Materialkostnader för modern husbyggnadsbetong. Betong 1/1998, 30.

Materialkostnaden för modern husbyggnads-betong

Bertil Persson
Avdelning för Byggnadsmaterial
Lund tekniska Högskola

Allmänt

Nedan visas i tabellform delkostnaderna för såväl moderna som traditionella husbyggnadsbetonger. Betongerna uppvisar en dokumenterat god gjutbarhet. Som underlag för kalkylen har priser tagits in från Sydsten AB [1], Cementa AB [2] samt från Skanska Prefab AB [3]. I tabell 1 anges aktuella kostnader för delmaterial för ett antal studerade betonger, som använts dels vid ett fältförsök i Halmstad [4], dels i samband med NORDTEST [5]. Modern betong betecknas med vattencementtalet, vct (%); traditionell betong med kubhållfastheten, K. I tabell 2 ges relativa materialkostnaden med K25=100.

Typ	32A	32S	32SS	K50L	38A	38S	38SS	K45	50A	50S	50SS	K25
Ballast	81	83	88	92	79	80	82	91	73	75	72	81
Grus	53	54	57	69	56	56	58	69	62	64	67	82
Filler	23	24	21	-	10	10	10	-	7	7	7	-
Cement	302	256	270	251	259	218	224	208	213	178	185	158
Silikastoft		-	35	-	-	-	29	-	-	-	23	-
Luftporbildare	5	6	7	3	5	5	5	1	4	4	4	
Vattenreducerare	9	9	10	-	5	5	5	-	6	6	6	-
Flytmedel	48	49	50	30	24	24	25	17	14	14	14	7
Total	521	481	538	445	438	398	438	386	379	348	378	328

A= Anläggningscement; L= luftporbildare; S= Slite Std cement; SS = S + 5% silikastoft; 32= vct(%)

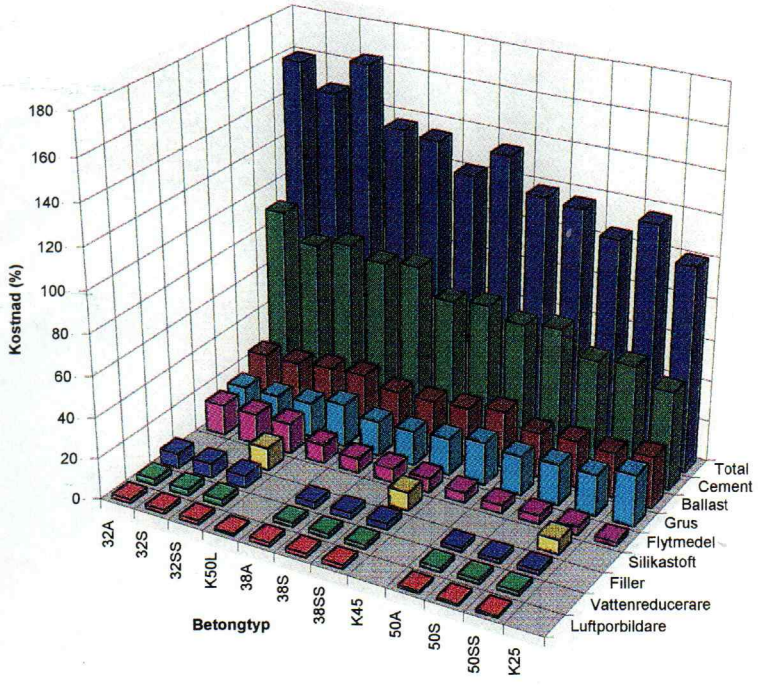
Tabell I - Aktuella kostnader för delmaterial avseende moderna och traditionella betonger (SEK/m³)

Typ	32A	32 S	32SS	K50L	38A	38S	38SS	K45	50A	50S	50SS	K25
Ballast	25	25	27	28	24	24	25	28	22	23	22	25
Grus	16	16	17	21	17	17	18	21	19	20	20	25
Filler	7	7	6	-	3	3	3	-	2	2	2	-
Cement	91	78	82	77	79	66	68	63	65	54	56	48
Silikastoft		-	11	-	-	-	9	-	-	-	7	-
Lufiporbildare	2	2	2	1	2	2	2	-	1	1	1	
Vattenreducerare	3	3	3	-	2	2	2	-	2	2	2	-
Flytmedel	15	15	15	9	7	7	71	5	4	4	4	2
Total	159	147	164	136	134	121	134	118	116	106	115	1

Tabell 2 - Relativa kostnader för delmaterial avseende moderna och traditionella betonger (%).

Slutsatser och kommentarer

Figur visar de relativa kostnaderna för betongerna. En jämförelse av materialpriserna är relevant, eftersom kostnaden för blandning och hantering i stort sett torde vara oberoende av betongtypen. Kalkylen visar att en liten mängd filler samt en hög lufthalt medför, att betongen blir mer ekonomisk. Densiteten minskar hos betong med hög lufthalt, vilket torde leda till minskad materialmängd, transportkostnad, grundläggningskostnad, armeringskostnad, etc.. Sannolikt tillkommer således ett flertal gynnsamma spin-off efekter vid användning av filler och hög lufthalt i betongen. Detta torde i sin tur leda till att betongens konkurrensförmåga förbättras visavi trä- eller stålkonstruktioner. Vissa betongegenskaper, såsom lufthaltsförlust vid transport, hållfasthet och långtidsdeformationer bör dock utrönas experimentellt, innan en mer generell användning av betong med filler och extremt hög lufthalt kan komma till stånd. En sådan studie är dock välmotiverad med tanke på de möjliga vinsterna.



Figur - Relativa kostnaderna för betonger med kostnaden för K25= 100%.
Beteckningar:
A= Anläggningscement;
K= kubhållfasthet (traditionell betong),
L= luftporbildare,
- S= Slite Std cement;
SS = S + 5% silikastoft;
32= vct (%, modern betong).

Referenser

/1/ Elisabeth Lyhagen, Personlig information, Sydsten AB, Hardeberga. 1997

/2/ Lars Nyberg. Personlig information. Cementa AB, Kristinehamn. 1997

/3/ Anders Johansson; Peter Johansson. Personlig information. LTH Byggnadsmaterial, Lund, 1997.

/4/ Bertil Persson. effekt av mekanisk slipning på ytalkaliteten hos betong. Delrapport U97.07. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1997.

/5 / Kurt Kielsgaard Hansen. Statusrapport beträffande NORDSTEST projektet "Betongs självuttorkning". Rapport no 1325-97, Institutet för bärande konstruktioner och material, Danmarks Tekniska Urversitet. Lyngby. 1997.

Materialkostnader för självkompakterande betong. Betong 4/1998, 25.

Materialkostnader för självkompakterande betong

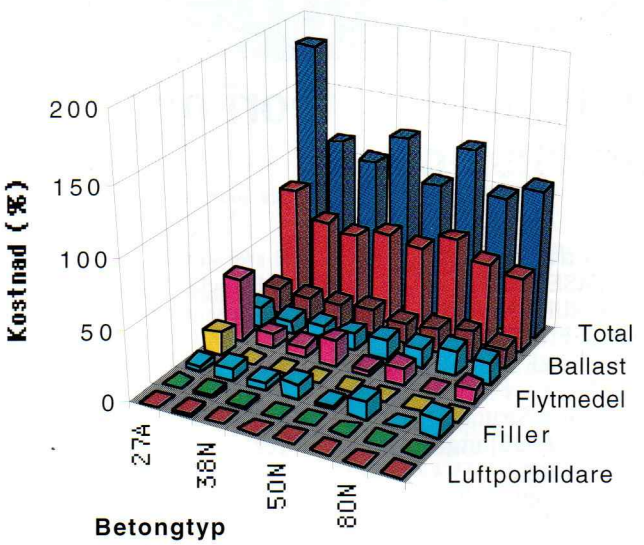
Allmänt

Användning av självkompakterande s.k. vibreringsfri, betong har rönt ett allt större intresse i Sverige som ett sätt att minska arbetskostnaderna [1] vid betongproduktion. Även vad gäller arbetsmiljön nås stora fördelar. I dagens läge är det uppenbarligen svårt att rekrytera personal för betongarbeten. I Japan används dock självkompakterande betong (av kostnadsskäl) endast i mycket speciella tillämpningar, t.ex. stora fundament, svårgjutna tunnlar eller i konstruktioner där stora krav ställs på omgivningsmiljö under byggtiden [2].

I Sverige har självkompakterande betong kommit till bruk i främst broar [1]. Det kan därför vara välmotiverat att jämföra kostnaderna för normal betong med kostnaderna för självkompakterande betong. I tabellen nedan ges delkostnader för såväl självkompakterande som normala betonger. Betongerna hade en dokumenterat god gjutbarhet. Underlag för kalkylen erhölls från Sydsten AB [3], Cementa AB [4], Skanska Prefab AB [5] samt från Modern Betongteknologi AB [6]. Tabellen ger aktuella kostnader för delmaterial samt totalkostnaden. Betongerna betecknas med vct (%). N = normal betong samt V = självkompakterande betong. Figuren visar de relativa materialkostnaderna för betongerna med *80N = 100% (vct= 0.80; normal betong).*

Kommentarer

Jämförelse av materialpriser är intressant enär kostnadsökningen för blandning och kontroll torde kompenseras av en minskad arbetskostnad. Merkostnaden för självkompakterande betong varierade mellan 10 och 30% jämfört med en normal betong med samma vct och optimal tillsats av filler och luftporbildare. (Liten mängd filler samt en hög lufthalt medför att betong med lågt vct blir ekonomisk jämfört med betong 80N.)



Figur 1- Relativ kostnad för betonger med 80N = 100%. N betecknar normal betong; V betecknar självkompakterande betong samt 80 betecknar vct = 0.80.

Material/betong	27V	32N	38N	38V	50N	50V	80N	80V
Makadam 12-16	80	66	56	62	42	53	67	27
Makadam 8-12	6	14	27	31	33	29	34	40
Naturgrus 0-8	66	52	59	59	65	63	84	75
Filler	18	40	25	52	12	59		67
Cement Slite Std	391	305	282	313	285	340	280	260
Silikastoft	83							
Flytmedel	215	50	36	86	13	52	-	43
Luftporbildare		7	6		4	3		
Vattenreducerare		9	5		6			
Summa	859	543	496	603	460	599	465	512

Tabell 1 - Materialkostnad för provade betonger (SEK/m³).

Referenser

[1] Mårten Nilsson; Örjan Petterson. Europas första bro i vibreringsfri betong. Väg- och Vattenbyggaren 2.98. 1998.
[2] Bertil Persson. Forskningsrapport 1998-04-14. JSPS Fellowship for Research in Japan. 1998.
[3] Elisabeth Lyhagen. Personlig information. Sydsten AB. Hardeberga. 1997.
[4] Lars Nyberg. Personlig information. Cementa AB. Kristinehamn. 1997.
[5] Anders Johansson; Peter Johansson. Högpresterande betong för rationell elementproduktion. Examensarbete. Rapport TVBM-5035. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1998.
[6] Dick Söderberg. Personlig information. Modern Betongteknologi. 1998.

Bertil Persson
Avdelning Byggnadsmaterial, LTH

ABM
Asfalt & Betong Maskiner (Sverige) AB
Vi marknadsför Lievers stavvibratorer och slodor, OCMER fabriksanläggningar för betongtillverkning, Klärfix betongtvättar m.m.
Box 513, 145 63 NORSBORG • Tel 08-531 70 004 • Fax 08-531 82 500



Provnings-utrustning
• Lufthaltsmätare
• Tryckpressar
• Siktar
• Fukt- o temperaturmätare
• Skakapparater m. m.
Kontrollmetod
S. Långebergsgatan 18, 421 32 V. Frölunda
Telefon 031-28 90 50. Fax 031-28 18 90

Mekaniska egenskaper hos självkompakterande betong. Bygg & teknik. 7/2012, 70.

Mekaniska egenskaper hos självkompakterande betong

Arbete pågår sedan tre år inom Rilem-gruppen MPS (mekaniska egenskaper hos självkompakterande betong, *figur 1*. Arbetet fortsätter varför inga säkra slutsatser ännu kan dras av detta. Arbetet avslutas med en bok 2013 med många fler aspekter än vad som här redovisas.

