bygninger – en vurdering av konsekvenser for inneklima og helse

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Peter Blom

**Betong i bygninger –
en vurdering av
konsekvenser
for inneklima og helse**

Prosjektrapport 236 – 1998

Prosjektrapport 236

Peter Blom

**Betong i bygninger –
en vurdering av konsekvenser
for inneklima og helse**

ISSN 0801-6461

ISBN 82-536-0611-7

200 eks. trykt av

S. E. Thoresen as

Resirkulert papir:

omslag Cyclus 200 g

innmat Fortuna 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1998

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Telefaks:

22 69 94 38 administrasjon

22 96 57 25 forskere

22 96 55 08 salg

Emneord:

inneklima – betong

fukt

golv

1 Forord

Målsettingen med prosjektet har vært å avklare om bruken av betong i ulike sammenhenger i bygninger har noen negative effekter for inneklima og helse. Arbeidet har først og fremst bestått i laboratorieprøver knyttet til fuktbetinget nedbryting av lim og gulvbelegg i gulvkonstruksjoner med betong og overflatebehandling av betong.

De senere årene er det registrert en økning i antall allergitilfeller i befolkningen. Luftforurensninger i innemiljøet kan være én av årsakene til denne økningen. I tillegg er det svært mange arbeidsplasser hvor de ansatte oppgir å ha helseplager som forbindes med et dårlig inneklima. Dette betyr at alle bygningsmaterialer bør undersøkes med tanke på en negativ innflytelse i innemiljøet. Dette gjelder også et materiale som betong.

Prosjektet er en oppfølging av et forprosjekt som ble avsluttet i 1995. Prosjektet har fått økonomisk støtte fra Norges forskningsråd, NFR, under programmet Medisin og helse/Inneklima og helse.

Ansvarlig for prosjektet har vært dr.ing. Peter Blom, Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk). Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) har gjennomført analyser knyttet til GC/MS og støvmålinger. Overlege Finn Levy, Ullevål sykehus, har fungert som konsulent i prosjektet. For øvrig har prosjektet hatt en styringsgruppe under ledelse av Tor Ole Olsen, formann i Norsk Betongforening og med deltakere fra bidragsyterne til prosjektet. Se liste i vedlegg til rapporten.

Målingene i prosjektet ble foretatt i 1997.

Oslo, mai 1998

Peter Blom

Innhold

1	Forord.....	3
2	Sammendrag.....	5
3	Innledning.....	7
4	Nedbryting av lim/gulvbelegg.....	8
4.1	Grunnlag.....	8
4.2	Beskrivelse av prøvestykker og prøvemetoder.....	9
4.2.1	Utstøping av prøvestykker	9
4.2.2	Lim	11
4.2.3	Gulvbelegg	11
4.2.4	Sparkelmasser	11
4.2.5	Fuktsperrer	12
4.2.6	Prøvetaking	12
4.3	Uttørking av prøvestykkene	13
4.4	Resultater fra kammermålinger.....	16
4.4.1	Kontrollprøver.....	16
4.4.2	Betydningen av relativ fuktighet.....	17
4.4.3	Limtype	19
4.4.4	Betongkvalitet	19
4.4.5	Sparkelmasse.....	20
4.4.6	Fuktsperrer	22
4.4.7	Gulv med varmekabler.....	24
4.4.8	Helsemessig vurdering	26
4.5	Vurdering av resultatene	27
5	Avgassing fra betong- og gulvprodukter.....	31
5.1	Metoder	31
5.2	Resultater.....	31
6	Partikler fra betongoverflater	33
7	Konklusjoner	34
8	Vedlegg	35
	Litteratur.....	37

2 Sammendrag

I prosjektet er det støpt ut en rekke mindre prøvestykker i betong. Disse prøvestykkene har fått tørke ut i varierende grad før det er limt på et gulvbelegg. I tillegg til forskjellig fuktinnhold, er prøvestykkene gitt forskjellig behandling med hensyn på limtype, bruk av sparkelmasse og type belegg. Det er også benyttet ulike betongkvaliteter. Etter en periode på mellom 3 måneder og et halvt år ble det målt avgassing fra prøvestykkene i spesielle klimakamre (CLIMPAQ). Hensikten med målingene var finne et fuktnivå der det skjer en markert økning i avgassing på grunn av økt nedbrytning av limet.

Målingene i prosjektet viser at utvikling av nye, lav-emitterende limtyper er det mest effektive tiltaket for å redusere avgassing fra gulvkonstruksjoner med betong og et limt belegg. Tiltak som strengere krav til maks. relativ fuktighet i betongen eller bruk av høyfast betong med lite overskuddsfuktighet vil ikke ha samme effekt. Det siste kan tvert i mot virke mot sin hensikt.

Samtidig viser målingene at avgassing fra gulvkonstruksjoner med tradisjonelle, markedsledende limtyper kan gi lukt i rom, i hvert fall det første halve året. Beregnede forurensningskonsentrasjoner er imidlertid lavere enn etablerte terskler for slimhinneirritasjoner eller annen form for helseskade. De aktuelle forbindelsene er 2-etyl-heksanol, butanol og 2-(2-butoksyetoksy)etanol. Disse stoffene stammer først og fremst fra limet. De to første dannes antageligvis som et resultat av en kjemisk reaksjon (hydrolyse) mellom hydroksider og akrylater.

Målinger utført på lim påført en aluminiumsplate viser at denne hydrolysen ser ut til å starte allerede i lim-emballasjen. Derfor gir målinger utført på referanseprøver (vinyl limt på aluminiumsplate) relativt høye konsentrasjoner av 2-etyl-heksanol og butanol. Svært mange av VOC-målingene på utstøpte prøvestykkene i prosjektet viste ikke noe mer avgassing enn denne referanseprøven, til tross for at fuktigheten i betongunderlaget kunne være relativt høy.

Enkelte underlag fører til økt nedbrytning og økt avgassing fra limsjiktet:

- Høyfast betong med relativt høy fuktighet (C65A/RF 88)
- En sparkelmasse basert på hydraulisk kalk og aluminatsement på fuktig betong (RF 95)
- En dårlig uttørket sparkelmasse
- Dårlig uttørket sparkelmasse på svært fuktig betong

Det har ikke lyktes å finne et "kritisk" nivå for fuktigheten i betongkonstruksjoner før liming av gulvbelegg av type vinyl, linoleum e.l. En avgivelse av komponenter som butanol og oktanol fra gulvkonstruksjonen ser ut til å kunne skje ved svært lave fuktnivåer (70 - 80 % RF).

Generelt ser det ut til at vanninnholdet i limet betyr mye for avgassing. Dersom underlaget for limet er lite sugende, er limfukten i seg selv tilstrekkelig til å gi en relativt høy avgassing. Limsjiktet kan også bli tilført vann fra underlaget, men det ser først ut til å få betydning ved svært høy fuktighet i betongen (RF > 95). Det er også mulig at spesielle temperaturforhold kan føre til ekstra vanntilførsel til limet, på grunn av kapillærkondensasjon i øvre deler av betongen. Målinger utført på et forsøkgulv med varmekabler viser at temperaturgradienter i betongen kan føre til økt nedbrytning og avgassing.

Flere av prøvestykkene i prosjektet hadde svært liten avgassing. Det gjaldt først og fremst prøvestykker med en ny limtype, som ikke er på markedet i dag. Et limunderlag av enkelte typer sparkelmasser gir også en reduksjon i avgassing.

Bruk av fuktsperre ga ingen reduksjon i avgassing.

I tillegg til målinger på gulvbelegg, er det også gjennomført VOC-, formaldehyd- og PAH-målinger på prøvestykker av betong med ulike konsentrasjoner av plastiserende tilsetningsstoffer. Resultatene viste svært lave konsentrasjoner. Tilsvarende målinger utført på sparkelmasser viste noe avgassing av formaldehyd, men de beregnede konsentrasjonene i rom ligger under retningsgivende normer utgitt av Statens Helsetilsyn.

Støvmålinger i kontorbygning med ventilasjonskanaler i betong, viste svært lave støvkonsentrasjoner både i romluft og i ventilasjonskanal.

De viktigste resultatene fra prøvingen er vist i fig. 17 og 18 samt i tabell 1 og 2 i vedlegg 1.

3 Innledning

Prosjektet har fokusert på tre forskjellige problemstillinger, i prioritert rekkefølge:

- nedbrytning av lim og gulvbelegg på grunn av fuktig betong
- avgassing fra betong- og gulvprodukter
- avgivelse av irriterende partikler fra betongoverflater.

Målsettingen med prosjektet var dels å vurdere den helsemessige betydningen av disse problemstillingene, dels å finne fram til tekniske/administrative tiltak som kan redusere risikoen for skader og eventuelle uønskede påvirkninger i innemiljøet.

Risikoen for alkalisk nedbrytning av lim/gulvbelegg har vært knyttet til fuktnivået i betongen. Det er en målsetting med prosjektet å revurdere eksisterende krav til kritisk fuktnivå i betongen. Dermed skulle tiltak som bruk av høyfast betong (lite byggfukt) og ulike typer fuktsperrer vurderes.

I forbindelse med avgassing fra betong har det først og fremst vært den helsemessige betydningen av plastiserende tilsetningsstoffer i betongen som skulle vurderes.

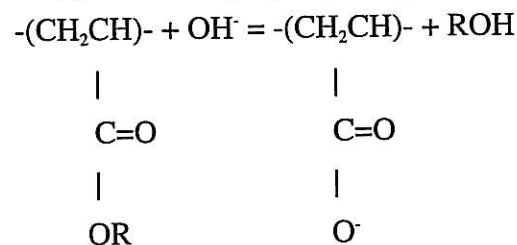
Når det gjelder avgivelse av partikler fra betongoverflater skulle det vurderes om bruk av ubehandlede betongoverflater i innemiljøet kan representere noe støvproblem.

4 Nedbryting av lim/gulvbelegg

4.1 Grunnlag

Porevannet i betong og til dels sparkelmasser er alkalisk, dvs. det har en pH i området 12-13. Hydroksidene i porevannet kan føre til en hydrolyse av forbindelser både i lim og i belegg, slik at det frigjøres høyere alkoholer som 2-etyl-heksanol.

Svært mange av limene i vanlig bruk i bransjen i dag er basert på polyakrylater. Reaksjonsforløpet mellom polyakrylat og hydroksider er vist i følgende uttrykk (Justnes, /1/):



Siden akrylater er en klasse forbindelser, kan R være flere ulike alkaner. I reaksjonen med hydroksider vil polyakrylater kunne avgi flyktige alkoholer (ROH). Hvis $R = \text{-(CH}_2\text{)}_3\text{CH}_3$, viser uttrykket en polybutylakrylat som spalter av butanol i reaksjon med hydroksid. En PAE (polyakryl ester = polyakrylat) som er spesielt klebrig, er 2-etylheksylakrylat. Denne polymeren vil kunne avspalte 2-etylheksanol (sk oktyl alkohol) i hht uttrykket ($R = \text{-CH}_2\text{CH(CH}_2\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) /1/.

Halv-harde gulvbelegg av vinyl kan inneholde opptil 30 % myknere for å gi belegget nødvendig fleksibilitet ved legging. Den viktigste klassen myknere er ftalater. Justnes (/1/) viser hvordan ftalater generelt kan reagere med hydroksider til ftalat anioner og alkohol ($R^3\text{OH}$). En vanlig mykner er DIOP (diisoktyl-ftalat), hvor $R^3 = \text{-CH}_2\text{CH(CH}_2\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ og som da kan avgi 2-etylheksanol til inneluften. Myknere som DNP (dinonylftalat) og DIDP (diisodekylftalat) vil kunne avspalte alkoholer som hhv. nonanol ($R^3 = \text{-(CH}_2\text{)}_8\text{CH}_3$) og dekanoler ($R^3 = \text{-C}_{10}\text{H}_{21}$ i en blanding av isomere).

En slik reaksjon fordrer imidlertid at det trenger vann med hydroksider fra den underliggende betongen inn i belegget. Vannet fungerer som reaksjonsmedium. Gulvlim kan også inneholde ftalater, slik at denne reaksjonen også kan skje her.

Felles for alle myknere er at de er estere som i reaksjon med hydroksider vil danne en alkohol og et salt av en organisk syre. Alkoholen kan være mer eller mindre flyktig.

4.2 Beskrivelse av prøvestykker og prøvemethoder

Det er støpt ut ca. 150 prøvestykker i bokser med betong. Prøvestykkene er gitt ulike typer behandling:

- 4 limtyper
- 3 typer gulvbelegg (linoleum og 2 vinylkvaliteter med ulike mengder fyllstoffer)
- 4 sparkelmasser
- 2 fuktsperrer (epoksy, vannglass)
- Fuktighetsnivå før legging av belegg (70-98 % RF)
- 3 betongkvaliteter (C25, C35, C65)

Prøvestykkene skal brukes for å måle en alkalisk nedbrytning av limsjikt og belegg, avhengig av behandling. Utformingen av prøvestykkene er vist i fig. 1. Oppgitt fuktighetsnivå ved legging av belegg refererer til fuktigheten (RF) målt i standard målehøyde 0,4·h i prøvestykket (dvs. en-sidig uttørking). Se fig. 1.

