NORDTEST för kontroll av självuttorkning hos betong. Bygg & Teknik 5-6/99. Stockholm. 1999, 49-52, 58-60.

Nordtest för kontroll av självuttorkning hos betong

I denna artikel beskrivs en preliminär Nordtest-metod för kontroll av självuttorkning hos betong. Metoden innebär att relativa fuktigheten, RF, mäts vid en månads ålder på bitar av betong. Uppmätt RF jämförs sedan med föreliggande krav till exempel enligt Bygg-AMA Hus eller enligt bygghandlingarna. Nordtext-metoden gör det möjligt att ställa krav på betongens självuttorkning förutom de krav som redan idag finns på betongens hållfasthet. Vid utvecklingen av metoden studerades nio betonger med ett vattencementtal, vct, varierande mellan 0,32 och 0,50. Hälften av betongerna innehöll fem procent silikastoft. Metoden visade sig ge en signifikant skillnad i självuttorkning beroende av cementtyp och vct samt vad gäller innehåll av silikastoft i betongen. Den nya Nordtext-metoden har även tillämpats i praktiken, dels vid en betongfabrik i Trelleborg, dels på en byggplats Malmö. Metoden togs fram mellan 1995 och 1999 efter ett samarbete mellan Byggnadsmaterial/Byggnadskonstruktioner, Danmarks tekniska universitet, Lyngby och LTH Byggnadsmaterial, Lunds universitet, Lund.

Sedan den byggfuktfria betongen började användas i Sverige för tio år sedan har inga skadefall rapporterats vad gäller fukt eller mögel, då denna betongtyp använts [1–2]. Det har ändock funnits ett önskemål från beställare/byggentreprenörer av en standardiserad kontroll vad gäller betongens självuttorkning. Beställare och entreprenörer har önskemål om att få en bekräftelse på att betongen i praktiken uppfyller de krav som ställts på självuttorkning hos betongen. Ett krav på självuttorkning är oftast kopplat till en viss tidsrymd. Hitintills har krav som ställs på betong främst gällt hållfasthet (till exempel vid en månads ålder, så kallat K-värde) samt på beständighet vad gäller frostbeständig betong (till exempel en lufthalt större än fem procent). Vid proportionering av byggfuktfri (självuttorkande/snabbtorkande) betong jämför betongfabriken ofta ett krav på självuttorkning med ett K-värde för betongen. Detta är till förfång för utvecklingen av nya recept på betong eftersom till exempel luftporbildare ej kommer till användning. K-värdesmetoden ger dessutom oftast en betong med alltför hög hållfasthet. Det är nämligen vattencementtalet/vattenbindemedelstalet, vct/vbt, inte hållfastheten, som styr betongens självuttorkning.

Målet med detta Nordtest-projekt var att utveckla och tillämpa en praktisk metod för att kontrollera betongens självuttorkning vid en månads ålder.

Metod

Vid utvecklingen av metoden förelåg ett antal utvecklingsmål som skulle lösas:

- ❒ Effektiv fuktisolering av betongprover.
- ❒ Snabb och enkel uttagning av betongprover.
- ❒ Fuktmätning under realistiska förhållanden.

Det låg nära till hand att använda prover som så nära som möjligt anslöt till de rutiner som används vid provning hållfastheten hos betong. Det var olämpligt att använda kuber eftersom dessa ej kan isoleras från fuktförluster direkt från gjutningen. Metoden innebar i stället att betongen av göts i stålformar (cylindrar 100 x 200 mm). På så sätt förseglades all fukt i betongen direkt från gjuttillfället. Efter avformning förvarades tre cylindrar av varje betong i plaströr under en månad vid 20 ±2 °C. Plaströret med de tre betongcylindrarna vägdes såväl före som efter den månadslånga härdningstiden för att kontrollera eventuella fuktförluster. Vid en månads ålder provades cylinderhållfastheten. Efterhand som betongen krossades stoppades bitar från var och en av de tre cylindrarna i olika glasrör. Provrören tätades snabbt med gummiproppar efter det att de hade fyllts med betong. Glasrören med innehåll förvarades vid 20 ±2 °C under ett dygn. Vid fuktmätningen stacks en sond ned i glasröret och tätades runt om med en expanderande gummiring. RF-mätningen utfördes vid 20 ±0,5 °C under ett dygn. För att uppfylla detta temperaturkrav utfördes mätningen i ett klimatskåp. Betongrecept, eventuella viktförluster under härdningstiden, tryckhållfasthet samt RF-resultat noterades i ett protokoll enligt *tabell 1*. Korrekt RF

Tabell 1. Protokoll för Nordtest-metod för självuttorkning hos betong.

Beteckning på betongen			
Gjutdatum:			
Vikt efter avformning (g):			
Provningsdatum:			
Vikt före provning (g):			
Viktsförlust (g):			
Tryckhållfasthet (MPa):		Avläst värde	Kalibrerat värde
Prov 1			
Prov 2			
Prov 3			
Medelvärde			
Relativ fuktighet, RF (%):	Fuktgivare no	Avläst värde	Kalibrerat värde
Prov 1			
Prov 2			
Prov 3			
Medelvärde			



*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, Lunds tekniska högskola, Byggnadsmaterial, Lund.*

Tabell 2. Sammansättning samt väsentliga egenskaper hos provade betonger (kg/m³, etc.)

Material /betong	32L	32N	32NS	38L	38N	38NS	50L	50N	50NS
Kvartsit 12–16 mm	669	686	725	532	535	549	407	417	434
Kvartsit 8–12 mm	137	141	149	258	259	266	320	329	343
Grus 0–8 mm	704	722	763	747	750	771	830	852	887
Sand 0 mm (filler)	107	110	93	43	43	44	32	33	34
Cement	395	405	428	343	345	354	274	281	293
Granulerat silikastoft	-	-	21	-	-	18	-	-	15
Luftporbildare (g/m³)	43	44	50	34	35	35	26	26	27
Flytmedel (melamin)	3,4	3,5	3,6	1,7	1,7	1,8	0,9	0,9	1,0
Vattenreducerare	1,7	1,8	1,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1
Vatten inklusive all fukt	127	131	137	131	131	135	136	138	144
Vattencementtal inkl. fukt	0,32	0,32	0,32	0,38	0,38	0,38	0,50	0,50	0,50
Lufthalt (procent av volym)	12,5	10,5	6,0	13,0	13,0	10,5	15,5	13,5	11,0
Andel ballast	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,80	0,80	0,80
Ballast/cement kvot	4,2	4,2	4,2	4,6	4,6	4,6	5,8	5,8	5,8
Sättmått (mm)	90	100	80	140	170	150	200	180	180
Densitet in färskt tillstånd	2 145	2 200	2 330	2 090	2 100	2 175	2 000	2 050	2 150
28-dygns cylinderdensitet [1]	2 280	2 330	2 370	2 280	2 260	2 290	2 060	2 150	2 200
Dito vid 18 °C (kg/m³) [2]	2 290	2 330	2 350	2 300	2 260	2 280	2 040	2 150	2 210
Dito vid 20,5 °C (kg/m³) [2]	2 290	2 320	2 390	2 290	2 270	2 310	2 100	2 180	2 190
Dito vid 23 °C (kg/m³) [2]	2 270	2 340	2 380	2 260	2 250	2 290	2 040	2 130	2 210
Lufthaltsförlust, (A (%) [3]	6,5	6,0	2	9,0	7,5	5,5	3,0	5,0	2,5
Lufthalt efter härdning (%) [4]	7,5	6,0	5,5	5,5	7,0	6,5	14,0	10,0	10,0
28-dygns cylinderhållfasthet [1]	47	51	71	51	38	51	20	27	33
Dito vid 18 °C (kg/m³) [2]	47,0	53,0	72,0	56,5	41,0	54,5	20,5	26,5	32,5
Dito vid 20,5 °C (kg/m³) [2]	49,5	51,0	74,0	52,0	39,5	52,0	21,9	30,0	33,0
Dito vid 23 °C (kg/m³) [2]	45,0	48,0	67,0	44,0	34,5	46,0	18,5	24,0	33,0
Temperaturberoende hållfasthetsminskning (MPa/°C)	0,5	1	1,1	2,5	1,3	1,7	0,5	0,6	0

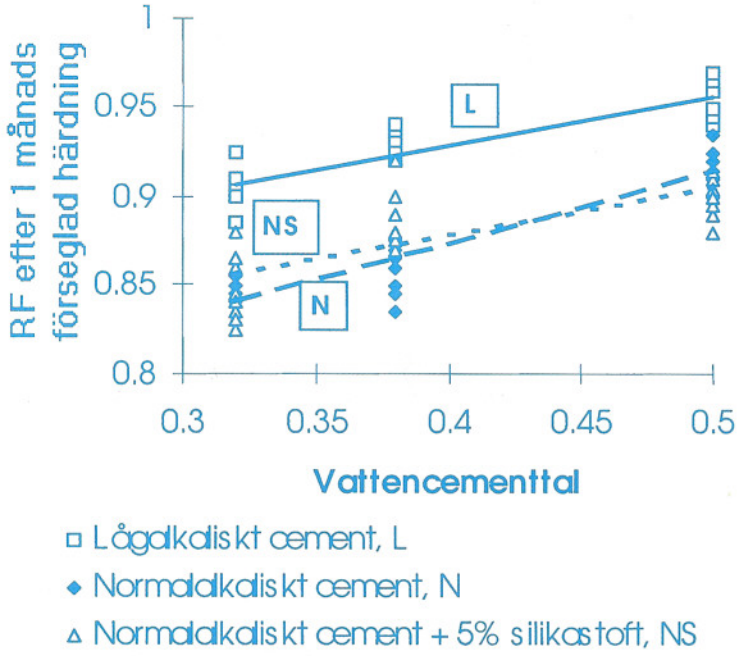
[1] 9 cylindrar, [2] 3 cylindrar, [3] $100 \cdot [(\rho_{28d}/(\rho_{färsk})-1]$ %, [4] $A_{färsk} - \Delta A + 1,5$ %, L = lågalkaliskt cement (Degerhamn Standard), N = normalalkaliskt cement (Slite Standard), NS = normalalkaliskt cement (Slite Standard) + 5 % silikastoft, 32 = vct (%).

bestämdes med hjälp av en kalibreringskurva. Kalibreringen av fuktsonden utfördes inom en månad från mättillfället (före eller efter).

Tillämpning i laboratorium

Det var viktigt att först fastställa hur metoden fungerade i laboratorium främst vad gällde felkällor och noggrannhet [3]. Sammansättning samt viktiga egenskaper i färskt och härdat tillstånd hos de i laboratorium provade betongerna ges i *tabell 2*. Betongerna hade hög lufthalt i syfte att öka betongens gjutbarhet samt minska densiteten. Hög lufthalt inverkade emellertid ej på betongens självuttorkning [4]. Det stod tidigt klart att temperaturen under såväl härdningstiden som under fuktmätningen var av stor betydelse. Av denna anledning utfördes studien vid olika temperaturen, 18, 20,5 och 23 °C. *Figur 1 på sida 52* visar RF hos de i laboratorium provade betongerna som funktion av vct. Följande slutsatser drogs av laboratorieförsöken [3]:

1) Första månadens härdning kunde ske inom ett temperaturintervall av 20 ± 2 °C.
2) Fuktmätningen kunde ske inom ett temperaturintervall av 20 ± 0,5 °C
3) Efter en månad erhöll en betong med ett normalalkaliskt cement (Slite Standard) cirka fem procent lägre RF än en betong med ett lågalkaliskt cement (Degerhamn Standard) [5].



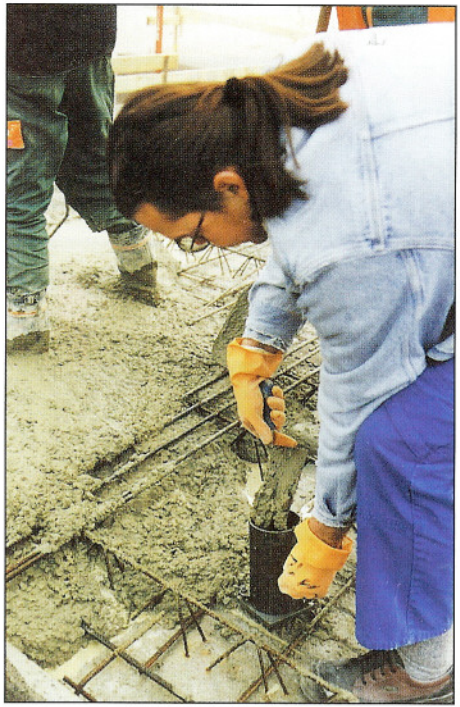
Figur 1. RF vid en månads ålder för betonger tillverkade i laboratorium som funktion av vct.

4) Betong med ett normalalkaliskt cement (Slite Standard) plus fem procent silikastoft (beräknat på cementinnehållet) erhöll cirka fem procent lägre RF än en betong utan silikastoft

5) Silikastoft kombinerat med normalalkaliskt cement påverkade således ej uppmätt RF

Resultat från fältförsök

Den nya Nordtest-metoden tillämpades på en byggplats Malmö samt vid en betongfabrik i Trelleborg. I samband med gjutning av betong på Peabs arbetsplats i Malmö tillverkades prover i form av standardcylindrar, *figur 2* [6].



Figur 2. Tillverkning av provkroppar på en arbetsplats (standardcylindrar).

Artikeln forsätter och avslutas i nästa nummer av Bygg & teknik, som utkommer vecka 37.

Nordtest för kontroll av självuttorkning hos betong – fortsättning

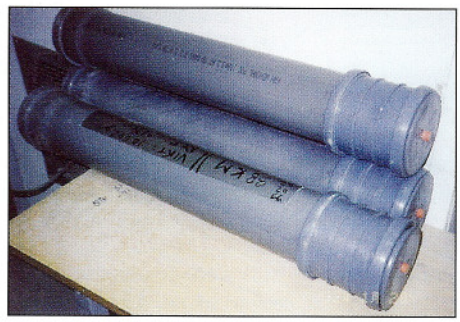
Bertil Perssons artikel från Bygg & teknik 5/99, som beskriver en preliminär Nordtest-metod för kontroll av självuttorkning hos betong, fortsätter och avslutas här. Metoden innebär att relativa fuktigheten, RF, mäts vid en månads ålder på bitar av betong. Uppmätt RF jämförs sedan med föreliggande krav till exempel enligt Bygg-AMA Hus eller enligt bygghandlingarna. Nordtext-metoden gör det möjligt att ställa krav på betongens självuttorkning förutom de krav som redan idag finns på betongens hållfasthet.

Samma provtagningsmetod tillämpades även vid betongtillverkningen på Essbetong i Trelleborg, dvs cylindrar göts av betong som hämtades direkt från betongtransporten, *figur 3*. Provtagningen var således relevant för en normal produktion, dels i betong från gjutplatsen gjuten



Figur 3. Provtagning vid betongtillverkningen (av betong från betongtransporten).

betong, dels från producenten på fabrik. Recept på de provade betongerna med väsentliga egenskaper i färskt och härdad tillstånd ges i *tabell 3*. Följande rutiner tillämpades i samband med provningarna:
1) Efter ett dygn i stålform avformades cylindrarna och placerades i ett avloppsrör av plast. Rörets ändar förslöts omedelbart med plastproppar med gummiringstätningar, *figur 4*.
2) Cylindrarna förvarades vid 20 ± 2 °C fram till fuktmätningen vid 28 dygns ålder.
3) Plaströren med innehåll vägdes såväl ett dygns efter gjutning som efter 28 dygn.



Figur 4. Härdning av betong i avloppsrör av plast. Rörändarna förslöts med plastproppar med gummiringstätningar (standardrör).

Tabell 3. Recept och egenskaper i färskt och härdad tillstånd för betonger provade i fält (kg/m³, etc.).

Material	38K	38S	40G	44L	68R	70GV
Blentarp 16–25 mm				804		927
Blentarp 11-18 mm	928	716	920		753	
Betongrus 0-8 mm	881	886	718	999	1 153	1 028
Glasfiller	60	99	62		35	17
Cement Slite Standard	456	518	552	419	289	269
Flytmedel (Glenium 51)[1]	2,72	2,18				
Luftporbildare (Peramin HPA)[2]	0,91			0,6		
Vatten (inkl fukt, fukt i flytmedel)	174	199	219	184	197	188
Makadam/(ballast + filler)	0,50	0,42	0,54	0,45	0,39	0,47
Densitet	2 500	2 420	2 471	2 405	2 429	2 429
Lufthalt (%)	2,6	1,2	1,1	5,6	1,4	2,6
Vct	0,38	0,38	0,40	0,44	0,68	0,70
Blandningstid (s)	246	300	121	192	158	113
Sättmått (mm)	140	> 280	105	120	-	145
Flytsättmått (mm)		560x630				
Flyttid till diametern 500 mm (s)		4,5				
Gjutbarhet	God	God	God	God	God	God
Betongarbetarnas intryck av betongen	Kletig	Bra	Seg	Sträv		Bra
Cylinderhållfasthet, 28 d (fabrik, 20 °C, MPa)	54	58	43	38		31
Cylinderhållfasthet, 28 d (objekt, 20 °C, MPa)	45	61	46	37		30
Kubhållfasthet 28 d (fabrik, 20 °C, MPa) [3]	76	82	61	54		43
Kubhållfasthet 28 d (objekt, 20 °C, MPa)[3]	64	86	65	51		42
Nordtest, 28 d (fabrik, 20 °C, % RF)	86	86,5	87	92		97
Nordtest, 28 d (objekt, 20 °C, % RF)	85,5	86	87	90		97
Gjutdatum, 1999	2/2	12/2	15/1	25/1	2/3	20/1

Beteckningar: d = dygn; [1] torrhalt 42 %; [2] cirka 10 % torrhalt; [3] beräknat enligt $f_{cc} = 1{,}41 \cdot f_c$

4) Vid 28 dygns ålder krossades betongcylindrarna vid provningen av hållfastheten. Fragment från varje hållfasthetsprovning placerades och förslöts i glasrör, *figur 5*.
5) Ett dygn efter hållfasthetsprovningen stacks fuktgivare in i glasröret och tätades med en expanderande gummiring runt om, *figur 6*. Temperaturen hölls vid 20 ±0,5 °C.
6) Fuktmätaren lästes av efter ett dygns mätning. Det avlästa värdet kalibrerades med saltlösningar till ett korrekt RF enligt ASTM E 104-85 [7].

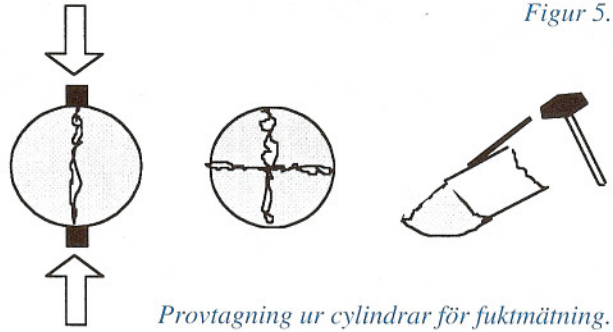
Resultaten av Nordtest-metoden ges i tabell 3 samt i *figur 7*. Figur 7 visar RF och hållfasthet som funktion av vct vid 28-dygns ålder, dvs variationen i resultat återspeglar såväl mätnoggrannheten (±2 % RF) som variationerna i betongproduktionen. Temperaturen under mätningen hölls vid 20 ±0,5 °C. Fuktmätaren lästes av efter ett dygn. Kalibrering till ett korrekt RF skedde med mättade saltlösningar enligt ASTM E 104-85 [7].

Diskussion

Figur 8 visar RF beräknad enligt nedanstående formel som funktion av vid fältförsöken uppmätt RF. Formeln togs fram i samband med de laboratorieprover som utfördes då Nordtest-metoden utvecklades [3]:

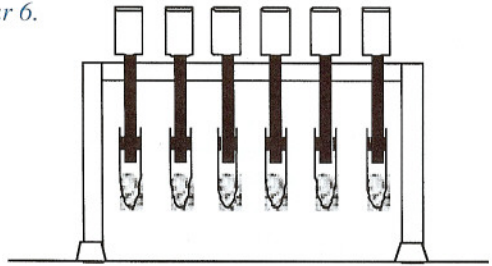
$$Ø = [A \cdot ln(t)+B] \cdot (vct)+C \cdot ln(t)+D \qquad (1)$$

Figur 5.



Provtagning ur cylindrar för fuktmätning.

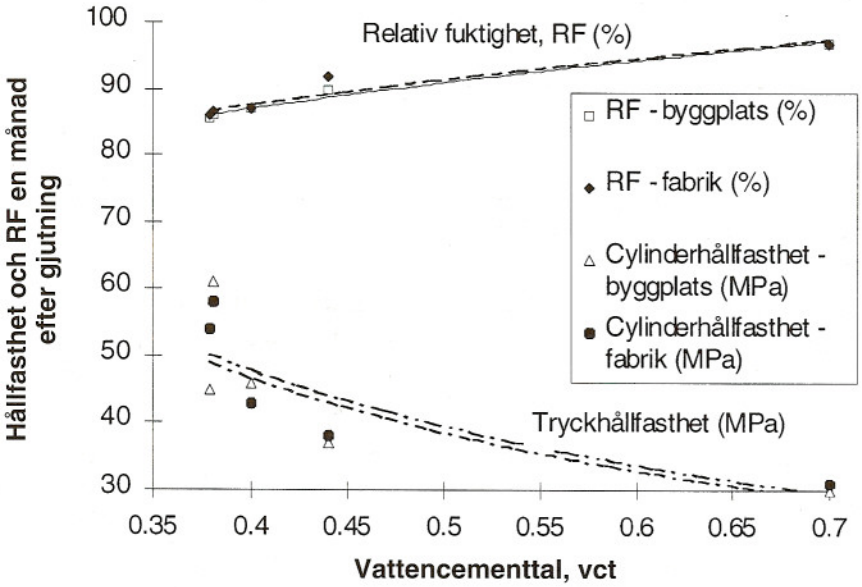
Figur 6.