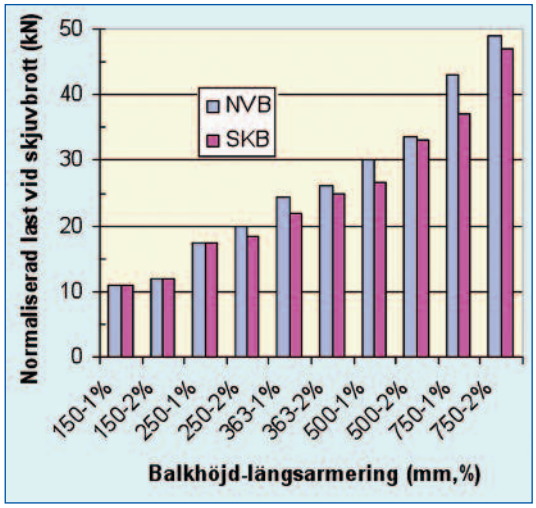


Figur 1: Möte med Rilem-gruppen MPS, Paris 2011-01-20. Från vänster i främre raden: K. Khayat, B. Persson, L. Ferrara, P. Van Itterbeeck, V. Boel, V. Bokan Bosiljkov, M. Sonebi. Från vänster i bakre raden: K. Sideris, M. Vieira, S. Grünewald, P. Serna, B. Craeye, P. Desnerck, A. Leemann, G. De Schutter.

Konstruktionsegenskaper

Vid axial belastning av pelare förefaller självkompakterande betong (SKB) ha en något minskande kvot (P_{max}/P_0) mellan maximalt beräknad last, P_{max}, och teoretiskt beräknad last, P_0, jämfört med normalvibrerad betong (NVB) [1–5]. Såväl ökad som minskad stukning rapporteras vid maximallast och i övriga konstanta egenskaper hos betongen, dels 0,031 för självkompakterande betong och 0,034 för normalvibrerad betong, dels 0,040 för självkompakterande betong och 0,029 för normalvibrerad betong. Sammansättningen hos betongen spelar stor roll, främst andelen ballast. Även i fråga om styvhet föreligger motsägelsefulla resultat, dels en ökning av E-modulen med tjugo procent i självkompakterande betong jämfört med normalvibrerad betong främst på grund av lägre vattencementtal (vct) i självkompakterande betong jämfört med normalvibrerad betong, dels det motsatta förhållandet på grund av lägre innehåll av ballast i självkompakterande betong jämfört med normalvibrerad betong.

Egenskaper vid jordbävningslast var avsevärt bättre för självkompakterande betong än för normalvibrerad betong vid i övrigt konstanta förhållanden, till exempel hållfasthet och förankring av armering, främst beroende av minskad partikelstorlek för ballast i självkompakterande betong jämfört med normalvibrerad betong. En förklaring till ett bättre jordbävningsmotstånd kan vara lägre E-modul hos självkompakterande betong jämfört med normalvibrerad betong. Ökningen i töjbarhet vid jordbävning var speciellt stor för slanka pelare [6]. Någon signifikant skillnad mellan böjdraghållfasthet hos självkompakterande betong och normalvibrerad betong kunde däremot inte uppmätas på stora balkar producerade i full skala [7]. Vid brukslast förekom dock mer böj-



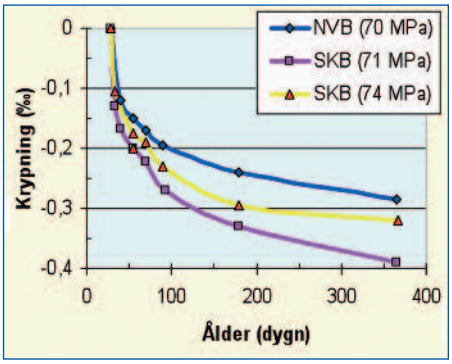
Figur 2: Normaliserad last vid skjuvbrott som funktion av balkhöjd och längsarmering.

sprickor, tätare och med större djup i normalvibrerad betong än i självkompakterande betong [8]. Utveckling av tvärkraftsprickbildning var snarlik hos självkompakterande betong och normalvibrerad betong [9]. Andra resultat tydde på något lägre skjuvhållfasthet, tio procent, utan skjuvarmering, hos självkompakterande betong än hos normalvibrerad betong (%) utan skjuvarmering, beroende av lägre innehåll av grov ballast i självkompakterande betong än i normalvibrerad betong, *figur 2* [10], [11].

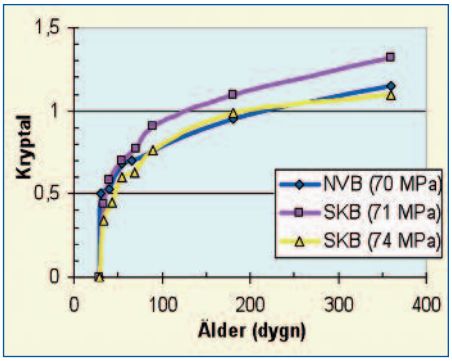
Krypning och krympning

Vid samma hållfasthet är krypningen hos självkompakterande betong större än hos normalvibrerad betong beroende av lägre ballastinnehåll hos självkompakterande betong än hos normalvibrerad betong, *figurer 3* [12]. Vid samma hållfasthetsnivå är kryptalet hos självkompakterande betong cirka tio procent större än hos normalvibrerad betong, *figur 4* [13], [14]. Självuttorkningskrympning hos självkompakterande betong liknar den hos normalvibrerad betong (det vill säga högpresterande betong). Den ökar med ökande cementhalt och lägre vct. Eftersom pastainnehållet i självkompakterande betong normalt ökas genom filler så blir därmed självuttorkningen mindre och självuttorkningskrympning mindre i självkompakterande betong än i normalvibrerad betong. Det som talar mot detta är mindre ballastinnehåll i självkompakterande betong än i normalvibrerad betong, som ger motsatt effekt, det vill säga större självuttorkningskrympning i självkompakterande betong än i normalvibrerad betong. Vid snabb uttorkning är risken för plastiska

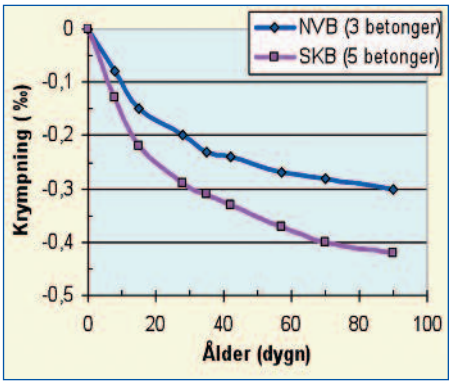
krympsprickor högre i självkompakterande betong än i normalvibrerad betong eftersom fillern i självkompakterande betong absorberar blödningsvattnet [14]. *Figur 5* visar krympning hos normalvibrerad betong med vct 0,40 till 0,60, hållfasthet 43 till 70 MPa samt pastavolym 254 l/m³ och krympning hos självkompakterande betong med vct 0,35 till 0,46, hållfasthet 59 till 74 MPa samt pastavolym 316 till 349 l/m³. Såväl normalvibrerad betong som självkompakterande betong i figur 5 är baserade på portlandscement [14]. Figur 5 är i viss mån missvisande eftersom vct i figur 5 för självkompakterande betong är lägre än hos normalvibrerad betong. Det är också irrelevant att för självkompakterande betong enbart basera pastans finmaterial på portlandcement.



Figur 3: Krypning hos normalvibrerad betong och självkompakterande betong som funktion av ålder.



Figur 4: Kryptal hos normalvibrerad betong och självkompakterande betong som funktion av ålder.



Figur 5: Krympning hos normalvibrerad betong med vct 0,4 till 0,6, hållfasthet 43 till 70 MPa samt pastavolym 254 l/m³ och krympning hos självkompakterande betong med vct 0,35 till 0,46, hållfasthet 59 till 74 MPa samt pastavolym 316 till 349 l/m³.

Bertil Persson
docent, Bara

Referenser

[1] M. Lachemi, A.A.A. Hassan, C. Mazzotti & M. Sonebi. *Structural Behaviour of SCC*. Rilem MPS 2012.

[2] Lin, C. H.; Hwang, C.L. & Lin, S. P., *Self-Consolidating Concrete Columns under Concentric Compression*, ACI Structural Journal, V. 105, No. 4, July–August 2008, sid. 425–432.

[3] Paultre, P.; Khayat, K. H.; Cusson, D.; & Tremblay, S., *Structural Performance of Self-Consolidating Concrete Used in Confined Concrete Columns*, ACI Structural Journal, V.102, No. 4, July–Aug. 2005, sid. 560–568.

[4] Sonebi, M. & Bartos, P.J.M., *Performance of Reinforced Columns Cast with Self-Compacting Concrete,* Proceedings of the 5th CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, SP 200-25, Ed. Malhotra, V.M., Singapore, 2001, sid. 415–431.

[5] Khayat, K.H.; Paultre, P.; & Tremblay, S., *Structural Performance and In-Place Properties of Self-Consolidating Concrete Used for Casting Highly Reinforced Columns*, ACI Materials Journal, V. 98, No. 5, Sep.-Oct. 2001, sid. 371–378.

[6] Galano, L. & Vignoli, A., *Strength and Ductility of HSC and SCC Slender Columns Subjected to Short-Term Eccentric Load*, ACI Structural Journal, V. 105, No. 3, 2008, sid. 259–269.

[7] Hassan, A.A.A; Lachemi, M. & Hossain, K.M.A., *Bond strength of deformed bars in large reinforced concrete members cast with industrial self-consolidating concrete mixture*, Construction and Building Materials, 2010, V.24, Issue 4, pp. 520–530.

[8] Sonebi, M.; Tamimi, A.D. & Bartos, P.J.M., *Performance and Cracking Behavior of Reinforced Beams Cast with Self Consolidating- Concrete*, ACI Materials Journal, V. 100, No. 6, November-December 2003., pp.492–500.

[9] Cuenca, E.; Serna, P. & Pelufo, M.J., *Structural behavior of self-compacting and fiber reinforced concrete under shear loading*, Proceedings of IASS Symposium 2009, Eds. A. Domingo and C. Lazaro, Valencia, Spain, 28 Sept.–2 Oct. 2009, pp. 2920–2931.

[10] Hassan, A.A.A; Lachemi, M. & Hossain, K.M.A., *Behavior of Full-Scale Self-Consolidating Concrete Beams in Shear,* Cement & Concrete Composites, 2008, V.30, No. 7, pp. 588-596.

[11] Choulli, Y.; Marı´, A. & Cladera, A., *Shear behaviour of full-scale prestressed i-beams made with self-compacting concrete*, Materials and Structures, V. 41, 2008, sid. 131–141

[12] Loser, R. & Leemann, A.: *Self-compacting concrete: shrinkage and effects of shrinkage*. Cemsuisse report, Bern (in German) (2006).

[13] Vieira, M. & Bettencourt, A.: *Deformability of hardened SCC*. In: Wallevik, O., Nielsson, I. (eds.) Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on SCC, Reykjavik, sid. 637–644. RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux (2003).

[14] Loser, R. & Leemann, A.: *Shrinkage and restrained shrinkage cracking of self-compacting concrete compared to conventionally vibrated concrete*. Mater. Struct. 42, 71–82 (2009).

Miljonprogrammet – ful ankunge eller politisk dundertabbe? Husbyggarens jubileumsskrift 2001, 26-33.

Miljonprogr
– ful ankunge eller p

AV DOCENT BERTIL PERSSON

Föga anade SSU-ordföranden Ingvar Carlsson 1964, att hans väl genomarbetade förslag på byggandet av en miljon bostäder under tio år skulle leda till den största segregationen i Sveriges historia.

Redan två år senare varnade LTH-prefekten **Ove Pettersson** för att en mättnad på bostadsmarknaden kunde förväntas 1970 (1975 fanns över 10 000 tomma lägenheter i Stockholm). Men miljonprogrammet rullade på från 1969 med statsminister Olof Palmes välsignelse för att avslutas 1974.

Det var storstadsindustrins behov av arbetskraft som genererade en nästan oändlig kö av bostadssökande, t ex 180 000 i Stockholm 1956[1]. Väntetiden för en lägenhet var då otroliga fem år i Stockholm. Istället för att flytta industrin dit arbetskraften fanns, inleddes flyttlasspolitiken. Samtidigt som hela bygder avfolkades, blomstrade industrin och storstäderna.

Andra orsaker till bostadsbristen var krav på högre standard samt givetvis att man efter kriget producerat för få lägenheter, ca 53 000 per år. Man var rädd för att depression skulle följa även Andra världskriget, men så blev inte fallet. I bakgrunden fanns även högerframgångar i valet 1956 som angrep bostadsregleringen. Statsminister Tage Erlander blev djupt tagen av en gråtande småbarnsmamma utan bostad som beklagade sig vid radions valvaka. Politisk handlingskraft blev av nöden. Byggindustrin hade redan i början av 1960-talet fått upp ångan och producerade nära nog det antal lägenheter som täckte behovet, år 1964 ca 85 000, (Fig 1). Miljonprogrammet cementerade ett behov som inte fanns, s k symbolpolitik, jfr även den nuvarande satsningen på vindkraft där staten tvingas ge ekonomiska bidrag dubbelt upp vad man får ut[2].