I tillegg er det limt gulvbelegg på prøvestykker av betongelementer, som kjennetegnes av høy betongkvalitet og svært lite overskuddsfuktighet. Det er også limt gulvbelegg på et forsøks-gulv med varmekabler.

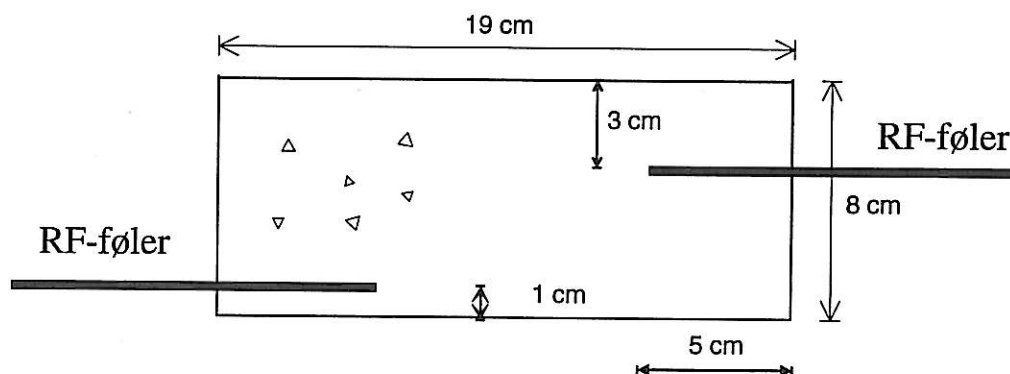


Fig. 1 Utforming av prøvestykker. Prøvestykkene er sylindere med mål $h/d = 82/190$ mm. Figuren viser også punkter og metode for måling av relativ fuktighet (RF) i to høyder av prøvestykket. Den øverste høyden representerer 0,4·h, som er standard målehøyde for betongdekker med ensidig uttørking.

4.2.1 Utstøping av prøvestykker

Støpedata for prøvestykkene er vist i tabell 1. Den første prøven ble tilkjørt laboratoriet fra ekstern betongblandestasjon. De øvrige blandingene er laget på laboratoriet med 50 l blande-maskin.

Overflaten på alle prøvene ble glattet med stålskje. Boksene ble ikke vibrert, bare stampet med en stav. Etter utstøping og glattung herdet betongen i boksene under lokk i 5 dager. Deretter startet uttørkingen i rom med konstant temperatur og fuktighet (50 % RF og 21 °C).

C25, C35 og C65 er betegnelser for fasthetsklasser for betongen. For gulvbetong brukes normalt C25-C35. C65 kalles også høyfast betong, og kjennetegnes blant annet av et lavt vanninnhold og lavt v/c-tall. Det presiseres at blandingen kalt C65 i tabellen er spesiell, og lite aktuell i praksis. C65A er derimot en aktuell resept for høyfast betong.

Tabell 1 Støpedata

	C25	C35	C65 ¹⁾	C25A	C25B	C25C	C65A
	pr. m ³	Pr. m ³	Pr. m ³	pr. m ³	pr. m ³	pr. m ³	pr. m ³
Boks nr.	1-70	71-79	80-91	92-104	105-120	121-136	137-152
Dato utstøpt:	21.8.96	22.8.96	22.8.96	8.10.96	5.12.96	30.01.97	04.02.97
Cement (P30) (kg)	265	300	387	265	265	265	410
Sand 0-8 (kg)	1160	1229	1193	1229	1229	1229	915
Pukk 8-11		378	367	378	378	378	495
	810						
Pukk 11-16		284	276	284	284	284	495
Vann (l)	165	165	151	178	198	198	158
v/c	0,62	0,55	0,39	0,67	0,74	0,74	0,39
Tilsetn. P-stoff (Sika BV-40) (kg)	0,6	1,8	1,94	1,6	-	-	2
Tilsetn. SP-stoff (Sikament 110) (kg)	1,5	2,4	16	-	-	-	6
Mengde/volum	1 m ³	45 l	45 l	45 l	50 l	50 l	
Fukt i sand (%)				0,2	0	0	0,1
Slump cm	12	20	18,5	17	17	17	
Luft %	3,9	3,1	2,8	4,2	3,2	3,5	
Densitet kg/dm ³	2,37	2,39	2,46	2,33	-	-	
Trykkfh. 7 døgn (Mpa)	27,1				21,3	22,6	61,0
Trykkfh. 28 døgn (Mpa)	33,8	44,4	62,6	32,3	27,9	29,9	70,3
Kommentar	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)

1. "unormal" betongblanding, mye finstoff og relativt mye tilsetningsstoffer
2. Noe stiv. Rask avbinding-"lyn"
3. Litt bleeding
4. Seig, tung. Ingen bleeding
5. Litt bleeding
6. Re-mikset etter 10, 25, 50 minutter. Lite bleeding etter dette.
7. Re-mikset etter 10, 60, 80 minutter. Litt bleeding etter dette.
8. Regnet med 0,4% abs. Vann i tilslag, og 60% abs. i tilsetn.

4.2.2 Lim

Lim for halv-harde belegg på betong består oftest av lateks (eg. myke polymerpartikler emulgert i vann). En termoplastisk polymer er langkjedete makromolekyler med repeterende enheter svarende til de monomere de er fremstilt fra; vinylacetat, etylen, akrylater, vinylklorid, styren og/eller butadien. Lateks-lim basert på akrylater er svært vanlig i bransjen i dag, så også med de fleste limene som er brukt i dette prosjektet.

På prøvestykkene ble det lagt lim med en stålsparkel med en mengde lik 0,25 kg/m². Belegget ble lagt på etter 10 minutters åpningstid. I noen tilfeller hadde limet en åpningstid på 30 minutter.

I prosjektet er det brukt 4 forskjellige limtyper (Lim 1, Lim 2, Lim 3 og Lim 4). Lim 2 er et forsøkslim som ikke finnes på markedet i dag. Standardlimet i prosjektet (Lim 1) er en lateks med en sampolymer bestående av butylakrylat og 2-etylheksylakrylat. Se for øvrig /1/.

4.2.3 Gulvbelegg

I prosjektet er det brukt to typer vinylbelegg og et linoleumsbelegg. Begge vinylbeleggene har mykgjørere DOP (dioktylfthalat). Se tabell 2. Begge vinylbeleggene har et slitesjikt forsterket med polyuretan. Linoleumsbelegget er et standard belegg bestående av oksidert linolje, harpiks, fyllstoffer og fargestoffer. Dessuten har belegget et akrylbasert overflatesjikt (ETC) for å lette rengjøring og bruk av polishmidler.

Tabell 2 Sammensetning av vinylbelegg brukt i prøvestykker

	Vinyl 1 vekt-%	Vinyl 2 vekt-%
Mykgjørere (DOP)	11	17
Fyllstoffer	58	31
Polymer (PVC)	27	48

4.2.4 Sparkelmasser

I prosjektet er det brukt 4 forskjellige selvutjevne sparkelmasser. En moderne sparkelmasse er et sammensatt produkt normalt bestående av følgende komponenter:

- Aluminatsement
- Portlandssement
- Filler (reaktive eller mineralfiller)
- Kwartssand
- Gips
- Dispersjonsmidler
- Flytmidler
- Tilsetningsstoffer (bl.a. retardere, akselleratorer, fortykkere)

Sparkel 1 inneholder ikke portlandssement, noe som skal gi massen lavere pH. Sparkel 4 har hydraulisk kalk og aluminatsement som bindemiddel. Sparkel 4 har dessuten kasein som flytmiddel, mens de andre massene har melaminbaserte flytmidler.

4.2.5 Fuktsperrer

Det er benyttet vannglass, som er en vannbasert løsning av natriumsilikater og en katalysator. I henhold til leverandør skal behandling av en betongoverflate føre til en impregnering av overflaten ned til 10-30 mm dybde. Betongoverflaten blir hardere og mere vanntett. Produktet brukes derfor i blant som en fuktsperre. 8 bokser ble påført ca. 10 gram vannglass, på en 283,84 cm² flate.

Dessuten er det benyttet en epoksy-behandling, basert på lettflytende epoksyharpiks og et akselerert polyamin. Produktet er først og fremst beregnet som et fuktbestandig "betonglim" for liming av sparkelmasse til et betongunderlag. Behandlingen ble påført med pensel i to tynne sjikt, med sandkorn mellom.

4.2.6 Prøvetaking

Etter en periode på mellom 3 måneder og et halvt år etter legging av belegget måles avgassing (VOC) fra prøvestykkene. Konsentrasjonen av flyktige organiske forbindelser (VOC), og spesielt forbindelsene 2-etylheksanol og butanol, er brukt som mål for nedbrytningen av gulvlim med sampolymerer basert på akrylater.

3 like bokser med et samlet "gulv"-areal på 850 cm² plasseres i CLIMPAQ klimakamre (51,9 l) ved Byggforsk. Kamrene tilføres ren luft, slik at forurensningskonsentrasjonen i kamrene utelukkende skyldes avgassing fra overflaten på boksene. Kammeret har en intern sirkulasjonsvifte som kan regulere lufthastigheten over materialoverflaten. Sammen med et spjeld inne i kammeret kan lufthastigheten over prøven reguleres. Under prøvetakingen er normalt internvifte skrudd på, og spjeldet innstilt slik at lufthastigheten i kammeret er 0,15 m/s. Opp-tak av luftprøver og analyse har skjedd på tre forskjellige måter:

1) *Frilagt limflate, ventilert kammer, analyse på GC/MS*

En del av gulvbelegget på de tre boksene fjernes før plassering i CLIMPAQ. Klimakammeret tilføres ren luft under målingen. Luft fra kammeret suges ved hjelp av en pumpe gjennom et rør fylt med en egnet adsorbent (Tenax TA) (aktiv oppsamling). Se fig. 2. Forbindelsene som samles opp i adsorbenten desorberes i laboratorium, og konsentrasjonen i kammeret bestemmes med gasskromatografi og massespektrometer (GC/MS). Konsentrasjonene i de enkelte forbindelsene er oppgitt i toluen-ekvivalenter. Boksene kondisjoneres 1 døgn i kammeret før prøvetaking.

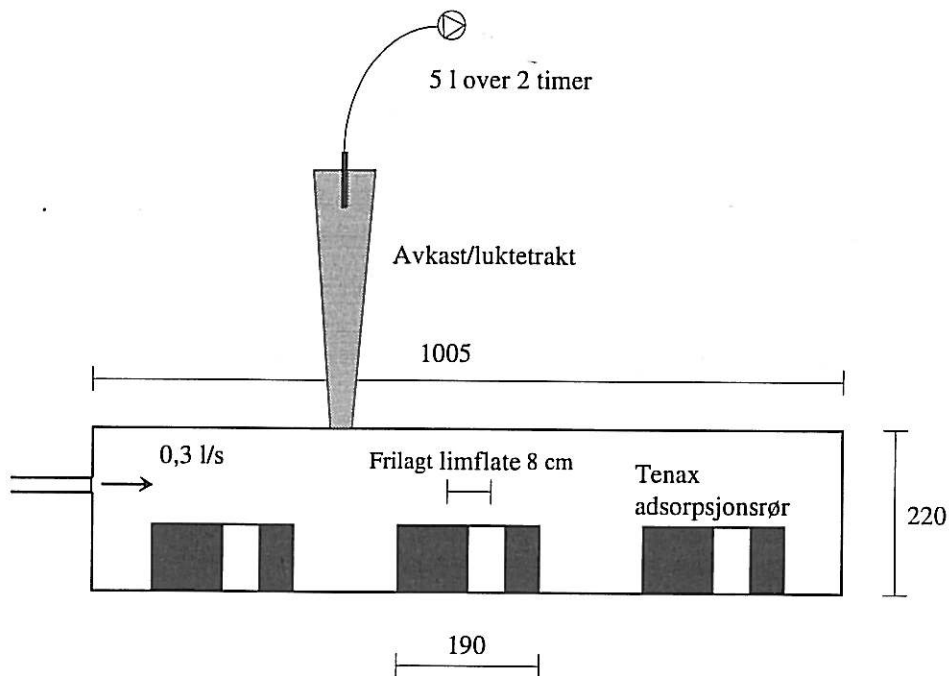


Fig. 2 Prøvetaking med ventilert kammer og frilagt limflate

2) Tett belegg, uventilert kammer, analyse på GC/MS

3 bokser med uåpnet belegg plasseres i kammeret sammen med Tenax TA adsorbent. Lufttilførsel til kammeret stenges, slik at forurensningskonsentrasjonene i kammeret bygger seg opp. Oppsamlingen av forbindelser i adsorbenten skjer ved diffusjon (passiv oppsamlingsmetode). Forbindelsene i adsorbenten desorberes i laboratorium, og registrerte forbindelser bestemmes med gasskromatografi og massespektrometer (GC/MS). Konsentrasjonene i de enkelte forbindelsene er oppgitt i toluen-ekvivalenter. Tenax-røret ligger i kammeret i 8 dager.

Metoden er brukt fordi arealet på prøvestykkene er lite i forhold til luftmengden i kammeret. Når belegget ikke åpnes (limflaten eksponeres ikke) blir konsentrasjonene i kammeret så små at det blir problematisk å finne forskjeller mellom de ulike variantene av prøvestykkene.