Fuktmätning med fuktgivare som stacks in i glasröret och tätades med en expanderande gummiring runt om.

ln(t), betecknar den naturliga logaritmen betongens ålder, *t*, i månader
A, B, C, D, betecknar konstanter givna i *tabell 4*
R^2, betecknar en noggrannhetsparameter ($R^2 > 0,5$)

Som framgår av figur 8 så kunde betongproducenten och byggaren (trots variationerna i mätresultatet) med den nya Nordtest-metoden dokumentera betongens självuttorkning vid 28 dygns ålder. Denna typ av dokumentation är betydelsefull inte bara från kontraktsmässig synpunkt utan även vad gäller utveckling av nya självuttorkande betonger. Betongproducenten kan dessutom på ett enkelt sätt dokumentera hur ändringar av betongreceptet inverkar på det nådda resultatet i RF. Beställare kan med den nya Nordtest-metoden på ett enkelt sätt definiera ett RF-krav på en betong i och med att provningsmetodiken kommer att bli standardiserad. Beräkning av självuttorkning hos betong utförs till exempel enligt ett nyligen framtaget datorprogram [8]. Ingångsvärden är främst vct, ålder och mängd silikastoft. I programmet finns även beräkningar vad gäller hållfasthet, E-modul, Poissons



Figur 7. RF i betong tillverkad i fält som funktion av vct vid 28-dygns ålder. Variationen i resultaten återspeglar såväl mätnoggrannheten (± 2 procent RF) som variationerna i betongproduktionen.

tal samt krympning och krypning hos högpresterande betong.

Sammanfattning och slutsatser

I denna artikel beskrivs en ny Nordtest-metod för självuttorkning hos betong. Metoden innebar att relativa fuktigheten, RF, mättes vid en månads ålder på fragment från kontrollcylindrar utförda i betong. Uppmätt RF jämförs sedan med ett RF-krav till exempel enligt kontraktshandlingar för bygget. Nordtest-metoden medger att man förutom ett hållfasthetskrav på betong även kan ange ett RF-krav vad gäller betongens självuttorkning. Under utvecklingsstadiet studerades metoden på nio betonger med ett vattencementtal, vct, varierande mellan 0,32 och 0,50. Hälften av betongerna innehöll silikastoft. Metoden togs fram 1995–1998 efter samarbete mellan Danmarks tekniska universitet, Lyngby och LTH Byggnadsmaterial, Lund. Följande slutsatser kan dras:

1) Metoden visade sig ge signifikanta skillnader i uppmätt RF främst beroende av cementtyp och vct men även vad gäller innehåll av silikastoft i betongen.

2) Den nya Nordtest-metoden tillämpades med framgång på en byggplats Malmö samt vid en betongfabrik i Trelleborg.

3) Variationen i resultat återspeglar såväl mätnoggrannheten (± 2 % RF) som variationerna i betongproduktionen.

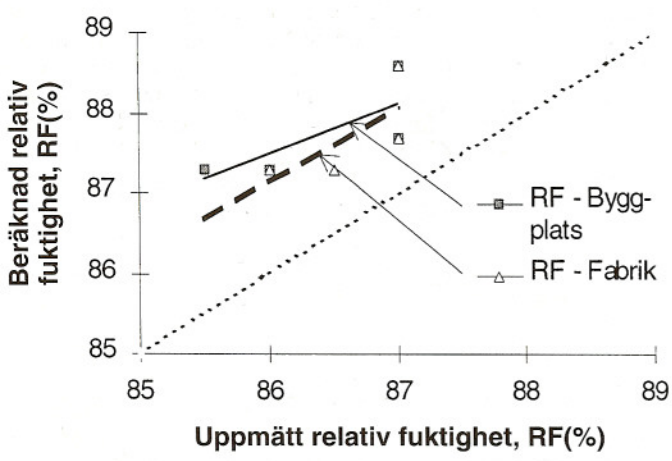
4) Betongproducenter och byggare kan med den nya Nordtest-metoden dokumentera betongens självuttorkning vid 28 dygns ålder.

5) Betongproducenter kan på ett enkelt sätt dokumentera hur ändringar av betongreceptet inverkar på det nådda resultatet i RF.

6) Beställare och entreprenörer kan med denna Nordtest-metod på ett standardiserad sätt definiera ett RF-krav på en betong i och med att provningsmetodiken blir känd.

Tabell 4. Konstanter i ekvation (1)

Cement typ, silikastoft/konstant	A	B	C	D	R^2
Lågalkaliskt	0,0378	0,185	-0,042	0,83	0,63
Normalalkaliskt	0,0588	0,219	-0,059	0,79	0,75
Normalalkaliskt + 5 % silikastoft	0,0351	0,223	-0,051	0,78	0,49



Figur 8. RF beräknad enligt ekvation (1) som funktion av RF uppmätt vid fältförsöken.

Erkännanden

Bidrag till utveckling av den nya Nordtest-metoden har lämnats främst från Nordtest OY, Helsingfors samt från Svenska Fabriksbetong Föreningen, SFF, Stockholm och Cementa AB, Danderyd, vilket härmed tacksamt erkänns.

Referenser

[1]. *Lars-Olof Nilsson*. Är högpresterande betong lösningen på fuktproblemen? Byggforskning. Stockholm. 2/98, 40–41 (1998).

[2]. *Göran Fagerlund, Bertil Persson.* Högpresterande betong utan byggfukt. Cementa 3/90, 18–19 (1990).

[3]. *Bertil Persson*. Effekt av cementtyp, silikastoft, vattencementtal, ålder och en måttlig temperaturändring på självuttorkning hos betong. "Effect of Cement Type, Silica Fume, Water-cement Ratio, Age and Moderate Shift in Temperature on Self-desiccation in Concrete." Nordic Concrete Research. Nordic Concrete Federation. Oslo 1/99, 96–117 (1999).

[4]. *Gudni Jonsson*. Snabbtorkande betong utan flyttillsats. Examensarbete. Rapport TVBM-5036. LTH Byggnadsmaterial. Lund, 199 sid. (1998).

[5]. *Göran Hedenblad, Mårten Janz*. Effekt av alkali på uppmätt relativ fuktighet i betong. Rapport TVBM-3057. LTH Byggnadsmaterial. Lund, 5-12 (1994).

[6]. *Bertil Persson*. Kompatibilitet mellan golvmaterial på betong. Rapport U98.11. LTH Byggnadsmaterial. Lund, 22 sid. (1998).

[7]. ASTM E 104-85. Standardmetod i syfte att bibehålla konstant relativ fuktighet över en vattenlösning. "Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions." The American Society for Testing and Materials. Philadelphia", 33–34, 637 (1985).

[8]. *Bertil Persson, Mikael Lundahl*. Datorprogram för beräkning av mekaniska egenskaper hos högpresterande betong. "Computer Program CREEP for Estimation of Mechanical Properties in HPC." Rapport U99.06 + CD-room. LTH Byggnadsmaterial. Lund, 2 sid. (1999).

Nytänkande för moderna hus. Framsteg inom FORSKNING OCH TEKNIK 1992. IVA Nytt 1992:5. 1992, 44-46.

Nytänkande för moderna hus

Var fjärde svensk drabbas i dag av allergi eller annan överkänslighet. Våra bostäder borde ha ett inomhusklimat och en närmiljö med högre standard och kvalitet än vad som nu är vanligt. För det krävs nya material, annorlunda teknik och – framför allt – ett nytt sätt att tänka.

Allergikeranpassade flerbostadshus

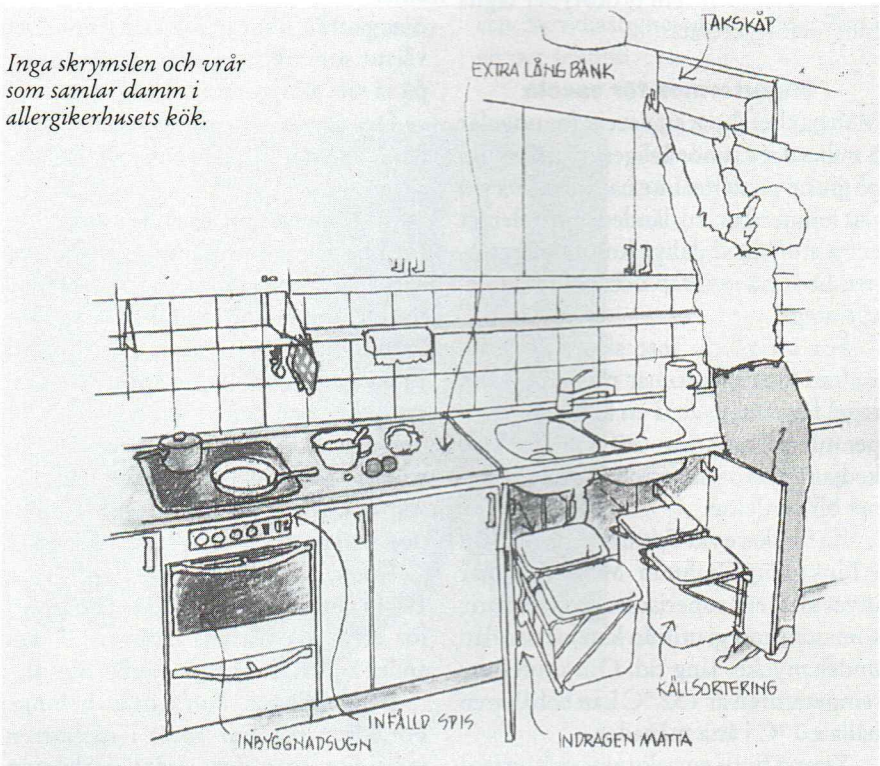
JM Byggnads och Fastighets AB (JM Bygg) har i samarbete med Stockholms fastighetskontor, Byggforskningsrådet och Svenska Byggbranschens utvecklingsfond byggt ett allergikeranpassat flerbostadshus med 13 lägenheter och ett daghem i Söderberga Gård i Bromma. Huset har projekterats och uppförts under vetenskaplig insyn och granskning.

Hyreslägenheterna förmedlas genom bostadsförmedlingen till sökande med medicinsk förtur på grund av allergiska besvär. Hyresgästerna har strikta boenderegler, t ex rökförbud, förbud mot att inneha pälsdjur och ta emot personer som bär päls. Man får heller inte använda parfym. Allt står inskrivet i kontraktet. Brevbäraren delar ut och hämtar post i speciella brevboxar i husets vindfång och kommer på det sättet aldrig in i huset. I vindfånget finns låsbara klädskåp placerade för att besökare ska kunna hänga av sig ytterkläder och pälsar.

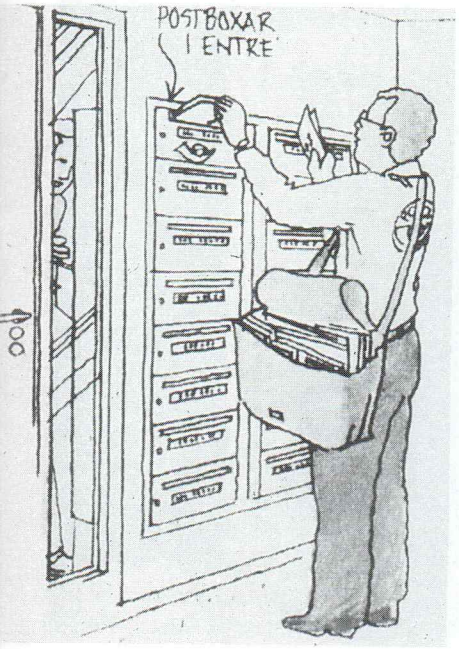
JM Byggs målsättning med projektet är att visa att det med relativt enkla arrangemang inom en normal bostadsproduktion går att bygga flerbostadshus, där människor med allergiska besvär kan må bra och leva ett anständigt liv till en rimlig kostnad. Planlösningarna är inte annorlunda än dem för övriga lägenheter i området.

Många av de problem som allergikern drabbas av lindras betydligt om städningen av den egna lägenheten kan bli enklare och mer effektiv. Lägenheterna har därför som standard centraldammsugare, diskbänksskåp utan botten där golvmattan är in- och uppdragen, köksskåp och garderober som är anslutna mot tak, vägghängda handfat och wc-stolar, badkar utan front, kakel på alla väggar i våtutrymmen, slätmålade tak, vippbara och släta värmeelement m m.

Huset har ett ventilationssystem (s k deplacerandeventilation) där de boende själva kan reglera ventilationen efter personliga önskemål. Man kan till natten styra luften från vardagsrummet till sovrummet där den då behövs som bäst. Grundflödet blir dock alltid kvar i alla

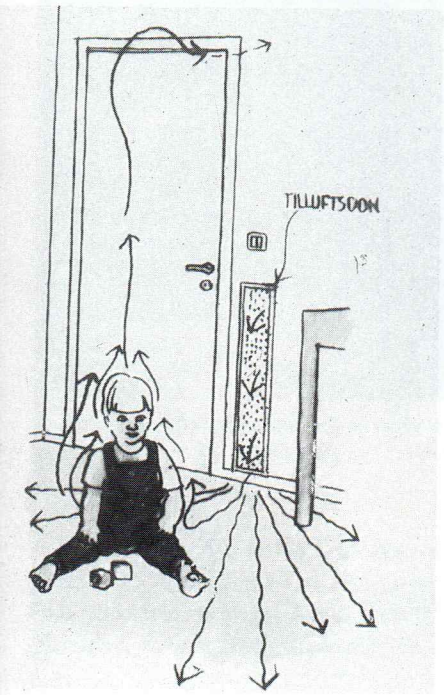


Inga skrymslen och vrår som samlar damm i allergikerhusets kök.



Brevbäraren lämnar post i boxar vid porten.

Speciellt ventilationssystem gör inomhusklimatet bättre för allergiker.



utrymmen. Ventilationsflödet blir upp till sex gånger större än vad de gamla byggnormerna krävde. Eftersom övertemperaturer inomhus under sommarperioden ofta upplevs som mycket besvärande av allergiker och astmatiker, kommer de boende att få möjlighet till viss kylning genom ventilationssystemet.

Alla material och produkter som används såsom golvmattor, lim, färger, snickerier, tapeter etc har granskats av forskare och kvalificerade specialister ur medicinsk synvinkel. Förkromade beslag och vattenarmaturer förekommer ej. Inte heller används s k flytspackel eller fogskum i huset. Flera av bjälklagen är gjutna med betong av extra hög kvalitet för att uppnå snabbare uttorkning.

Hyrorna för lägenheterna i det allergikeranpassade huset är inte högre än för de övriga nyproducerade lägenheterna i området. Byggkostnaderna är ungefär 7 procent högre.

Projektet visar också hur väsentligt det är med experimentbyggande i full skala och den direkta kommunikation som därigenom nås med forskare vid tekniska högskolor och universitet.

Elfri villa

Byggföretaget Kefab har ställt i ordning en villa för elallergiker utanför Göteborg. Nödvändig elektricitet stannar i en separat sidobyggnad, skild från villan. Där värms vatten som används både till uppvärmning och tappvatten.

Spis, kylskåp och lampor drivs med gasol. Telefon finns inte. Tomten är noga utvald för att den ligger långt från elledningar och magnetiska strömmar.

Högpresterande betong

Betong består av cement, vatten och ballast. Större mängd cement ger bättre kvalitet och vill man ha mycket hög kvalitet så finns det olika tillsatser som i kombination med noggrann proportionering och speciell bearbetning ger större hållfasthet hos betongen.

Betong delas in i tre typer efter tryckhållfastheten. Det är normal betong (< 80 MPa), högpresterande betong (< 155 MPa) och ultrahöghållfasta eller speciella betonger (< 350 MPa).

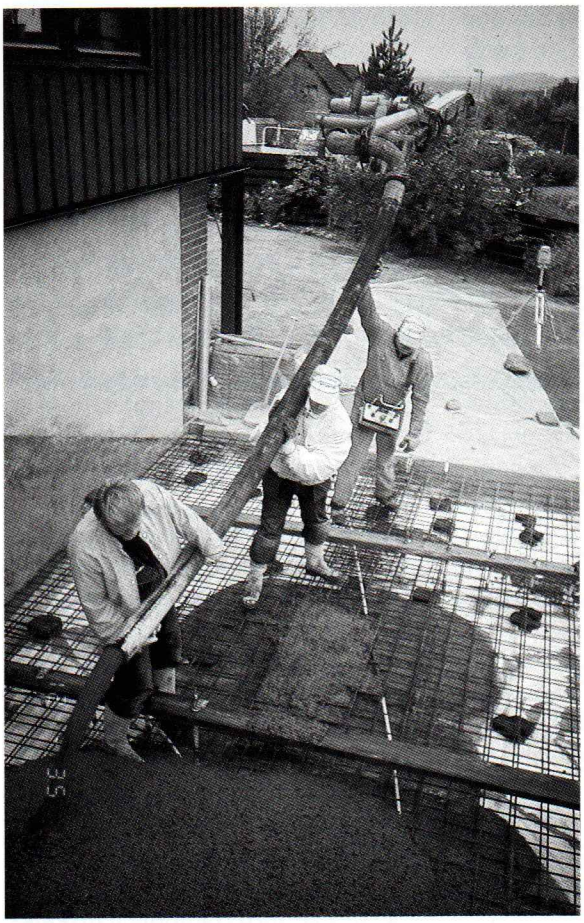
Högpresterande betong är f n föremål för stort intresse, inte minst i Sverige. Här bedrivs sedan 1991 ett projekt som kallas just "Högpresterande betong" vid de tekniska högskolorna i Lund, Göteborg och Luleå samt vid Cement- och Betonginstitutet. Projektet är sannolikt det största som bedrivits kring ett enda material inom svensk byggforskning.

Målet för projektet är att åstadkomma ett material som är mycket starkt i förhållande till dagens betong men som ska kunna produceras med traditionell teknik i elementfabriker och på byggplatser. Förutsättningarna är goda eftersom modern materialteknik har gett oss flera nya typer av cement, findispersa kiselsyrarika mineraliska tillsatser och dispergerande och konsistensförbättrande tillsatsmedel. En kombination av dessa förbättringar gör att det inte torde vara svårt att med traditionell produktionsteknik tillverka betong med hållfasthetsnivåer på 130–150 MPa.

Högpresterande betong liknar i mångt och mycket det som brukar gå under beteckningen "keramer". Här några positiva egenskaper:

- mycket stor täthet mot inträngande aggressiva vätskor och gaser och därmed god beständighet hos både armerade och oarmerade konstruktioner
- hög tryckhållfasthet, hårdhet och slitstyrka
- hög hållfasthet i förhållande till densitet
- mycket lågt innehåll av byggfukt
- lägre pris relativt prestationsförmåga än för konventionell betong.

Men det finns också många problem att lösa. Den högpresterande betongen blir



Högpresterande betong är självtorkande, vilket minskar risken för "sjuka hus".

liksom keramer lätt spröd och har sämre förhållande mellan drag- och tryckhållfasthet. Det finns också risk för spontana strukturförändringar (strukturkollaps). Under byggtiden kan man råka ut för defekter och att betongen är svårare att gjuta och komprimera. Stenmaterialets kvalitet är också en känslig punkt.

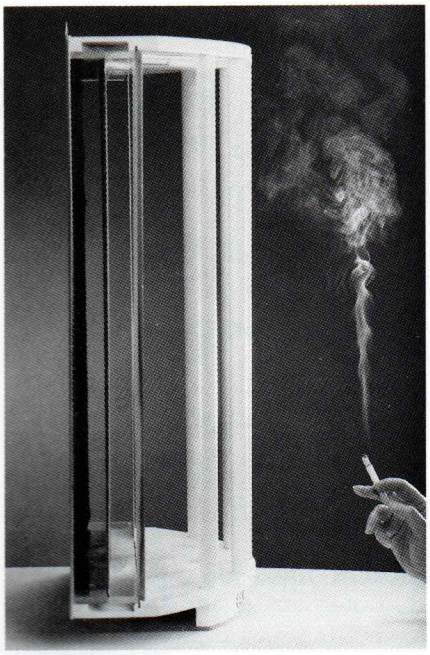
En intressant egenskap hos högpresterande betong har man noterat vid Lunds Tekniska Högskola. Betongen kan nämligen göras i stort sett självtorkande. Den inre uttorkning som sker när bindemedlet reagerar med vattnet i betongen är så stor att skador till följd av alltför hög byggfukthalt kan undvikas även om betongen gjuts under extremt ogynnsamma väderförhållanden. Vanlig betong innehåller så mycket skadlig byggfukt att den behöver långa och dyra uttorkningstider. Högpresterande och självtorkande betong kan därför bidra till att minska risken för "sjuka hus".

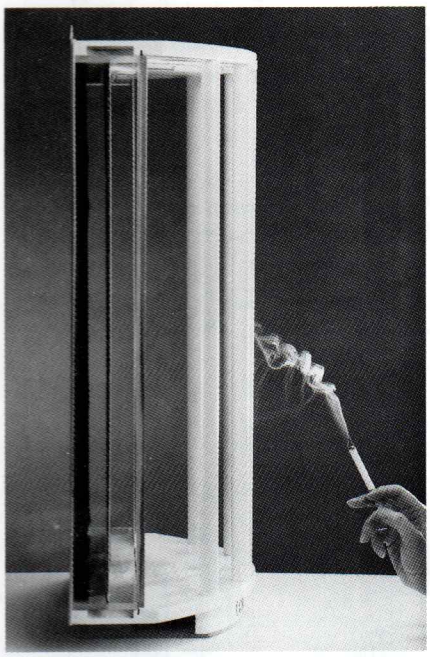
Rening av inomhusluft

För god lufthygien, som bl a allergiker behöver för att kunna leva och bo utan besvär, måste inomhusluften renas från mikropartiklar 2–10 gånger i timmen. Reningen i sig får inte ge upphov till oacceptabla biverkningar i form av buller eller alstring av hälsofarligt ozon.

Att befria luften från mikropartiklar har hittills varit dyrt och bullrigt, vilket förhindrat bredare användning. Två nya effektiva svenska reningsmetoder för inomhusluft har introducerats.

ASTRA VENT AB, ett groddföretag med sina rötter i Kungl Tekniska Högskolan, har tagit fram en teknik som de kallar Corobreeze-teknik, där luften transporteras med svag elektrisk ström, s k koronavind.





Corobreeze-tekniken renar luft effektivt. Den tar t ex bort tobaksrök.

Optimal betong i 90-talets byggande. Byggforskning 93/5. 1993. 16-17.

Bertil Persson

Optimal betong i 90-talets byggande

Den markant kortare uttorkningstiden gör högpresterande betong intressant av många skäl. Förkortade byggtider, mindre risk för skadlig byggfukt, smäckrare konstruktioner kan mer än väl kompensera materialets högre pris.

Ett av våra vanligaste byggnadsmaterial, betong, är sedan länge en typisk kvantitetsprodukt. Fortfarande används idag dessutom liknande betongkvaliteter som romarna gjorde för 2000 år sedan. Tillsats av flytmedel samt finpartiklar till betongen möjliggör dock sedan en dekad tillbaka ett mycket mera sofistikerat val av betong efter behov. Den nya betongen, som benämns *högpresterande*, är i full utveckling i Sverige. Redan nu ser man resultat av denna satsning i form av ett mera effektivt byggande, där betongen får ökad beständighet samtidigt som man erhåller en ökad fuktsäkerhet.