Omänsklig närmiljö

Två tredjedelar av miljonprogrammet utgjordes av lägenheter i flerbostadshus varav ca 1/3 byggdes som mastodontprojekt i storstädernas utkanter[3]. Ingen kan påstå att denna byggnation var exempel på god arkitektur utan att ta på sig kejsarens nya kläder för att travestera H C Andersen. Många hänvisar till Le Corbusier då förorternas betonggetton försvaras, men skalan är en helt annan, bortom allt förnuft, med människan instoppad i sin cell. Människan är visserligen ett flockdjur men inget bi! Förutsättningen för detta byggande var en väldrillad arkitektkår som var villig att handla i entreprenörens anda utan tanke på en mänsklig närmiljö. Man kan tänka sig chocken för de inflyttande som ofta kom från en glesbygdsby till förorternas ingenmansland – ett omänskligt samhälle.

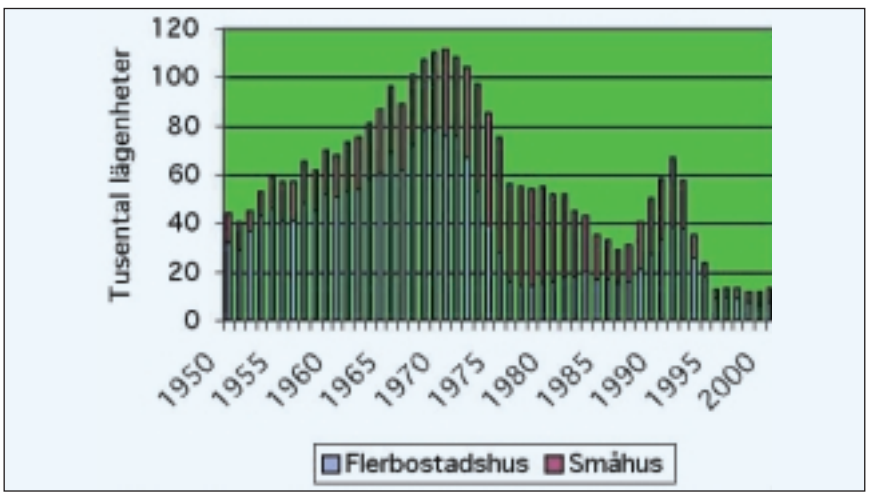


Fig 1. Producerat antal lägenheter i Sverige (Källa: SCB).

ammet

olitisk dundertabbe

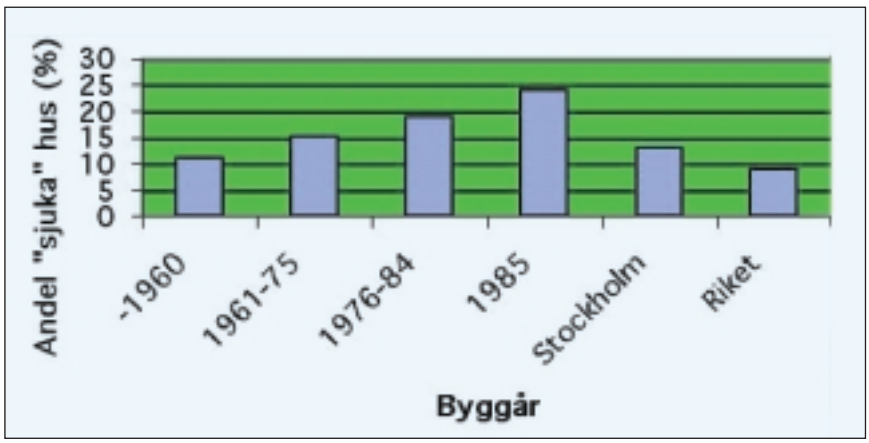


Många hänvisar till Le Corbusier då förortsgetton försvaras, men skalan är en helt annan. I Rosengård har den kringliggande landskapsvården ej anpassats till den massiva byggnationen. (Foto: Ulrika Persson)

Betonggettona blev monument över politisk handlingskraft, resurser och makt, med bostadssegregationsproblematik som följd. Politikerna fick sina symboler, men vad fick människan; ett uppskalat, främmande, isolerat boende i en närmiljö som bröt all mänskligt kontakt. Gården, gränden, platsen ersattes med post, servicehus och köpcentrum där skalan blev för stor för att människan skulle känna sig som hemma. SCAFT-gruppens trafikseparering och byggkranarnas spår styrde lamellhusens placering, inte människans behov av en god närmiljö.

Merparten bra boende

Ofta hänvisas till trädgårdsstaden Enskede då miljonprogrammets getton försvaras. Trots allt skall man ha klart för sig att den absoluta merparten av miljonprogrammets bostäder är exempel på bra boende, just med Enskede som förebild. Ca 1/3 av programmet var villor i likhet med Enskedes låghus vilka inramas av högre kedjehus runt om den lägre bebyggelsen. Enskedes stadsplan var dock en helt annan än betongförorternas. Den emanerade från Tyskland och England, där man sökte bryta upp de dåvarande innerstädernas kompakta gårdar med gröna stråk. Vad som skiljer Enskede från förorterna är blandningen av hustyper. I betongförorterna finns lamellhus och punkthus medan programmets låghus ligger utspridda i terrängen likt minor i ett minfält men på annat håll än höghusen. Men i miljonprogrammets villor trivs man. Här har man kvar gränden, platsen och närheten till andra, det som saknas i mastodonthusen. Det har man också i Enskede där bebyggelsetyperna blan-



Figur 2. Det var först i hus byggda efter miljonprogrammet som man klart kunde relatera dålig innemiljö till själva husets konstruktion.[6]



Bara utanför Malmö var ett av exemplen på det av många förkättrade miljonprogrammet. Här varierades typen av villor, läget och omgivningen på ett föredömligt sätt till skillnad från andra områden. (Foto: Ulrika Persson)

dades. Problemet var att ett blandat byggande inte passade ett s k rationellt byggande i stora serier, prefabricering, trafikseparering, BABS 1960 och Svensk Byggnorm, SBN 1967. Räls styrde husplaceringen. Byggindustrialiseringsutredningen och Statens maskinlånefond hade redan bäddat för elementfabrikernas produktion. Det var bara att anpassa stadsplanen (detaljplanen) därefter. Medborgarinflytandet var svagt i och med att det praktiskt taget inte fanns några medborgare i mastodontförorterna innan de byggdes. Kommunföreträdarna kohandlade med entreprenörerna; byggrätter byttes mot servicecentra, skolor etc. De största områdena innehöll 40–80 identiska hus. Husen uppfördes på avrivna kvarter eller på helt nyexploaterade områden. Allmännyttan ökade sin andel från 47 till 62 procent medan HSB fick stryka på foten, från 30 till 12 procent av andelen byggda lägenheter, 1970. Andelen elementbyggda hus var dock liten under miljonprogrammet. Den ökade från sex procent 1959 till 19 procent 1974, men gav ett dominerande intryck, det enda som idag förknippas med miljonprogrammet.

Hög teknisk bostadsstandard

En förutsättning för miljonprogrammet var givetvis den goda finansieringen – 90 procent av kostnaden garanterades genom statliga lån. Denna lånekarusell möjliggjordes delvis med ATP-systemets tillkomst genom ett riksdagsbeslut 1957. Å andra sidan bidrog den massiva satsningen på bostäder till ett överskott på icke önskvärda. T ex kan ett överskott på 150 000 osäljbara bostäder värderas till ca 150 miljarder kr[3].

Lägenheterna inom miljonprogrammet byggdes med mycket hög teknisk standard även med dagens mått mätt om man bortser från energihänsyn. Lägenheterna byggdes i princip före energikrisen varför minskad ventilation, tätning av fasader etc, som sedan följde med fukt och mögel i släptåg, ej var aktuell inom miljonprogrammet. Statliga normer gjorde att planlösningarna blev spatiösa om än enahanda. Inredningsstandarden var mycket hög i jämförelse med andra länders.

Forts sid 30

SBR 50 år i sammandrag





Innemiljö kan märkas!

Hyr du ut lokaler eller lägenheter och ska bygga nytt eller renovera? Prata med oss om P-märkning.

P-märket står för att fastigheten har genomgått en oberoende granskning som omfattar projektering, byggande, förvaltning och brukande.

P-märkning är ett effektivt medel i kampen mot sjuka hus och en tydlig signal om att du tar ditt ansvar för en sund och trivsam innemiljö. I valet av hyresvärd kommer P-märket att bli en allt viktigare faktor framöver.

God innemiljö märks och lönar sig alltid i längden. Börja med att P-märka dina lägenheter!

Mer information om P-märkning hittar du på www.p-mark.nu

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut Box 857 501 15 Borås Tel 033-16 50 00 Fax 033-13 55 02 E-post info@sp.se

Forts från sid 28

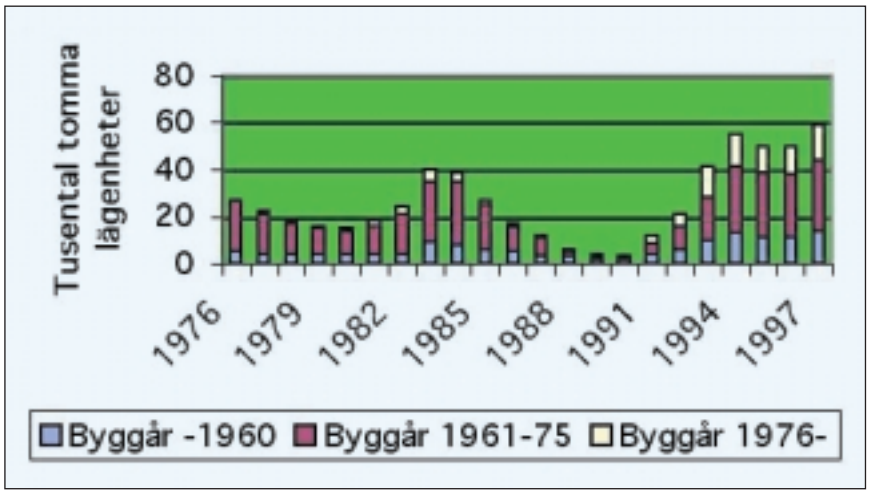
Materialvalet var gediget och beständigheten god jämfört med dagens lågkostnadshus. Att bygga flervåningshus i trä, som går bra på utställningsområdet Bo 01, var helt omöjligt under miljonprogrammets dagar[4]. Även småhus gjordes helt i betong, t o m bjälklagen över kryprum, s k Erge-bjälklag.

Då landshövding Gösta Netzén invigde ”Trädgårdsstaden” Bara utanför Malmö försommaren 1965 gjorde samhället skäl för namnet, inbäddat som det var i backlandskapet mellan Sallerup och Klågerup, rikligt omgivet av grönytor. Bara var ett av exemplen på det av många förkättrade miljonprogrammet, d v s de 100 000 bostäder som byggdes per år på 1960- och 1970-talen. I Bara var byggnationen i det närmaste undantaget som bekräftade regeln. Här varierades typen av villor, läget och omgivningen på ett



Gården, gränden, platsen ersattes med hus där skalan blev för stor för att människan skulle känna sig som hemma. Bilden från Rosengård, Malmö. (Foto:Ulrika Persson)

föredömligt sätt till skillnad från andra områden, t ex Rosengård där främst den kringliggande landskapsvården ej anpassats till den massiva byggnationen. I Bara inköptes mark av Torups Slott. Byggaren hade tillfälligtvis ”luft” i orderporföljen. Uppdraget att bygga i Bara kom därför väl till pass. Husen blev gedigna, luftade bjälklag av betong och huset övrigt i betong. Kanske blev husen alltför gedigna. I början av 1970-talet fick en annan byggare slutföra uppdraget efter det att den förra gått omkull. Tomterna blev nu mindre, ca 500 m^2. Storleken på grönytor försummades. Det var först efter 1975 som man av kostnadsskäl tvingades bygga småhusbjälklag i trä med fukt och mögel som följd. En annan orsak till den s k ”sjuka hus-problematiken” (ett hus kan ju inte vara sjukt – bara en varelse) är en från USA importerad byggmetod med betongplatta på mark, där man dock glömde bort den mest väsentliga delen, nämligen ett kapillärbrytande skikt mot undergrunden[5]. Det var först i hus byggda efter miljonprogrammet som man klart kunde relatera dålig innemiljö till själva husets konstruktion[6], (Fig 2).

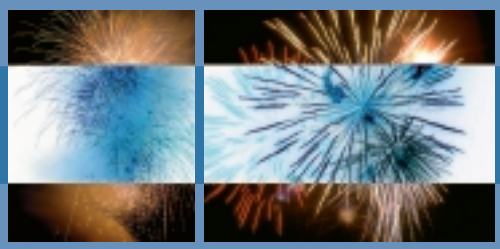


Figur 3. Ungefär 1970 förelåg en mättnad av bostäder (källa: SCB).