3) Tett belegg, gassanalyse med infrarød spektroskopi

3 bokser med uåpnet belegg plasseres i kammeret. Lufttilførsel til kammeret stenges, slik at forurensningskonsentrasjonene i kammeret bygger seg opp. Forurensningskonsentrasjonen i kammeret måles kontinuerlig med multigassanalysator Brüel og Kjær 1302.

Når det gjelder forsøkgulvet med varmekabler og betongelementene ble det tatt enkle luftprøver under belegget, dels med Tenax TA adsorbent og dels med infrarød spektroskopi.

Prøvetaking med Tenax-rør og analyse med GC/MS gir mulighet for å kvantifisere enkeltforbindelser i luftprøven. Ved analyse med infrarød spektroskopi fås bare en totalkonsentrasjon av flyktige organiske forbindelser (TVOC).

4.3 Uttørring av prøvestykkene

Fig. 3 viser typisk uttørringsforløp (relativ fuktighet) for tre betonger brukt i prosjektet. Fig. 4 viser vekttap med tiden. Fig. 5 viser vekttap for bokser behandlet med vannglass.

Det vil alltid være knyttet usikkerheter til målinger av RF i de aktuelle fuktnivåene i betong, ca. 2 % ved godt kalibrerte instrumenter. Når figur 3 ikke viser en jevnt fallende kurve, har det

sammenheng med at det til dels er brukt ulike måleinstrumenter og ulike prøvestykker ved de forskjellige målepunktene.

Figurene viser at uttørkingsforløpet er sterkt avhengig av v/c-forholdet. Det går også fram av tabell 3, som viser hvor lang tid det tar før ulike C25 betonger brukt i prosjektet når ned i 90 % RF i standard måledybde (0,4-h). I høyfaste betonger (C65) er den relative fuktigheten under 90 % allerede ved tørkestart. Uttørkingsforløpet er også avhengig av herdetid, klimaforhold under uttørkingen osv. Tabellen kan derfor ikke brukes som noen generell "lathund" for uttørking av betong, det vises da til /2/.

Fig. 5 viser at vannglass ikke reduserer uttørkingshastigheten fra overflaten.

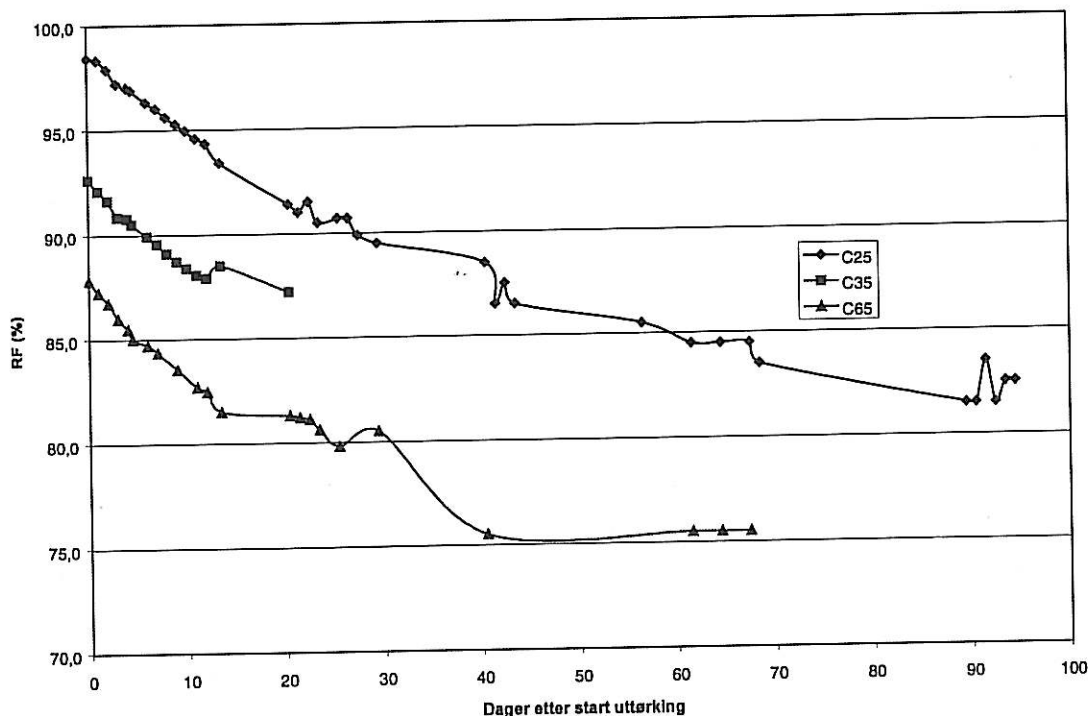


Fig. 3 Uttørking av prøvestykker- RF. Sprangene i kurvene skyldes at det er målt i ulike prøvestykker og med ulike følere

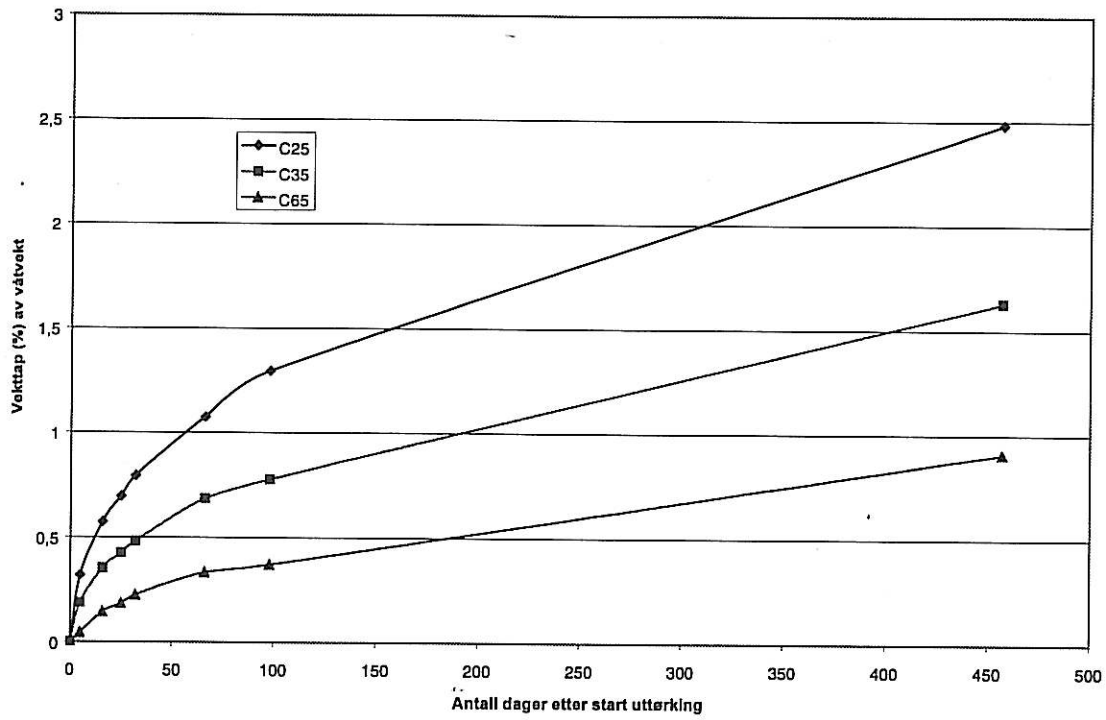


Fig. 4 Uttøringsforløp (vekttap) i prøvestykkene avhengig av betongkvalitet

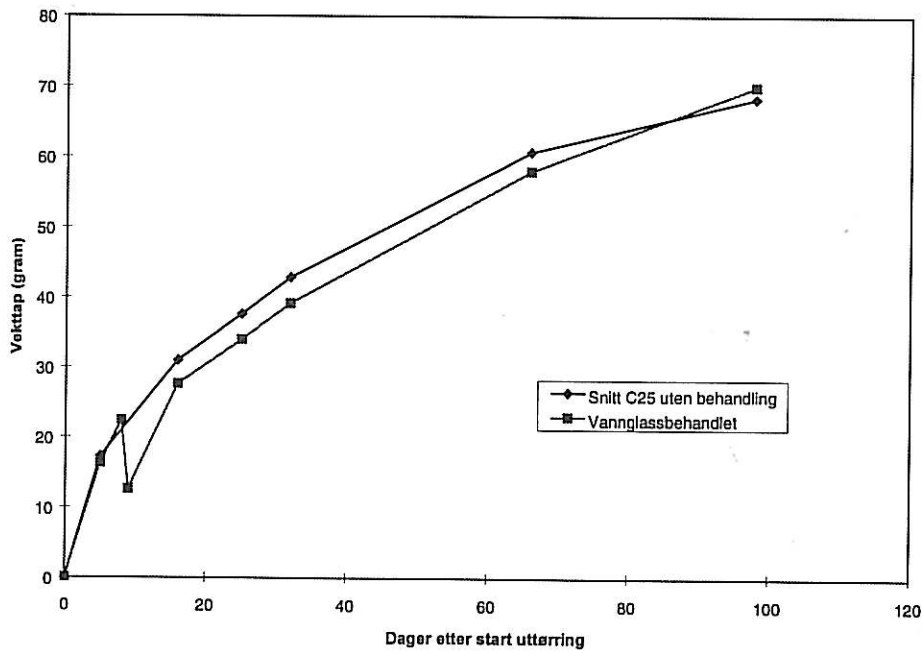


Fig. 5 Gjennomsnittlig vekt tap prøvestykker behandlet med vannglass. Reduksjon av vekt tap (dvs. vektøkningen) i den ene kurven skyldes påføring av vannglass

Tabell 3 Antall døgn mellom start tørking og til RF-nivå i måledybde 0,4-h er nådd 90 %

	Vann/sement (v/c)	Tørketid til 90 % RF (dager)
C25	0,62	28
C25A	0,67	28
C25B	0,74	60
C25C	0,74	60

4.4 Resultater fra kammermålinger

Når det i presentasjonen av resultater fra målingene ikke står angitt belegg- eller limtype, er det benyttet standard limtype (lim 1) og standard åpningstid (10 min).

4.4.1 Kontrollprøver

Det er gjort en rekke kontrollprøver i prosjektet, dels med begge typer vinyl lagt på aluminiumsplate (med og uten lim) samt kun av lim på aluminiumsplate. Tabell 4 viser dominerende forbindelser i VOC-prøver fra gulvbelegg og gulvbelegg limt på aluminiumsplate. Tabell 5 viser dominerende forbindelser fra limet.

2-etylheksanol, butanol, 2-(2-Butoksyetoksy)etanol og 2-(2-Butoksyetoksy)etanol acetat er de mest dominerende forbindelsene både i kontrollprøvene med lim i tabell 4 og 5 og i de ordinære prøvene i prosjektet. 2-etylheksanol og 2-(2-Butoksyetoksy)etanol kan stamme både fra lim og belegg, men i første rekke fra limsjiktet. Butanol og 2-(2-Butoksyetoksy)etanol acetat kommer bare fra limet. Tabell 4 viser at avgassing fra limsjiktet dominerer framfor avgassing fra belegget i seg selv, i hvert fall i den tiden det er gjennomført målinger i prosjektet (dvs. opp til et halvt år etter legging av belegg).

Butanol og 2-etylheksanol er antageligvis nedbrytningsprodukter fra en hydrolyse først og fremst i limet. Resultatene vist i tabell 5 tyder på at det foregår en hydrolyse i limet allerede i limboksen, før det er kommet i kontakt med alkalisk vann fra betong. Standardlimet i prosjektet er i seg selv svakt alkalisk, med en pH i konsentrat på 8. 2-(2-Butoksyetoksy)etanol er sannsynligvis et løsningsmiddel i limet, og ikke et nedbrytningsprodukt.

Butanol måles i høyere konsentrasjoner ved prøvene i tabell 4 enn i tabell 5. Dette kan ha sammenheng med butanols lettflyktighet, den forsvinner i kondisjoneringstiden i kammeret før prøvetaking. I tabell 4 er prøvene gjennomført med uventilert kammer, i tabell 5 med ventilert kammer.

Referanseprøvene i tabell 5 er utført ved å påføre lim på to aluminiumsplater. På den ene platen er det lagt to lag porøst papir som er dynket med en alkalisk vannløsning (pH 13). Begge platene har deretter fått stå tildekket av plastfolie i 1 døgn. Deretter har limet fått stå i ventilert kammer i 1 døgn før VOC-prøvetaking. Tabellen viser at i tiden med alkalisk eksponering (opp til 2 døgn) er det ikke skjedd noen ytterligere hydrolyse i limet.

Tabell 4 Dominerende forbindelser fra belegg lagt på aluminiumsplate. Kammerkonsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i uventilert kammer etter 8 dager. Den ene referanseprøven (Belegg limt på al-plate-2) er tatt ca. 3 måneder etter den første.

	2-etyl-heksanol	Butanol	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol acetat	1-metyl-2-pyrrolidinon	TVOC
Vinyl 1 uten lim	6		27	3	4	176
Vinyl 1 med lim (1. prøve)	61	198	152	50		907
Vinyl 1 med lim (2. prøve)	188	155	222	457		1226
Vinyl 2 uten lim	7		35		21	182
Bakgrunnskonsentrasjon i Kammer	1		2	2		20

Tabell 5 Dominerende forbindelser fra lim ført på en aluminiumsplate. Kammerkonsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) etter 1 døgn i ventilert kammer (0,8 l/s). I det ene tilfelle har limflaten blitt påført alkalisk vann pH=13.