Effektivt byggande

I den konkurrensutsatta industrin har man sedan några år målmedvetet minskat den interna lagerhållningstiden, dvs den tid då delmaterialen förvaras på produktionsplatsen före montage. Inom den japanska bilindustrin har man nedbringat dessa tider till 0,2 dygn medan den europeiska bilindustrin i genomsnitt har en intern lagerhållningstid på 2 dygn. I den svenska byggnadsindustrin torde delprodukterna ligga ca 20 dygn oanvända i lager på byggnadsplatsen. Byggnadsföretagen satsar nu på att öka produktiviteten i projekt benämnda »Totalt tidstänkande«.

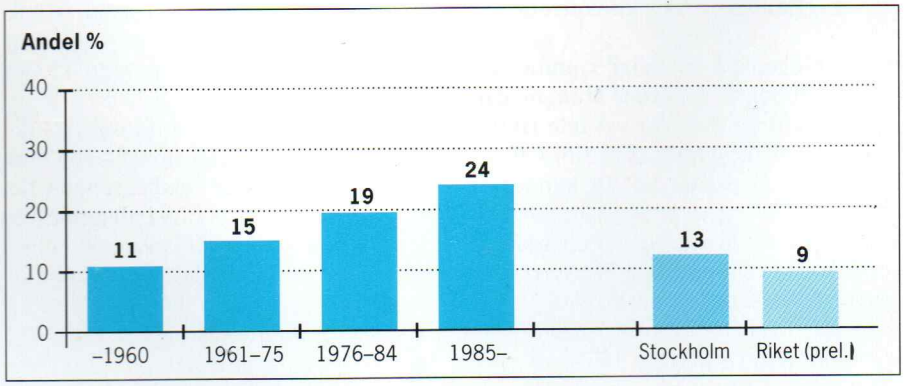
Eftersom betongen ingår som en väsentlig del i byggandet krävs en modernare typ av betong än tidigare med vilken man erhåller en snabbare produktion, t.ex genom tidig formrivning och snabbare uttorkning. Redan med en månads förkortad byggnadstid kan den högpresterande betongen bli lönsam jämfört med användning av normal betong. Det är de minskade fasta kostnaderna och de minskade kapitalkostnaderna i samband med en kort byggtid, som ökar lönsamheten.

Färre sjuka hus

Alltför hög halt av byggfukt är fortfarande en av de vanligaste orsakerna till byggskador. Många av de problem som finns i s.k sjuka hus har sin grund i byggfukt, eftersom avgång av många skadliga ämnen, t.ex formaldehyd, från material ökar kraftigt med ökande fuktinnehåll. En undersökning av »sjuka hus«-symptom bland boende i Stockholm visade att nybyggda hus hade högsta andelen personer med dessa symptom. Som mått på besvärsnivån användes det s.k. SBS3-indexet som tagits fram av Yrkesmedicinska kliniken i Örebro och Statens strålskyddsinstitut.

11 procent av de boende i 60-talshus uppvisade »sjuka hus«-symptom medan inte mindre än 24 procent av de boende i hus byggda efter år 1985 påtalade hälsobesvär. En förklaring till den ökade frekvensen för boende i nybyggda hus skulle kunna vara energibesparande åtgärder, t.ex minskad ventilation. Å andra sidan sattes energibesparande åtgärder in redan år 1975. Frekvensen för boende i hus byggda mellan år 1975 och 1985 var dock något lägre (19 procent) än för de nybyggda.

En annan förklaring skulle kunna vara kvarvarande byggfukt. En stor del av



Andelen flerbostadshus med ett symptomindex (SBS3)<5 i Stockholms flerbostadshusbestånd och rikets (SBS=Sick Building Syndrome). Byggfukt kan vara en orsak. Högpresterande betong ger en tiondel så mycket byggfukt som normal betong.

byggfukten i ett flerbostadshus härrör från betongen. Den farliga byggfukten (den del som kan förorsaka skador) i en lägenhet om 100 m², vars stomme byggs av normal betong, uppgår till ca 3000 l vatten medan den farliga byggfukten i motsvarande lägenhet byggd av högpresterande betong endast uppgår till en tiondel eller mindre.

Förkortad uttorkningstid

I ett nyligen genomfört examensarbete vid LTH Byggnadsmaterial undersöktes uttorkningstiderna för tre olika betonger gjutna på kvarsittande form. I arbetet ingick 15 st bjälklagsplattor (tjocklek 250 mm) vilka först exponerades för vatten under en månad. Andra månaden efter gjutning täcktes bjälklagen med plastfolie. Uttorkningen startade 2 månader efter gjutning.

Med högpresterande betong nåddes en kritisk uttorkningsgrad av 90 procent inom 1/2 månad medan motsvarande tidsrymd för en normal betong uppgick till minst 8 månader. Även vid andra typer av underlag för betonggjutningen, var tendensen densamma. Högpresterande betong torkade till en kritisk uttorkningsgrad av 90 procent inom 1 månad från torkstart medan det erfordrades upp till 1 års uttorkningstid (vid gjutning på samverkansplåt) för normal betong.

Tidig formrivning och ökad beständighet

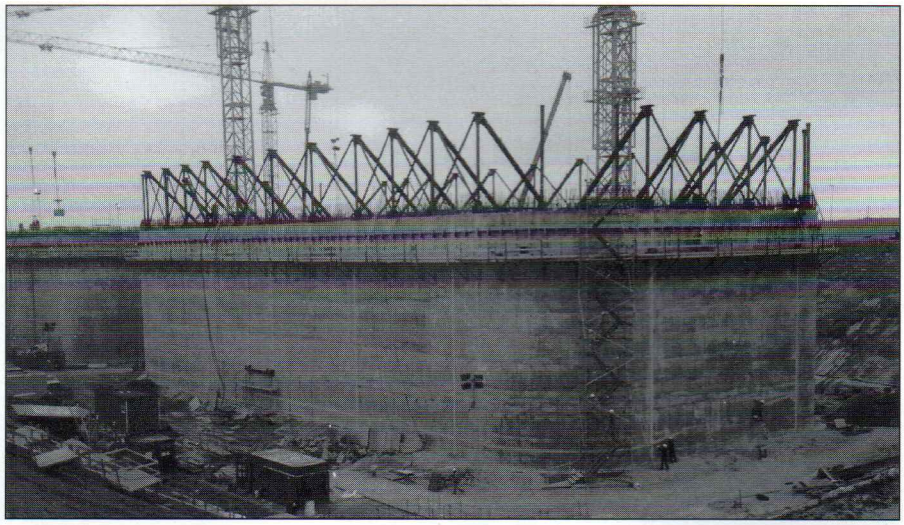
I Uppsala göts under hösten 1992 samtliga golv av högpresterande betong till ett fyravåningshus (totalt 6000 m²). Förutom snabb uttorkning noterade man här en mycket tidig hållfasthetstillväxt. Som spin-off effekt erhöll man därvid en möjlighet till tidig formrivning. Stombyggnadstiden minskade med ca 20 procent jämfört med om man använt sig av normal betong.

Av beständighetsskäl göts fundamenten till en av världens längsta hängbroar, Stora Bält, i högpresterande betong. Högpresterande betong har en mycket liten porositet vilket minskar inträngning av skadliga ämnen (t.ex klorider) i betongen. Dessutom kan konstruktionerna göras smäckrare eftersom högpresterande betong kan uppta betydligt högre tryckpåkänningar än normal betong. Detta är av intresse t.ex vid val av betong till Öresundsbron.

Optimalt betongval

Merkostnaden för högpresterande betong uppgår minst till ca 200 kr/m³. Högpresterande betong kan således endast komma till användning då man på ett ekonomiskt sätt kan dra nytta av dess fördelar.

Typiska användningsområden inom anläggningssektorn är: fundament och kajer som exponeras för havsvatten samt pelare och broar i allmänhet (exponerade för vägsalt). Inom husbyggandet kan fasader, balkonger, tjocka bjälklag, bjälklag gjutna på kvarsittande tätt underlag, bjälklag med kort tillgänglig uttorkningstid samt golv på mark, komma ifråga som användningsområden för högpresterande betong. Med högpresterande betong i sin repertoar kan byggaren således genomföra ett optimalt betongval. ❖



Förtillverkade fundament i högpresterande betong till hängbro över Stora Bält, Danmark.
Foto: Bertil Persson.

Bertil Persson *är tekn. lic. och forskare vid Byggnadsmaterial, LTH, tel. 046-10 74 15.*

Referenser:

1. P Dahlén, J Ericsson: *Produktionsteknikens utveckling: Ökad känslighet för störningar.* Teknik och Vetenskap. Nr 4, 1992. Göteborg.

2. Jan Aldoson: *Interna lagerhållningstider i svenska byggnadsindustrin.* LTH Byggekonomi. Personlig information. 1993.

3. Lars-Ove Håkansson: *Operation 3T kortar byggtiden.* Skanskavärlden nr 2. 1991.

4. Bertil Persson: *Högpresterande betongen match för manegement.* Byggforskning nr 5. 1990.

5. Bertil Persson: *Högpresterande betong – möjligheternas material.* Byggforskning nr 6. 1991.

6. Herman Thorén: *Högpresterande betong – förkortning i byggnadstid vid Larödskolan, NCC, Helsingborg.* Personlig information 1993.

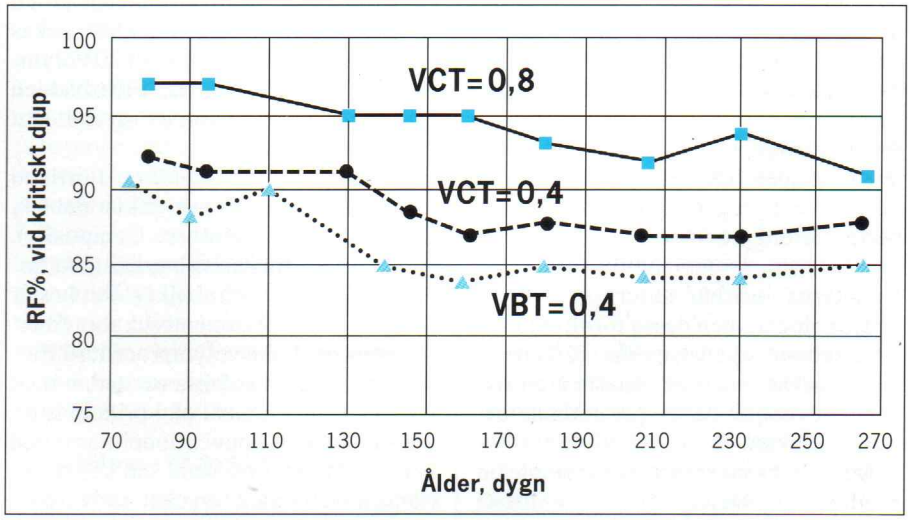
7. Göran Hedenblad: *Uttorkning av byggfukt.* SBUF-projekt. LTH Byggnnadsmaterial. Personlig information. 1993.

8. Karin Engvall, Christina Norrby: *Upplevt inomhusklimat i Stockholms bostadsbestånd.* Utrednings-och statistikkontoret. Stockholms Stad. 1992.

9. Magnus Aevarsson, Aram Rahim: *Högpresterande pågjutningsbetong – uttorkningstider jämfört med normal betong.* Rapport TVBM-5025. LTH Byggnadsmaterial. 1993.

10. Jan Byfors: *Snabbtorkande betong i bostadshus – ett fullskaleprojekt.* SBUF, BPA AB, Bygghälsan och Betongindustri AB. Stockholm. 1993–07–06.

11. Bertil Persson: *Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet.* Rapport TVBM–1009, LTH Byggnadsmaterial, 1992



Relativa fuktigheten, RF, på kritiskt mätdjup som funktion av ålder. Uttorkning av högpresterande betong (VBT=0,4) högvärdig betong (VCT=0,4) samt normal betong (VCT=0,8) gjuten på kvarsittande filigranplatta.

Oväntade egenemissioner från golvmaterial. HUSBYGGAREN, nr 1 2003, 18-25.

Oväntade egen
från golvmater

Limmade golvbeläggningar är en del av byggnaden som i hög grad påverkar inneluftens kvalitet. Med en förprovning av hela golvsystemet kan dessa emissioner förutses, t ex med Golvbranschens Riksförbunds, GBRs, metod[1]. Det är dock oklart vilken medicinsk effekt olika typer av emissioner kan ha på människan varför man ofta väljer att begränsa totala emissionsnivån, TVOC. Med en maximal emissionsnivå på mindre än 100 µg/m²h som krav på golvet är även delmaterialens egenemissioner av stort intresse[2]. Försök finansierade i huvudsak av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, visar att oväntade egenemissioner kan förekomma.

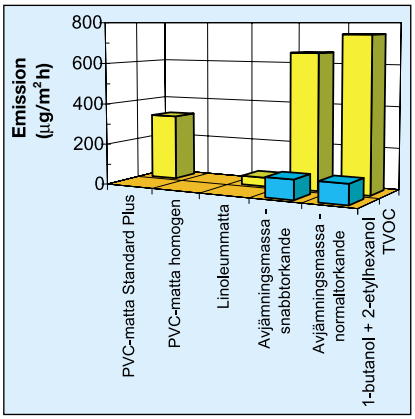
AV DOCENT BERTIL PERSSON

I försöken har icke önskvärda egenemissioner av 1-butanol, 2-etylhexanol och 1,4-dioxan konstaterats från delmaterialen[3,4]. Eftersom det ingick i målsättningen för hela projektet att 1-butanol och 2-etylhexanol ej skulle förekomma, kan delmaterial som avger dessa ämnen som egenemissioner ej rekommenderas. Små emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol har kunnat uppmätas från de golvsystem där limmerna visade en

Tab 1 – Egenemissioner från avjämningsmassor vid RF = 85% ett halvt år efter utläggning (µg/m²h).

Ämne	Normaltorkande	Snabbtorkande
Ammoniak	793	662
TVOC, 29 veckor	746	657
1-butanol	71	67
Eventuell keton		19
Trolig diamin	13	
Kväveinnehållande förening	186	36
2-etylhexanol	26	28
2,6-di-t-butyl-1,4-kinon	23	
Tridekan, m.m.	58	37
Tetradekan	23	72
Pentadekan + 2,6-di-t-butyl-1,4-kinon		37
Trimetylamin	1.6	

TVOC = total volatile organic compound.



Figur 1 – Egenemissioner ett halvt år efter utläggning av avjämningsmassor och ytbeläggningar, vilka förseglats med aluminiumfolie från tre dygns ålder.

emissioner ial



Nygjuten avjämningsmassa. Foto: Stefan Backe.

dominerande egenemission av 1-butanol och 2-etylhexanol. Egenemissioner av 1,4-dioxan från limmerna kunde däremot inte korreleras till golvsystem i vilka lim med en dominerande förekomst av 1,4-dioxan ingick. Limmer med egenemission av 1,4-dioxan kan dock rimligen ej accepteras från arbetsmiljösynpunkt. Ytbeläggning med gummimattor, homogena PVC-, linoleum- eller polyolefinmattor visar små eller mycket små egenemissioner och är i allmänhet inget problem för innemiljön. Skiktade PVC-mattor kan däremot ge egenemissioner, klart större än 100 µg/m^{2}h. Från det färdiga golvet uppmäts oftast bara halva egenemissionen från ytmaterialet eftersom resten går ned i betongen och deponeras där[3]. Deponin i betongen kan senare ställa till problem t ex i samband med ombyggnader. Betong i härdat tillstånd avger små egenemissioner, t ex ammoniak, som anses komma från cements malmedel, ca 10 µg/m^{2}h[5]. Från färsk betong kan även små emissioner från flytmedel konstateras.

Avjämningsmassor

Minst 90 procent av alla golv på betong förses med avjämningsmassor, dels i syfte att åstadkomma en jämn yta, dels för att bryta kontakten med betongen. Betongens höga pH-värde kan annars påverka lim och ytbeläggning på ett menligt sätt. I ett tidigare projekt undersöktes två avjämningsmassor med en FLEC-metod. Relativa fuktigheten, RF, över ytan var RF = 85 procent. Undergolvet, som bestod av 230 mm betong och 10 mm avjämningsmassa, hade härdats med aluminiumfolie under ett halvt år. RF i golvsystemet var också 85 procent. Figur 1 visar exempel på egenemissioner sex månader efter läggning av avjämningsmassorna, vilka förseglats med aluminiumfolie från tre dygns ålder[5-7]. En torktid av ca ett dygn/mm i uppvärmt utrymme är gängse utom för snabbtorkande avjämningsmassor där torktiden är ca tre dygn. Avjämningsmassor innehåller olika typer av oorganiska filler, t ex flygaska eller granulerad masugnsslagg, från vilka irriterande lukt kan uppstå efter utläggning. Vid mättillfället var RF =

Tab 2 – Kvalitativ limemissionsmätning (P/T-analys) på färskt lim.[8]

Lim	Identifierade ämnen
A	2-butanon, etylacetat, 2-butenal, 1-metoxy-2-propanol, 1,4-dioxan, propylenglykol, 2-hexanon, grenat alifatiskt kolväte, cyklohexanol, 2-(2-butoxyetoxy)etanol, 2-(2-butoxyetoxy)etylacetat, sesquiterpener
D	1,4-dioxan, aromatiskt kolväte, oidentifierat ämne
E	1-butanol, butylacetat, α-pinen, β-pinen, 2-etylhexanol, 3-metylheptylacetet, 2-(2-butoxyetoxy)etanol, 2-(2-butoxyetoxy)etylacetat
G	2-butanon, etylacetat, 1,4-dioxan, 2-hexanon, grenade alifatiska kolväten
S	2-butanon, etylacetat, 1-butanol, 1,4-dioxan, toluen, butylacetat, 2-butoxyetanol, α-pinen, β-pinen, 2-etylhexanol, undekan, 2-etylhexylacetet, 2-(2-butoxyetoxy)etanol, 2-(2-butoxyetoxy)etylacetat, sesquiterpener

Understrykning = dominerande kemiskt emission.

85 procent. Efter det att ytan på avjämningsskiktet hade torkat ut, avklingade emissionerna snabbt. Å andra sidan kan en uppfuktning av avjämningsmassan bli aktuell efter t ex tätning med täta mattor varför en mätning vid RF ≈ 85 procent får anses som relevant. Tillskottsemissioner förekom även sex månader efter läggning av avjämningsmassorna vilket tydde på att en reaktion ägde rum i massan även då. Mest anmärkningsvärda är egenemissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol från avjämningsmassorna – ämnen som ej kan accepteras i en god inneluft. Båda ämnena emitterades från avjämningsmassorna. Jämförande värden på egenemissioner från golvmaterial redovisas i Fig 1. Från golvmaterialen förekom inga egenemissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol som från avjämningsmassorna. Totala emissionsnivån var också lägre från golvmaterialen än från avjämningsmassorna. I Tabell 1 ges egenemissioner från avjämningsmassorna[2,7].

Det kan således konstateras att en avjämningsmassa i sig själv kan ge stora egenemissioner vid hög RF. Frågan var om avjämningsmassans egenemission hade någon inverkan på inneluftens kvalitet. I föreliggande projekt gav ett golvsystem med avjämningsmassan B i kombination med gummimattor ungefär dubbelt så stor kemisk emission TVOC som avjämningsmassan C vid i övrigt lika förhållanden (alkalibeständigt Lim G). Från golvsystem med polyolefin- eller PVC-matta erhölls inget nämnvärt tillskott av TVOC i förhållande till egenemissionen (Fig 2). Med rätt val av avjämningsmassa kan således TVOC begränsas. Emissioner av 2-fenoxyetanol kunde helt klart härledas till avjämningsmassan B (Fig 3).

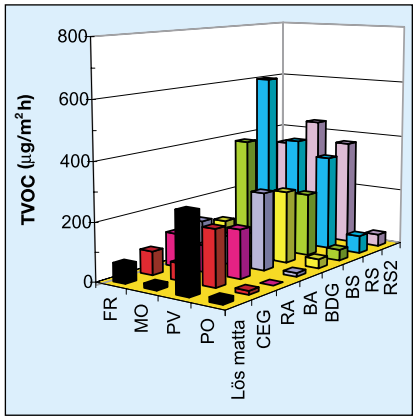


Fig 2 – TVOC från golvsystem på betong (µg/m²h). A, D, E, G och S = limtyper, B och C = avjämningsmassor, FR och MO = gummimatta, PV = PVC-matta, PO = polyeolefinmatta, R = rå betong, TVOC = total volatile organic compound, 2= limning av ytbeläggning efter en månad.

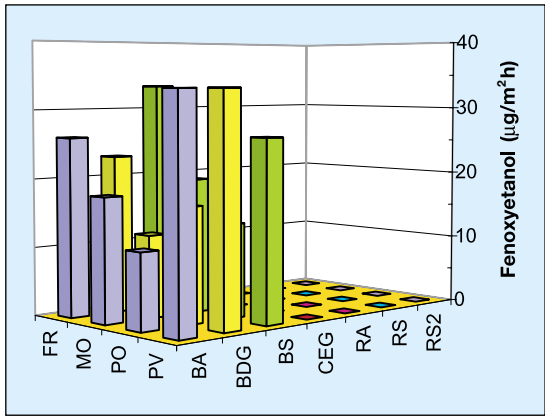


Fig 3 – Emission av 2-fenoxyetanol från golvsystem på betong (µg/m²h). A, D, E, G och S = limtyper, B och C = avjämningsmassor, FR och MO = gummimatta, PV = PVC-matta, PO = polyeolefinmatta, R = rå betong, TVOC = total volatile organic compound, 2= limning av ytbeläggning efter en månad.

Limemissioner och inneluftkvalitet

Mätningar av egenemissioner från lim utförs enligt vedertaget begrepp på en torkad film. Exempel på detta är GBRs metod, en mätmetod enligt Nordtest, kammarmetoden enligt tyska GEV samt den kommande EN-

Forts sid 22



Öppethållandetiden var fem minuter för limmet. Foto: Stefan Backe.