Bebyggelseförnyelse

Miljonprogrammets bostäder kommer troligen att stå säkert under 100 år om inte 200. Däremot finns projekt som går ut på att riva de fulaste husen ur programmet – betonggettona, vilket skulle vara en enorm kapitalförstöring. Bättre är då att satsa på en bebyggelseförnyelse i syfte att göra husen vackrare. Medlen för en bostadsförnyelse är rätt enkla: färgbyte, nya fasadmaterial i stället för betong, t ex i samband med tilläggsisolering, sadeltak istället för plana. Exempelvis kan man använda puts eller tegel som alternativ. Betong skall finnas som stommaterial men helst inte synas. Mycket kan måhända också vinnas genom ett annorlunda underhåll samt

Grattis på 50-årsdagen SBR



TYRÉNS

Tyréns är en av landets starkaste konsultgrupper inom bygg och infrastruktur
med över 500 medarbetare från Umeå i norr till Malmö i söder.

www.tyrens.se info@tyrens.se

trädgårdsskötsel där man gör de boende ansvariga för sin närmiljö genom differentierad hyressättning. Tanken är också att försöka spränga in lägre bostäder bland höghusen just i syfte att söka återskapa gården, gränden och platsen, viktiga moment i en mänsklig närmiljö. I Frankfurt har man t ex i rekreationssyfte skapat trädgårdar på var femte våning i ett höghus just för att ge invånarna en känsla av markkontakt. På så sätt bryts storskaligheten inom själva byggnaden givetvis på bekostnad av uthyrbar yta, men till gagn för människors välbefinnande. I den påbörjade vridna huskroppen ”Turning torso” i Malmö torde samma lösning med ”hängande” trädgårdar vara ett sätt att bryta en annars steril och isolerande bomiljö mellan betong och glas.

Både ful ankunge och politiskt misstag

Det bör understrykas att folk trivs mycket bra i det överväldigande antalet bostäder som byggdes mellan 1965 och 1974, d v s villorna och flerbostadshusen frånsett betongförorterna med höghus. De senare har blivit synonyma med miljonprogrammet även om många bostäder byggdes som en fortgående innerstadsförnyelse. Alternativet till miljonprogrammet hade varit att marknadskrafterna fått styra, på gott och ont, med höga innerstadshyror och måhända en ännu värre bostadssegregation än nu. Byggindustrin hade kort före det att programmet startades genom beslutet i riksdagen 1965, fått upp ångan ordentligt och hade säkert klarat av att bygga samma antal lägenheter. Dock hade byggtakten slagits av redan 1970 om markanden fått råda, eftersom en mättnad av bostäder då var för handen, (Fig 3). Det politiska misstaget var att inte avbryta eller modifiera programmet mot småhus redan i halvtid. Det politiska beslutet 1965 var emellertid en grund för finansieringen av miljonen bostäder. Utan denna statliga finansiering hade det troligen ej funnits så många och så fula betongförorter som nu. Å andra sidan kan dessa förorter förskönas med rätt enkla medel, måhända lämpliga sysselsättningsobjekt i en i övrigt vikande byggkonjunktur? Då har den fula ankungen återvänt som den sköna svan den var avsedd att bli! ❑

1 Krönika över 20:e århundradet. Red. **M. Söderberg.** Bonniers. 1991.

2 **Bertil Persson.** Inlandsbaserad vindkraft industrialisering i smyg. Husbyggaren 6/2000. 8–10

3 Rekordåren. Red.: **Thomas Wall.** 1999.

4 **Bertil Persson.** Tål Bo 01-husen tidens tand. Husbyggaren 4/2001.

5 **Bertil Persson.** Fel materialval leder till fukt och mögel. Bygg & Teknik 5/01. Stockholm., 53–54.

6 **Bertil Persson.** Högpresterande betong – möjligheternas material. Byggforsk 91/5. Stockholm, 26–27.



arkitektkopia

telefon 08-50 60 70 80
www.arkitektkopia.se

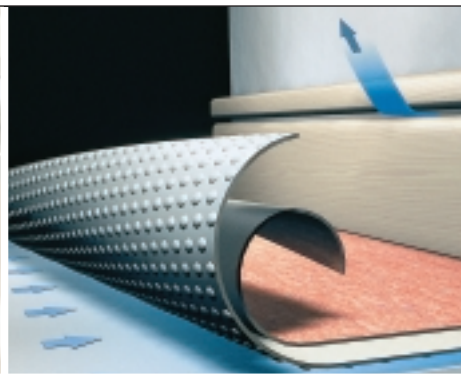
Vi är bygg-och fastighetssektorns mest anlitade aktör.

Vårt företag har funnits i 50 år och vi använder alltid vår samlade erfarenhet till att ta fram nya och anpassade lösningar åt våra kunder.

Det finns hundratals golv som ser ungefär likadana ut. Varför skall du då välja just Tarkett Sommer?

















- **Hur påverkas miljön?**
- **Vilka blir de totalekonomiska konsekvenserna av ditt golvval?**
- **Hur påverkas lokalvårdarnas arbetssituation?**
- **Får du den funktion av golvet som du förväntat dig?**
- **Hur gör du med fuktproblem?**
- **Är golvet återvinningsbart?**
- **Går det att löslägga?**

Trots den yttre likheten vill vi påstå att Tarkett Sommer skiljer sig från mängden.

Tänk efter – inte är det en rulle golvmaterial du är intresserad av? Det som verkligen betyder något är golvets funktion – nu och i framtiden.

Det är först sedan golvet lagts in och använts en tid som det visar sig om du valt rätt eller ej.

Tarkett Sommer är marknadsledande med ett heltäckande sortiment av golv. Men vi säljer inte bara golvbeläggning – utan erbjuder totala funktionslösningar.

Vi på Tarkett Sommer tänker långsiktigt och kundorienterat och utvecklar kontinuerligt konstruktioner och koncept för alla behov – där själva produkten är en del av helheten.

Tarkett Sommer

Tarkett Sommer Försäljnings AB Box 4538, 191 24 Sollentuna
Stockholm 08-625 19 00 · Göteborg 031-83 86 00
Malmö 040-38 17 10 · Umeå 090-17 22 40
www.tarkett.se

Minsta avstånd mellan vindkraft och bostäder. Bygg & teknik. 03/2012, 53-56.

Minsta avstånd mellan vindkraft och bostäder

Artikeln omfattar en bedömning av minsta avstånd mellan vindkraftverk och bostäder. För detta ändamål sker en genomgång av bullernivå för cirka 7 500 bostäder kring cirka 1 400 vindkraftverk i Sverige. I Sverige gällande beräkningsregler har använts. Resultaten visar att Energimyndighetens 500 m i skyddsavstånd är alltför litet. Som grund för planering av ny vindkraft ges därför förslag på beräknings-samband baserade på antalet verk och effekt hos dessa med i stort sett fördubblade skyddsavstånd jämfört med nuvarande som följd.

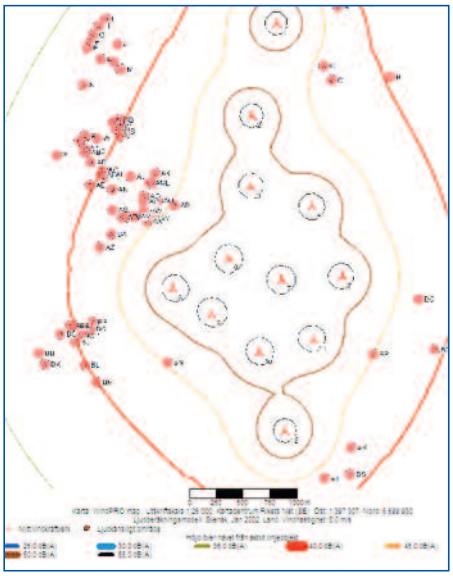
Exploatering med vindkraft sker med ofta hjälp av dyr advokatyr, där grannarna har litet att sätta emot. Fall av rättsröta förekommer vid tillståndsgivningar [1]. Som miljöfarlig verksamhet ska dock vindkraften uppfylla vissa försiktighetsmått i fråga om bullernivå och skuggtid. Energimyndigheten uppger 500 m som rekommenderat skyddsavstånd mellan bostad och vindkraftverk – oftast får de som bor mer än 1 000 m från verken inte ens yttra sig vid ansökningar. Med 500 m som skyddsavstånd kan bara enstaka verk byggas. Kontraktsskrivning med markägare baseras på avståndet 500 m. Realistiska avstånd torde vara de dubbla med hänsyn till de stora verk som nu tar plats bland bostäder i Sverige. I föreliggande bedömning används giltig modell från Boverkets, Energimyndighetens och Naturvårdsverkets, SNV, no 6241 [2, 3, 4]. Begränsningsvärde för buller nattetid är 40 dB(A) för andra bostäder än planlagd fritidsbebyggelse, där 35 dB(A) gäller. Vid rena toner är begränsningsvärdet för vindkraftverk 5 dB(A) lägre, det vill säga 35 dB(A) respektive 30 dB(A). För effekt högre än 2 MW rekommenderas i Danmark 35 dB(A) som högsta bullernivå utomhus [5, 6]. Även svenska forskare kräver större skyddsavstånd än nu [7]. En ny nya-zeeländsk studie av hälsorelaterad livskvalitet rekommenderar minst 2 km mellan bostäder och stora vindkraftverk [8]. Till skillnad från utlandet sker i Sverige tillståndsgivningen på den sökandes villkor eftersom denne ensidigt ska visa att kraven uppfylls. I Danmark hade exempelvis varje amt eller har varje kommun själva tillgång till beräkningsverktyg för kontroll av ansökningshandlingar. I Tyskland är bebyggelsestrukturen en helt annan än i Sverige med sammanhållna byar i Tyskland men utspridd bebyggelse i Sverige. Största skillnaden mot utlandet är dock större verk här än där. Med större verk följer högre källbuller från verket och därmed större skyddsavstånd.



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, docent, Bara.*

Karlstad – Predikstolarna

Följande slutsatser dras för vindkraftområde Predikstolarna, Karlstad kommun, *figur 1* [9]:



Figur 1: Cirka 38 bostäder i område Predikstolarna får högre bullernivå än 40 dB(A).

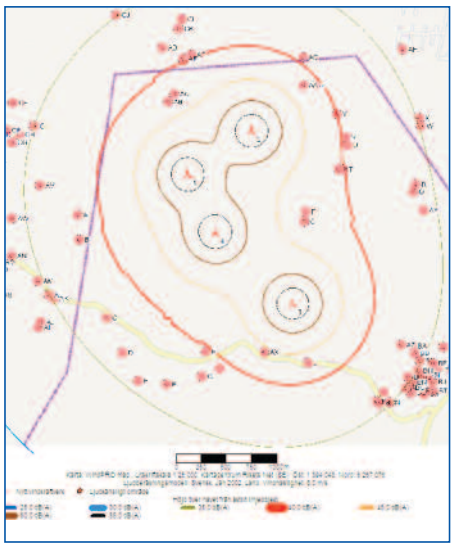
- Medelvärde för bullernivå invid drygt 70 undersökta bostäder är 40,6 dB(A).
- Begränsningsvärdet för bullernivå nattetid, 40 dB(A), överskrids för hälften av drygt 70 inventerade bostäder, varför verk utan ”nedskruvning” inte får köras då.
- För varje dB(A) i ”nedskruvning” förloras minst 2,5 procent i energi.
- Övriga områden för vindkraft inom kommunen bör därför noga bullerkontrolleras.
- Danska forskarkrav om högst 35 dB(A) överskrids för alla undersökta bostäder.
- Vindkraftverk står för nära varandra, vilket minskar energifångsten för dem.
- Risk för bullerinterferens mellan verk föreligger med mindre avstånd dem emellan än tio gånger turbindiametern [10].