	2-etyl-heksanol	Butanol	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol acetat	1-metyl-2-pyrrolidinon	TVOC
Lim på al-plate	259	31	426	682	-	1632
Lim på al-plate, påført alkalisk løsning i 2 døgn	260	5	328	612	-	1512

4.4.2 Betydningen av relativ fuktighet

I en sammenstilling av tidligere undersøkelser /3/ er det påvist en sammenheng mellom avgassing av 2-etyl-heksanol og butanol og fuktighetsnivå i betongen. Resultatene av alle prøvene med belegg direkte på C25 er vist i fig. 6.

Fig. 6 viser lavere konsentrasjon av butanol ved lav RF i betongen. For de øvrige forbindelsene er ikke reduksjonen like klar.

I fig. 7 er prøvetakingen utført med frilagt limflate og ventilert kammer. Høyere fuktighet gir her en klarere økning i konsentrasjonene, spesielt for 2-etylheksanol og butanol. De målte konsentrasjonene er lave på grunn av mindre eksponert areal i kammeret.

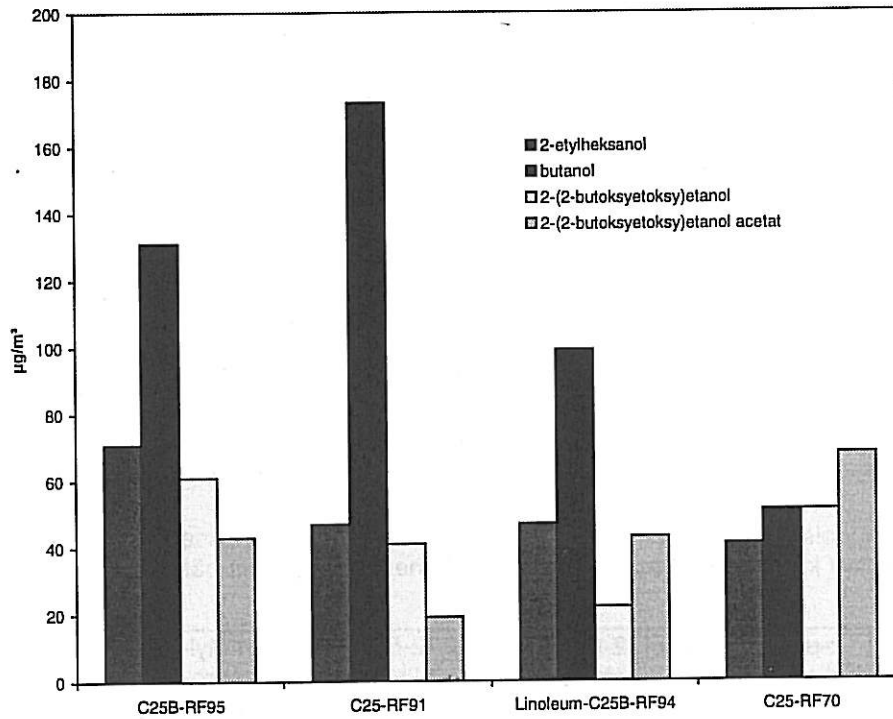


Fig. 6 Avgassing og relativ fuktighet i underlag av C25 betong. Kammerkonsentrasjon etter 8 døgn i uventilert klimakammer. Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser).

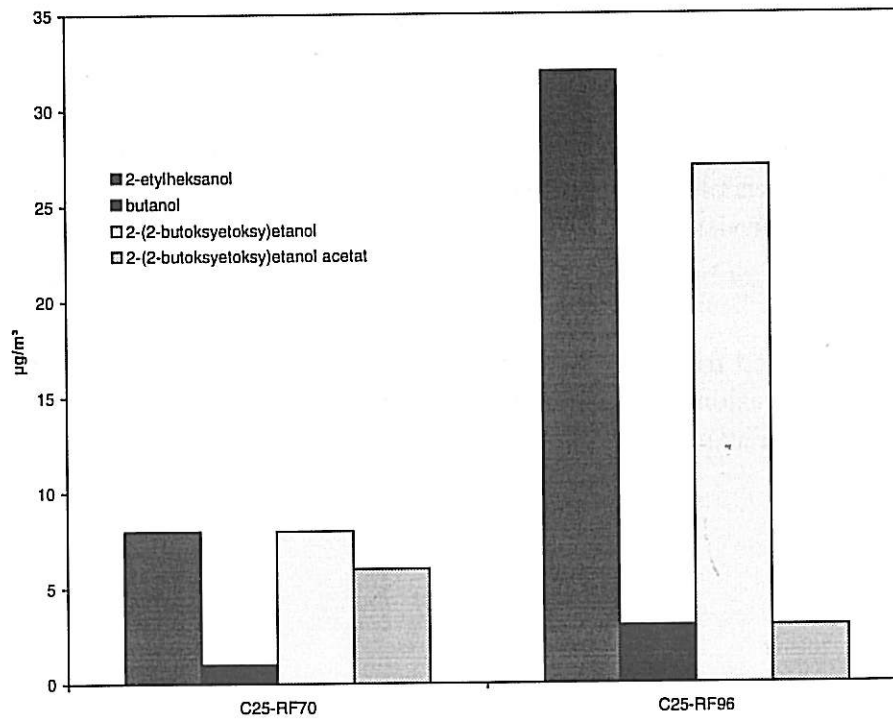


Fig. 7 Avgassing og relativ fuktighet i underlag av C25 betong. Kammerkonsentrasjon etter 1 døgn i ventilert kammer (0,5 l/s). Eksponert areal 0,025 m² (1 boks med belegget tatt av)

4.4.3 Limtype

Fig. 8 viser avgassing fra prøver med 4 ulike limtyper. Det går fram at en limtype har desidert bedre egenskaper med hensyn på avgassing enn de andre limtypene.

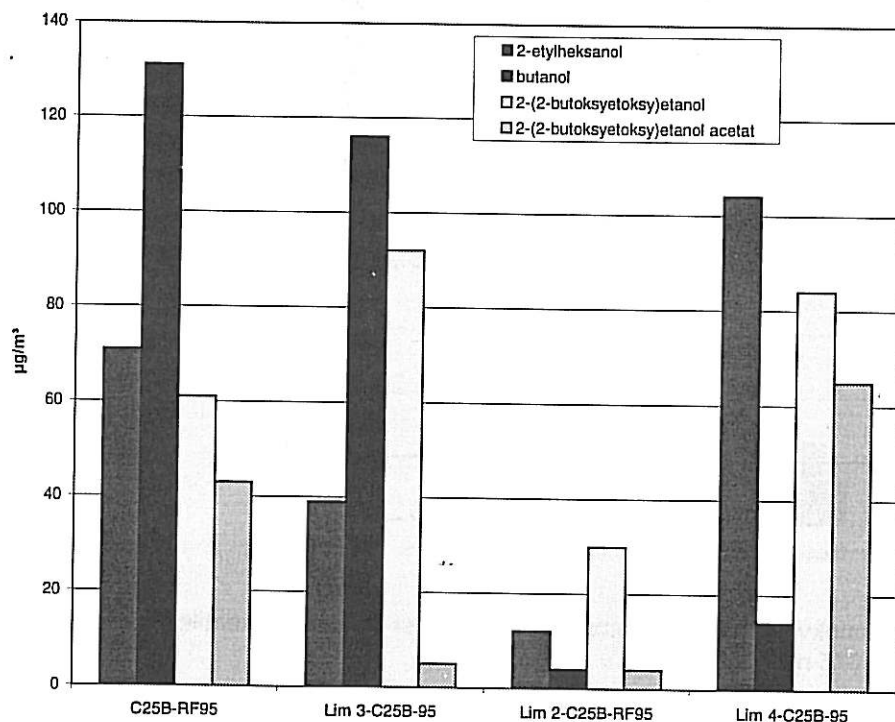


Fig. 8 Avgassing og limtype. Kammerkonsentrasjon etter 8 døgn i uventilert klimakammer. Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser).

4.4.4 Betongkvalitet

Fig. 9 viser resultater fra VOC-prøver med ulike betongkvaliteter, utført med uventilert kammer. Det er en tendens til at avgassing øker med økende betongkvalitet. Dette kan ha sammenheng med at høyere betongkvalitet også innebærer en mindre porøs overflate, vannet i limet suges ikke i samme grad opp i betongen. Eventuelt gir den høyfaste betongen gode forhold for kapillærkondensasjon, siden det først er ved RF 88% at det er markert økt avgassing. For øvrig viser figuren at Lim 2 selv på et ugunstig underlag som C65 gir lave konsentrasjoner i kammeret.

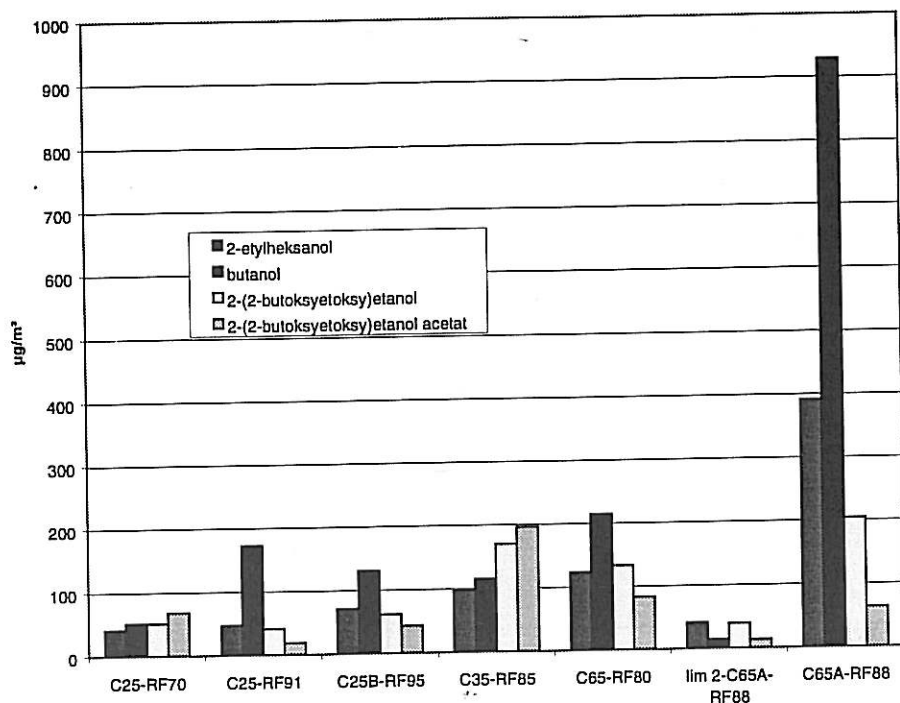


Fig. 9 Avgassing og betongkvalitet. Kammerkonsentrasjon etter 8 døgn i uventilert klimakammer. Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser).

4.4.5 Sparkelmasse

Avgassing fra prøvestykker med sparkelmasse er undersøkt både med uventilert kammer (fig. 10) og ved ventilert kammer (fig. 11).

Fig. 10 indikerer at to av sparkelmassene har en gunstig effekt på avgassing, mens en skiller seg ut i negativ retning. Figuren viser også en negativ effekt av å legge belegg på en dårlig uttørket sparkelmasse (markert med "rask legging", dvs. ett døgn etter påføring av sparkelmasse). Likeledes har det ført til økt emisjon å legge belegg på en svært fuktig betong og sparkelmasse, jf. "sparkel 3 m/ epoksy. Her er et epoksysjikt med sand påført 3 dager gammel betong, døgnet etter ble det lagt sparkelmasse, og døgnet etter der ble det lagt belegg.

Sparkel 4 er basert på hydraulisk kalk og aluminatsement som bindemiddel og kasein som flytmiddel. I forhold til for eksempel sparkel 2, inneholder sparkel 4 lite sand og mye filler-materiale, noe som muligens kan gi en tettere og mer finporøs overflate.