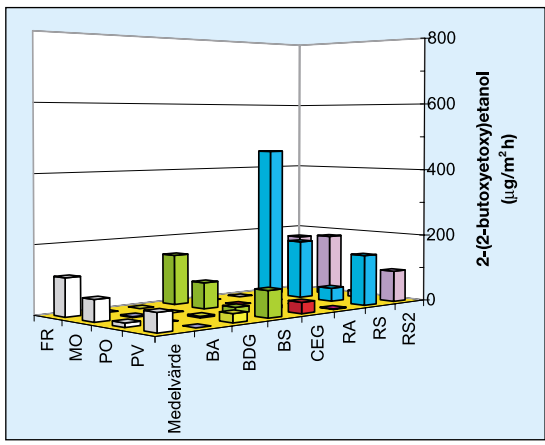


Fig 4 – Emission av 2-(2-butoxyetoxy)-etanol från golvsystem på betong (µg/m²h). A, D, E, G och S = limtyper, B och C = avjämningsmassor, FR och MO = gummimatta, PV = PVC-matta, PO = polyeolefinmatta, R = rå betong, TVOC = total volatile organic compound, 2= limning av ytbeläggning efter en månad.

Forts från sid 20

standarden CEN/TC269/WG7. De normerade metoderna innebär att limytan torkar till ett lågt vatteninnehåll. Normalt är RF i golvsystemet minst 85 procent, ofta högre.

I föreliggande undersökning genomfördes enbart en kvalitativ Purge/Trap, P/T-analys på limmerna där en mindre mängd lim applicerades i en glasflaska som förslöts och fick stå tillsluten under ett dygn[3,8]. Därefter tillfördes kvävgas till flaskan. Efter fem minuters sköljning med kvävgas anslöts ett absorbentrör av typen Tenax TA till utgången från flaskan, varvid de flyktiga ämnena från limmet fastnade. Alla i limmet förekommande ämnen registrerades vid P/T-analysen – oberoende av mängd.

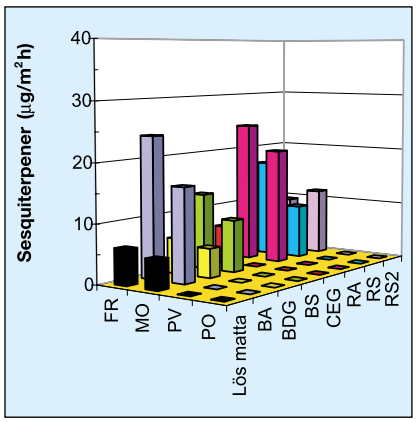


Fig 5 Emission sesquiterpener från golvsystem på betong (µg/m²h). A, D, E, G och S = limtyper, B och C = avjämningsmassor, FR och MO = gummimatta, PV = PVC-matta, PO = polyeolefinamatta, R = rå betong, TVOC = total volatile organic compound, 2= limning av ytbeläggning efter en månad.

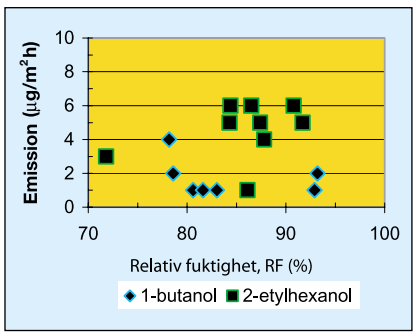
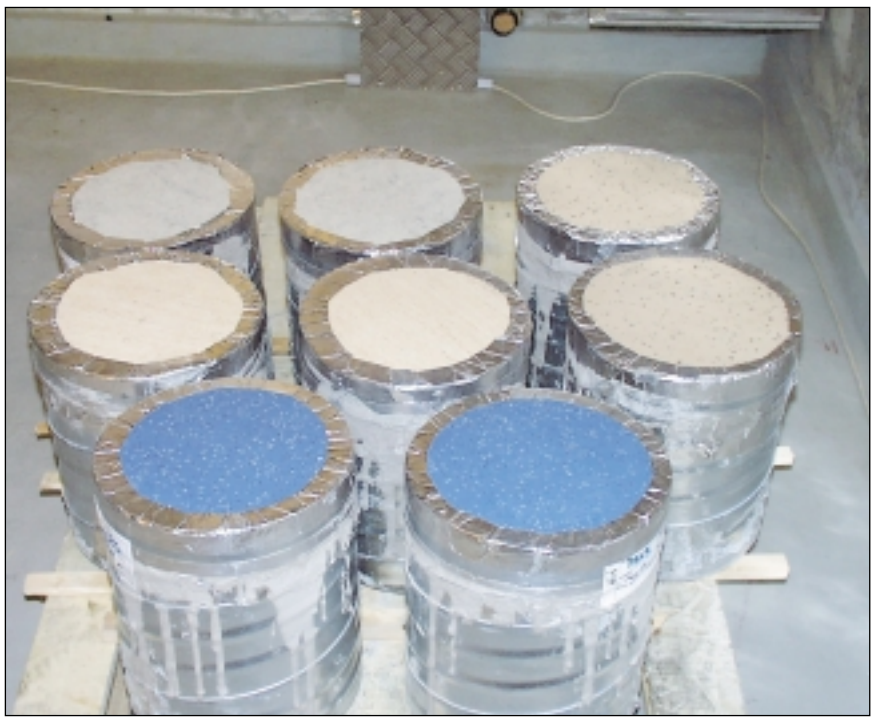


Fig 6 – Emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol som funktion av RF i golvet, 30 mm från ytan. (Polyakrylat)limmer E eller S på lågalkalisk avjämningsmassa.

I Tabell 2 ges resultat från P/T-analyser av fem golvlim. Egenemissioner från limmerna hade viss inverkan på inneluftkvaliteten vilket visade sig vid mätningar på golvsystem. I fråga om kemisk emission av 2-(2-butoxyetoxy)-etanol erhölls ej någon tillskottsemission med alkalibeständigt Lim A (Fig 4). En dominerande förekomst av 2-(2-butoxyetoxy)etanol kunde dock spåras vid användning av de båda använda polyakrylatlimmerna, E och S. Polyakrylatlimmet S gav mycket stora emissioner av 2-(2-butoxyetoxy)etanol från golvsystemet (Fig 4). I fall av gummimatta reagerade lim-

Forts sid 24



Färdigställda golvprover. Foto: Stefan Backe.



Emissionsmätning på golv. Foto: Birgitta Ek-Olausson.

Forts från sid 22

met och betongen kraftigare med materialet än om polyolefin- eller PVC-matta användes. Mer överraskande var dominerande förekomst av 1-butanol, 2-etylhexanol och 1,4-dioxan i limmerna. En dominerande förekomst av 1-butanol och 2-etylhexanol i Lim E kunde relateras till emissionsprover av golvsystem med detta lim[3,9]. En liten emission av 1-butanol förekom från fyra golvprover även om lågalkalisk avjämningsmassa användes. En liten emission av 2-etylhexanol förekom dessutom från tre golvprover. Lim S innehöll en dominerande förekomst av 2-etylhexanol samt en mindre förekomst av 1-butanol. Dessa emissioner från Lim S kunde på samma sätt relateras till emissionsprover av golvsystem med detta lim. En liten emission av 2-etylhexanol förekom från sex golvprover. Emissioner av 1-butanol förekom slutligen från tre andra prover med Lim S. En dominerande egenemission av sesquiterpener från Lim A enligt P/T-analysen kunde relateras till emissioner av sesquiterpener från golvsystemen med detta lim dock endast med gummimattor (Fig 5). En icke dominerande egenemission av sesquiterpener från Lim S enligt P/T-analysen kunde också relateras till en ökande emission av sesquiterpener från golvsystemen dock endast med gummimattor.

Egenemissioner av toluen och 1,4-dioxan

Fyra av de fem studerade limmerna emitterade 1,4-dioxan i färskt tillstånd. Det förekom egenemission av 1,4-dioxan från alla de studerade alkalibeständiga limmerna A, D och G varav dominerande från Lim D. En kompletterande emissionsmätning enligt kammarmetoden gav inga egenemissioner av 1,4-dioxan från det alkalibeständiga Lim D som uppvisade en dominerande egenemission enligt P/T-analysen. Det påvisade ämnet 1,4-dioxan har heller ej kunnat påvisas vid kammarmätning hos Miljø-Kemi, Danmark, på ett dygn åldrad limfilm. Egenemissionen av 1,4-dioxan från detta alkalibeständiga lim avklingade tydligen snabbt. Förekomsten av 1,4-dioxan kunde ej heller uppmätas från något av golvsystemen, ens vid hög RF. Frågan torde dock beröra arbetsmiljön. Emission av 1,4-dioxan förekom även i P/T-analysen från ett av de bägge studerade polyakrylatlimmerna (Lim S), dock inte som dominerande. Upprepade mätningar av toluen från olika limförpackningar visade att detta ämne fanns i Lim S. Inte heller detta ämne kunde uppmätas efter ytbeläggning varför även problemet med toluen kan vara arbetshygieniskt.

Kommentarer

Projektet avsåg emissioner från golvsystemet – inte från delmaterialen – varför dominerande egenemission av 1-butanol (Lim E) och 2-etylhexanol (Lim S) från limmer kopplad till små emissioner från golvsystemen är anmärkningsvärd. En dominerande emission av 1,4-dioxan i ett av de studerade alkalibeständiga limmerna (Lim D) är ett observandum. Även från de andra studerade alkalibeständiga limmerna (Lim A och gummilim G) samt från ett standard polyakrylatlim (Lim S) uppmättes 1,4-dioxan dock inte i dominerande förekomst. Mätningen av egenemissioner visar att den normerade mätmetoden på torkad limfilm är irrelevant. Ett golvsystem på betong torkar ut först efter mycket lång tid, om någonsin. Det föreligger således ett behov av att utveckla en ny mätmetod för egenemissioner från limmer där mätningen kan utföras vid konstant hög RF. Små emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol från golvsystem på en lågalkalisk avjäm-

Forts sid 26



Golvprov med avjämningsmassa. Foto: Stefan Backe.



Mätning av relativ fuktighet på golvprov. Foto: Stefan Backe.

Forts från sid 24

ningsmassa kunde ej relateras till RF i golvsystemet (Fig 6). Polyakrylatlimmerna E och S användes då med lågalkalisk avjämningsmassa. Som framgår av Figur 6 fanns det inget fuktberoende för de små emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol som uppmättes från golvsystemen. Ungefär lika mycket 1-butanol och 2-etylhexanol emitterandes såväl vid låg som hög RF i golvsystemet. Limmerna egenemitterar troligen 1-butanol och 2-etylhexanol även vid RF = ca 80 procent. De mycket små emissionerna av 1-butanol och 2-etylhexanol från golvsystemen, som härrörde från dominerande egenemissioner från limmer, var generella d v s oberoende av mattyp.

Omfattande mätningar av fukt och emissioner från golvsystem visar att det med rätt materialteknik går att bemästra golvets inverkan på inneluftkvaliteten. Totalt har ett hundratal prover studerats där tre betonger, fyra typer av avjämningsmassa, fem limmer och sex mattyper ingått. Egenemissioner från delmaterial i golvet såsom från avjämningsmassa och golvlim kunde mätas upp, och inverkan på inneluftens kvalitet konstateras vid mätningar på golvsystemen. Egenemissioner från delmaterialen i golvet kan också ha inverkan på arbetsmiljön. ❑

Referenser

1 **Bertil Persson.** Förprovning av golvsystem borgar för en god innemiljö. Husbyggaren 6/2002, 10-18.

2 **Bertil Persson.** Kompatibilitet mellan golvmaterial och betong. TVBM-7149. LTH. 2000. 133 sid.

3 **Bertil Persson.** Golvsystem på betong. Rapport TVBM-7165. LTH. 2002. 166 sid.

4 **Utdrag ur klassificeringslistan.** www.kemi.se.

5 **Bertil Persson.** Samverkan mellan golvmaterial och betong. U98.09. LTH Byggnadsmaterial. 1998, 112 sid.

6 **Bertil Persson.** Stora emissioner från avjämningsmassor vid kompatibilitetstest. Betong 2/2000, 23.

7 **Birgitta Ek-Olausson.** Emissionsprovning av material. SP. Rapport 99K7 0224, 1999, 3 sid.

8 **Birgitta Ek-Olausson.** Resultat av emissioner från golvsystem. PM. SP. Borås. 2002, 8 sid.

9 **Birgitta Ek-Olausson.** Emissionsprovning av material. SP. Rapport KMo 6324:1/7. 2002, 76 sid.

– riktigt lastbar
FOAMGLAS®
www.foamglas.nu

MISAB
INKASSO AB
Din inkassobyrå med
aktiv, personlig och engagerad handläggning
08-611 05 57



Kunskap och engagemang

Dyno Nobel tillhandahåller ett komplett sortiment sprängämnen, tändsystem och tillbehör för bergsprängning ovan och under jord. Vid vår anläggning i Gyttorp arbetar vi ständigt vidare för att kunna erbjuda optimala lösningar vid bergsprängning. Till Gyttorp kommer människor från hela världen för att skaffa grundkunskaper och vidareutveckla sig i sprängteknik. Vår sprängtekniska avdelning bistår dagligen med teknisk konsultation inför sprängningar och utför sprängservice. Vår gedigna kunskap är en unik tillgång för våra kunder. Vi delar med oss av den med en stor portion engagemang – för säkerhetens skull.

Välkommen till kunskapsföretaget Dyno Nobel!

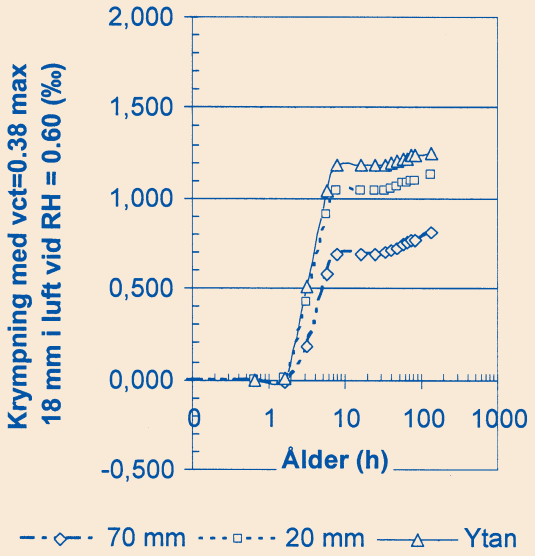
DYNO
Dyno Nobel
Gyttorp, 713 82 Nora. Telefon 0587-850 00. Telefax 0587-253 45

Plastisk krympning hos självkompakterande betong utan byggfukt. Bygg & Teknik 2004/07, 41-43.

Plastisk krympning hos självkompakterande betong utan byggfukt

Betongtekniken står inför samma omvälvning som då flytmedel började användas för ett 30-tal år sedan nämligen användning av självkompakterande betong. Den ändrade produktionstekniken innebär ett radikalt nytänkande som ställer större krav på personal och utrustning än vad vibrerad betong gör. Denna artikel omfattar en redogörelse för försök med plastisk krympning hos självkompakterande betong inklusive sammanhörande, tidig krympning, hållfasthetsutveckling och självuttorkning. Tyngdpunkten för försöken innefattar betonger med lågt vattenbindemedelstal, vbt = 0,35 (två stycken), vbt = 0,38 (fyra stycken), vbt = 0,40, vbt = 0,43 samt vbt = 0,53 (två stycken). Projektet har genomförts med finansiering från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, och Peab Sverige AB.

I självkompakterande betong, SKB, används vanligtvis stora tillsatser av fillermaterial. Dessa tillsatsmaterial innebär att betongytan kan torka mycket snabbt med tidig sprickbildning som följd. Då betongen dessutom görs byggfuktfri blir fuktprofilen annorlunda än i normal betong vilket är gynnsamt från uttorkningssynpunkt. Vid husbyggnad kan självkompakterande betong utan byggfukt nå en mycket stor användning. Förutsättningen är att betongen kan gjutas utan problem samt att ytsprickor kan undvikas. Byggfuktfri betong används numera allmänt vid gjutning av bjälklag till bostadshus. Den snabba utvecklingen kunde ej förutses vid det nationella projektet ”Högpresterande betongkonstruktioner”. Framgent kommer den byggfuktfria betongen förmodligen att utnyttjas till större spännvidder. Med C90-betong kan man mycket väl tänka sig att utnyttja ett slankhetstal (spännvidd/tjocklek) av 40 vid betongvalv, pelardäck etc. Föreliggande projektet inriktades helt på tidiga egenskaper, plastisk deformation och hållfasthet hos självkompakterande betong utan byggfukt avsedd för husbyggnad samt dess fuktutveckling efter olika typer av härdning. Föreliggande projekt syftade vidare till att ge riktlinjer för val av lämpliga delmaterial, betongrecept och produktionssätt vid tillverkning av en självkompakterande betong utan byggfukt.



Figur 1: Krympning hos betong med vbt = 0,38 och 18 mm stenmax, betong 38 max 18, RF = 60 procent. Mätdjup endera 20 mm eller 70 mm.

Genomförande och resultat

Försöken företogs under kontrollerade förhållanden, endera förseglade prover, vaxbelagda eller torkade i relativ fuktighet, RF = 60 procent. Försöken genomfördes i allmänhet under fem dygn med en efterföljande mätning av hållfasthetsutveckling och RF även vid 28 dygns ålder. Unik mätteknik användes i försöken, dels kunde den plastiska krympningsprofilen ända upp till betongytan fastställas, dels kunde parallell mätning av erhållen sprickvidd ske, *bild 1* och *figur 1*. För att erhålla liten plastisk sprickvidd var det en fördel att använda SKB med stor ballaststorlek. En tendens till partikel-



Bild 1: Unik mätteknik, dels plastisk krympningsprofil ända upp till betongytan, dels parallell mätning av erhållen sprickvidd.

*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsmaterial, Lund.*



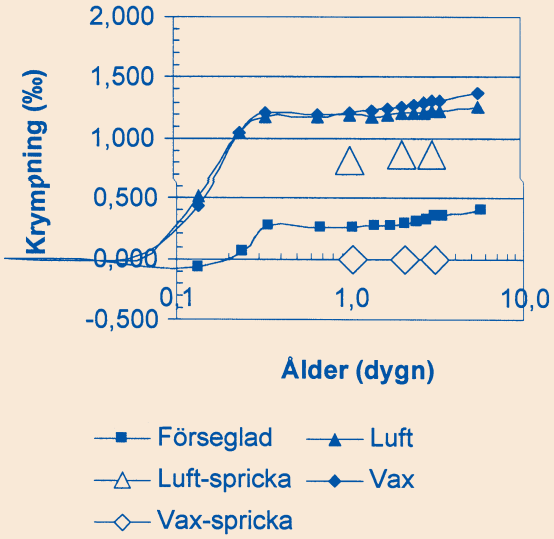
språng i gradering hos den färska betongen gav mer blödningsvatten vilket i sin tur minskade uppkomst av plastiska krympsprickor jämfört med en ideal, linearlogaritmisk, partikelfördelning. Betong till försök med plastisk krympning bör tillverkas i en sats i syfte att undvika tidsförskjutningar vid försökets start. Två fläktar bör användas i en vindtunnel med plastiska krympförsök för att minska variationer i lufthastighet. Plastiska krympsprickor uppstod ej hos betong med 28-dygnshållfasthet < 60 MPa (vbt ≥ 0,4, 4 m/s, RF = 60 procent, 20 °C).

När plastiska krympsprickor uppstod begränsades sprickvidden med en snabb hållfasthetstillväxt. Autogen och total krympning ökade med högre hållfasthet och minskade med högre RF hos betongen. Resultat av en beräkning med TorkaS 2.0 gav cirka sju procent för hög beräknad RF vid uppmätt RF = 85 procent samt cirka 3,5 procent för hög beräknad RF vid uppmätt RF = 90 procent. För att plastiska krympsprickor skulle uppstå krävdes att vbt var < 0,40 hos betongen. Med lufthastigheten 4 m/s, RF = 60 procent och 20 °C uppstod plastiska krympsprickor cirka tre timmar efter gjutning. Med hänsyn till arbetstidens längd bör därför av plastisk sprickvidd mätas automatiskt till exempel med en beröringsfri laserutrustning mellan speglar vilka placeras på små plattor på betongytan på ömse sidor om den förväntade plastiska krympsprickan. Plastisk sprickvidd kunde minskas genom användning av 18 mm maximal ballast i stället för 8 mm ballast. Ideal partikelfördelning i betongen gav en fördubblad plastisk sprickvidd jämfört med en partikelfördelning i betongen med ett smärre partikelsprång i graderingen eftersom mängden blödningsvatten då blev större. Lägre vbt ökade den plastiska krympningen. Plastisk krympning före tillstyvnadstidens slut, cirka åtta timmar ålder, utgjorde en stor del av den totala krympningen, cirka 1,1 promille för betong med vbt = 0,38 även om autogen krympning (förseglad provkropp) först subtraherades, *bild 2* och *figur 2*. För betong med vbt = 0,43 uppgick den plastiska krympningen till cirka 0,5 promille, för vbt = 0,53 till cirka 0,25 promille då autogen expansion vid förseglad härdning adderas. Vaxbeläggning hade ingen/liten inverkan på plastisk krympning vid vbt = 0.38, liten vid vbt = 0,43 och förhindrade sprickor vid vbt = 0,53.

I ett fall förhindrades dock sprickor med vax vid vbt = 0,38, figur 2. Bra sätt att undvika plastisk krympning vid vbt = 0,38 var att försegla betongen effektivare än med vax eller att bevattna betongen tidigt om detta är möjligt med hänsyn till krav på god ytfinish. Betongsammansättningen påverkade den autogena (förseglade) krympningen kraftigt vid ung ålder, *figur 3*. Betongsammansättningen inverkade även på den plastiska krympningen. Den plastisk krympning före tillstyvnadstidens slut, cirka åtta timmars ålder, utgjorde en liten del av den totala krympningen, cirka 0,4 promille för betong med vbt ≥ 0,43, *figur 4*. Följande påverkan av sammansättningen hos betongen på krympning hos ung betong kunde särskiljas:

1. SKB med vbt ≤ 0,38 erhöll stor autogen krympning före tillstyvnadstidens slut,
2. SKB med > 0,38 fick autogen expansion,
3. SKB med högre finhalt eller större tendens till partikelsprång erhöll större autogen krympning före tillstyvnadstidens slut.

Efter tillstyvnadstidens slut var krympningen i stort sett lika för betonger med vbt = 0,38



Figur 2: Krympning hos betong med vbt = 0,38 och 18 mm stenmax, betong 38max18. Varierande ytbeläggning.