Laholm – Hishult

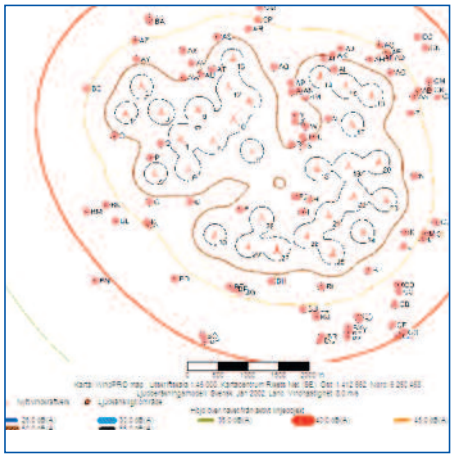
I Hishult uppmättes vindhastigheten vid mätplatsen till mellan 2,8 och 4,1 m/s på höjden 10 m över marken jämfört med ett krav om 8 m/s [11]. Bullerkonsulten valde därför att använda effektdata från vindkraftverket vid navhöjd 105 m givna att verksamhetsutövaren själv. Eftersom verksamhetsutövaren skulle kontrolleras är detta en form av cirkelbevis. Bullerkonsulten omräknade enligt en föråldrad formel för små verk effektdata givna vid 105 m över marken till vindhastighet på höjden 10 m över marken. Detta omräkningsförfarande i två led ger stor osäkerhet i synnerhet som vindhastigheten invid mätpunkten kan vara mindre än hälften av den vindhastighet som gäller på den höjdrygg, där vindkraftverken står [12]. I sånt fall gäller begränsningsvärdet 35 dB(A) nattetid [13]. I Hishult har bullerkonsulten därför använt felaktiga källbullervärden baserade på för låg vindhastighet vid påföljande beräkningar av buller. Bullerkonsulten var dock inte vid tillfället ackrediterad av Swedac för att utföra bullerimmissionsberäkningar. Bullerkonsulten erkänner dessutom att indata i av denne använt datorprogram Nord 2000 kan styras till exempel till verksamhetsutövarens fördel. I Hishult mättes bullret från vindkraftverken dessutom under dagtid då fågelkvitter överröstade vindkraften. Denna mättidpunkt är irrelevant eftersom begräsningsvärdet även avser nattetid under hösten, då lite fågelkvitter förekommer. Med en korrekt beräkning i Hishult får närmaste bostad cirka 45 dB(A), varför Miljööverdomstolen har godtagit grannarnas rätt att klaga och återförvisat ärendet till Länsstyrelsen i Halland [14].

Osby översiktsplan

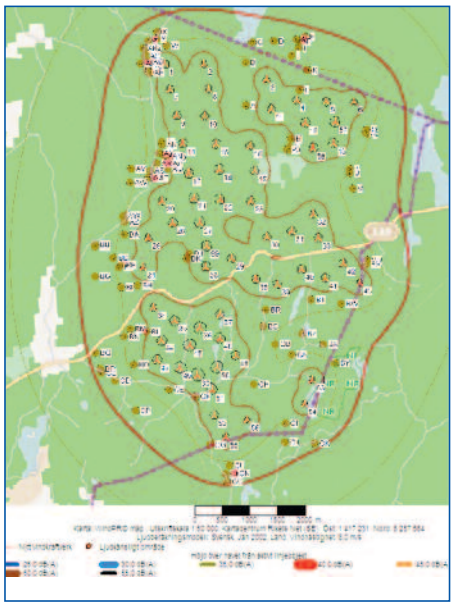
Översiktplanen omfattar områden med avstånd till bostäder större än 500 m [15]. Med ledning av planen kan verk placeras ut med fem gånger turbindiametern i inbördes avstånd. För 2,3-MW-verk i områdena så ryms 200 verk. Bullernivån för 460 bostäder blir högre än 40 dB(A), det vill säga cirka 1 200 boenden kommer att



Figur 2: Cirka tio bostäder i område Loshult får högre bullernivå än 40 dB(A).



Figur 3: Cirka 90 bostäder i område Lönsboda N får högre bullernivå än 40 dB(A).

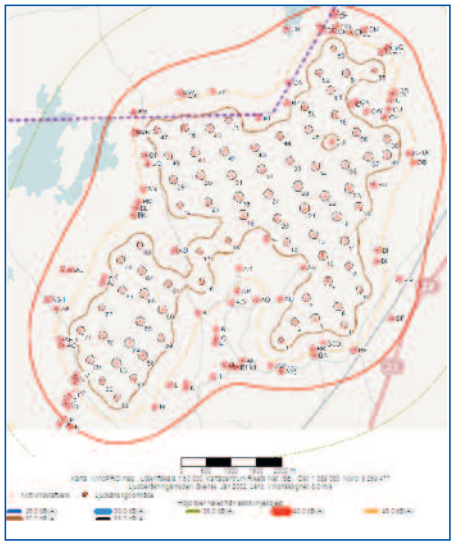


Figur 4: Cirka 150 bostäder i område Lönsboda NO får högre bullernivå än 40 dB(A).

störas i sin nattsömn och i övrigt. *Tabell 1* och *figurerna 2 till 6* visar antalet bostäder som enligt SNV 6241 får högre bullernivå än 40 dB(A) om vindkraftverk Siemens

Tabell 1: Antalet bostäder i Osby vindbruksplan som får högre bullernivå än 40 dB(A).

Område	*Antal verk*	*Antal bostäder med mer än 40 dB(A)*
Loshult (ansökan)	4	10
Lönsboda nord	31	90
Lönsboda nordost	62	150
Osby nord	71	110
Osby väster	32	100
Summa	200	460

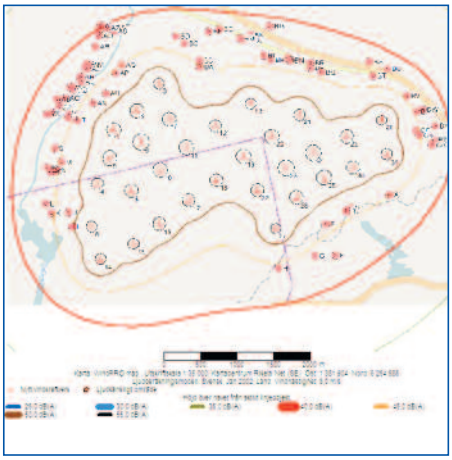


Figur 5: Cirka 110 bostäder i område Osby N får högre bullernivå än 40 dB(A).

SWT 101 med effekten 2,3 MW och turbindiametern 101 m placeras inom områden som utpekas i sammanvägningskartan (källbuller: 106,0 dB(A)). Avståndet mellan verken är fem gånger turbindiametern eller minst 505 m [16].

Simrishamn – Blästorp

Bullerkonsulten utförde bullerberäkningar för motvind, vilket strider mot gällande mätnorm och beräkningsnorm, som föreskriver att mätningar ska ske i tre andra riktningar än lä [17]. Det finns två bostäder 289 respektive 589 m från närmaste vindkraftverk och i förhärskande vindriktning sydväst, det vill säga under en fjärdedel av året. För övriga vindriktningar, det vill säga tre fjärdedelar av året, har bullerskugga från ekonomibyggnader intill de bägge bostäderna tagits i anspråk, det vill säga vindhastigheten blir lägre än 8 m/s för höjden 10 m intill beräkningspunkten. Detta torde leda till krav om 35 dB(A) [18]. Om ljudskugga finns ligger beräkningspunkten även i lä i fråga om vind. Uppgiven ackreditering torde ha givit drabbade grannar underläge i dessas argumentering. Dessutom utfördes bullerberäkningarna med datorprogram Nord 2000 med okända formelsamband. WindPro gör med en maxbullerberäkning en rimlig medelvärdesbedömning av bullernivån enligt SNV 6241 [19]. Då används markråhetslängden 0,05 m samt högst



Figur 6: Cirka 100 bostäder i område Osby V får högre bullernivå än 40 dB(A).

förekommande källbuller med så kallade 95 procent sannolikhet. Vidare används i WindPro medeltemperatur, medelfuktighet och mest ogynnsamma vindriktning, det vill säga mot bostaden. I Blästorp har dessutom ”nedskruvning” skett till 101,0 dB(A), det vill säga till mod 4 eller 500 kW. Det är osannolikt att ”nedskruvning” sker annat vid bullermätningar eftersom energifångsten därmed skulle minska med 25 procent. Under 2010 uppmätt effektivitet i Blästorp är 40 procent varför ”nedskruvning” inte skedde då.

Trelleborg – Näsbyholm

Bullerkonsulten har vid 6 m/s i vindhastighet utfört ackrediterad bullermätning från ett av fyra verk och sedan avbrutit mätningen till följd av mojnande vind [20]. I den ackrediterade rapporten uppges att övriga tre verk inte lät mer än det verk som studerades. Därför borde en spridning om cirka 1 dB(A) mellan enstaka verk ha beaktats. Därefter har bullerkonsulten gjort beräkningar av bullerimmission. Det framgår dock inte av rapporten att ackrediteringen bara avser mätningen. I bedömning av mätosäkerhet (1,1 dB(A)) har inte tillagts resulterande källbuller 100,3 dB(A) utan hänvisning skett till Miljönämnden (garantikällbuller för Enercon 2,3 MW E-70 mod 0 är dock 103,1 dB(A)) [21]. Ifråga om mätosäkerhet uppger bullerkonsulten hälften av det värde som är statistisk belagt samt hävdar att begränsningsvärdet för bullervärde nattetid med hänsyn till avrundning kan

vara 40,4 dB(A) [22]. Riktvärden för bullernivå har dock upphävts genom domar 2009 i Miljööverdomstolen och Svea hovrätt [23, 24, 24]. Efter Miljööverdomstolens dom finns endast begränsningsvärden kvar. Begränsningsvärden enligt Miljöbalkens hänsynsregler får inte överskridas för någon bostad. Luftfuktigheten var osedvanligt låg vid mättillfället varför inverkan av nattetid (då begränsningsvärdet 40 dB(A) gäller) relevant luftfuktighet ska beaktas, cirka 99 procent, det vill säga ett tillägg göras med cirka 0,5 dB(A). Uppgifter om vindhastighet och effekt är lämnade av verksamhetsutövaren själv (rådata saknas i rapporten) varför dessa uppgifter saknar värde som bevis i sammanhanget (jämför cirkelbevis i Hishult). Av bullerkonsulten beräknad signifikans R^2 är lika med 0,64 står inte i relevans till givna datapar, vilka ger R^2 är lika med 0,09. Bullerkonsulten tillåts därför inte subtrahera bakgrundsbuller som skett. I en annat rapport uppger bullerkonsulten ±4 dB(A) som osäkerhet vid beräkning med Nord 2000 [26]

Bedömning av minsta skyddsavstånd baserad på prospekt

Bullerberäkning skedde med SNV 6241 för 125 prospekt i Sverige med cirka 7 500 bostäder kring cirka 1 400 vindkraftverk baserat på bygganmälan, bygglovsansökan eller miljöanmälan [27]. För samtliga prospekt beräknades bullernivån 40 dB(A) som funktion av avstånd från bostad till närmaste vindkraftverk, såväl i skog som på slätten. Följande samband erhölls för minsta avstånd mellan bostad och verk, *r40*, *figur 7* (m):

$$r40,\ skog = (52{,}5 \cdot w) \cdot ln(n) + 125 \cdot w + 315 \quad (1)$$

$$r40,\ slätt = (51{,}0 \cdot w) \cdot ln(n) + 113 \cdot w + 284 \quad (2)$$

Beteckningar:

ln	naturliga logaritmen
n	antal verk (st)
r40, skog	avstånd verk till bostad i skog, bebyggelse eller bland träd dungar (m)
r40, slätt	avstånd verk till bostad belägen på helt öppen, slät mark
w	effekt per verk (MW)

För att kringgå krav på bullernivå uppges ibland ”kontorisering” av bostäder [28], *figur 8*.

Slutsatser

Följande slutsatser kan dras efter genomgång av bullernivån vid 7 500 bostäder intill 1 400 vindkraftverk:

- Nuvarande avstånd om 500 m mellan vindkraft och bostäder bör ökas kraftigt.
- Avståndet bör göras beroende av antalet verk och effekten hos dessa.
- Översiktplaner för vindkraft bör revideras med hänsyn till krav om större avstånd.
- Kontraktsskrivning med markägare bör baseras på större avstånd än 500 m.
- Stor osäkerhet i bullerberäkningar med Nord 2000 bör beaktas. ■

Referenser

[1] Jan Bergstedt. Personlig information. Uppvaktning. Miljödepartementet. 2010-08-19.

[2] Ljud från vindkraftverk. Boverket, Energimyndigheten, Naturvårdsverket rap. 6241. 2001, 38 sid.

[3] Elektroniskt dokument http://www.naturvardsverket.se/Documents/allmrad/ar_78_5.pdf.

[4] Råd och riktlinjer 1978:5. Omtryckt 1983. Riktlinjer för externt industribuller. SNV. 1983, 30 sid.

[5] Henrik Møller & Christian Sejer Pedersen. Lavfrekvent støj fra store vindmøller. ISBN 978-87-92328-30-4. Aalborg universitet. 2010, 53 sid.

[6] Bullret från stora vindkraftverk undervärderat. Gösta Bluhm, Professor, Karolinska institutet, SVT, Elektroniskt länk http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=78&artikel=4307547

[7] Buller i Blåsväder – Ljudmiljöcentrum. Lunds universitet. Lund. 2010-03-26. Elektroniskt dokument http://edit.info.lu.se/upload/lmc/Vind%20rapport%20final%20inlaga.pdf.