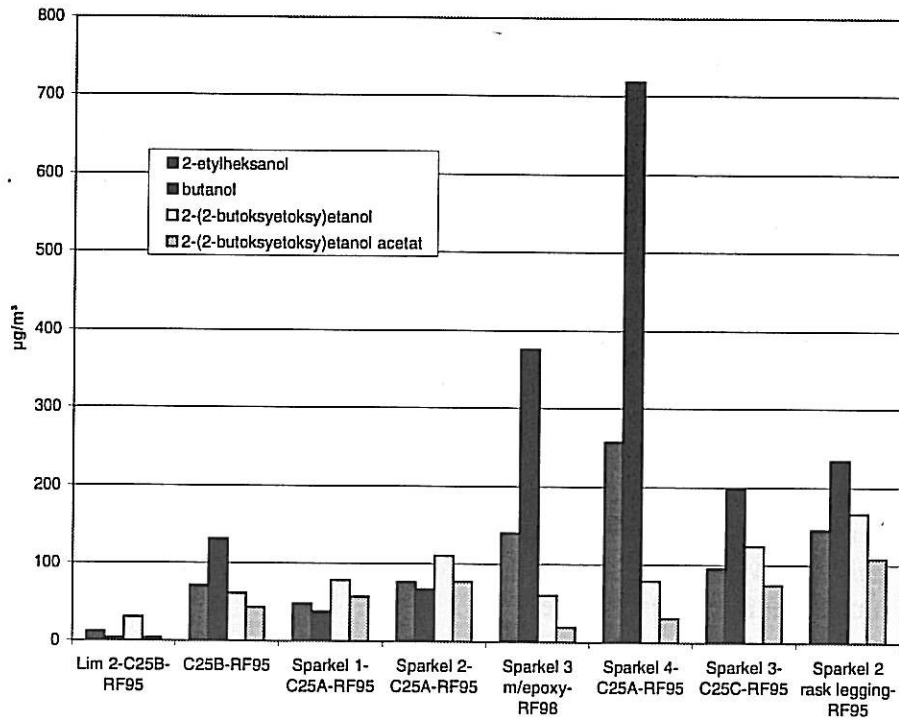


Fig. 10 Avgassing og bruk av sparkelmasse. Kammerkonsentrasjon etter 8 døgn i uventilert klimakammer. Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser). "Rask legging" referer til at sparkelmassen kun har fått tørke ett døgn før belegg ble lagt på.

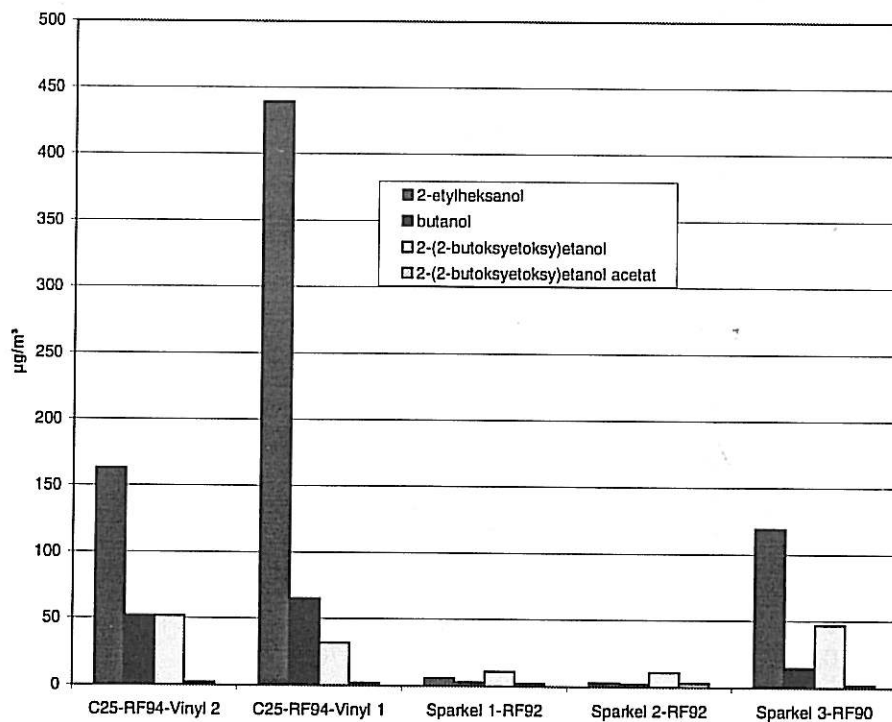


Fig. 11 Avgassing og bruk av sparkelmasser. Kammerkonsentrasjon etter 1 døgn i ventilert kammer (0,5 l/s). Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser med deler av belegget tatt av)

4.4.6 Fuktsperrer

Fig. 12 viser avgassing fra prøvestykker der betongen er behandlet med vannglass m/katalysator før lim og belegg. Figuren indikerer også at Vinyl 1, som har mer fyllstoffer enn Vinyl 2, er noe mer åpen for 2-etylheksanol. Det er ikke registrert noen effekt av behandlingen. Fig. 13 viser det samme med en annen belastning i klimakammeret.

Det er også gjort forsøk med mindre prøvestykker som er tilført fuktighet kapillært. Fem bokser ble skåret over, slik at prøvestykkene fikk en tykkelse på ca. 21 mm. Disse prøvestykkene ble plassert i kontakt med et vannbad i en uke, slik at vann ble sugd opp kapillært nedenfra. Dette gir en ekstrem fuktbelastning på limfuge og belegg. Tabell 6 viser data fra behandling av prøvestykkene. Fig. 14 viser resultater fra VOC-målinger på prøvestykkene.

Fig. 14 viser at vannglass ikke gir noen spesiell beskyttelse av limfilmen ved ekstrem fuktbelastning. Ved å åpne belegget var det tydelig at limet var gått i oppløsning. Det samme gjaldt for prøvestykket med epoksy/sparkelmasse samt for et prøvestykke med sparkelmasse. Limfilmen i prøvestykket med Lim 2 var noenlunde intakt og dessuten luktfri. Prøvestykkene med Lim 2 og sparkel 1 gir lavest emisjon. Tabell 6 viser at prøvestykket med vannglass har tatt opp like mye vann som de andre prøvestykkene.

En tilsvarende svensk undersøkelse /4/ har vist en positiv effekt av vannglassbehandling, avgassing av 2-etylheksanol er redusert i forhold til en referanseprøve med ubehandlet betong som underlag for lim og belegg.

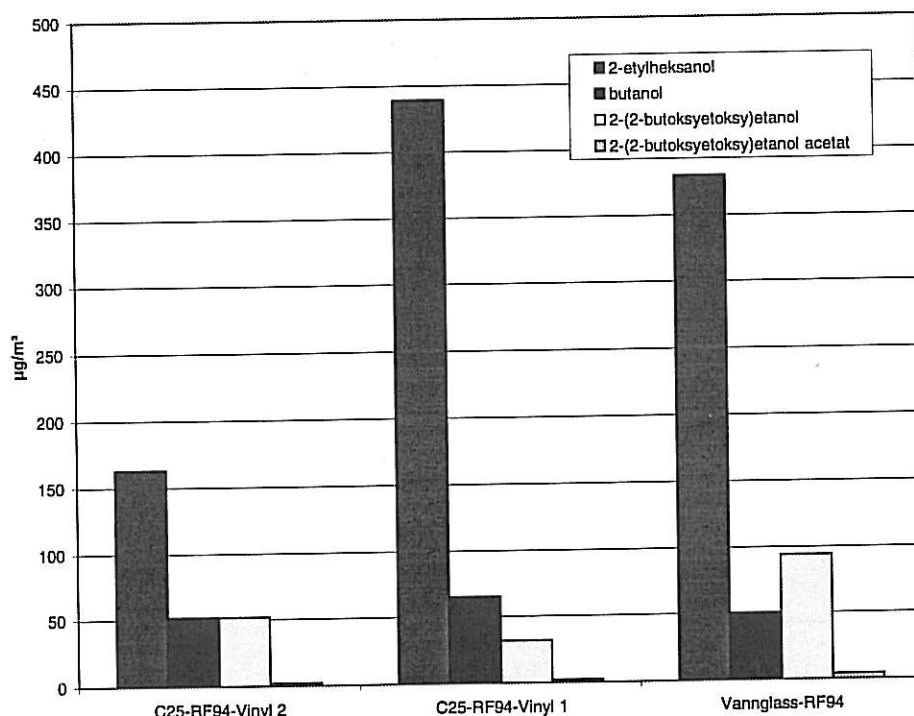


Fig. 12 Avgassing og bruk av vannglass. Kammerkonsentrasjon etter 1 døgn i ventilert kammer (0,5 l/s). Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser med deler av belegget tatt av)

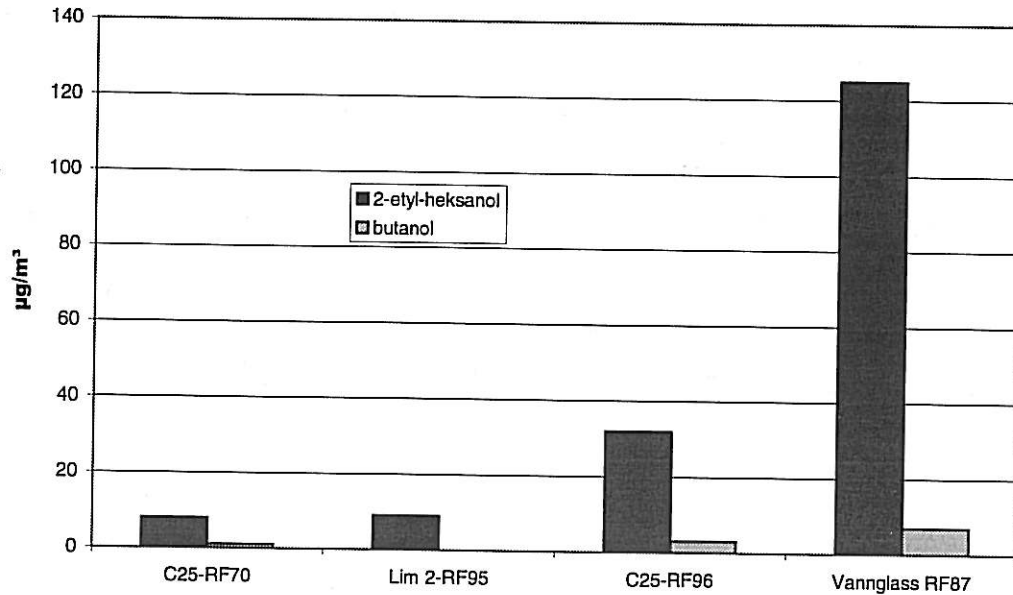


Fig. 13 Avgassing og bruk av vannglass. Kammerkonsentrasjon etter 1 døgn i ventilert kammer (0,5 l/s). Eksponert areal 0,005 m² (1 boks med belegget lagt ved siden av)

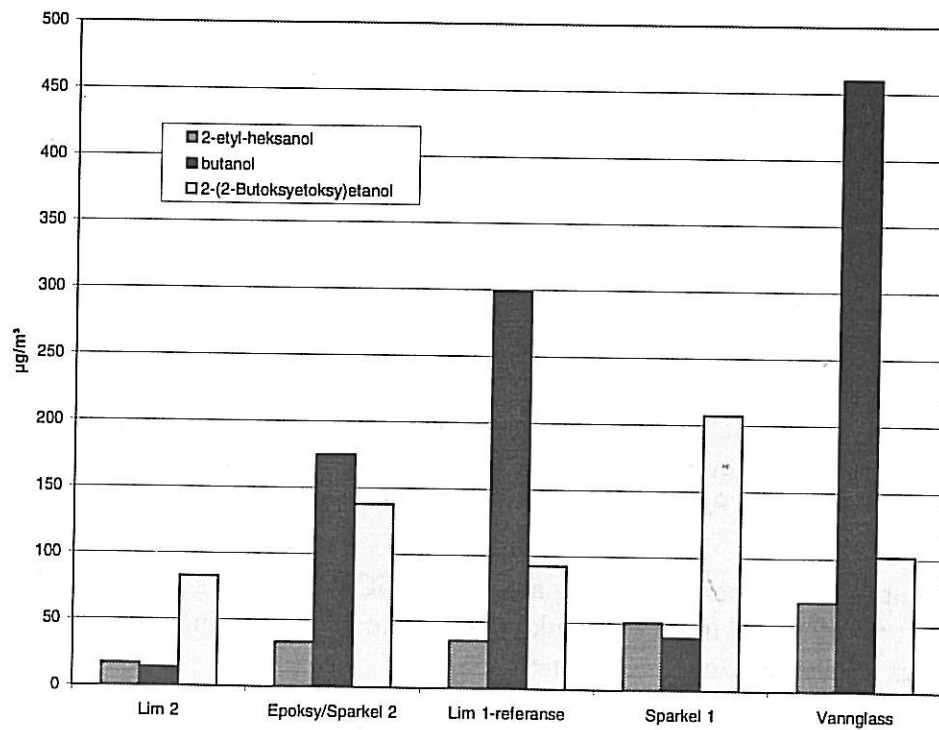


Fig. 14 Avgassing fra prøvestykker med kapillært tilført fuktighet. Kammerkonsentrasjon etter 8 døgn i uventilert kammer. Eksponert areal 0,025 m² (1 boks).

Tabell 6 Data for prøvestykker vist i fig. 14. På alle prøvestykkene er det limt belegg på enten ubehandlet betong (C25), sparkelmasse eller vannglass. Lukt (under belegg) er angitt subjektivt, på en skala fra 0 (ingen lukt) til 5.