Rekommendationer

Följande rekommendationer kunde ges:

- SKB med så stor ballaststorlek som är gjutteknisk möjligt att använda, är att föredra i syfte att minska den plastiska sprickvidden
- Ett smärre partikelsprång i gradering hos den färska betongen ger mer blödningsvatten vilket i sin tur minskar uppkomsten av plastiska krympsprickor
- Uppkomst av plastiska krympsprickor begränsas genom användning av betong med 28-dygnshållfasthet < 60 MPa (vbt ≥ 0,43)
- När plastiska krympsprickor väl har uppstått kan sprickvidden begränsas med en snabb hållfasthetstillväxt hos betongen
- Vaxbeläggning har ingen inverkan på plastisk krympning för betong med vbt = 0,38, liten inverkan med vbt = 0,43 samt förhindrar plastisk krympning med vbt = 0,53
- Plastisk krympning för SKB med vbt = 0,38 undviks bäst genom effektivare försegling av betongen än med vax eller genom bevattning tidigt.

Eventuella fortsatta försök borde inriktas på att med hjälp av den här framtagna, unika mättekniken mäta den plastiska krympningsprofilen ända upp till betongytan och, parallellt, mäta den plastiska sprickvidden, helst då med laserteknik. Betong till försök med plastisk krympning bör tillverkas i en sats i syfte att undvika tidsförskjutningar vid försökets start. Två fläktar bör användas i en vindtunnel med plastiska krympförsök för att minska variationer i lufthas-

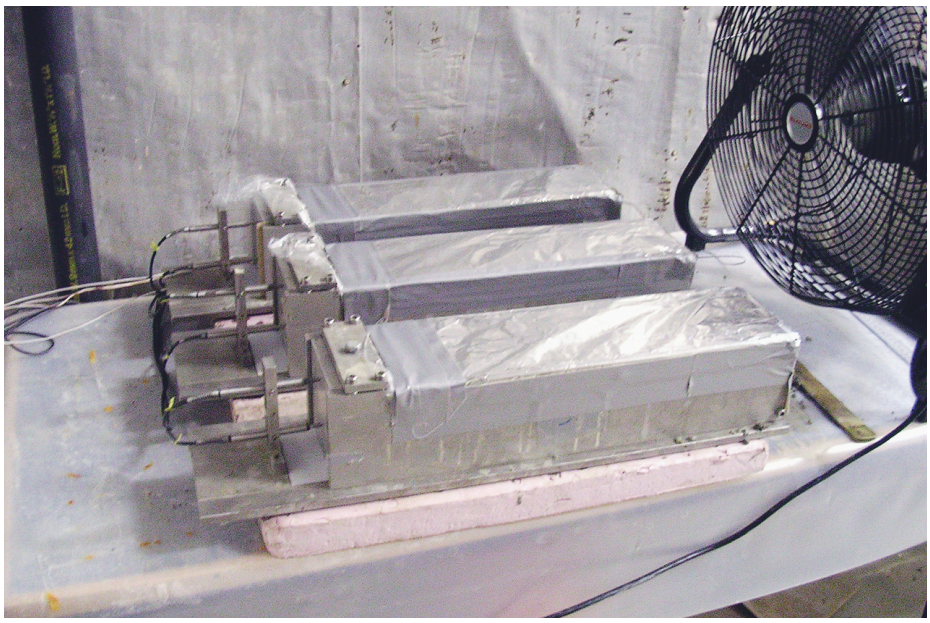
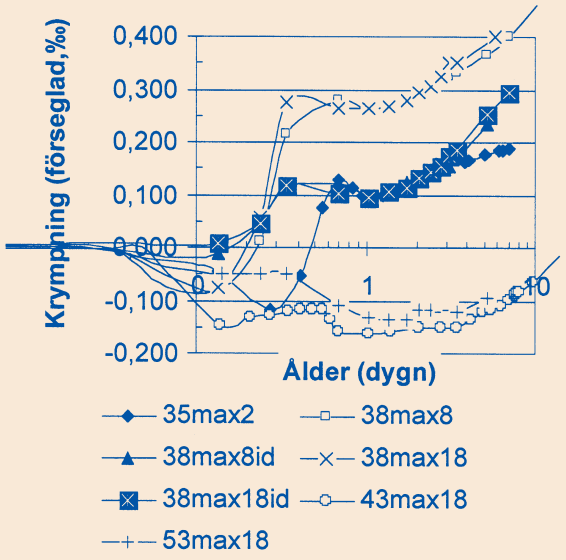
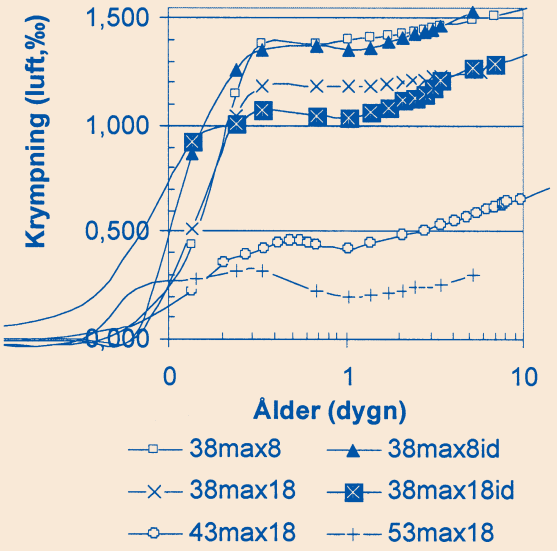


Bild 2: Mätning av autogen krympning (förseglad provkropp) på tre parallella prover.



Figur 3: Förseglad krympning mot ålder. 35 = vbt (procent), max8 = maximalt 8 mm ballaststorlek, id = ideal partikelfördelning.



Figur 4: Krympning i luft mot ålder.

tigheten. Följande parametrar bör studeras vid fortsatta försök med plastisk krympning;

- avdunstning,
- blödningsvatten,
- fibertillsats,
- fillerhalt/typ,
- vbt,
- vindhastighet,
- viskositetsmedel.

Även fältförsök bör utföras. En ansökan om en utvidgning av försöken i dessa syften behandlas i skrivande stund av SBUF. ■

Referenser

Bertil Persson. *Plastisk krympning hos självkompakterande betong utan byggfukt*. Rapport TVBM-7176. LTH Byggnadsmaterial, Lund. 2003, 60 sid. www.byggnadsmaterial.lth.se .

Plastmattor limmade på betong – karbonatisering och emissioner. Bygg & Teknik 7/98. Stockholm, 45-49 1998.

Plastmattor limmade på betong – karbonatisering och emissioner

I denna artikel ges en litteratursammanställning samt beskrivs det pågående fältförsöket beträffande fukt och karbonatisering, alkalitet och emissioner från plastmattor limmade på betong. För detta ändamål studeras betongplattor på mark. Alkali- och fuktprofiler, emissioner och karbonatisering uppmäts. Resultaten visar att en avsevärd karbonatisering äger rum även vid en kort uttorkningstid, att ytalkaliteten är högre i normal betong än i betong med lågt vattencementtal, vct, att ytalkaliteten saknar betydelse till följd av nämnda karbonatisering, att emissionerna kan minskas genom mekanisk slipning samt att de uppmätta emissionerna var mindre än gällande hygieniska gränsvärden. Däremot skulle lukt från golvsystemen ha kunnat förnimmas i ett helt oventilerat utrymme redan efter någon timme. Projektet utförs 1997–1998 och finansieras gemensamt av Cementa AB och Sydsten AB.

Ett stort antal publikationer under senare år har behandlat sambandet mellan alkalitet, limmade plastmattor och emissioner [1–7]. Sammanfattningsvis anses de redovisade emissionsnivåerna som små [8] utom i något fall då plastmattor limmats direkt på betong med en hög relativ fuktighet, RF = 95 procent. Betongytan hade då vare sig torkat ut eller karbonatiserat före limningen av plastmattan [9]. Stora emissioner från lim och/eller plastmatta kan ge upphov till dålig lukt och kan ej accepteras i utrymmen där människor vistas [8]. Nämnda emissionsförsök utfördes som parameterstudier i laboratorieskala delvis under forcerade förhållanden. Det var syftet med denna fältstudie att studera sambandet mellan alkalitet och emissioner, fukt och karbonatisering, i samband med plastmattor limmade till betong under realistiska förhållanden.



*Artikelförfattare är av **Bertil Persson**, LTH Byggnadsmaterial, Lund.*

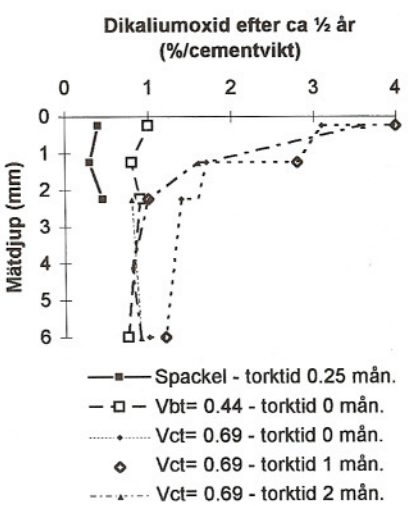


FOTO: STEFAN BACKE

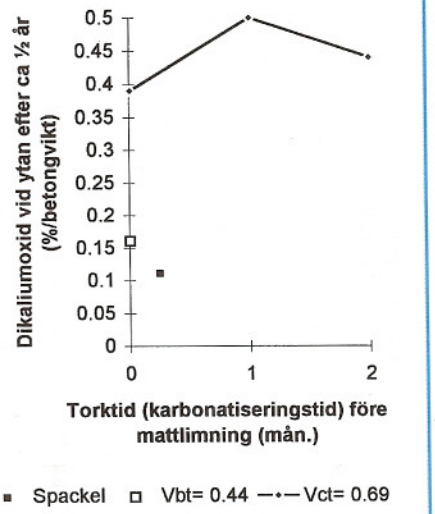
Platta på mark med limmad plastmatta.

Karbonatisering

Karbonatisering av betong innebär att en vattenmolekyl i kalciumhydroxiden ersätts med en kolsyremolekyl ur luften. Det erfordras såväl fukt som luft i betongen för att en karbonatisering ska komma till stånd. Karbonatiseringen sker troligen i första hand på porväggarna i betongen efterhand som dessa töms på vatten. Karbonatiseringen innebär även att en viss krympning och mikrosprickbildning sker i betongytan, men denna sprickbildning torde närmast påskynda karbonatiseringen. Karbonatisering är ogynnsam vad gäller att bemästra armeringskorrosion eftersom hydroxylhalten, pH, minskar från cirka 13,5 till pH < 8,5. En minskning av den basiska miljön är dock gynnsam vad gäller betongens påverkan på lim och mattor. Hydroxylhalten i betongen minskar nämligen till cirka 1/10 000 vid karbonatisering [11, 12]. Golvlim anses dock ej helt beständiga ens vid pH = 8,5 [13]. Karbonatiseringshastigheten ökar med högre vct även om



Figur 1. Alkalihalter för undersökta betonger och spackel. Torktid före mattlimning. Rådata från [9].



Figur 2. Ytalkalitet versus torktid före mattlimning. Torktid före mattlimning. Rådata enligt [9].

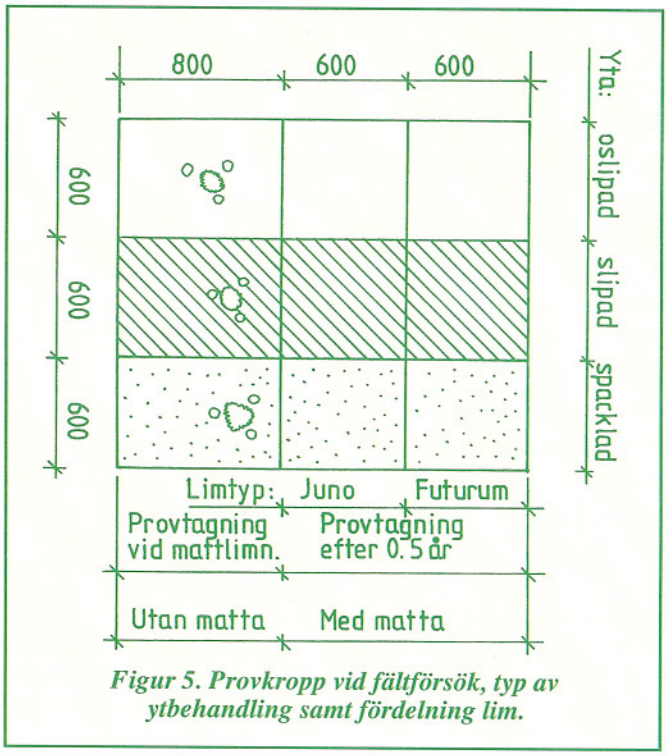
det sker en viss karbonatisering i betong med lågt vct [14].

Alkalitet

I ett omfattande laboratorieförsök studerades sambandet mellan alkalitet, emissioner och uttorkning av betong [9]. Betong med vct = 0,69 och med vattenbindemedelstal, vbt = 0,44, (sex procent silikastoft) studerades [9, 15]. även inverkan spackelskikt studerades. *Figur 1* sammanfattar uppmätta alkalihalter för de undersökta betongerna och spacklet cirka ett halvt år efter mattlimning [9]. Torktid (lika med karbonatiseringstid) före mattlimning ges i figur 1. *Figur 2* visar ytalkaliteten som funktion av torktid (lika med karbonatiseringstid) före mattlimning. Figur 1 och 2 visar att ytalkaliteten i betongerna till största delen berodde av vct. Även efter mattlimningen skedde en påtaglig fukttransport och därmed alkalitransport upp mot betongytan i normal betong med vct = 0,69. (Även genom plastmatta sker det på sikt en viss fukttransport.) I betong med vbt = 0,44 (sex procent silikastoft) kunde däremot ingen alkalianrikning konstateras i betongytan cirka ett halvt år efter mattlimning. Alkaliteten i ytan av betong med vbt = 0,44 var endast cirka en fjärdedel av ytalkaliteten i normal betong med vct = 0,69. Skillnaden i ytalkalitet mellan betong med vbt = 0,44 och vct = 0,69 var även uppenbar efter en omräkning till betongvikt, figur 2. Betong med vbt = 0,44 uppvisade cirka en tredjedel av ytalkalitet jämfört med normal betong med vct = 0,69. I betong med vbt = 0,44 var fuktflödet från betongen till ytan (och därmed alkalitransporten) betydligt mindre än i normal betong med vct = 0,69.

Tabell 1. Sammansättning (kg/m³) samt övriga egenskaper hos provade betonger.

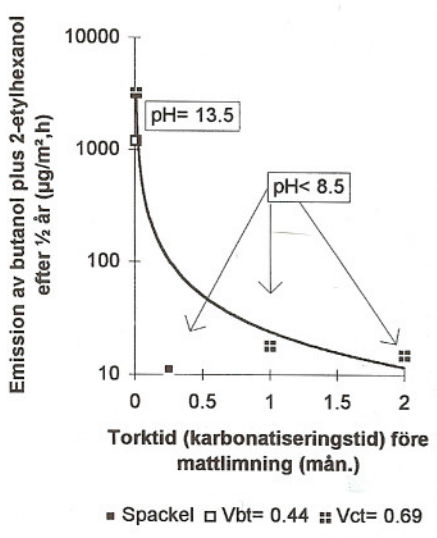
Vct	0,40	0,47	0,69
Makadam 16–25 mm	461	442	353
Makadam 8–16 mm	461	471	461
Grus 0–8 mm	917	924	1 088
Cement Slite Std	399	330	251
Flytmedel (melaminformaldehyd)	5,96	3,29	1,29
Luftporbildare	0,09	0,04	-
Vatten inkl fukt i delmaterialen	161	156	173
Lufthalt (%)	4,4	2	0
Densitet (kg/dm³)	2,37	2,39	2,34
Sättmått (mm)	220	130	85
Tryckhållfasthet 7 dygn (MPa)	47	45	24
Tryckhållfasthet 14 dygn (MPa)	52	49	26
Tryckhållfasthet 28 dygn (MPa)	55	53	32



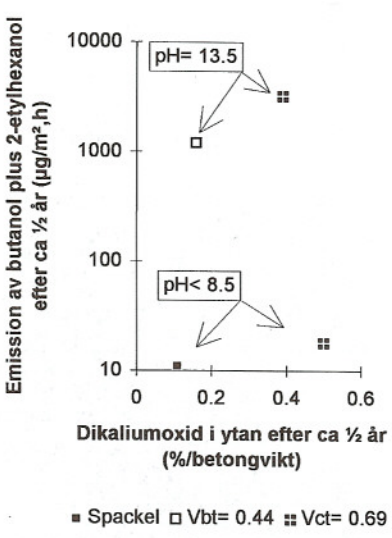
Figur 5. Provkropp vid fältförsök, typ av ytbehandling samt fördelning lim.

Emissioner

I ovannämnda undersökning studerades sambandet mellan emissioner från plastmattor limmade på betong eller spackel och inre relativa fuktigheten, RF, på mätdjupet 40 mm [9]. En fuktspärr ("primer") utfördes på betongytan före spacklingen, vilket förhindrade/försenade fukttransporten/alkalitransporten från betongen till spacklet och golvbeläggningen [9]. Det var i huvudsak emissioner av butanol och 2-etylhaxanol som var intressanta att studera, eftersom dessa kan ge upphov till dålig lukt [8]. *Figur 3* visar uppmätta medelvärden av emissioner av butanol och 2-etylhaxanol som funktion av torktid (lika med karbonatiseringstid) [9]. I samband med emissioner föreföll det som om yttorktiden (lika med karbonatiseringstiden) var relevant att studera. Figur 3 visar att yttorktiden (lika med karbonatiseringstiden) hade stor betydelse för emissionernas storlek. Yttorkning (lika med karbonatisering) minskade emissionerna till en bråkdel av de som uppmättes vid limning på en otorkad betongyta. Spackelytan torkade ut under en vecka före limning varför limmet då anbringades mot en torr yta. *Figur 4* visar sambandet mellan ytalkalitet och emissioner av butanol samt 2-etylhexanol [9]. *Enligt figur 4 existerade det ej något samband mellan ytalkalitet och emissioner*. Det var ytans pH vid tidpunkten för mattlimning som var avgörande för emissionernas storlek. Troligen reagerade okarbonatiserad betong kraftigt med lim varvid en nedbrytning skedde med emissioner som följd. Enligt föreliggande föreskrifter ska dock byggnader vara uppvärmda samt ventilerade före det att limning av plastmattor får utföras. Därvid sker förvisso även karbonatisering av betongen. Enligt ett tilläggsförslag till Bygg-AMA Hus bör uttorkningen av betongytan (lika med karbonatiseringen)



Figur 3. Emission av butanol och 2-etylhexanol versus torktid (lika med karbonatiseringstid). Rådata enligt [9].



Figur 4. Emission av butanol och 2-etylhexanol versus ytalkalitet. Rådata enligt [9].

kontrolleras, till exempel bör RF_{yta} vara mindre än 70 procent, på djupet 0–15 mm från ytan [16].

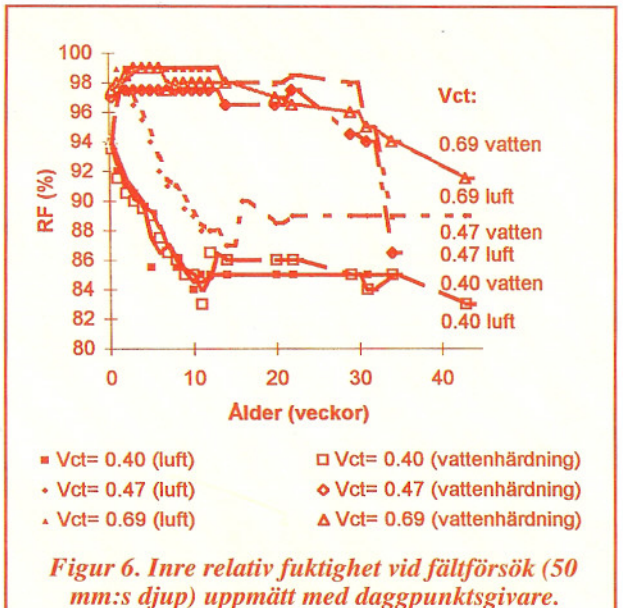
Fältförsök

Inom det pågående fältförsöket tillverkades tre stycken betonger, *tabell 1*. Konstruktionen bestod av platta på mark med tjockleken 125 mm, *figur 5*. Konstruktionen motsvarade uttorkningen hos bjälklag med tjockleken 250 mm. Betongerna hade vct = 0,40, 0,47 respektive 0,69. Tillverkningen utfördes inomhus på ett tätt underlag med 1 mm butylduk. Hälften av betongplattorna härdades direkt i luft efter ett dygns av täckning med byggplastfolie. Återstående betongplattor härdades först med byggplastfolie under ett dygn samt därefter med fuktiga wettexdukar under en månad. Nästkommande månad härdades de vattenlagrade plattorna med byggplastfolie. Uttorkningen startade således i detta fall vid två månaders ålder, vilket är tillämpligt vid produktion utomhus. Vid ombyggnader etc kan dock uttorkningen ofta starta direkt efter gjutning, vilket motiverade en härdning direkt i luft. Omgivningsklimatet höll RF = 55 procent samt T = 15 °C.

Betongplattorna stålslipades cirka fyra timmar efter gjutning. Två veckor efter torkstart dvs vid en halv respektive två och en halv månads ålder diamantslipades mellersta tredjedelen av plattor cirka 0,5 mm på en bredd av 0,6 m, figur 5. Då RF < 90 procent uppmättes på 50 mm:s mätdjup utfördes ett primerskikt jämte 5–10 mm lågalkalisk spackel på en tredjedel av plattorna medan övriga delen av betongplattorna ej efterbehandlades. En tredjedel av betongplattan användes för fuktmätningar. På två tredjedelar av ytan limmades plastmatta enligt figur 5.

Provningsmetoder

Fuktprofilen i betongen fastställdes genom mätning på utbilade prover. Utbilade prover från mätdjupen 0–15 mm, 50 mm samt 120 mm under betongytan, förvarades i glasrör före och under fuktmätningen. Dessutom togs prover från spackelskiktet. Betongbitarna tempererades i 18 °C eller 20 °C under ett dygn före fuktmätningen. Därefter utfördes fuktmätning med daggpunktsgivare under 22 timmar. Daggpunktsmätaren kalibrerades i en ånggenerator. Vissa kontrollpunkter kalibrerades mot mättade salter. Karbonatisering mättes på ytprov, vilka behandlades med fenolftalein, varefter karbonatiseringsdjupet uppmättes med spricklupp. Mätning utfördes även efter det att plastmattor hade limmats till betongen. Betongerna uppvisade en mycket tydlig karbonatiseringsgräns. I spackelskiktet var pH för lågt för att möjliggöra karbonatiseringsmätning i detta skikt. Betongkärnor utborrades med längden 50 mm och diametern 50 mm. Alkaliprofilen bestämdes medelst kemisk analys av vattenlöslig dikaliumoxid efter slipning av betongen på mätdjup varierande mellan 0,25 och 5 mm. Även referensprov togs på större avstånd från betongytan. Alkalitetsprovningen utfördes vid Scancem Research AB, Slite. Cirka ett halvt år efter mattlimning transporterades betongplattorna väl fuktskyddade till SP Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås för alkalitetsmätning. Mätningarna utfördes med FLEC-utrustning [17, 18] i ett stabilt omgivningsklimat.