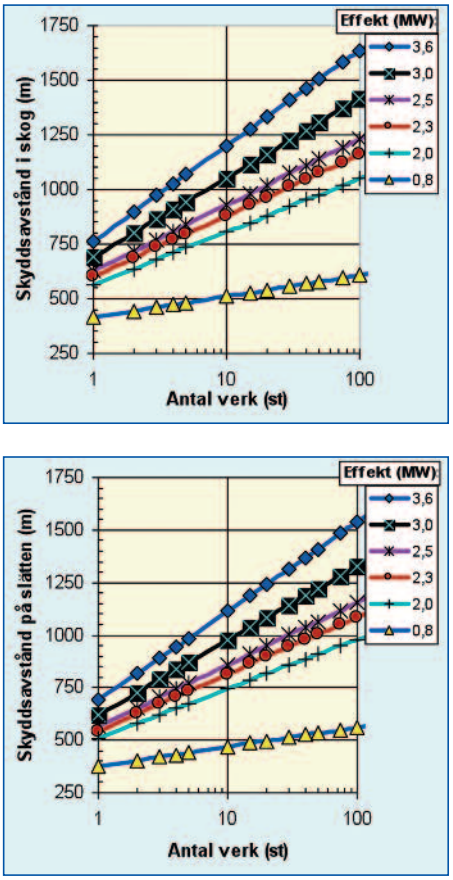
[8] Daniel Shepherd et al. *Evaluating the impact of wind turbine noise on health related quality of life*, Noise and Health, September–October 2011, sid. 333-341. Elektroniskt dokument http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2011;volume=13;issue=54;spage=333;epage=339;aulast=Shepherd .

[9] Kalle Alexandersson. Landskapsanalys och miljökonsekvensbeskrivning. Bilaga – Vindkraftsplan för Karlstads kommun. Ramböll Sverige AB, Göteborg. 2011-01-31, 54 sid.

[10] Bob Thorn. Doctoral Thesis. Assessing Intrusive Noise and Low Amplitude Sound. Massey Un. Wellington Campus, Inst Food Nutrition and Human Health, 316 sid.

[11] Ångpanneföreningen Ingemansson. Mätning av ljudimmission från vindkraftverk i park Oxhult. Projekt 550671. 2010-06-24, 41 sid.

[12] Anders Karlsson. E-post 2011-12-22 kl. 16:00 ang. brev från Örjan Johansson. ÅF-Infrastructure AB. Kvarnbergs-



Figur 7: Minsta avstånd mellan bostad och vindkraft som funktion av antal och effekt.



Figur 8: Gård ”kontoriseras” för att medge vindkraft. Bildmontage: Bertil Persson.

gatan 2, Box 1551 SE-401 51 Göteborg, 20111212, 7 sid.

[13] Ebbe Adolfsson. *Högst 35 dBA i områden med lågt bakgrundsljud*. SNVt. 2011-06-23, 1 sid. http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/Vindkraft/-Riktvarden-for-ljud-fran-vindkraft/.

[14] Svea hovrätt. Mål M 5159-11, 2011-10-18, 2 sid.

[15] Robert Johannesson. Vindbruksplan Osby kommun. Sweco. 20110915, 28 sid.

[16] www.cvi.se

[17] Ljudberäkning vindkraftverk. Ångpanneföreningen-rapport 560121, 2010-11-25, 14 sid.

[18] Ebbe Adolfsson. *Högst 35 dBA i områden med lågt bakgrundsljud*. SNV. 2011-06-23, 1 sid. http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/Vindkraft/-Riktvarden-for-ljud-fran-vindkraft/.

[19] Thomas Sörensen. Personlig information (e-post). EMD, Aalborg. Tfn +45 9635 4444, 2009.

[20] Stephan Schönfeld & Martin Almgren. Mätning av ljudeffekt från vindkraftverk enligt IEC 61400-11 Turbin 4, Näsbyholm. Projekt 542336. Ångpanneföreningen Ingemansson. 2009-10-23, 20 sid.

[21] Mätning och beräkning av buller från vindkraftverk. Elektroniskt dokument http://www.naturvardsverket.se/sv/-Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/Buller-fran-vindkraft/.

[22] Krister Larsson. Granskning av bullermätningar och beräkningar. SP PX-14567. 2011-09-08.

[23] Elektroniskt dokument www.naturvardsverket.se:80/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Industrier/Principiella-domar-fran-Miljooverdomstolen/.

[24] Svea hovrätt. Miljödomstolen. Rotel 1309. Länsstyrelsen i Kalmar län visavi Cementa AB. Mål M 5069-07. Dnr 617. Löpnr 5586-07. 2009-02-26, 6 sid.

[25] Svea hovrätt. Miljödomstolen. Rotel 1305. Länsstyrelsen i Kalmar län visavi Kalmar industrier. Mål M 1303-07. Dnr 546. Löpnr 3226-07. 2009-01-29, 13 sid.

[26] Elis Johansson, *Ljudemmissionsberäkning och utredning om lågfrekvent buller från vindpark vid Dalsbo i Jönköpings kommun*. ÅF-Infrastruktur AB / f d Ingemanssons rapport 567183, sid 5, Göteborg.

[27] ISBN-978-91-86007-10—21-x; -978-91-86007-22—49-x; -978-91-86007-51—63-x; -978-91-86007-65—99-x; http-://libris.kb.se/hitlist?f=simp&q=numm%3a978-91-86007*&r=&m=10&s=-r&t=v&d=libris&p=1; ISBN -978-91-86977-1—13-x; http://libris.kb.se/hitlist-?f=simp&q=numm%3a978-91-86977*&r=&m=10&s=r&t=v&d=libris&p=1.

[28] Projekt Duveke. Teknisk beskrivning. Svalövs kommun. Odaterad handling, 12 sid. http://www.svalov.se/-download/18.1951760912fb5370-ca180001142/Teknisk+beskrivning1.pdf.

Modern betong och filigranform förutsättningarna för ett rekordbygge i Malmö. Husbyggaren 6/99. 1999, 34-43.

Modern betong och fil förutsättningar för ett

AV TEKN DR BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

I rapporten redogörs för ett rekordbygge i Malmö där de givna förutsättningarna för framgång var användning av filigranform och modern betong. Projektet har lovprisats av Byggnadskostnadsdelegationen som föregångsexempel vad gäller möjliga effektiviseringar vid produktion av bostadshus.

Projektet följdes experimentellt av en studie beträffande samverkan mellan golvmaterial och betong främst vad avser fukt och emissioner. Provkropparna härdades exakt som betongen i bostadshusen. Efter mattlimningen mättes emissionerna från golvsystemen vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås. Fuktmätningen skedde vid LTH Byggnadsmaterial. Resultaten visar att nedbrytning av lim och/eller matta kan förhindras genom en korrekt materialkombination. De största emissionerna uppmättes från lösliggande matta. Fukten hade liten inverkan. Tack vare det snabba byggtempot blev bygget rekordbilligt – relativt sett de hitintills mest ekonomiska bostadshusen i Sverige. Arbetet utfördes 1999 och finansierades av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, Peab AB, Bostik AB, Tarkett AB, Swerock AB, Svensk Glasåtervinning AB samt Ecobeton A/S, Norge.

Bakgrund och syfte

Det tidigare främsta exemplet på en betong anpassad till ett effektivt byggande återfinns inom Kv Potatisåkern, Malmö, där 22 000 m² betonggolv göts med vattencementtalet, vct = 0.35, dels i syfte att minska formrivningstiden, dels i syfte att undvika problem vad gäller fukt och emissioner[1]. Pilotprojektet lyckades över all förväntan: under de hundratals besiktningar som förekom inom projektet rörde inte ett enda klagomål fukt och emissioner[2]. Det enda problem som noterades var krympsprickor i väggarna eftersom krympningen skedde olika, tidsmässigt, i väggar (vct = 0.70) och golv (vct = 0.35)[2]. S k högpresterande betong har så småningom accepterats som det enda föreliggande alternativet vad gäller en robust betong vars hållfasthetsutveckling och uttorkningstider kan inrymmas i ett modernt byggande[3,4]. Främsta målet med det här presenterade projektet var att hålla kostnadsbilden under kontroll med hjälp av korta byggtider och ett så stort inslag av förtillverkning som möjligt. Målet vad gällde fukt och emissioner var att emissionerna från golvmaterial på betong ej skulle överstiga summan av delmaterialens egenemissioner.

Material	38K	38S	40G	44L	68R	70GV
Blentarp 16-25				804		927
Blentarp 11-18	928	716	920		753	
Betongrus 0-8	881	886	718	999	1153	1028
Glasfiller	60	99	62		35	17
Cement Slite Standard	456	518	552	419	289	269
Flytmedel Glenium 511)	2.72	2.18				
Luftporbildare Peramin HPA2)	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	2500	2420	2471	2405	2429	2429
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 s				
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

Tabell 1 – Recept och egenskaper i härdat tillstånd hos utförd betong (kg/m³ torrvikt, etc.) /22/.
Beteckningar i tabell 1: d = dygn; G = glasfiller; K = kemiska tillsatsmedel; L = luftporbildare; R = referens; S = självkomprimerande; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%); 1) torrhalt 42%; 2) torrhalt 10%; 3) $f_{cc} = 1.41 \cdot f_c$.

Egenskap	Linoleum	PVC standard	PVC våtrum
Tjocklek totalt (mm)	2.0	2.2	2.0
Tjocklek ytskikt (mm)	2.0	0.4	2.0
Ånggenomgångsmotstånd (s/m)	$10^9 – 10^{10}$ (DIN 51953)	$2 \cdot 10^6$ (SIS 021582)	$7 \cdot 10^6$ (SIS 021582)

Tabell 2. Egenskaper hos de provade ytbeläggningarna /24/.

igranform
rekordbygge i Malmö

Byggteknik

Kv Kapellmästaren, Malmö, omfattar 3 540 m² boarea. Byggtiden var nio månader. Vid projektet användes kvarsittande formar av betong till såväl väggar som bjälklag. På så sätt minskades stombyggnadstiden till hälften i och med att de förtillverkade väggarna kunde bära nästkommande bjälklagsform. Även fasadväggarna göts i betong mellan filigranformar. Fasaderna kläddes sedan med isolering och murverk i tegel. Tiden mellan bjälklagsgjutningarna blev en vecka mot normalt två veckor vid användning av traditionell väggform. Leveranser av filigranformar skedde efter avrop. Formarna till såväl väggarna som bjälklagen levererades "just in time" från fabriken i Hallstahammar. Formarna, som var skrymmande, kunde ej lagras på byggplatsen i Malmö utan lastades kvällen före montage i Hallstahammar, transporterades under nattetid till Malmö för att nästa dag monteras på byggplatsen.

Efter komplettering med rörinstallationer, elrör och överkantsarmering i bjälklagen fylldes väggar och bjälklag med betong. Inga väggformar erfordrades vilket minskade byggtiden avsevärt. Dessutom minskade ytporositeten i väggarna avsevärt jämfört med traditionellt gjutna väggar. Betonggolven behandlades med vattenglas omedelbart efter gjutning i syfte att minska den plastiska krympningen. På samtliga betonggolv i bygget lades avjämningsmassa i syfte att erhålla ett jämnt underlag för golvbeläggningen. Tack vare den lyckade kombinationen av förtillverkad och platsguten betong kunde produktionen ske på ett synnerligen effektivt sätt: det första bjälklaget göts den 12/1 1999 och det sjätte den 25/2 1999.

Byggtekniken uppfyllde även kraven på låga energikostnader under byggnadens livstid eftersom även fasaderna utfördes i betong. Jämfört med ett trähus förväntades ca 15% lägre energikostnad inberäknat energi som åtgår till material och produktion vid byggnationen[5].

Fukt och emissioner från golvsystem på betong

Ett stort antal försök och publikationer under senare år har behandlat sambandet mellan plastmattor limmade på betong och emissioner[6-12]. Sammanfattningsvis anses de redovisade emissionsnivåerna som små[13] utom då plastmattor limmats direkt på en fuktig betongyta. Nämnda studier omfattade i stort sett bara membranhärdade provkroppar, vilket var ett problem eftersom detta härdningssätt ej återspeglade verkligheten[14, 15]. Efter fältstudier och försök med produktionsanpassade härdningssätt av betong ingående i flera olika golvsystem konstaterades det, att de uppkomna emissionsnivåerna endast uppgick till en bråkdel av de emissioner som uppmätts i laboratorium[16-21]. Det förelåg därför ett stort behov av en jämförelse vad gällde de emissioner som uppmätts från olika golvsystem efter olika produktionsmetoder och summan av materialens egenemissioner, d v s golvmaterialens s k egenemission.