Behandling	Lim (g)	Vekt før vann- opptak (g)	Etter vann- opptak (g)	Opptatt vann (g)	Vann- opptak vekt-%	2-etyl- heksanol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Butanol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Lukt
C25-Lim 2	25	1443	1491	48	3,3	17	14	442	0,5
Epoksy/sparkel 2	25	1763	1844	81	4,6	34	175	719	4
C25-vannglass	24	1347	1395	48	3,6	67	460	925	4
Sparkel 1		1585	1678	93	5,9	51	40	940	3
C25	25	1349	1400	51	3,8	36	299	956	4

4.4.7 Gulv med varmekabler

Betonggulv med innlagt varmekabler kan representere en ekstra påkjenning for lim og gulvbelegg. Når varmekablene slås på, oppstår en temperaturgradient i dekket som kan drive fuktighet opp mot overflaten. Byggforsk har derfor lenge stilt ekstra strenge krav til gulvkonstruksjoner med varmekabler. I prosjektet er det støpt ut et forsøksgulv for å vurdere betydningen av varmekabler, se fig. 15. Gulvet er støpt ut med C25, v/c 0,62, samme betong som ble brukt til boks 1-70, jf. tabell 1. To av feltene i gulvet har innlagt varmekabel. På det midterste feltet ble vinylbelegg limt på ved 85 % RF i dybden 0,4-h. Gulvet sto i en oppvarmet hall uten styring av luftfuktighet.

Påstøpen ble glattet med stålsparkel, uten noen form for vibrering. Det ble brukt standard limtype.

Tabell 7 viser resultater fra VOC-analyse. Prøvetakingen er utført ved å stikke adsorpsjonsrør (Tenax) innunder en oppskåret flik av belegget. Måleverdiene kan derfor ikke sammenliknes med kammermålinger, de er ikke representative for målinger i romluft og de er i liten grad reproducerbare.

Tabell 7 viser en økt avgassing i det midterste feltet, som har varmekabel og høyest fuktighet (85 % RF). Det var også en forskjell i luktintensitet fra limsjiktet mellom midtfeltet og de to andre feltene. I alle feltene var det god heft mellom belegg og underlag.

Tabell 8 viser emisjonsprøver fra forsøksgulv og prøvestykker av betongelementer, med VOC-analyser gjennomført med direkte-visende IR-spektrometri. Tabellen bekrefter konklusjonene fra tabell 7. For sammenligning er det målt på tilsvarende måte under belegg limt på betongelementer av høyfast betong. Resultatet bekrefter at høyfast betong kan være et uheldig underlag.

TVOC-målinger foretatt med IR-spektrometri og analyse på GC/MS kan ikke sammenliknes direkte, blant annet fordi IR-spektrometrien inkluderer flere VOC-forbindelser, først og fremst lette forbindelser med mindre enn 6 C-atomer.

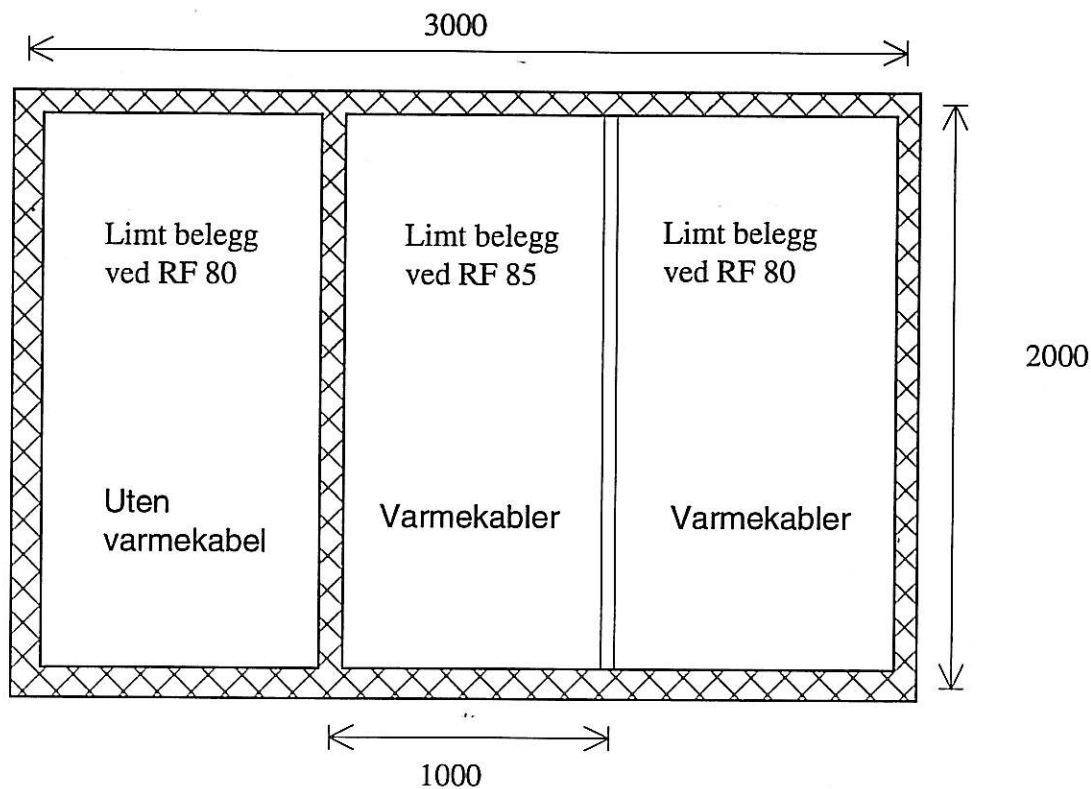


Fig. 15 Skisse av forsøksgulv med betong og varmekabler. Gulvet skal simulere en påstøp på trykkfast isolasjon. Tykkelsen på støpen er ca. 8 cm.

Tabell 7 Resultater fra VOC-analyse av luft over limsjikt i forsøksgulv. VOC-konsentrasjoner angitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lukt (under belegg) er angitt subjektivt, på en skala fra 0 (ingen lukt) til 5. Heft er vurdert subjektivt ved å løsne belegg fra underlaget (skala 0-5, 0 ingen heft)

	RF ved gulvlegging	Uttørkingsperiode	2-etylheksanol	Butanol	2-(2-butoksyetoksy)etanol	Lukt	Heft
Felt m/ varmekabel	80	7 uker	2701	3991	1369	3	5
Kontroll felt uten varme	80	7 uker	2646	3915	1474	3	5
Felt m/ varmekabel	85	4 uker	>10000	>10000	>10000	4	5

Tabell 8 Målt TVOC-konsentrasjon under belegg i forsøksgulv med varmekabler og prøvestykker med betongelementer. Analyse med direktevisende, IR fotoakustisk spektrometri og prøvetaking med Tenax og analyse med GC/MS

Forsøksvariant	Analysemetode/ TVOC	
	IR	GC/MS
	mg/m^3	Mg/m^3
Felt med varmekabel, RF 84 %	1000	11
Felt med varmekabel, RF 73 %	600	>30
Felt uten varmekabel, RF 83 %	140	9
Betongelementer RF 80 %	1300	

4.4.8 Helsemessig vurdering

De fleste VOC-prøvetakingene i klimakammeret i prosjektet gir ikke direkte noen informasjon om hvilke nivåer de ulike gulvkonstruksjonene vil gi i et virkelig rom. Tabell 9 viser resultater fra en VOC-prøvetaking som er utført med hensikt på å beregne en konsentrasjon i et standardrom. Målemetoden er gjennomført etter Siden prøvestykkene i prosjektet er små i forhold til tilført luftmengde i kammeret, blir usikkerheten ved konvertering av måledata til konsentrasjoner i virkelige rom stor. Prøvestykkene består av 3 bokser med vinyl som er limt på betong C65 ved 88 RF. I følge målingene gjennomført i uventilert kammer, er dette det mest uheldige underlaget for limet. Omregning fra kammerkonsentrasjon til konsentrasjon i et standardrom er beregnet ved uttrykket (/5/):

$$c_r = c_k \cdot (q_k \cdot A_r) / (q_r \cdot A_k)$$

her er:

- c_r : beregnet konsentrasjon i rom
- c_k : målt konsentrasjon i kammer
- q_k : tilført luftmengde i kammer
- A_r : gulvareal i standardrom (17,42 m²)
- q_r : avtrekk i standardrom (0,5 oms/h (8,71 m³/h))
- A_k : areal prøvestykke i kammer

Tabell 9 Målte konsentrasjoner i kammer og tilhørende konsentrasjoner i et standardrom. Standardrommet er 17,42 m³, med avtrekk 8,71 m³/h og gulvareal 7 m². I kammeret er lufthastigheten over prøvene 0,15 m/s, avtrekket 0,5 l/s og areal prøvestykker 0,085 m².

	2-etyl-heksanol	2-(2-butoksyetoksy)etanol	Butanol
Kammerkonsentrasjon	9 µg/m ³	9	5
Konsentrasjon i standardrom	153 µg/m ³	153	85
Emisjonsfaktor	190 µg/(m ² ·h)	190	106

Verdiene i tabell 9 kan sammenliknes med tabell 10, som viser grenseverdier for lukt, irritasjon og RD50. RD50 er den konsentrasjonen som induserer en 50 % reduksjon av åndedrettsraten i mus. En vanlig konvertering fra irritasjon hos mus til irritasjonsrelatert grenseverdi for mennesker er 0,03·RD50. Tabellen viser at de aktuelle forbindelsene kan gi lukt, men at de ikke vil virke irriterende i luftveiene.

I prosjektet er det i forbindelse med VOC-prøvene gjort subjektive vurdering av lukt under belegget. Fig. 16 viser sammenheng mellom målt butanol-konsentrasjon i prøver utført med uventilert kammer og luktvurdering. Samvariasjonen er bedre mellom lukt og butanol enn for 2-etylheksanol og 2-(2-butoksyetoksy)etanol.

Tabell 10 Grenseverdier for aktuelle forbindelser fra gulvkonstruksjon med vinylbelegg og akryl-basert lim. Referanser: Luktterskel og Grenseverdi: "VOCBASE", B. Jensen, P. Wolkoff, Danmark 1996. Irr.terskel: Dansk Indeklima Mærkning. "Prøvningsstandard til bestemmelse af afgassing fra byggevarer", 1. udgave 1994

Forbindelse	Luktterskel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Irritasjonsterskel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Grenseverdi 0,03·RD50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2-etyl-heksanol	500	1753	$7,16 \cdot 10^3$
1-butanol	90	3000-3800	$356 \cdot 10^3$
2-(2-butoksyetoksy)etanol	5	-	-

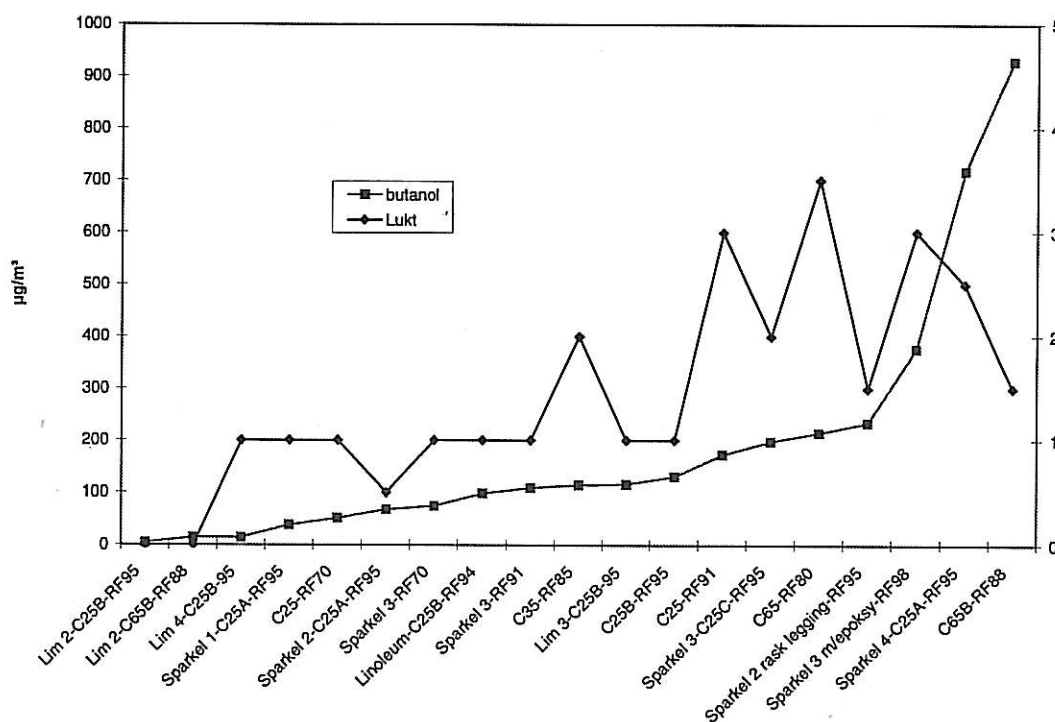


Fig. 16 Samvariasjon mellom subjektiv luktintensitet (0-5) under belegg og målt butanolkonsentrasjon av prøvestykkene i uventilert kammer (med uåpnet belegg).

4.5 Vurdering av resultatene

I forkant av prosjektet var det ventet at høy fuktighet i betong ville føre til en nedbrytning av et akrylat-basert limsjikt, med luktproblemer og klar økning i avgassing til følge.

I prøver utført uten eksponert limflate ser det ut til at det skal svært mye fuktighet til for å vise en klar fuktbetenget, alkalisk nedbrytning av limsjiktet. Målingene viser høye konsentrasjoner i VOC-prøver gjort på limsjiktet i seg selv (se tabell 5) og på et vinylbelegg limt på en aluminiumsplate. Se fig. 17, som viser alle resultater utført med uventilert kammer. Både fra limsjiktet i seg selv og fra aluminiumsplate med vinyl og lim avgis høye konsentrasjoner av nedbrytningsproduktene 2-etyl-heksanol og butanol. Se for øvrig alle data i tabell 1 i Vedlegg.