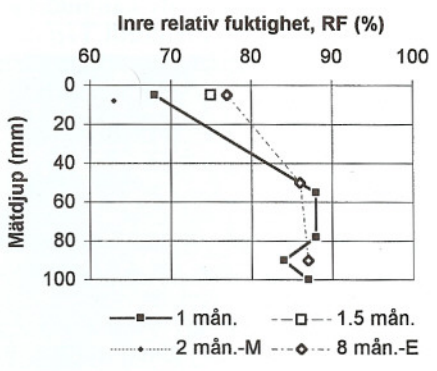


Figur 6. Inre relativ fuktighet vid fältförsök (50 mm:s djup) uppmätt med daggpunktsgivare.

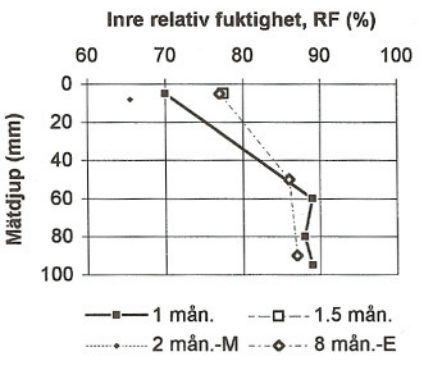
Resultat från fältförsök

Preliminära resultat redovisas från fältförsöket. *Figur 6* visar RF på 40 mm:s mätdjup för betongerna. *Figur 7* visar fuktprofilen för lufthärdad, oslipad betong med vct = 0,40. *Figur 8* visar fuktprofil för lufthärdad, slipad betong med vct = 0,40. *Figur 9*, slutligen, visar fuktprofilen för lufthärdad, spacklad betong med vct = 0,40. *Figurerna 10–12 på nästa sida* ger motsvarande fuktprofiler för vattenhärdad betong. Primerskiktet motverkade inledningsvis ytuttorkningen av betongen, vilket innebar att spackelskiktet torkade till cirka RF = 55 procent. Ytan på betongen torkade till RF < 70 procent inom två månader även under tämligen ogynnsamma yttre förhållanden. *Figur 13* visar emissioner från limmad plastmatta på lufthärdad betong med vct = 0,40 [17]. *Figur 14* visar emissioner från limmad plastmatta på vattenhärdad betong med vct = 0,40 [18]. *Figur 15* visar karbonatisering av provade betonger. Resultat från alkalitetsmätningarna återstår att redovisa.

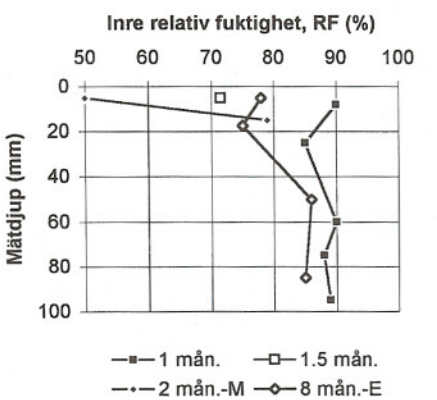
I *figurerna 13–14* visar även, som referens, emissioner från golvsystem med plastmatta limmad till okarbonatiserad betong [9]. (De senare emissionsvärdena ges i hexanekvivalenter medan de förra gavs i toulenekvivalenter. Skillnaden i resultatredovisning är dock liten [19].) De vid fältförsöket uppmätta emissionerna uppgick endast till en sjättedel av de som mättes enligt [9]. *Uppenbarligen hade ytkarbonatisering/ytuttorkning stor inverkan på emissionernas storlek.* I ett helt oventilerat rum med rumshöjden 2.5 m erfordrades det enligt fältförsöket, *tabell 2*, minst 18 dygn för koncentrationen av emitterad butanol skulle överstiga gällande hygie-



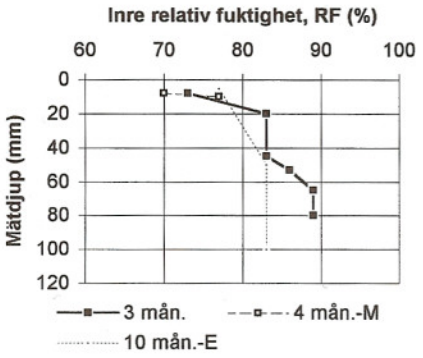
Figur 7. Fuktprofiler för lufthärdad, oslipad betong med vct = 0,40.



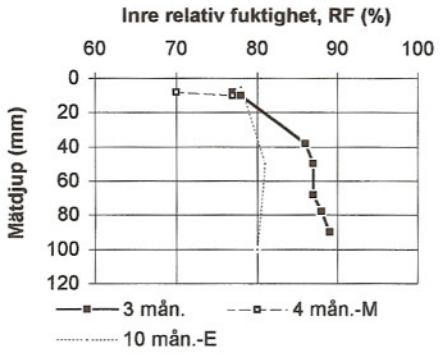
Figur 8. Fuktprofiler för lufthärdad, slipad betong med vct = 0,40. M = vid mattlimning. E = vid emissionsmätning.



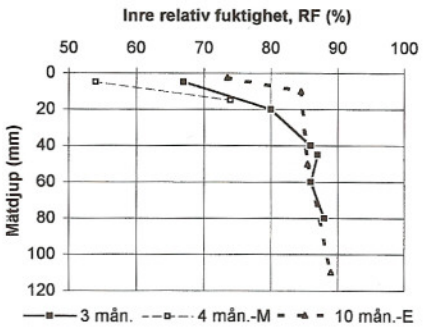
Figur 9. Fuktprofiler för lufthärdad, spacklad betong med vct = 0,40.



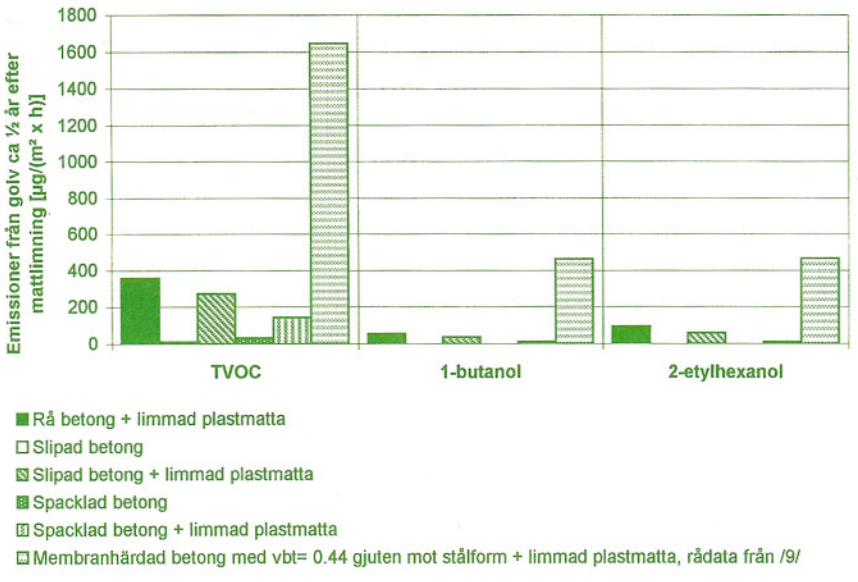
Figur 10. Fuktprofiler för vattenhärdad, oslipad betong med vct = 0,40.



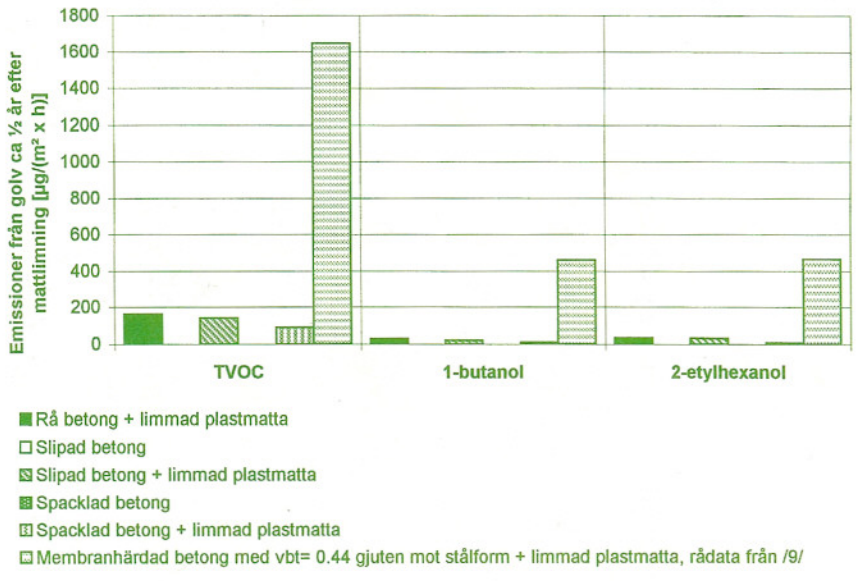
Figur 11. Fuktprofiler för vattenhärdad, slipad betong med vct = 0,40.



Figur 12. Fuktprofiler för vattenhärdad, spacklad betong med vct = 0,40.



Figur 13. Emissioner efter ett halvt år från plastmatta limmad på lufthärdad betong med vct = 0,40.



Figur 14. Emissioner efter ett halvt år från plastmatta limmad på vattenhärdad betong med vct = 0,40.

niskt gränsvärde, 9 mg/m³ (omräknat till kontinuerlig exponering) [20]. Gränsvärdet för förnimbar lukt från 2-etylhexanol är troligen avsevärt lägre, eventuellt cirka 30 µg/m³ [8]. De golv som studerades i fältförsöket kunde därför redan efter någon timme ha gett upphov till förnimbar lukt av 2-etylhaxanol förutsatt att utrymmet var helt oventilerat [8], tabell 2. Normalt är dock lokaler ventilerade varför problemet är litet.

Slutsatser

I artikelen presenterades dels en omvärdering av hitintills utförd forskning beträffande karbonatisering och emissioner, dels delresultat från det pågående fältförsöket. Följande slutsatser kan dras:

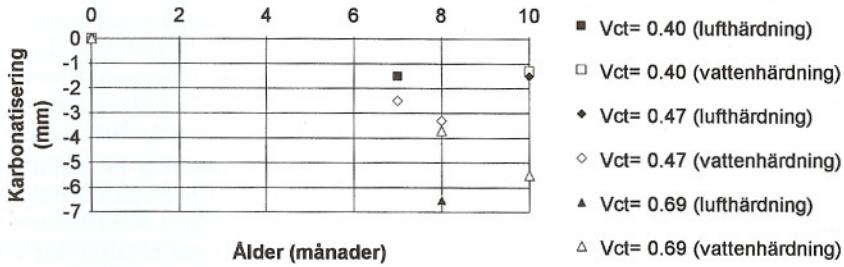
- Yttorkning (lika med karbonatisering) minskade emissionerna till en sjättedel av de emissioner som uppmättes från plastmattor vid limning på en otorkad, okarbonatiserad betongyta.
- Ytslipning av betongen minskade emissionerna med ytterligare cirka 20 procent.
- Emissionerna från ett plastgolv limmat på en spacklad yta halverades jämfört med emissionerna från ett plastgolv limmat på en rå betongyta.
- I ett helt oventilerat rum erfordrades minst 18 dygns emission från golven för koncentrationen av emitterad butanol skulle överstiga gällande hygieniska gränsvärde.
- Emissioner från de golv som studerades i fältförsöket skulle eventuellt, *i ett oventilerat utrymme*, redan efter någon timme ha kunnat ge upphov till förnimbar lukt av 2-etylhaxanol.

Referenser

[1] *Jan Asztèly*. Avjämningsmassorna och miljön. Betong nr 4. Stockholm, 16–17 (1995).

[2] *Helene Wengholt Johnsson*. Val av golvsystem påverkar inomhusmiljön. Betong nr 4. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 18–19 (1995).

[3] Bertil Persson. Snabbtorkande betong gav ej upphov till sjuka hus. Betong nr 4. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 20–21 (1995).



Figur 15. Karbonatiseringsdjup hos provade betonger.

Tabell 2. Tid för att nå hygieniskt gränsvärde vid kontinuerlig exponering av butanol respektive för att nå förnimbar luftkoncentration av 2-etylhexanol i helt oventilerat utrymme. Plastmatta limmad på betong med vct = 0,40.

Härdningssätt	Ytbehandling	Butanol	2-etylhexanol
Luft	Rå betong	430 timmar	1 tim.
	Slipad betong	630	1
	Primer + spackling	1 730	6
En månad vattenhärdning	Rå betong	780	2
+ en månad försegling	Slipad betong	1 070	2
+ luft	Primer + spackling	2 500	9

[4] *Johan Alexandersson*. Betong, avjämningsmassor och miljön. Betong nr 1. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 24–25 (1996).

[5] *Marina Fritsche*. Fukt- och alkalispärrar kan påverka emissionsförloppet. Betong nr 3. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 15–16 (1996).

[6] *Bertil Persson*. Problem vid mattläggning på högpresterande betong – inverkan av ytans fukttillstånd. Betong nr 4. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 21–23 (1996).

[7] *Marina Fritsche, Anders Sjöberg & Helene Wengholt Johnsson*. Golvlimmet påverkar emissionen från golvsystem. Betong nr 1. Bygg & Bo Media AB. Stockholm, 22–23 (1997).

[8] *Hans Gustavsson*. Golvmaterial på olika typer av fuktiga betongunderlag – Översikt och kommentarer med inriktning på kemisk nedbrytning och emission. SP rapport 1996:25. Kemisk analys. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås, 27 sid. (1996).

[9] *Helene Wengholt Johnsson*. Kemisk emission från golvsystem – effekt av olika betongkvalitet och fuktbelastning. Publikation P95:4. CTH Byggnadsmaterial. Göteborg, 74 sid. (1995).

[10] *Olle Peterson*. Personlig information. LTH Byggnadsmaterial. Lund (1997).

[11] *Marina Fritsche, Anders Sjöberg & Helene Wengholt Johnsson*. Kemisk emission från golvsystem av limmad PVC-matta på självtorkande betong – inverkan av limningsteknik, torkförlopp samt cement-, lim- och mattyper. Publikation P97:1. Avdelning Byggnadsmaterial. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg, 17 sid. (1997).

[12] *Anders Sjöberg*. Ongoing Research. Floor System, Moisture and Alkali. Contribution at HB/IAQ'97. Washington (1997).

[13] *Caj Schrewelius*. Personlig information. Bona kemi AB. Malmö (1997).

[14] *Bertil Persson*. Långtidskrympning hos högpresterande betong. "Long-term shrinkage in High-Performance Concrete." 2ii073. Internationella cementkongressen. Göteborg. 9 sid. (1997).

[15] *Bertil Persson*. Fukt i högpresterande betong. Rapport U96.04. Avdelning Byggnadsmaterial. Lunds Tekniska Högskola. Lund 11 sid. (1996).

[16] Hus AMA 97. Kapitel ESE. Platsgjutna betongkonstruktioner i byggnad. Remiss (1997).

[17] *Birgitta Ek-Olausson*. Emissionsprovning av material. Rapport 97K21832. Statens Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1997).

[18] *Birgitta Ek-Olausson*. Emissionsprovning av material. Rapport 97K21886. Statens Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1997).

[19] *Birgitta Ek-Olausson*. Personlig information. Statens Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1998).

[20] AFS 1996:2. Arbetarskyddsstyrelsen. Solna (1996).

Behov av *tillfällig* arbetskraft?

- Vi erbjuder kvalificerad arbetskraft till företag inom måleri-, snickeri- och armering.
- Per timme/vecka/månad eller efter era önskemål.
- Inom hela Sverige.

För information ring 0294-251 10 eller faxa på 0294-251 03

Buraas Bygg-Jour

snickeri - målare - formsnickeri - betong

Problem vid mattläggning på högpresterande betong – inverkan av ytans fukttillstånd. Betong 4/1996, 21-23.

Problem vid mattläggning på högpresterande betong – inverkan av ytans fukttillstånd

Som i trafiken finns det i byggandet bestämmelser som använts under många år: 90 km/h resp % RF (relativ fuktighet)- I och med den byggfuktfria betongens intåg i byggbranschen får nu de krav som stipuleras i Bygg-AMA Hus beträffande betongens RF kompletteras med krav beträffande ytfuktigheten i samband med limning av täta golvbeläggningar.

Bertil Persson
Byggmaterial, LTH

Bygg-AMAs RF-krav vid mätning på så kallat normenligt mätdjup (20 eller 40 % av plattjockleken) motsvarar en genomsnittlig RF över betongtvärsnittet efter tät ytbeläggning. Mätvärdet på normenligt mätdjup beaktar ej de yttillskott av fukt som kan ske från regn, limfukt etc, *fig 1* [1]. *Fig 1* visar den uttorkade mängden fukt i olika RF-intervall från en byggfuktfri betong med ett vatten bindemedelstal.

{blandningsvatten/ (cement+silikastoft)}, vbt<0.38.

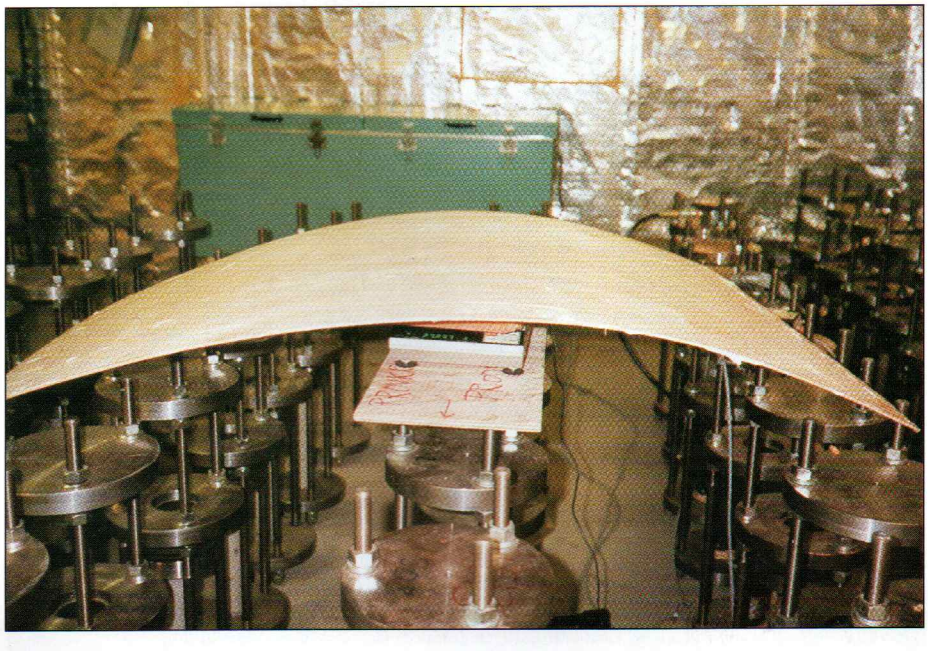
Vid ytuttorkning av betong skapas nämligen ett "magasin" i vilket t ex limfukt kan inrymmas. Limfukten utgör ca 75 g/m^2. Som en jämförelse kan nämnas att ett kopieringspapper väger 80 g/m^2. Det är således en mycket liten vätskemängd som skall upptas i betongytan i jämförelse med betongfukten [1].

1. Problemställning och syfte

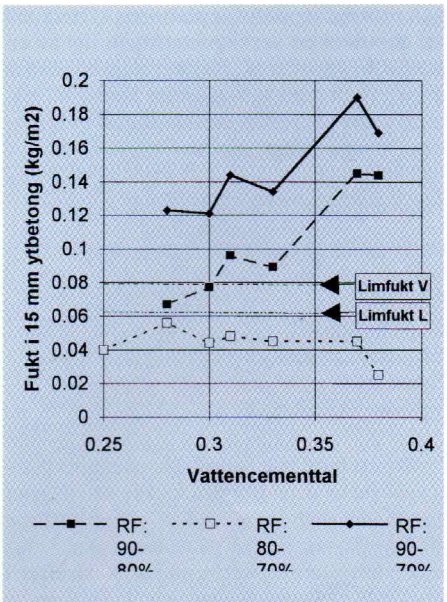
Nuvarande RF-krav i samband med läggning av limmade ytbeläggningar betingas främst av risken för limförtvålning. Det finns även ett samband mellan å ena sidan RF i betongen och å andra sidan emissioner från golvsystemet. Emissionsnivån från den limmade ytbeläggningen på normal betong minskar nämligen avsevärt under förutsättning att kraven enligt Bygg-AMA Hus hålls, Fig 2 [2]. Fig 2 visar total kemisk emission från golvsystem på normalbetong med vbt = 0.69 efter varierande tid från golvlimning som funktion av uppmätt RF på normenligt mätdjup i samband med golvlimningen.

Emissionsnivån från golv på byggfuktfri betong är beroende av huruvida ytan torkat ut eller ej. Fig 3 visar en del av de kemiska emissionerna från golvsystem på betong beroende av betongens ytfukttillstånd (torkad eller icke uttorkad betongyta) [3, 4]. Även en byggfuktfri betong måste nödvändigtvis torka ut i ytan för att limfukten skall rymmas i ytan av betongen utan att RF överstiger t ex 90 % efter mattlimning. Normalt inryms aktuella tider för ytuttorkning i en byggcykel. Problem kan dock uppkomma vid forcering t ex omläggning av golv i badrum eller vid snabbyggda monteringsfärdiga hus på betongplatta på mark. Härav de föreslagna kraven beträffande en högsta ytfuktighet i en i övrigt byggfuktfri betong. I en traditionell betong torkar betong ut med en typisk fuktprofil där ytan alltid är torrare än betongens inre. En normal betong som fyller Bygg-AMAs nuvarande krav på RF är därför alltid tillräckligt torr i ytan. Byggfuktfri betong kan däremot vara torr inuti medan ytan fortfarande är fuktig t ex på grund av regn eller försegling ända fram till golvlimningen [5].