I projektet ingick sex betonger, dels ett hus med modern betong (vct ≈ 0.40), dels ett hus med normal betong (vct ≈ 0.70), se Tabell 1, vilken även ger hållfasthet och självuttorkning i betongerna[22, 23]. I Tabell 2 ges egenskaper hos ytbeläggningarna, vilka endast studerades i laboratorium[24]. I fältprojektet ingick genomgående parkett och klinker som golvmaterial.

Provkroppar för mätningar av fukt och emissioner

Ett 50-tal provkroppar med längden lika med bjälklagstjockleken, 250 mm, och med diametern, 250 mm tillverkades. Från botten av bjälklaget

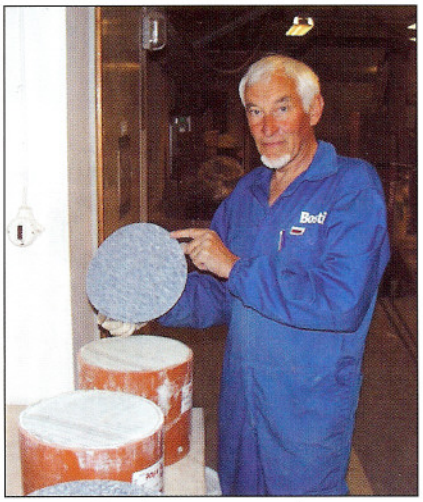


Figur 1. Plastform och betongprovkropp före fuktprovtagning: 10 mm avjämningsmassa, 195 mm provad betong samt 45 mm kvarsittande plattbärlag i betong vct = 0.50. (Foto Stefan Backe).
Beteckningar: Fs = snabbhärdande avjämningsmassa; G = glasfiller; V = vattenglas; 70 = vattencementtal, vct (%).



Figur 2. Gjutning av betong 38S på Kv Kapellmästaren, Malmö. (Foto: Jonas Carlsson).
Beteckningar: S = självkomprimerande; 38 = vattencementtal, vct (%).

bestod provkroppen av 45 mm plattbärlag i betong med vct = 0.50, 195 mm betong enligt Tabell 1 samt 10 mm avjämningsmassa, Figur 1. Betong 70GV behandlades med 250 g/m² vattenglas direkt efter gjutning. Övriga provkroppar träskurades. Härdningen av provkropparna skedde parallellt med pågående byggen (2 st. 6-våningsbostadshus), Figur 2. Till skillnad från[6-8, 10-12, 14, 15] var härdningssättet produktionsanpassat, d v s 1–2

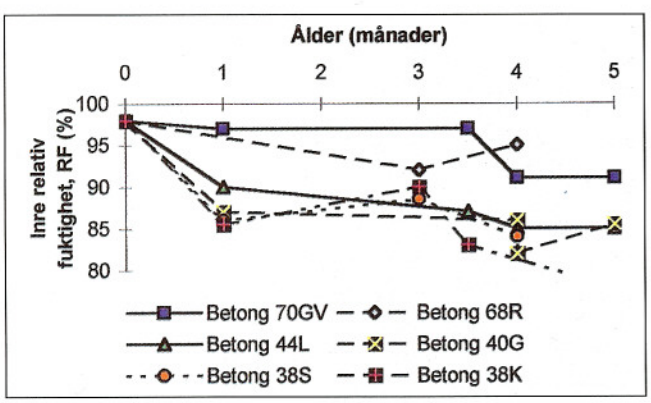


Figur 3. Limning av matta på provkropp. På bilden Lennart Sturefelt (Foto: Stefan Backe).

mån utomhus med vatten, 1 mån inomhus i kallförråd samt 1 mån. i klimatrum med RF = 60% och 20°C (motsvarar normalt ett bygge med avfuktare). Före läggning av avjämningsmassa på provkroppen behandlades ytan med ca 150 g/m² s k primer, en akrylatbaserad emulsion. Avjämningen utfördes 10 mm med endera två veckors (normalhärdande) eller två dygns torktid i RF = 60% och 20°C, Figur 3. Våtlimning utfördes med 250 g/m² lim och en öppethållandetid av 5 min, Figur 3. Efter mattlimningen mättes emissionerna från golvsystemet vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Figur 4[25, 26]. Fuktmätningen skedde därefter vid LTH Byggnadsmaterial, Figur 5[27, 28].

Minimering av tillskottsemissioner från golv på betong

Projektet har experimentellt klargjort emissioner och fukt i samband med golvbeläggningar limmade på betong, givit materialval för att minimera emissionerna med tillämpning av modern betong-, avjämnings- och limningsteknik samt med fältförsök verifierat laboratorieresultaten beträffande fuktfördelningen i betongerna[22]. Fuktmätning utfördes i laboratorium på såväl snabbtorkande som normal betong med härdning av betongerna enligt förhållanden i fält. Fältmätningar av fukt har utförts på identisk samma betonger levererade i full skala samt stickprovsmätningar i laboratorium på uthuggna betongprover. Jämförelse gjordes mellan fuktmätningar utförda i fält respektive i laboratorium. Fukten i betongen studerades en månad efter torkstart, en månad före en tänkt limning av golvbeläggningen samt vid limning av golvbeläggningen. Mätning av emissioner från golv med betong, avjämningsmassa, lim- och golvbeläggning har utförts på de ovan redovisade materialkombinationerna. Emissionsmätningarna utfördes vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut[25, 26] Efter emissionsmätningarna återtransporterades provkropparna till LTH Byggnadsmaterial för fuktmätning. Slutligen har det skett en utvärdering av eventuella samband mellan emissioner och fukt i samband med golvbeläggningar limmade direkt på betong respektive på avjämnad betong[22]/.



Figur 6. Inre relativ fuktighet, RF, på normenligt mätdjup. Beteckningar: G = glasfiller; K = kemiska tillsatsmedel; L = luftporbildare; R = referens; S = självkomprimerande; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%).

Resultat av emissionsmätningar och fukt

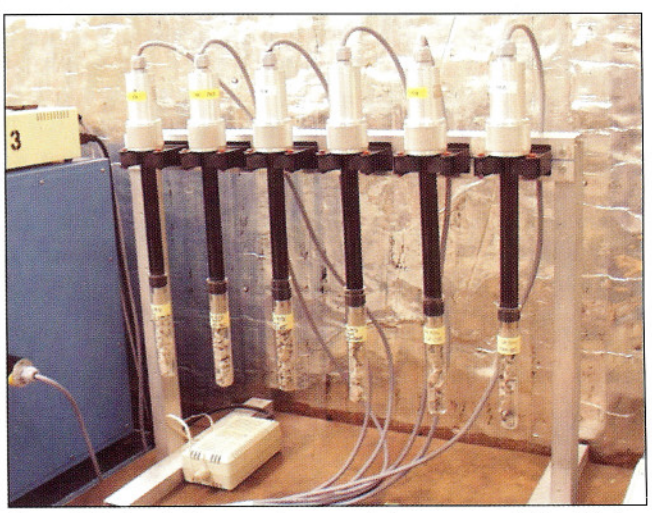
Figur 6 visar inre relativa fuktigheten, RF, på normenligt mätdjup (20% av tjockleken)[22]. Figurerna 7–8 visar inverkan av limtyp respektive avjämning på uppmätta emissioner. Figurerna 9–10 visar inverkan av typ av avjämning på uppmätta emissioner respektive av limtyp. Figurerna 11–12 visar inverkan av betongtyp på uppmätta emissioner[25, 26]/.

Uttorkning av modern och normal betong

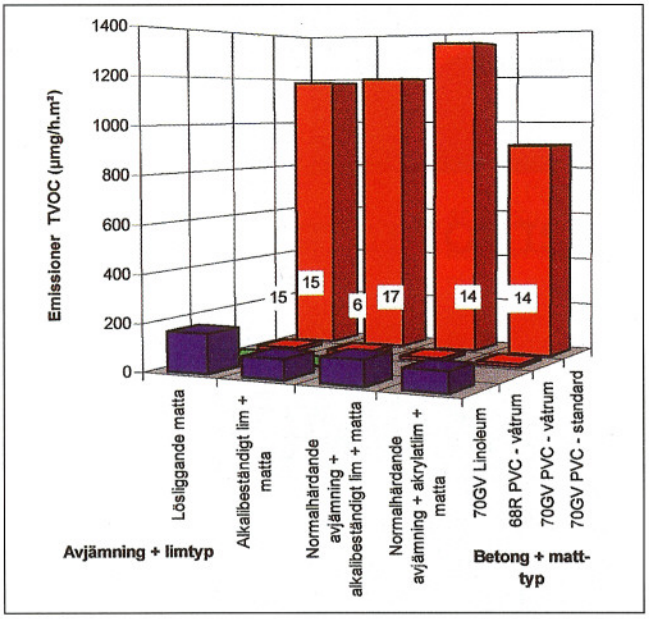
Samtliga fuktprofiler uppvisade en tvåsidig uttorkning trots att betongen hade gjutits på plattbärlag av betong. Betongkvaliteten hade en avgörande betydelse för uttorkningen, vilket är



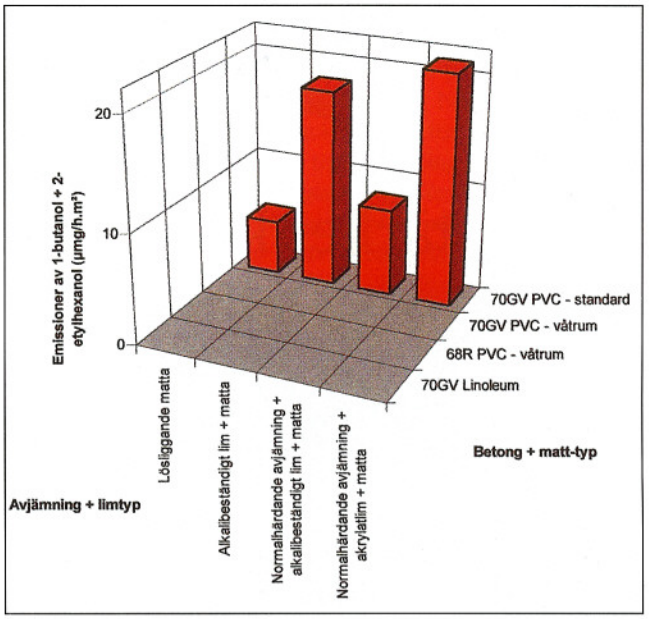
Figur 4 - Provkroppar före emissionsmätning (Foto: Stefan Backe).



Figur 5. Fuktmätning av uthuggna betongprover (Foto: Stefan Backe).



Figur 7. Inverkan av avjämning respektive limtyp på emissioner TVOC från olika golvsystem. Beteckningar: G = glasfiller; R = referens; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%).



Figur 8. Inverkan av avjämning respektive limtyp på emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol. Beteckningar: G = glasfiller; R = referens; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%).

väl känt sedan tidigare. Figur 6 visar att betonggolv med vct = 0.38 uppfyllde RF-kravet enligt Hus AMA 98, d v s RF ≤ 85% (avser PVC-matta med mindre 50% fyllmedel) inom ca två månader från gjutning även under realistiska förhållanden, kyla, regn och kort uttorkningstid. För betong med vct = 0.44 krävdes ca fyra månaders ålder för att uppfylla motsvarande krav. RF i betong med vct = 0.68-0.70 överskred vida RF-kravet enligt Hus AMA 98, såväl vid mattlimningen som vid emissionsmätningarna (RF = 90-92% enligt Figur 6). I samband med emissionsmätningen var RF i en normalhärdande avjämningsmassa direkt under mattan (82%) ca 8% lägre än den RF som uppmättes i betongen (70GV) på normenligt mätdjup i samband med limningen av mattan en månad tidigare, Figurerna 13-14. Detta berodde troligen på att den normalhärdande avjämningsmassan hade torkat ut under ca två veckor före det att mattlimningen utfördes och/eller på att en "primer" fanns under den normalhärdande avjämningsmassan.