Med utgangspunkt i referanseprøvene med vinylbelegg limt på aluminiumsplate skiller følgende underlag for gulvbelegg seg negativt ut (se fig. 17):

- Høyfast betong med relativt høy fuktighet (C65A RF 88)

- En sparkelmasse basert på hydraulisk kalk og aluminatsement (Sparkel 4-C25A-RF95)
- En dårlig uttørket sparkelmasse (Sparkel 2 rask legging)
- Dårlig uttørket sparkelmasse på svært fuktig betong (sparkel 3 m/epoksy-RF98)

I forhold til referanseprøvene er det imidlertid flere prøver med underlag som reduserer avgassingen. Det gjelder først og fremst Lim 2 og to av sparkelmassene.

Den ene referanseprøven (Belegg limt på al-plate-2) er tatt ca. 3 måneder etter den første. I denne perioden er nivået av butanol redusert, mens konsentrasjonen av 2-etyl-heksanol er økt.

Prøver gjennomført med eksponert limflate og ventilert kammer (se fig. 18) viser først og fremst en bedre effekt av de to sparkelmassene sparkel 1 og sparkel 2. Dessuten indikeres en klarere økning i emisjon ved høyere fuktighet. Behandling av overflaten med vannglass ser ikke ut til å føre til noen reduksjon i avgassingen. For øvrig er det typisk at 2-etyl-heksanol dominerer over butanol i disse prøvene, mens det er omvendt ved prøvene i uventilert kammer. Dette kan skyldes at den lettflyktige butanolen forsvinner fra limflaten under kondisjoneringsringen av prøven i det ventilerte kammeret. Se for øvrig tabell 2 i Vedlegg.

Tabell 11 viser resultater fra emisjonsprøving av bokser med henholdsvis frilagt limflate/aktiv oppsamling, tett belegg/passiv oppsamling og tett belegg/infrarød spektroskopi. Målingene gir en annen rangering av variantene, f.eks. gir kontrollprøven med belegg limt på aluminiumsplate mye mindre avgassing enn prøvestykkene. Prøvetaking med adsorpsjonsrør og analyse på GC/MS er imidlertid en langt sikrere metode, blant annet fordi IR-metoden bare angir en udefinert totalkonsentrasjon av flyktige organiske forbindelser (TVOC) og ikke konsentrasjoner av de aktuelle forbindelser som 2-etyl-heksanol og butanol.

Forsøk med fuktsperrer tyder på at slike midler ikke gir noen beskyttelse dersom konstruksjonen utsettes for store fuktpåkjenninger undenfra.

Beregninger som konverterer kammerkonsentrasjoner til romkonsentrasjoner tyder på at lukt kan bli et problem fra gulv med en uheldig kombinasjon av lim og underlag. I følge litteratur på området er det imidlertid ingen risiko for helseskader eller irritasjoner i slimhinner og luftveier som følge av de aktuelle forurensningsnivåene.

Generelt ser det ut til at vanninnholdet i limet betyr mye for avgassingen. Dersom underlaget for limet er lite sugende, kan limfukten i seg selv være tilstrekkelig til å gi en relativt høy avgassing. Limsjiktet kan også bli tilført vann fra underlaget, men det ser først ut til å få større betydning ved svært høy fuktighet i betongen (RF > 95). Det er også mulig at spesielle temperaturforhold kan føre til ekstra vanntilførsel til limet på grunn av kapillærkondensasjon i øvre deler av betongen. Målinger utført på et forsøksgulv med varmekabler viser at temperaturgradienter i betongen kan føre til økt nedbrytning og avgassing.

Måleusikkerheten ved VOC-prøvene i prosjektet kan settes til $\pm 5\%$, når VOC-komponentene angis som toluen-ekvivalenter. For øvrig er ulik bearbeiding av betongoverflatene på prøvestykkene en forstyrrende faktor. Ved mye bearbeiding (pussing) av overflaten, vil mye finstoff i betongen bli trukket opp, slik at betingelsene for kapillærkondensasjon og vanntilførsel til limet blir bedre. Overflatens evne til å suge opp limfukten vil også bli dårligere.

Tiden prøvestykkene har ligget med belegg har variert fra ca. 3 måneder og opp til et halvt år. Målingene viser ingen systematisk avhengighet av tiden. Dette kan forklares med at det på den ene siden forsvinner flyktige stoffer fra overflaten, på den annen side foregår det en nedbrytning i limet som danner nye stoffer.

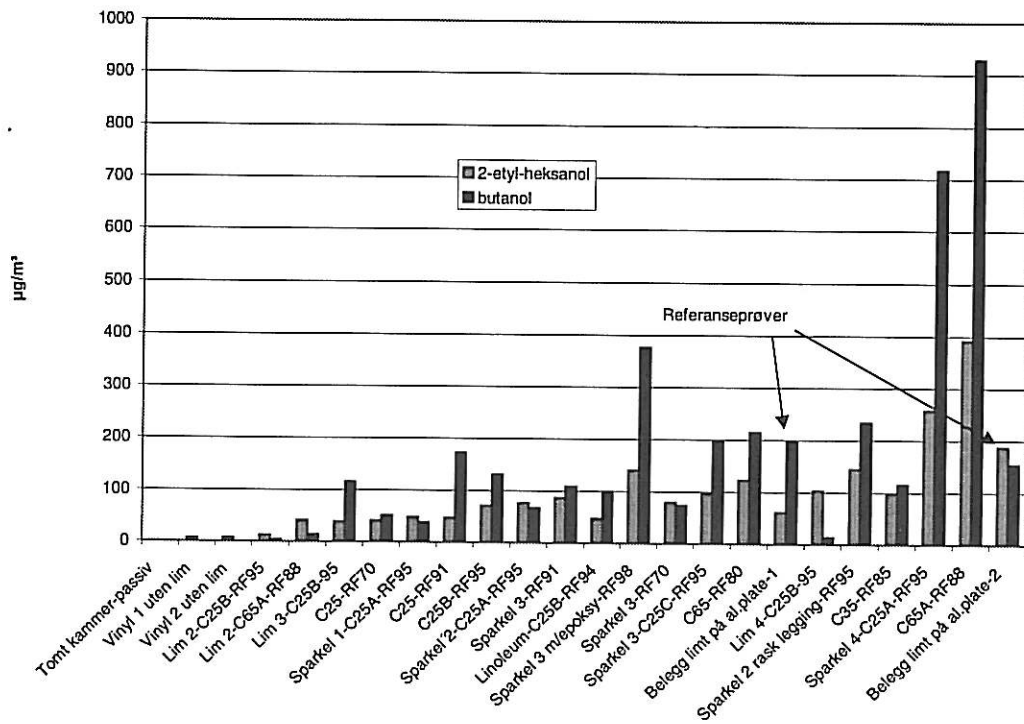


Fig. 17 Alle prøver i uventilert kammer. Kammerkonsentrasjon etter 8 dager. Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser). Ingen limflate eksponert.

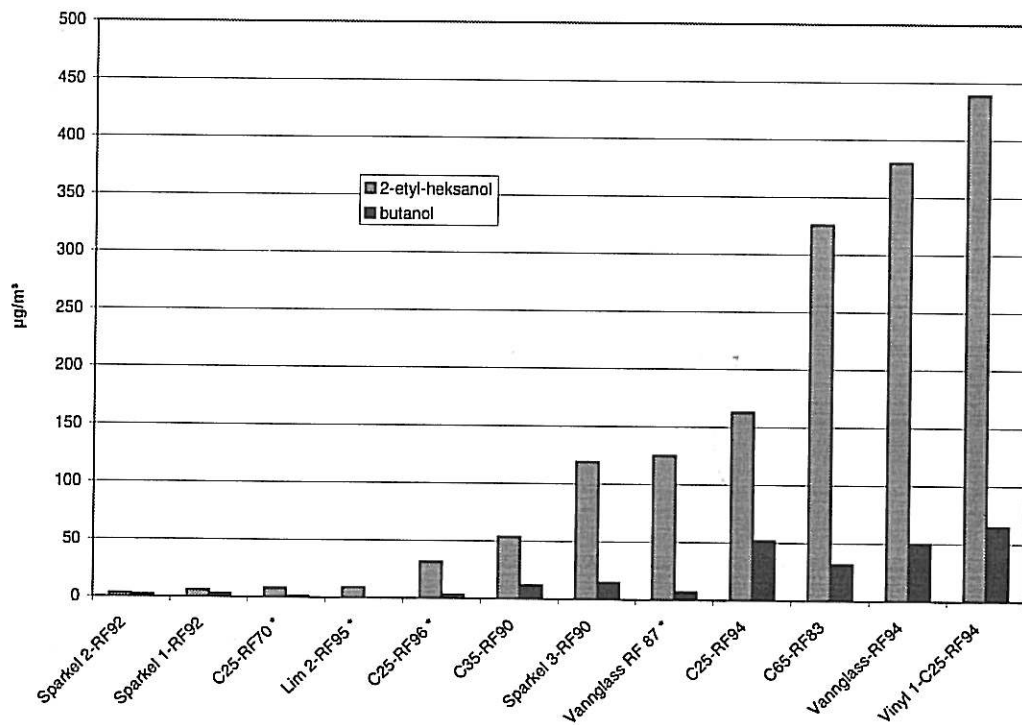


Fig. 18 Prøver i ventilert kammer. Kammerkonsentrasjon etter 1 døgn i ventilert kammer (0,5 l/s). Eksponert areal 0,075 m² (3 bokser med deler av belegget tatt av). I prøvene merket med * er det gjort prøver med kun 1 boks, dvs. eksponert areal 0,025 m².

Tabell 11 Avgassing av TVOC fra prøvestykker. Gassanalyse med infrarød spektroskopi. Tett belegg. Gjennomsnittskonsentrasjon fra 3 bokser over en uke med uventilert klimakammer

Forsøksvariant	Kammerkonsentrasjon TVOC Mg/m ³
Bakgrunn	9
al. Plate med belegg, uten lim	10
al. Plate med belegg og lim	14
Lim 2, C25, RF87	18
Sparkel 1, RF 90,5	22
C25, vannglass, RF87	28
C25, RF 87, Vinyl 1	34
C65, RF88	50
C25, RF98 (fukt tilført kapillært)	55

5 Avgassing fra betong- og gulvprodukter

5.1 Metoder

Det er utført emisjonsmålinger (sensorisk og kjemisk analyse) av ulike betongprodukter i klimakamre (CLIMPAQ) i Byggforsks emisjonslaboratorium. Måleprosedyren følger i hovedsak retningslinjene i Dansk inneklimateknisk ordning for byggevarer /5/.

Emisjonsprøvene er utført på prøvestykker av:

- gulvbetong C25 uten P- eller SP-stoffer (referanse)
- gulvbetong C25 med SP-stoff, (1,5 kg/m³ betong)
- gulvbetong C45 uten P- eller SP-stoffer (referanse)
- 2 gulvbetonger C45 med ulike SP-stoffer (1,5 % av sementvekt (40 % vandig løsning)
- 3 sparkelmasser for gulv
- 3 ulike gulvbelegg (vinyl med forskjellig innhold av fyllstoffer og linoleum)

Av tilsetningsstoffer ble produkter basert på både lignosulfonat (P-stoff) naftalensulfonat-formaldehyd kondensat (f.eks. MIGHTY 150) og sulfonerte melamin-formaldehyd kondensater (f.eks. Melment) utprøvd.

5.2 Resultater

Tabell 12 viser målte kammerkonsentrasjoner av flyktige organiske forbindelser (TVOC), formaldehyd og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Målingene viser svært lave verdier for VOC og PAH. Ingen av de registrerte forbindelsene innenfor disse gruppene forekommer i nivåer som skal kunne føre til lukt, irritasjon eller noen form for helseskade. Sparkelmassene avgir en del formaldehyd. Omregnet til konsentrasjoner i et standardrom vil sparkel 1 gi en formaldehydkonsentrasjon lik 67 µg/m³. Dette gjelder i et rom med fersk sparkelmasse (4 uker) og uten noen form for gulvbelegg, som åpenbart vil redusere konsentrasjonen. Retningsgivende norm for innemiljø fra Statens helsetilsyn angir 100 µg/m³ for formaldehyd.

Tabell 12 Målt konsentrasjon av ulike forbindelser i klimakammer (CLIMPAQ). Målingene er gjennomført ca. 4 uker etter utstøping/produksjon. Lufttilførsel i CLIMPAQ: 0,8 l/s. "Aksept" er målt med et luktepanel. 0 er helt akseptabel luftkvalitet og 10 helt uakseptabel luftkvalitet. 5 representerer en grense mellom akseptabel og uakseptabel luftkvalitet.