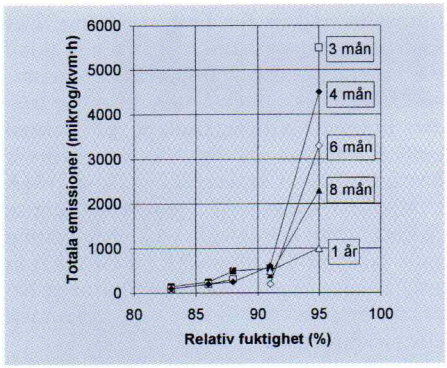
Målet med det aktuella arbetet var att klarlägga inverkan av ytfukt från lim på den relativa fuktigheten, RF, i betong vid varierande så kallade öppethållandetider för limmet (öppethållandetid=tid från det att limmet anbringas på betongytan tills det att mattan påförs).



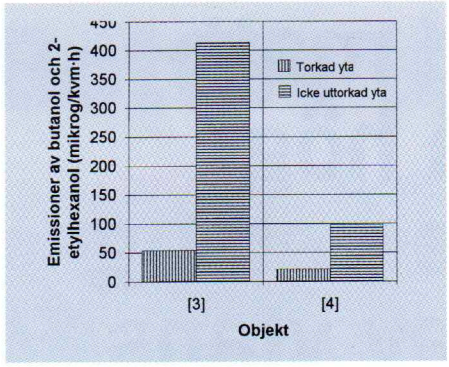
Prov på avdunstning från lim, utfört i klimatrum. I bakgrunden: krypförsök



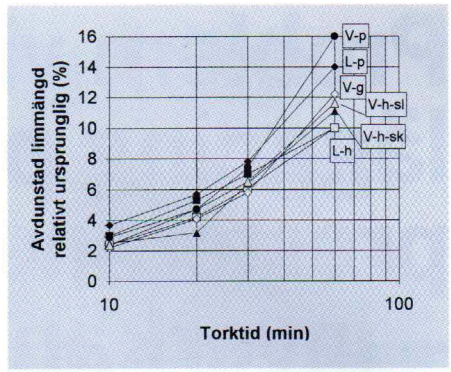
Figur 1. Uttorkade mängder fukt i olika RF-intervall från betong (vbt<0,38) [1]



Figur 2. Total kemisk emission från golvsystem på betong med vbt=0,69 efter varierande tid som funktion av RF på normenligt mätdjup [2].



Figur 3. Kemisk emission från golvsystem på betong beroende av betongens ytfukttillstånd (torkad eller icke uttorkad betongyta) [3, 4].



Figur 4. Avdunstad limmängd relativt ursprunglig som funktion av torktiden. Symboler: g=plexiglas; h=hård träfiberskiva; p=stålplåt; sk=skrovlig sida; sl=slät sida; L=lösningsmedelbaserat lim; V=vattenbaserat lim

2. Avdunstning från en fri limyta

Inledningsvis var det av stort intresse att undersöka den avdunstade mängden limvätska från en fri limyta. Två limtyper användes, dels ett lösningsmedelsbaserat lim (L; torrhalt ca 74 %), dels ett vattenbaserat lim (V; torrhalt ca 69 %). Endast sju st prover utfördes, samtliga i en omgivningsfuktighet av RF = 55 % (temperatur 20°C). Det limmade materialet bestod endera av hård träfiberskiva (masonite), plexiglas eller stålplåt. Ca 1 m2 limyta belades med 250 g/m^2 lim (standardspackel no 4). Mängd påfört lim vägdes. Skivorna placerades omedelbart efter limningen på en våg med kontinuerlig vägning. I *fig 4* ges avdunstad limmängd relativt ursprunglig limmängd (%).

Under de studerade limtorktiderna för våtlimning resp häftlimning (10 resp 60 min) avdunstade mellan ca 3 och ca 16 % av limmet, dvs mellan ca 10 och ca 50 % av limvätskan (en betydande del).

3. Gjutning och härdning av betonger

Recept för de provade betonger ges i tabell 1. Såväl normal betong som byggfuktfri betong provades. Ett femtiotal betongplattor tillverkades vid Scancem Research, Slite. Plattornas storlek var 300 x 300 mm samt tjockleken 50 mm. Härdningsförfarande och uttorkningssätt för plattorna syftade till att simulera en verklighetstrogen del av en snabb byggprocess. Betongytan härdades därför först med vatten under 30 dygn (vattenlagring) varefter uttorkningen påbörjades (lufthärdning).

Tabell 1 Betongrecept (torrvikt, kg/m3) [6]

Material/Vbt	0.36	0.69
Sten	930	900
Grus	920	970
Slite Cement Std	485	290
Silikastoft (granulat)	15	–
Flytmedel (melaminformaldehyd)	1.7	–

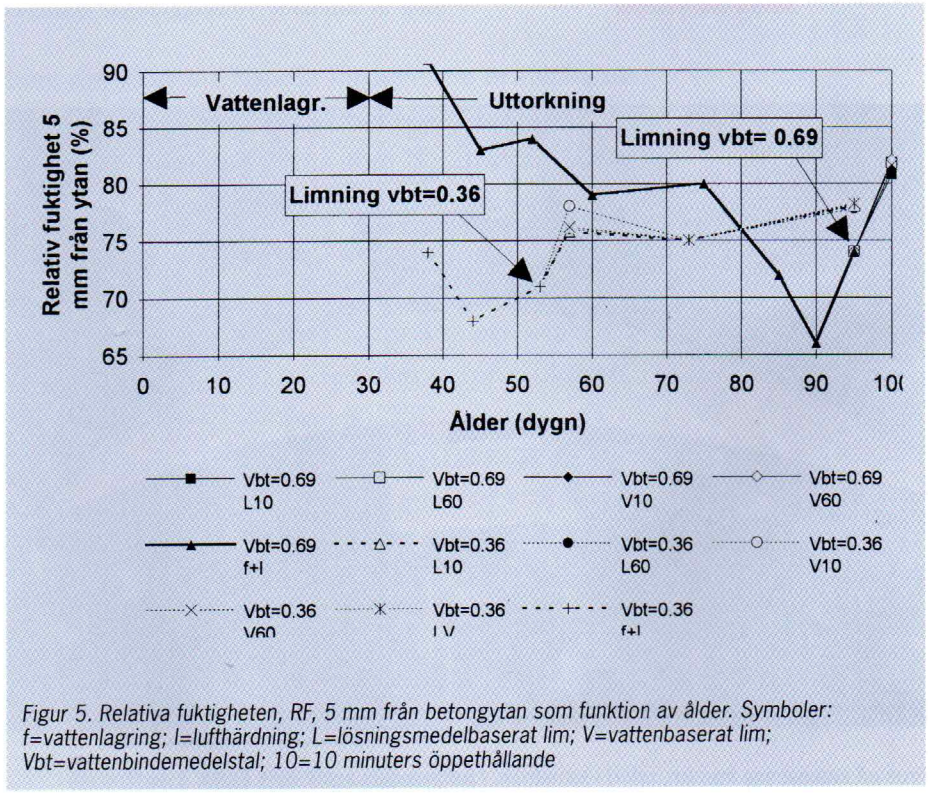
I syfte att hindra uttorkning nedåt göts plattorna på 2 mm butylduk. Första dygnet härdades plattorna under byggplastfolie (0.2 mm) varefter blöta Wettexdukar lades mot ytan. Betongplattorna lades därefter i tjocka, dubbla plastemballage. Transport av plattorna skedde från Scancem AB, Slite till Svenska Lim AB, Landskrona resp LTH Byggnadsmaterial, Lund. Uttorkningen påbörjades samtidigt i Landskrona och i Lund. Ytan på de betongplattor som sänts till Landskrona var dock mera skrovlig än ytan hos de plattor som sänts till Lund. För att möjliggöra limning av plastmatta så torrslipades därför de plattor som studerades i Landskrona. I Lund höll torkklimatet en konstant RF = 55 % samt 20° C. I Landskrona var RF ~ 40 % i omgivningsluften vid 17° C dvs mängden fukt i luften ungefärligen densamma som i Lund. Då RF<90% uppmättes på normenligt djup i plattorna belades dessa med 1 mm PVC-plastmatta.

4. Provningsmetod

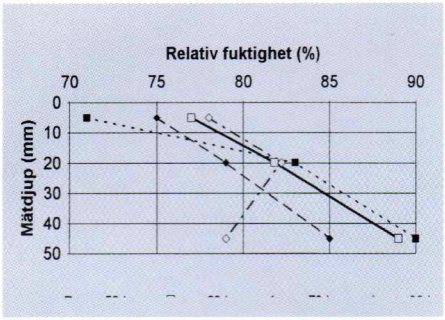
Samtliga fuktprover från plattorna togs ut i Lund. Ett flertal betongplattor transporterades således vid olika tillfällen från Landskrona till Lund. Merparten av plattorna försågs med 1 mm limmad plastmatta av typ PVC, fig 5. Två limtyper användes, dels ett lösningsmedelsbaserat lim (L), dels ett vattenbaserat lim (V), ca 250 g/m^2 lim i bägge fallen (standardspackel no 40). Öppethållandetider varierande mellan 5 minuter och 3 timmar studerades. Parallellt med att vidhäftningsprov utfördes i Landskrona, mättes fuktprofilen i andra betongplattor som dessförinnan hade limmats med plastmatta. Fuktmätningen begränsades dock till betongplattor med två öppethållandetider för limmet, dels 10 minuter, dels 60 minuter. Den valda tidsrymden ansågs som relevant i ett snabbt byggande.

I samband med provtagningen delades betongplattorna i tredjedelspunkten med en linjelast. Därefter bildades provbitar med en tjocklek av 10 mm från den spräckta betongytan, dels från plattans ovansida (ca 5 mm från ytan), dels ca 20 mm från betongytan, dels från betongplattans undersida. Betongbitarna lades i provrör varefter RF bestämdes enligt följande förfarande:

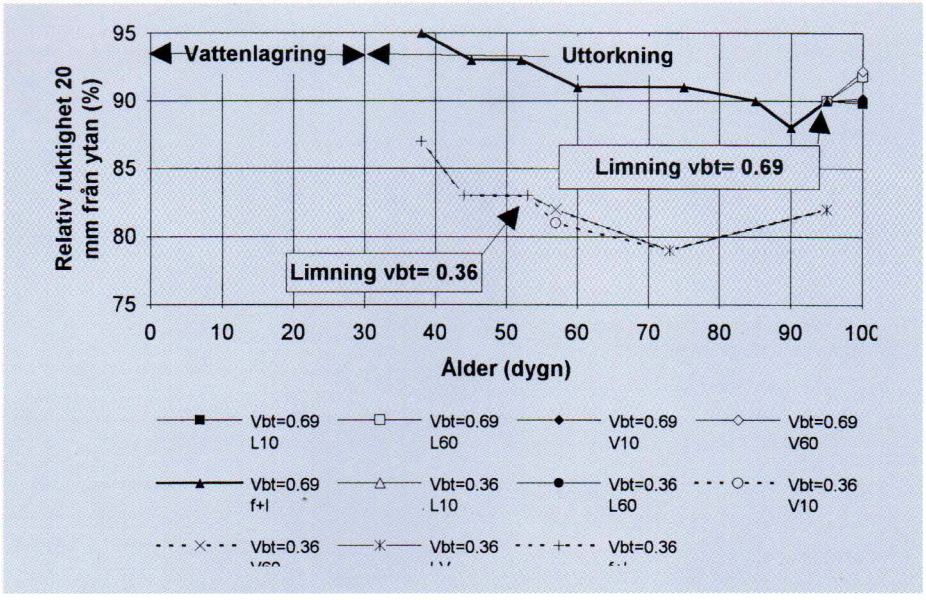
1. Bitar om 10+10+10 mm betong från betongen fördelades inom 15 s på provrör, dels från ytan av betongen, dels från 20



Figur 5. Relativa fuktigheten, RF, 5 mm från betongytan som funktion av ålder. Symboler: f=vattenlagring; l=lufthärdning; L=lösningsmedelbaserat lim; V=vattenbaserat lim; Vbt=vattenbindemedelstal; 10=10 minuters öppethållande



Figur 7. Fuktprofiler i byggfuktfri betong (vbt=0,36) vid varierande ålder, d=dygn



Figur 6. Relativa fuktigheten, RF, 20 mm från betongytan (normenligt mätdjup) som funktion av ålder. Symboler: f=vattenlagring; l=lufthärdning; L=lösningsmedelbaserat lim; V=vattenbaserat lim; Vbt=vattenbindemedelstal; 10=10 minuters öppethållande

mm:s djup under ytan, dels från plattans botten
2. Provrören försågs med gummipropp inom 15 s
3. Betongen tempererades under 1 dygn
4. I vart och ett av provrören stacks en daggpunktsgivare ned
5. Daggpunktsgivaren tätades med ett expanderande gummimembran runt om mot glaset i provröret
6. Mätning utfördes under minst 16 h
7. Daggpunktsgivarna kalibrerades inom 30 dygn från mättillfället såväl enligt [7] som med en "Thunder" ånghaltsgenerator. (Mätvärden redovisas efter kalibrering). Noggrannhet: ± 2 % RF

5 Resultat av fuktmätningar

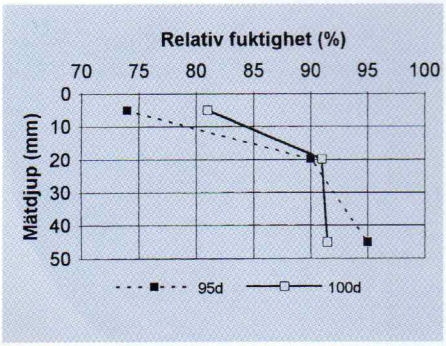
Totalt utfördes fuktmätningar i 126 st uthuggna betongprover. Medelvärde av tre prover redovisas. *Fig 5 och 6* visar RF 5 mm från betongytan resp 20 mm från betongytan (normenligt mätdjup) [6].

Symboler:
f=vattenlagring;
l=lufthärdning;
L=lösningsmedelsbaserat lim;
V=vattenbaserat lim;
Vbt=vattenbindemedelstal;
10 = 10 minuters öppethållande.

Fig 7 och 8 visar fuktprofiler för de provade betongerna, vbt= 0.36 respektive vbt= 0.69.

6. Slutsatser beträffande fuktfördelning i betongplattor

Målet med provningen var att efterhand fastställa fuktprofilen (relativa fuktighet, RF) i lufttorkade 50 mm tjocka betongplattor försedda med en limmad plastmatta.



Figur 8. Fuktprofiler i normal betong (vbt=0,69) vid varierande ålder, d=dygn

Plattorna hade fukthärdats under 30 dygn samt härdats i luft tills RF=90% erhölls på så kallat normenligt mätdjup. Undersidan av betongplattorna förseglades. Efter nämnda perioder av fukt- och lufthärdning limmades plastmattor till betongplattorna. RF bestämdes dels i samband med limningen, dels i samband med ett efterföljande vidhäftningsprov av plastmattan. Slutsatser:

Snabbtorkande betong (vbt=0.36):

1. Efter 30 dygns vattenhärdning följt av 8 dygn i luft erhölls RF=87 % på normenligt mätdjup (20 mm) samt RF=74 % ca 5 mm från betongytan
2. Efter 30 dygns vattenhärdning plus 21 dygn i luft erhölls p.s.s. RF=83 % resp RF = 71%
3. Efter 30 dygns vattenhärdning plus 12 dygn i luft samt ca 10 dygns härdning med 1 mm limmad plastmatta erhölls RF ≈ 82 % på normenligt mätdjup resp RF ≈ 77 % ca 5 mm från ytan
4. I samband med limning av 1 mm plastmatta ökade således RF i betongytan med ca 6 %
5. Det var ej möjligt att konstatera skillnad i betongens RF 5 mm under plastmattan vare sig beroende av limtyp (lösningsmedelsbaserat eller vattenbaserat lim) eller öppethållandetid
6. Fyrtio dygn efter det att limningen utfördes bibehölls RF-profilen på samma nivå som vid limningen, RF=78 % i ytan respektive RF=82 % på normenligt mätdjup. *Det skedde således ej någon långsiktig uppfuktning av betongytan till följd av limningen av plastmatta*

Normal betong (vbt=0.69)

1. Efter 30 dygns vattenhärdning plus 55 dygn i luft erhölls RF=90 % på normenligt mätdjup (20 mm) samt RF=74 % 5 mm från ytan
2. Efter 30 dygns vattenhärdning plus 65 dygn i luft erhölls p.s.s RF = 90 % resp RF = 74 %
3. Efter 30 dygns vattenhärdning plus 55 dygns uttorkning och ca 10 dygns härdning med 1 mm limmad plastmatta erhölls RF≈91 % ca 20 mm under ytan resp RF ≈ 82 % ca djupet 5 mm
4. RF i betongytan ökade således med ca 8 % i samband med limningen av 1 mm plastmatta
5. Det var ej möjligt att konstatera någon skillnad i RF i betongen omedelbart under plastmattan vare sig beroende av limtyp eller öppethållandetid

Inverkan av limfukt kontra betongfukt:

RF-ökningen på så kallat normenligt mätdjup i betongen till följd av limfukten var obetydlig vilket antyder att omfördelningen av betongfukt hade större inverkan än limfukten. Vid betongytan ökade däremot RF något mindre än vad som beräknats i *fig 1*. Detta kan i sin tur bero på att en viss del av limfukten avdunstade resp att limfukt sögs in längre i betongen än 15 mm.

Referenser

1. Persson, Bertil. *Uttorkning av ytfukt i byggfuktfri betong.* Hus-AMA-nytt 1/96. Svensk Byggtjänst, Solna. 1996. Sid 20–23
2. Wengholt. Johnsson, Helen. *Kemisk emission från golvsystem.* Publikation P-95:4. CTH Byggnadsmaterial. Göteborg. 1996. Sid 32
3. Sjöberg, Anders. *Emissioner från självtorkande betong.* Personlig information. CTH Byggnadsmaterial. Göteborg. Telefax 1996-09-20
4. Persson, Bertil. *Kommentarer beträffande fukt- och emissionsmätningar i Umeå.* Rapport U96.14. LTH Byggnadsmaterial Lund. 1996. Sid 1–2
5. Gustafsson, Hans. Golvmaterial på olika typer av fuktiga betongunderlag – Översikt och kommentarer till undersökningar med inriktning på kemisk nedbrytning och emission. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Kemisk analys SP RAPPORT 1996:25 Borås. 1996 Sid 15, 21-22.
6. Persson, Bertil. *Fukt i snabbtorkande betong.* Rapport 96.04. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1996. Sid 1–11
7. ASTM E 104–85. *Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions.* The American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1985. Sid 33–34, 637

PVC-matta – ett nödvändigt ont på barnklinik i Lund. Husbyggaren 3/2000. 2000, 8-12.

PVC-matta – ett nöd ont vid barnklinik i L

AV TEKN DR BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

Vid nya Barnkliniken, Universitetssjukhuset i Lund provades fuktprofil och emissioner samtidigt i full skala på golvsystem med högaktuella material såsom linoleum, PVC- och gummimatta. Resultaten visar att det till en sjukhusmiljö f n saknas relevanta alternativa golvmaterial till PVC. Emissionsmätningarna utfördes vid Statens Provnings- och Forskningsinstitut, Borås medan fukt mättes vid LTH Byggnadsmaterial, Lund, 1999–2000.

Projektet Barnkliniken vid Universitetssjukhuset i Lund har kostnadsberäknats till 550 mkr och omfattar 18 000 m² våningsyta. Följande planindelning finns vid projektet (numreringen anknyter till Universitetssjukhusets "block":

9. Teknik och kulvert
10. Delvis teknik, omklädnad och bad
11. Entré
12. Vårdrum
13. Vårdrum
14. Operation
15. Fläktrum

Stålstommen restes mellan augusti 1999 och februari 2000, (Fig 1–7, 1 bild/månad). Varvtiden mellan bjälklagen var 18 dygn. De bärande pelarna bestod av H-profiler med 14 m långa bjälklagsbalkar helt ingjutna i det 300 mm tjocka betongbjälklaget, (Fig 8). Mellan balkflänsarna lades plattbärlag som form, (Fig 9), och armerades med sprickarmering och överkantsarmering på balkarna. I huvudsak användes betong med vct = 0.55 frånsett i översta planet där uttorkningstiden var kort, vct = 0.38. Tab 1 ger betongens sammansättning[1]. Balkarna hade en inbyggd brandsäkerhet varför underflänsen kunde exponeras utan extra brandinklädnad, (Fig 10). Däremot erfordrades brandinklädnad av pelarna med gipsskivor där även avloppen drogs. Stommen stabiliserades med platsgjutna mycket kraftigt armerade väggar. Taket lades omedelbart efter det att stommen hade rests, (Fig 6), varefter en förtillverkad träfasad från Sävsjö Snickeri AB monterades i snabbt tempo, (Fig 7), allt i syfte att erhålla ett torrt byggande så tidigt som möjligt. Fasaden bestod av 9 mm utegips, 150 + 70 mm mineralull, plastfolie och innegips.

Innerväggarna utgjordes av totalt ca 100 000 m² gipsskivor på stålreglar. Läget för innerväggar i gips på stålstomme, markerades på undersidan av plattbärlagen redan vid gjutningen av dessa. På så sätt kunde läget för ingjutningsdetaljer sättas ut och stämmas av kontinuerligt under byggets gång. Ledningar för ventilation, avlopp, el, VA, gas och sprinkler utfördes parallellt med stommen, vilket tidsmässigt var en fördel. Som strömförsörjning för platsbelysningen göts ett 48-voltssystem in i valven i syfte att undvika lösliggande kablar under byggtiden. På så sätt undveks snubbelrisk och andra säkerhetsrisker (elsäkerheten förbättrades på bygget). Den ingjutna belysningskablarna klipptes enkelt bort då de inte längre behövdes.

Tabell 1 – Betongsammansättning vid Barnkliniken (torrvikt kg/m³)[1].

Material/ betong	Sten 11-18	Grus 0-8	Cement	Glas-filler	Luftporbildare (g/m³)	Flytmede Peramin FS	Vatten
Vct= 0.38	1047	702	450	59	63	2	167
Vct= 0.55	915	1030	350	21	–	–	193

Beteckningar: Vct = vikt vatten (inklusive all fukt i delmaterial) i förhållande till vikt cement.

Tabell 2 – Sammanfattning av nackdelar och fördelar hos de studerade mattyperna[2].

Mattyp	Nackdelar	Fördelar
PVC homogen	Innehåller miljöbelastande ftlater och en kalciumzink-förening. PVC-mattor kan vara bronkit- och astmaframkallande[2,3].	Lågemitterande. Våtrumsgodkänd
PVC standard	Innehåller klorparaffin och "Organo" tenn. Högemitterande. PVC-mattor kan vara bronkit- och astmaframkallande[2,3].	Godkänd för våtrum.
Natur-gummi	Innehåller 10% naturgummi, vilket kan ge latexallergi, samt zinkoxid. Ej godkänd för våtrum. Ger gummilukt.	Lågemitterande.
Syntet-gummi	Innehåller zinkoxid, kromtrioxid samt en kopparföreing. Ej godkänd för våtrum. Ger gummilukt.	Lågemitterande. Syntetgummi.

vändigt
.und?















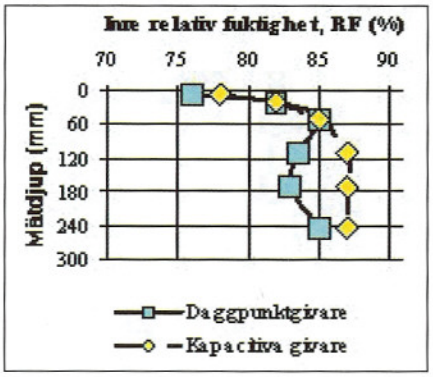
1.–7. Månadsvisa bilder av Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund, tiden augusti, 1999 – februari, 2000. Foto: PEAB Sverige AB.

Bakgrund till materialval

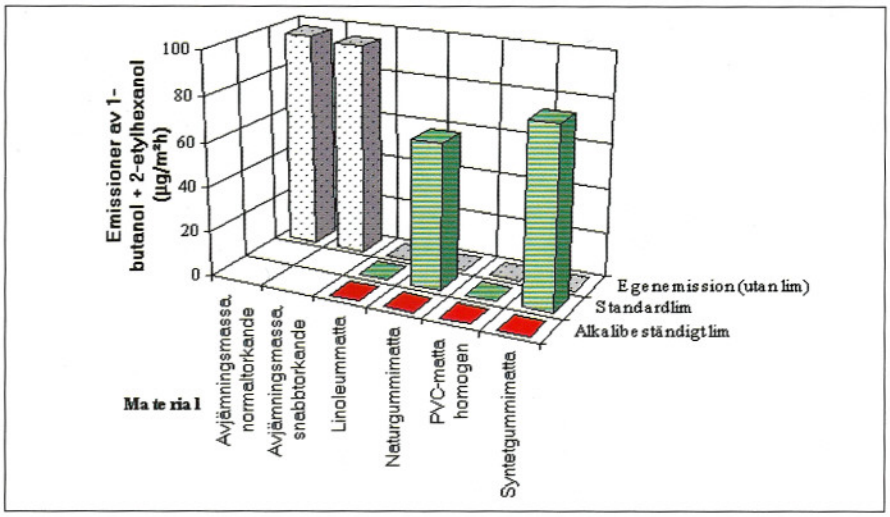
I bakgrunden till val av golvmaterial vid Barnkliniken fanns en miljöutredning för projektet[2]. Fyra mattyper ingick i miljöutvärderingen av PVC- och gummimattor. Miljöbelastningen för bägge golvtyperna ansågs vara stor[2]. I Tab 2 ges en sammanfattning av nackdelar/fördelar hos de fyra (i miljöutvärderingen) studerade mattyperna[2]. De miljöutvärderade mattorna var ej helt lämpade för en sjukhusmiljö[2]. PVC-mattor innehåller miljöbelastande ftlater och kalciumzinkföreningar. PVC-mattor kan vara bronkit- och astmaframkallande[2,3]. Med tanke på emissionsnivån var troligen standard PVC-matta utesluten[2]. Gummimattorna var ej våtrumsgodkända, vilket var en begränsning. Naturgummimattan ansågs ej vara lämplig p g a risken för latexallergi[2]. Syntetgummimattan innehöll tungmetaller i form av pigment[2]. Alternativ till de föreslagna golvbelägg-

Tabell 3 – Mattor och limmer i golvsystem samt 28-dygnsresultat av emissionsmätningar (µg/m²h)[4].

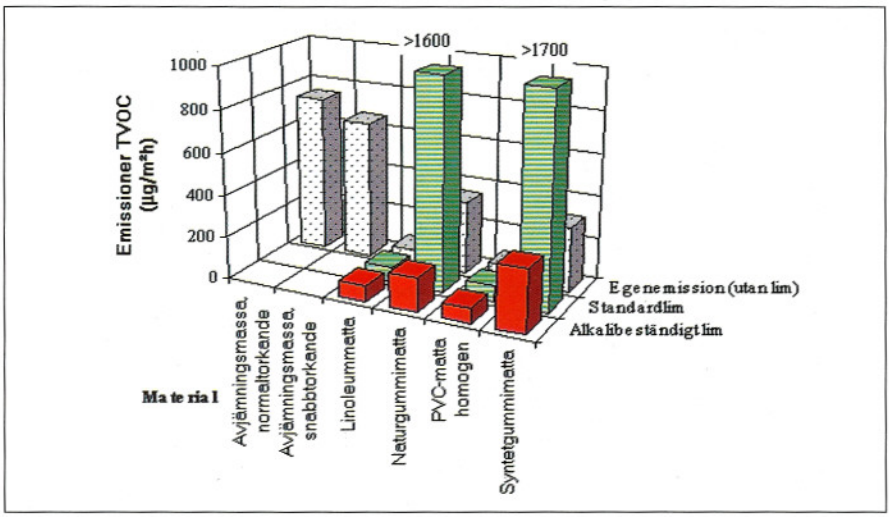
Material	Linoleum	Linoleum	Natur-gummi	Natur-gummi	PVC	PVC	Syntet-gummi	Syntet-gummi
Tjocklek	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm	3 mm	3 mm
Ånggenom-gångsmot-stånd (s/m)	$0.25 \cdot 10^6$ (SIS 021582)	$0.25 \cdot 10^6$ (SIS 021582)	?	? (SIS 021582)	$7 \cdot 10^6$ (SIS 021582)	$7 \cdot 10^6$	?	?
TVOC – egenemission	67	67	344	344	76	76	307	307
Limtyp	Alkalibest	Standard	Alkalibest	Standard	Alkalibest	Standard	Alkalibest	Standard
Mängd	4 m²/l	4 m²/l	3 m²/l	3 m²/l	4 m²/l	4 m²/l	3 m²/l	3 m²/l
TVOC	75	74	160	>1600	70	76	298	>1600
Toluen	-	-	13	>1150	-	-	-	>1295
1- butanol	-	-	-	30	-	-	-	29
2- etyl-hexanol	-	-	-	35	-	-	-	51



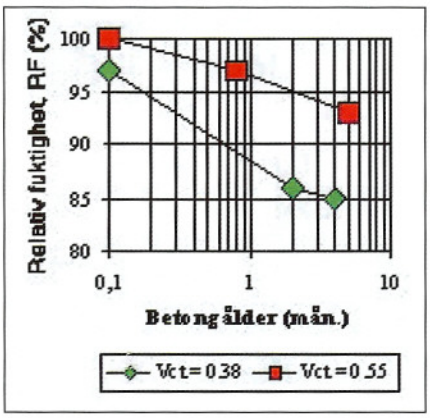
11. Inre relativ fuktighet, RF, i provgolv till Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund 1 månad efter mattlimning. Betong, vct = 0.38[1,5].



12. Emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol, 1 mån. efter mattlimning[4] från provgolv till Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund. Betong med vct = 0.38[1].



13. Total emissionsnivå, TVOC, 1 mån. efter mattlimning[4] från provgolv till Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund. Betong med vct = 0.38[1].



14. Uttorkning av betong vid Barnkliniken i Lund[5,8,9]. RF på 20% av bjälklagstjockleken. Beteckningar: Vct = vikt vatten (inklusive all fukt i delmaterial) i förhållande till vikt cement.

ningar var linoleummatta samt möjligen parkett i dagrum och lekrum.

Material, metoder och resultat

Tio provkroppar göts i betong samt vattenhärdades 1 vecka, (Tab 3). Formen till proverna bestod av ett plåtrör med diametern 250 mm och längden 300 mm. Följande rutiner tillämpades i samband med härdning, ytbeläggning och provning:

1. Beläggning med primer efter tre veckors torkning vid relativa fuktigheten, RF = 60%.
2. Efter torkperioden belades proverna med 10 mm normaltorkande avjämningsmassa.
3. Provkropparna slipades jämna före ytbeläggningen ytterligare två veckor senare.
4. Ytbeläggningen utfördes med mattor och lim enligt en Tab 3.
5. Mattorna togs ur produktion samt förpackades i dubbel aluminiumfolie plus plastfolie.
6. Tiden från produktion till ytbeläggning var som högst 2 1/2 mån.
7. Öppethållandetid från limbestrykning till ytbeläggning med matta var 5 min.
8. Värmetransport utfördes av provkropparna från Lund till Borås.
9. Samtidigt transporterades lösa mattor till Borås, inpackade i aluminiumfolie och plastfolie.
10. Fuktmätning skedde en månad efter mattlimning på en cylinder (fuktprofil genom provet).
11. Emissionsmätning skedde, dels på hela golvsystemet, dels på lösa mattor.
12. Mätningen av RF utfördes på uthuggna prover från ytan av betongen, på 10–30 mm, 40–60 mm, 100–120 mm samt från 230–260 mm:s djup från ytan av bjälklaget.

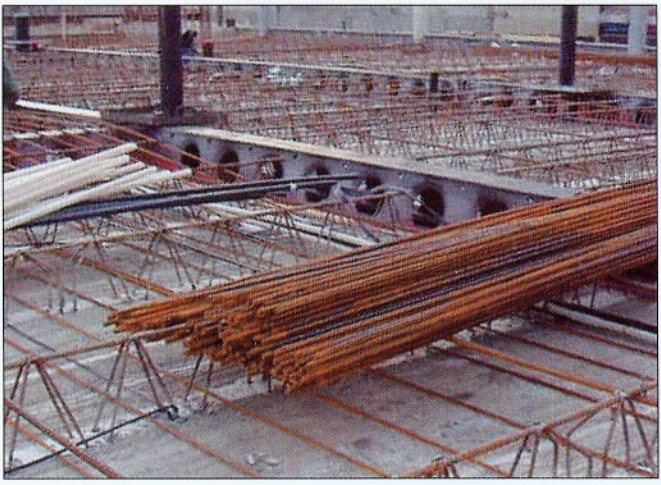
RF-mätningen utfördes efter temperering under 1 dygn vid 21°C, dels med daggpunktsgivare Protimeter under 3 dygn, dels med kapacitiva givare Vaisala under 2 dygn. Redovisning av RF-mätningarna sker i figur 11. På s k ekvivalent mätdjup (20% av bjälklagstjockleken), erhölls RF = 85%, se Fig 11. Resultat från emissionsmätningarna ges i Tab 3 och Fig 12 och 13.

Egenemission från avjämningsmassor

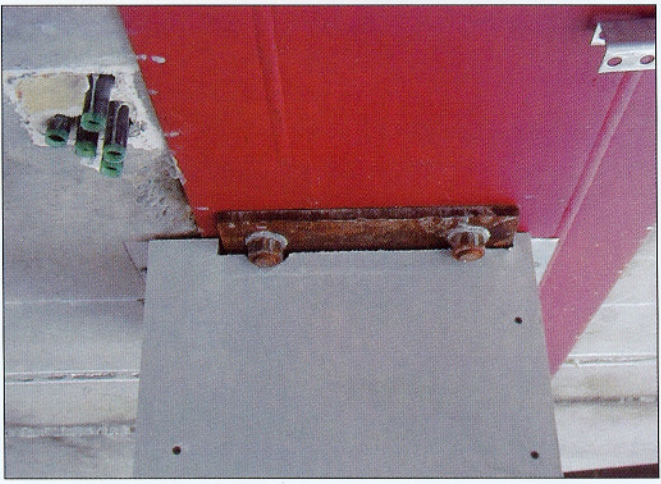
I samband med läggning av avjämningsmassan på provkropparna märkes dålig lukt. Lukten försvann då provkroppen yttorkades. Lukten från avjämningsmassorna var således beroende av fuktnivån i ytan varför ett emissionstest utfördes vid en aktuellt RF-nivå i ytan, 83% RF[5]. Bägge de provade avjämningsmassorna gav upphov till förhållandevis stora egenemissioner av



8. Underfläns av en s.k. Delta-balk på pelare av HEA-profil. Foto: PEAB Sverige AB.



9. Plattbärlag på underflänsen av en Deltabalk. Sprickarmering och överkantarmering. Foto: PEAB Sverige AB.



10. Synlig underfläns av (i övrigt) ingjuten s k Delta-balk på pelare av HEA-profil. Rörgenomföring. Foto: PEAB Sverige AB.

bl a 1-butanol och 2-etylhexanol, (Fig 12–13[6]). Dessa emissionskomponenter tyder på att någon form av nedbrytning ägde rum i avjämningsmassan. De förhållandevis stora emissioner av bl a 1-butanol och 2-etylhexanol från systemet avjämningsmassor på betong har ej haft någon nämn-

Forts. nästa sida

värd inverkan på innemiljön, åtminstone ej fram till 1 mån. efter mattlimning:

- I kombination med gummi-, linoleum- eller PVC-matta homogen (våtrum) uppmättes ej emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol från golvsystemet 1 mån. efter limning med alkalibeständigt lim, (Fig 12).
- I kombination med gummi-, linoleum- eller PVC-matta homogen (våtrum) uppmättes emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol en månad efter limning med standard lim, endast från golvsystemet med gummimatta, (Fig 12).

Limtypen var således avgörande för om emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol skulle förkomma eller ej, ej avjämningsmassan.

Uttorkning av byggfukt i betong och avjämningsmassa

Även om golvsystemet skräddarsys med hänsyn till emissioner kan problem uppstå om arbetet utförs vid alltför hög fuktnivå i underlaget, avjämningsmassa eller betong, t ex till följd av förtvålning av limmer. Vid limförtvålning minskar limmets vidhäftningsförmåga avsevärt med bubblor i limytan som följd. Limleverantörer rekommenderar i allmänhet RF < 85% i limskiktet[7]. Detta RF-krav ger troligen en viss "säkerhetsmarginal" eftersom limförtvålning inträffar kring RF = 90%. Å andra sidan visar mätningar påtagligt ökade emissioner (1-butanol + 2-etylhexanol) från golvsystem på betong vid RF = 88% i stället för RF = 82% i limskiktet även om alkalibeständigt lim användes[5]. Vid Barnkliniken valdes därför betongkvaliteten med hänsyn till tidsrymden fram till mattläggning. I det bjälklag där tiden fram till mattlimning var kort, plan 15, användes snabbtorkande betong, Fig 14[5,8,9]. I övriga bjälklag, där en betydligt längre uttorkningstid stod till förfogande, valdes betong med vct = 0.55, tabell 1. I betong med vct = 0.38 nåddes RF = 90% på mätdjupet 20% av bjälklagstjockleken ca en månad. efter gjutning medan uttorkning till RF = 90% av betong med vct = 0.55 kan förväntas ta ca 1 år. Förutsatt att betongytan och avjämningsmassan torkat ut väl (till ca 70% RF) erhålls därvid RF < 85% i limskiktet[5].

Sammanfattning och slutsatser

Val av golvmaterial vid Barnkliniken i Lund föregicks, dels av en noggrann miljöutvärdering, dels av emissionsmätningar på golv i full skala. Med rätt materialkombination erhölls inga tillskottsemissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol från golvsystemen, en månad från mattlimning. Standard Gummilim förorsakade däremot höga (ej uppmätbara) emissioner av toluen samt emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol, vilka tydde på att en nedbrytning ägde rum av limmet. Gummimattorna får, till skillnad från vad som sägs i miljöutvärderingen, betraktas som måttligt egenemitterande medan de provade PVC- och linoleummattorna var lågemitterande. Förhållandevis stora egenemissioner erhölls från avjämningsmassorna.

För stunden saknas således relevanta alternativ till PVC-matta i en sjukhusmiljö, dels med hänsyn till kraven på våtrumsgodkännande, dels med hänsyn till att de provade alternativa materialen avgav högre emissioner än förväntat, såväl enskilt som i kombinat. Utvecklingen inom mattbranschen är emellertid just nu intensiv i syfte att få fram klorfria produkter.

Referenser

1. *Ulf Carlsson.* Personlig information. EssBetong KB. Malmö (1999).
2. Miljöutvärdering av PVC- och gummimatta. White Miljö (1999-11–12).
3. *Jouni J.K. Jaakkola et al.* "Interior Surface Materials in the Home and the Development of Bronchial Obstruction in Young Children in Oslo, Norway". American Journal of Public Health. Vol. 89. No. 2. (1999) 188–192.
4. *Birgitta Ek-Olausson.* Emissionsprovning av material. Rapport KMo F000143. Kemi och Materialteknik. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (2000). 13 sid.
5. *Bertil Persson.* Kompatibilitet mellan golvbeläggningar på betong – Inverkan av produktionsmetoder på emissioner, fukt och karbonatisering. Rapport TVBM-7149. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 133 sid.
6. *Birgitta Ek-Olausson.* Emissionsprovning av material. Rapport 99K7 0224. Kemi och Materialteknik. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1999) 8 sid.
7. *Bo Jonasson.* Personlig information. Bostik AB. Helsingborg. 1999.
8. *Bertil Persson.* Golv till Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund. Rapport U99.20. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 19 sid.
9. *Lennart Jönsson.* Personlig information. PEAB AB. Lund. 2000.

Rekordbågar i högpresterande betong. Bygg & Teknik 7/97. Stockholm, 36-37.

Rekordbågar i högpresterande betong

I en bildserie visas här två konstruktioner i högpresterande betong, vilka till följd av sin storlek får inrymmas i världens respektive Europas rekordtabeller. I juni, 1997, färdigställdes världens längsta bågbro i sitt slag strax uppströms Treravin dammen i Kina. Huvudspannet i betongkvaliteten K85 har en spännvidd av 420 m medan bron totallängd är 856 m inklusive ett antal anslutningsbroar i förspänd betong.

År 1980 stod Europas största bågtak i dåtidens högpresterande betong, K60, klart i Slite på Gotland efter en hektisk byggperiod på mindre än ett år. Den taktäckta ytan, 360 x 106 m, motsvarande fem fotbollsplaner används som mellanlager för märgel och kalksten vid Slitefabriken.

Kvarsittande formar i Kina

Stålformen till världens längsta bågbro utgjordes av 13 m långa fackverksbitar med tvärsnittet 16 x 7 m, *bild 1* [1]. Fackverken lyftes upp från pråmar, vilka förankrats på den 60 m djupa Yangtsefloden (vattendjupet kommer att bli 120 m då Treravin dammen står klar). Fackverkets över- och underramar tillverkades av stålrör vilka fylldes med högpresterande betong, *bild 2*. Brons lådbalkar göts sedermera med de betongfyllda stålrören som form, *bild 3*. Det ursprungliga fackverket hade således ej dimensionerats för att uppta hela brons egentyngd, 30 000 ton, utan endast för att bära sin egen tyngd



FOTO: ULF JONSSON

*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, Avdelningen för byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lund.*



Bild 1. Stålformen till världens längsta bågbro utgjordes av 13 m långa fackverksbitar med tvärsnittet 16 x 7 m.



Bild 2. Fackverkets över- och underramar tillverkades av stålrör vilka fylldes med högpresterande betong.



Bild 3. Brons lådbalkar göts sedermera med de betongfyllda stålrören som form.



Bild 4. Världens längsta bågbro i sitt slag strax uppströms Treravin dammen i Kina, spännvidd 420 m, totallängd är 856 m utfördes i högpresterande betong, K85.

samt för stålrörens betongfyllning, *bild 4*. De betongfyllda stålrören utgjorde således en form i formen, en genialt kostnadseffektiv konstruktion.

Normmässigt otillåten betong i Slite

De 150 st betongelementen till rekordbågarna i Slite utfördes i betong K60, normmässigt otillåten att gjuta i fält vid tidpunkten för bygget, 1979 [2,3]. Med tanke på elementens vikt, max 32 ton, och storlek var transport till platsen olämplig, utan en fältfabrik uppfördes strax intill det blivande råstenslagret. Osedvanligt stora krav ställdes vad gällde proportionering och kontroll av betongen. Totalt provades 450 st betongkuber med en medelhållfasthet på 64 MPa. Endast tre stycken kuber uppvisade "undertramp". Bågelementen tillverkades med mycket stor precision på en formbotten av betong. Fogarna mellan elementen stipulerades till 20 mm med en ökning till 40 mm i bågens mitt. Den snäva montagetolerensen klarades med mycket liten avvikelse. Elementskarvarna stabiliserades med genomgående skruv med polyesterbruk. Totalt tillverkades 25 st bågar vilka placerades c/c 15 m efter optimering av totalkostnaden för betongbågar och limträbalkar [3]. Taktäckningen utgjordes av plåt med undantag för ett ljusinsläpp av plast vilket dock sedermera har fått bytas ut mot plåt av beständighetsskäl, *bild 5*. Dimensionerande last på det I-formade betongtvärsnittet, 0,6 x 2 m, var ensidig snödriva på taket. Med tanke på att betongen i bågen var mycket väl utnyttjad, utfördes de statiska beräkningarna med hjälp av dåtidens största dator i Cleveland, Ohio [4]. Den beräknade vertikala rörelsen i gaveln var stor varför takanslutningen fick ske med hjälp av kullager i syfte att förhindra knäckning av stålpelarna.



Bild 5. Europas största bågtak i Slite, 360 x 106 m, motsvarande fem fotbollsplaner, av bågar i dåtidens högpresterande betong, K60.

Referenser

[1] *Yang Zihua*. Högpresterande betong till Wanxian Yangtse bron. Fjärde internationella symposiet beträffande användning av högpresterande betong. Författare: Larrard och Lacroix. LCPC. Paris. 1996, sid. 1483–1491.

[2] *Jan-Ove Schalén*. Personlig information. Cementa AB. Slite. 1997.

[3] *Gösta Larsson*. Personlig information. Skanska Teknik AB. Malmö. 1997.

[4] *Bertil Persson*. Statiska beräkningar av betongbåge, gavel och grundläggning vid råstenslager, Cementa AB, Slite. Tekniska avdelningen. AB Skånska Cementgjuteriet. Malmö. 1979.