	Areal i kammer m ²	TVOC µg/m ³	Formaldehyd µg/m ³	PAH µg/m ³	Aksept lukt µg/m ³
C25 Melment	1,07	202 ¹⁾		0,16	5,6
C45 Naftalen	1,07	66	2,4	0,14	5,8
C45 Referanse	1,07	41	2,4		4,9
C45 Lignosulfonat	1,07	19			3,9
C45 Melment	1,07	20	6,3		3,8
Sparkel 3	0,9	357	10,5		7
Sparkel 2	0,9	57	18,8		9,5
Sparkel 1	0,9	51	26,1		5,3
Vinyl 2	0,8	20			4,5
Vinyl 1	0,8	91			6,3

¹⁾ 35 µg/m³ etter 26 uker

6 Partikler fra betongoverflater

I prosjektet er det gjennomført gravimetrisk støvmålinger av luft i kontorlokaler der ventilasjonskanalene utgjøres av kanaler i dekke-elementer i betong.

Støvmålingene i kontorbygningen med ventilasjonskanaler i betong, viste ekstremt lave støvkonsentrasjoner både i romluft og i ventilasjonskanal. Se tabell 13. Den rene luften skyldes først og fremst at bedriften ligger i landlige omgivelser, og at det gjeldende rommet ikke var i bruk under målingen. Men det er tydelig at ventilasjonskanalene ikke bidrar til målbare konsentrasjoner svevestøv. Målingene indikerer at innvendige overflater i betong neppe utgjør noen signifikant støvkilde i innemiljøet. Dette gjelder imidlertid ikke for gulvoverflater av betong, som må behandles på en eller annen måte dersom de utsettes for mekanisk slitasje. Det kan også diskuteres om andre betongoverflater av renholdstekniske hensyn også bør behandles.

Tabell 13 Resultater fra gravimetrisk støvmålinger i kontorbygning med ventilasjonskanaler i betong

	Finfraksjon $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Grovfraksjon $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Romluft møterom	2,5	4,8
I tilluftskanal møterom	< 1	2,1
Retningsgivende norm for innemiljø	20	-

7 Konklusjoner

Målingene i prosjektet viser at avgassing fra limte belegg kan gi lukt i rom, i hvert fall det første halve året. Beregnede forurensningskonsentrasjoner er imidlertid lavere enn etablerte terskler for slimhinneirritasjoner eller annen form for helseskade. De aktuelle forbindelsene er 2-etyl-heksanol, butanol og 2-(2-butoksyetoksy)etanol. Disse stoffene stammer først og fremst fra limet. De to første dannes som et resultat av en kjemisk reaksjon (hydrolyse) mellom hydroksider og akrylater.

Målinger utført på lim påført en aluminiumsplate viser at denne hydrolysen starter allerede i limemballasjen. Derfor viser også målinger på referanseprøver (vinyl limt på aluminiumsplate) relativt høye konsentrasjoner av 2-etyl-heksanol. Svært mange av VOC-målingene på utstøpte prøvestykkene i prosjektet viste ikke noe mer avgassing enn denne referanseprøven, til tross for at fuktigheten i betongunderlaget kunne være relativt høy.

Enkelte underlag fører til økt nedbrytning og økt avgassing fra limsjiktet:

- Høyfast betong med relativt høy fuktighet (C65A/RF 88)
- En sparkelmasse basert på hydraulisk kalk og aluminatsement på fuktig betong (RF 95)
- En dårlig uttørket sparkelmasse
- Dårlig uttørket sparkelmasse på svært fuktig betong

Det har ikke lyktes å finne et "kritisk" nivå for fuktigheten i betongkonstruksjoner før legging av tett belegg. En avgivelse av komponenter som butanol og oktanol ser ut til å kunne skje ved svært lave fuktnivåer (70 - 80 % RF).

Generelt ser det ut til at vanninnholdet i limet betyr mye for avgassing. Dersom underlaget for limet er lite sugende, er limfukten i seg selv tilstrekkelig til å gi en relativt høy avgassing. Limsjiktet kan også bli tilført vann fra underlaget, men det ser først ut til å få betydning ved svært høy fuktighet i betongen (RF > 95). Det er også mulig at spesielle temperaturforhold kan føre til ekstra vanntilførsel til limet, på grunn av kapillærkondensasjon i øvre deler av betongen. Målinger utført på et forsøkgulv med varmekabler viser at temperaturgradienter i betongen kan føre til økt nedbrytning og avgassing.

Flere av prøvestykkene i prosjektet hadde svært liten avgassing. Det gjaldt først og fremst prøvestykker med en ny limtype, som ikke er på markedet i dag. Et limunderlag av enkelte typer sparkelmasser gir også en reduksjon i avgassing.

Bruk av ulike typer fuktsperrer ga ingen reduksjon i avgassing.

Generelt viser målingene i prosjektet at utvikling av nye limtyper er det mest effektive tiltaket for å redusere avgassing fra gulvkonstruksjoner med betong og et limt belegg. Tiltak som strengere krav til maks. relativ fuktighet i betongen eller bruk av høyfast betong med lite overskuddsfuktighet vil ikke ha samme effekt. Det siste kan tvert i mot virke mot sin hensikt.

VOC-, formaldehyd- og PAH-målinger utført på prøvestykker av betong med ulike konsentrasjoner av plastiserende tilsetningsstoffer viste svært lave konsentrasjoner. Tilsvarende målinger utført på sparkelmasser viste noe avgassing av formaldehyd, men de beregnede konsentrasjonene i rom ligger under retningsgivende normer utgitt av Statens Helsetilsyn.

Støvmålinger i kontorbygning med ventilasjonskanaler i betong, viste ekstremt lave støvkon-sentrasjoner både i romluft og i ventilasjonskanal.

8 Vedlegg

Tabell 1 Data for prøvetaking med uventilert kammer og ueksponert limflate (tett belegg). Lukt (under belegg) er angitt subjektivt, på en skala fra 0 (ingen lukt) til 5. Heft er vurdert subjektivt ved å løsne belegg fra underlaget (skala 0-5, 0 ingen heft). Bruddflate: 1 er brudd mellom limsjikt og belegg, 2 er brudd i limsjikt og 3 er brudd mellom limsjikt og betong

Behandling	Type Belegg	Vekttap % før belegg	Uttørkingsperiode dager	Tid med belegg dager	2-etyl-heksanol $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Butanol $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2-(2-Butoksy-etoksy)etanol acetat $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Brudd -flate	Lukt	heft	Eksponert areal m^2
Vinyl 1 uten lim	Vinyl 1				6		27	3	176				0,08
Vinyl 2 uten lim	Vinyl 2				7		35		182				0,08
Lim 2-C25B-RF95	Vinyl 2	0,80	34	117	12	4	30	4	242	2	0	1	0,08
Lim 3-C25B-95	Vinyl 2	0,77	34	117	39	116	92	5	484	2	1	1	0,08
C25-RF70	Vinyl 1	1,75	191	89	41	51	51	68	491	1	1	3	0,08
Lim 2-C65A-RF88	Vinyl 1	0,18	13	109	41	14	39	13	387	1	0	3	0,08
C25-RF91	Vinyl 2	0,75	34	223	47	173	41	19	529	1	3	1	0,08
Linoleum-C25B-RF94	Linoleum	0,83	35	139	47	99	22	43	690	3	1	2	0,08
Sparkel 1-C25A-RF95	Vinyl 2	0,43	13	219	48	38	78	57	515	1	1	3	0,08
Belegg limt på al.plate-1	Vinyl 1			40	61	198	152	50	907				0,08
C25B-RF95	Vinyl 2	0,71	34	117	71	131	61	43	571	2	1	1	0,08
Sparkel 2-C25A-RF95	Vinyl 2	0,43	13	228	76	67	110	77	576	1	0,5	3	0,08
Sparkel 3-RF70	Vinyl 1	1,99	194	95	79	74	143	83	751	1	1	3	0,08
Sparkel 3-RF91	Vinyl 2	0,74	34	223	87	109	57	13	687	1	1	2	0,08
Sparkel 3-C25C-RF95	Vinyl 1	0,88	32	86	96	198	124	74	775	1	2	3	0,08
C35-RF85	Vinyl 2	0,60	49		98	115	170	196	1004	2,5	2	1,5	0,05
lim 4-C25B-95	Vinyl 2	0,76	34	140	104	14	84	65	918	2	1	2	0,08
C65-RF80	Vinyl 2	0,25	48	239	123	215	133	83	812	1	3,5	3	0,08
Sparkel 3 m/epoksy-RF98	Vinyl 2	1,34	3	206	140	376	60	19	748	1	3	3	0,08
Sparkel 2 rask legging-RF95	Vinyl 1	0,84	29	98	145	234	166	108	998	3	1,5	1,5	0,08
Sparkel 4-C25A-RF95	Vinyl 2	0,39	13	219	257	718	79	31	1376	1	2,5	3	0,08
C65B-RF88	Vinyl 1	0,17	13	109	391	929	204	63	1912	1	1,5	3	0,08
Belegg limt på al.plate-2	Vinyl 1			137	189	155	222	457	1226				0,08

Tabell 2 Data for prøvetaking med ventilert kammer og mer eller mindre eksponert limflate (aktiv prøvetaking VOC). Lukt (under belegg) er angitt subjektivt, på en skala fra 0 (ingen lukt) til 5. Heft er vurdert subjektivt ved å løsne belegg fra underlaget (skala 0-5, 0 ingen heft). Bruddflate: 1 er brudd mellom limsjikt og belegg, 2 er brudd i limsjikt og 3 er brudd mellom limsjikt og betong

Behandling	Vekttap % før belegg	Uttørkings- periode	Tid med belegg	2-etyl- heksanol µg/m ³	Butanol µg/m ³	2-(2-butoksy- etoksy) etanol µg/m ³	2-(2-butoksy- etoksy)etanol acetat µg/m ³	TVOC µg/m ³	Brudd	Lukt	Heft	Luft- mengde Kammer l/s	Ekspo- neret areal m ²	Ekspo- neret limflate m ²
Lim på al-plate				259	31	426	682	1632				0,8	0,08	0,08
Lim på al-plate, med alkali				260	5	328	613	1512				0,8	0,08	0,08
Sparkel 2-RF92	0,58	26	185	3	2	11	3	76	1	0	3	0,5	0,08	0,02
C25C-RF95	0,83	32	65	4	2	15	28	142	2	1	2	0,5	0,08	0,00
C25-RF91	0,75		223	5	6	7	7	67				0,5	0,08	0,00
Sparkel 1-RF92	0,58	26	185	6	3	11	2	73	1	0	3	0,5	0,08	0,02
C25-RF70			234	8	1	8	6	52				0,5	0,05	0,05
lim 2-RF95			168	9				37				0,5	0,05	0,05
C65-RF87				13	5	9	5	67				0,5	0,08	0,00
C25-RF96			168	32	3	27	3	96				0,5	0,05	0,05
lang åpningstid-c35-RF90	0,39	19	191	53	17	36	3	164	1	2	0	0,5	0,08	0,02
C35-RF90	0,40	19	191	54	12	13	1	107	1	1	0	0,5	0,08	0,02
Sparkel 3-RF90	0,61	26	185	119	15	47	2	296	1	1,5	3	0,5	0,08	0,02
Vannglass rf 87				125	7	150	34	626				0,5	0,05	0,05
Vinyl 2-RF94	0,58	22	189	163	52	52	2	330	1	3	0	0,5	0,08	0,02
C65-RF83	0,18	18	212	240	19	57	1	381	1	4	1	0,5	0,08	0,02
lang åpningstid-c65-RF83	0,18	18	191	326	32	95	4	524	1	2	1	0,5	0,08	0,02
Vannglass-RF94	0,55	20	191	380	50	94	4	585	1	4	0	0,5	0,08	0,02
lang åpningstid-c25-RF94	0,60	21	190	435	183	100	5	810	1	4	2	0,5	0,08	0,02
Vinyl 1-RF94	0,60	20	191	439	65	32	2	596	1	3	0	0,5	0,08	0,02

Tabell 3 Firmaer og organisasjoner som har støttet prosjektet eller deltatt i styringsgruppe

Navn	Kontaktperson
Norsk Betongforening	Tor Ole Olsen
NorBetong as	Hanne Rønneberg
Norcem as	Birger Søpler
Mur- og Betongsenteret	Hallvard Magerøy
SINTEF Konstruksjoner og betong	Per Arne Dahl/Harald Justnes
Norsk Hydro a.s.	Ånund Ryningen
Rescon as	Bjørn Bonsak
Scancem Chemicals	Trine Tveter
Optiroc AB	Jan Asztély
Strå Development ab	Johan Alexanderson
Polygon as	Svein Olav Bøe
Everseal as	Fleming Lødeng
4 Betongelementprodusenter	Jørn Injar/Sven Alexander
Alcatel Kabel Norge	Kristin Fagerhaug Sommerfelt

Litteratur

- 1 Blom, Justnes, Levy: Betong i bygninger – konsekvenser for inneklime. Forprosjekt. Prosjektrapport 193/96. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1996.
- 2 Hedenblad, G.: Uttorkning av byggfukt i betong. Byggforskningsrådet/SBUF. Lund 1995.
- 3 Gustafsson, Hans: "Golvmaterial på olika typer av fuktiga betongunderlag". SP-rapport 1996:25. SP, Borås 1996.
- 4 Fritsche, M. Kemisk emission från golvlm på betong-effekt av olika fukt- og alkalisper-rar. Rapport E-96:1. Chalmers Tekniska Høgskola 1996.
- 5 Dansk Inneklime Mærkning. Prøvningsstandard til bestemmelse av afgangning fra bygge-varer. 1. Udgave, desember 1994.