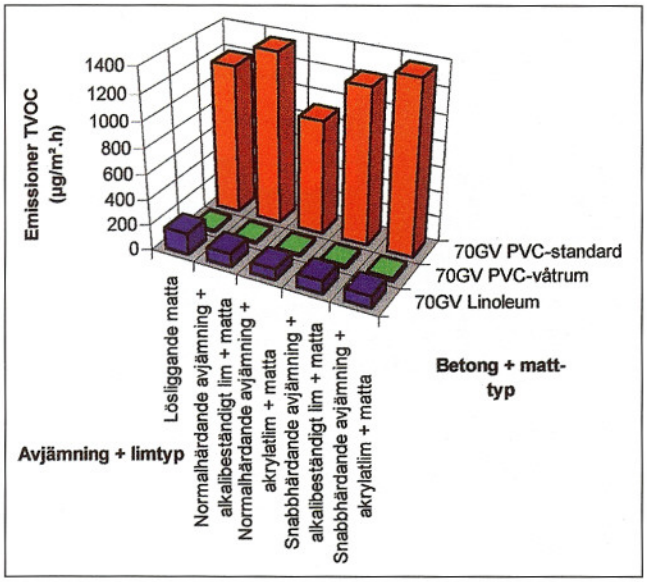
Primer försenade troligen i viss mån fukttransport från den underliggande fuktigare betongen. Motsvarande mätningar av RF i en snabbhärdande avjämningsmassa direkt under mattan (90%) visade att RF endast var ca 1% lägre vid emissionsmätningen än RF på normenligt mätdjup i samband med limningen av mattan en månad tidigare. Detta berodde troligen på att den snabbhärdande avjämningsmassan endast hade torkat ut under två dygn före det att mattlimningen utfördes. Behandling med 250 g/m² vattenglas omedelbart efter gjutning synes ej ha haft någon effekt på uttorkningen av betongen respektive på emissionerna från golvmaterial på betong, jfr emissionerna från golvsystem på betong utan vattenglas (68R) med emissionerna från golvsystem betong med vattenglas (70GV) i Figur 7[22,25,26]. Tidigt regn omedelbart efter behandlingen med vattenglas med påföljande frost och isbildning i betongytan torde ha en viss inverkan på detta resultat. Härdningen skedde med ömsom is och ömsom vatten. För att säkerställa att fuktmätning var möjlig i avjämningsmassa utfördes en separat RF-provning, Figur 15. Efter återuppfuktning visade RF i avjämningsmassa nära nog fuktmättnad, Figur 15.

Inverkan av avjämning respektive av limtyp på fukt och emissioner

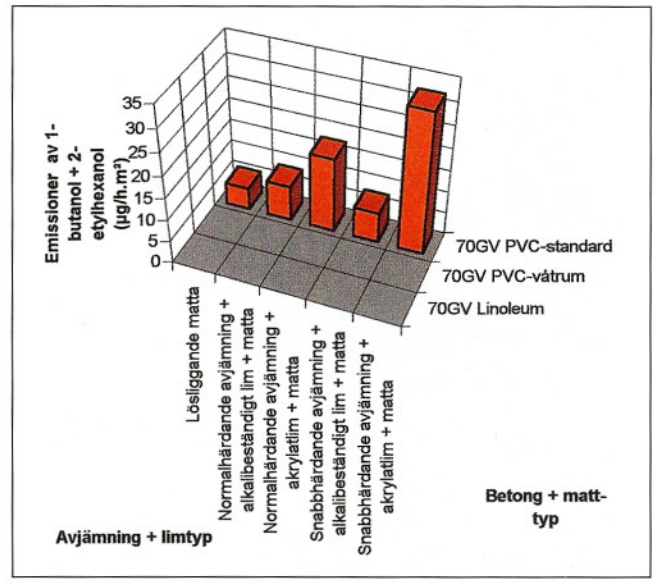
Mattypen hade en avgörande betydelse för emissionerna storlek. Vid limning på en fuktig betong (RF = 90–92% på normenligt mätdjup) var den totala emissionsnivån, TVOC, från golvsystemen med linoleummatta och från golvsystem med PVC-matta standard lägre än emissioner från en lösliggande matta såväl vid limning med alkalibeständigt lim direkt på betongen som vid limning med akrylatlim på betong med normalhärdande avjämning, Figur 7. Även vid limning med ett alkalibeständigt lim på fuktig betong med normalhärdande avjämning (RF = 90–92% på normenligt mätdjup) var de totala emissionerna, TVOC, från golvsystemen med linoleummatta lägre än emissioner från en lösliggande matta, Figur 7. Vid limning med alkalibeständigt lim på fuktig betong med normalhärdande avjämning (RF = 90–92% på normenligt mätdjup) var TVOC-emissionerna från golvsystemen med PVC-matta standard något högre än emissionerna från en lösliggande matta (dock inom felmarginalen 15%, Figur 7.

Förhöjda emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol uppmättes enbart från golvsystem med PVC-matta standard såväl vid limning med ett alkalibeständigt lim direkt på betongen som vid limning med ett akrylatlim på en grovavjämnad betongyta, Figur 8. Emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol från golvsystem med PVC-matta standard var endast något förhöjda jämfört med emissionerna från en lösliggande matta under förutsättning att ett alkalibeständigt lim användes i kombination med en avjämnad fuktig betong (RF = 90–92% på normenligt mätdjup, Figur 8. Det var främst tillskottsemissioner av 1-butanol som försvann i och med användning av ett alkalibeständigt lim, vilket är en fördel[25,26].

Ett golvsystem med normalhärdan-



Figur 9. Inverkan av typ av avjämning respektive limtyp på emissioner TVOC från golvsystem. Beteckningar: G = glasfiller; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%).



Figur 10. Inverkan av avjämning respektive limtyp på emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol. Beteckningar: G = glasfiller; V = vattenglasbehandling; 70 = vattencementtal, vct (%).

de avjämningsmassa (RF = 70% vid limning samt 82% vid emissionsmätningen), PVC-matta standard samt akrylatlim på en fuktig betong (RF = 89% vid limningen samt RF = 90% vid emissionsmätningen; bägge på normenligt mätdjup) uppvisade något högre emissioner av 1-butanol+2-eteylhexanol, d v s 21 µg/m²·h, än ett golvsystem med PVC-matta standard samt alkalibeständigt lim på en fuktig betong (RF = 79% i ytan samt RF = 93% på normenligt mätdjup vid limningen respektive RF = 88 i ytan samt RF = 93.5% på normenligt mätdjup vid emissionsmätningen) eller 18 µg/m2·h. Ett alkalibeständigt lim applicerat på en yttorr men på normenligt mätdjup fuktig betong var, åtminstone på kort sikt, minst lika beständigt mot nedbrytningar som ett akrylatlim på en likaledes yttorr normalhärdande avjämningsmassa på en fuktig betong, Figur 8 och Figur 13.

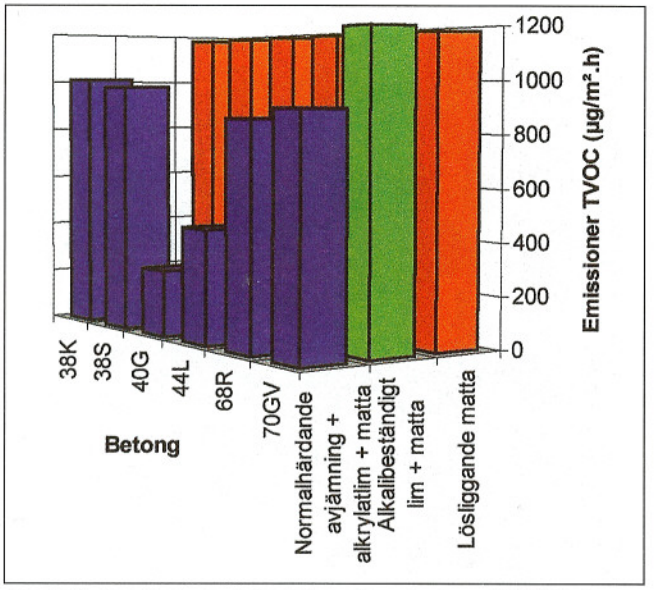
Inverkan av typ av avjämningsmassa på fukt och emissioner

Typen av lågalkalisk avjämningsmassa (snabbhärdande eller normalhärdande) hade ingen entydig inverkan på TVOC-emissionerna från golvsystemet med PVC-matta standard vid limning på en fuktig betong oberoende av om alkalibeständigt eller akrylatlim användes eller ej, Figur 9. Vid lika matta (PVC standard) och limtyp (akrylat) gav ett golvsystem med en torr normalhärdande avjämningsmassa (70% RF vid limning samt 82% RF vid emissionsmätning) upphov till lägre emissioner av 1-butanol +2-etylhexanol än ett golvsystem med en snabbhärdande avjämningsmassa som var mer fuktig såväl vid mattlimningen som vid emissionsmätningen (90% RF resp. 88% RF, Figur 10). (Observera: den normalhärdande avjämningsmassan hade torkat ut under två veckor medan den snabbhärdande avjämningsmassan endast hade torkat ut under två dygn.) Vid lika matta (PVC standard) och limtyp (alkalibeständigt) gav ett golvsystem med en torr normalhärdande avjämningsmassa (70% RF vid limning samt 82% RF vid emissionsmätning) upphov till lika stora emissioner av 1-butanol +2-etylhexanol som ett golvsystem med en snabbhärdande avjämningsmassa som var mer fuktig såväl vid mattlimningen som vid emissionsmätningen (90% RF respektive 91% RF, Figur 10). Ett alkalibeständigt lim tål troligen en hög fuktnivå bättre än ett akrylatlim. Dock bör man även beakta kraven på en högsta RF-nivå enligt Hus AMA 98 för att säkerställa limförbandets hållfasthet och goda bestånd.

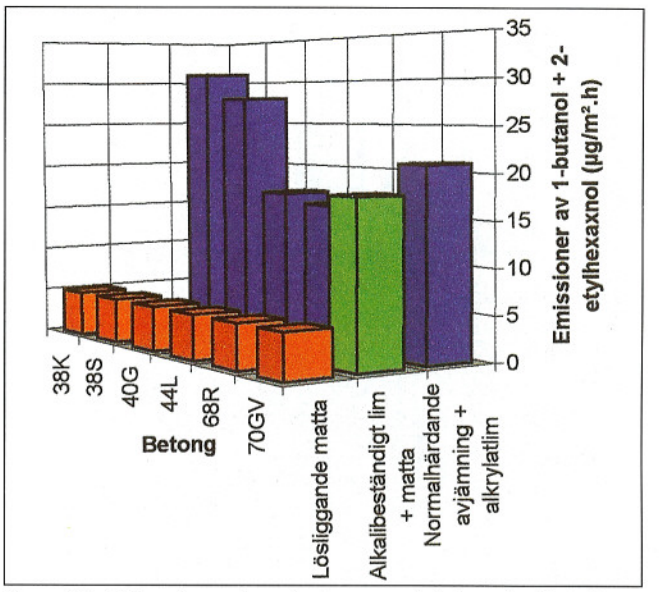
Inverkan av betongtyp på fukt och emissioner

Betongens porositet påverkade troligen de uppmätta emissionsnivåerna. Samtliga golvsystem med PVC-matta standard limmad med akrylatlim på en grovavjämnad betong utvisade lägre (i vissa fall avsevärt lägre) emissioner TVOC än de som uppmättes från en olimmad lösliggande PVC standard (egenemissioner, Figur 11). Som nämnts ovan berodde detta på att den normalhärdande avjämningsmassan torkat ut ca två veckor före mattlimningen och på att en primer fanns under den normalhärdande avjämningsmassan, vilket försenade fukttransport från den underliggande fuktigare betongen. Emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol från golvsystemen med PVC standard limmad med akrylatlim på en grovavjämnad betong var förhöjda speciellt för golvsystem på tät betong med lågt vct och med flytmedel, Figur 12. Från golvsystem med PVC-matta standard limmad med akrylatlim på en normalhärdande avjämningsmassa var emissionerna av 1-butanol + 2-etylhexanol endast något förhöjda vid betonger med lågt vct innehållande glasfiller eller luftporbildare respektive för betonger med högre vct troligen till följd av en något sämre arbetbarhet och därmed en ökad porositet hos dessa betonger jämfört med porositeten hos betong med ett lågt vct och flytmedel, Figur 16[29].

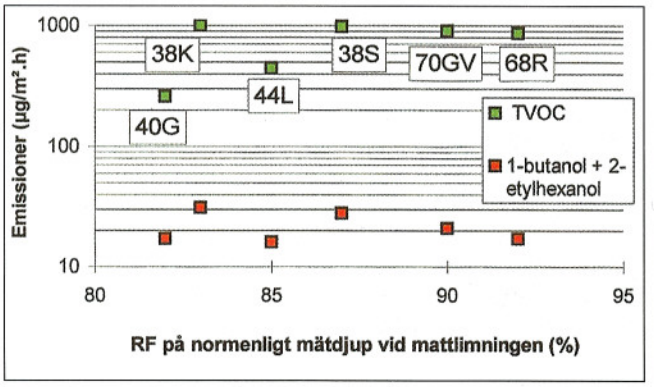
En del av emissionerna från det aktuella golvsystemet vandrade förmodligen nedåt till följd av en ökad porositet hos betonger med lågt vct innehållande glasfiller eller luftporbildare respektive hos betonger med högre vct jämfört med täta betonger med lågt vct och flytmedel. Figurerna 11, 12, 16. Detta bör dock bekräftas vid



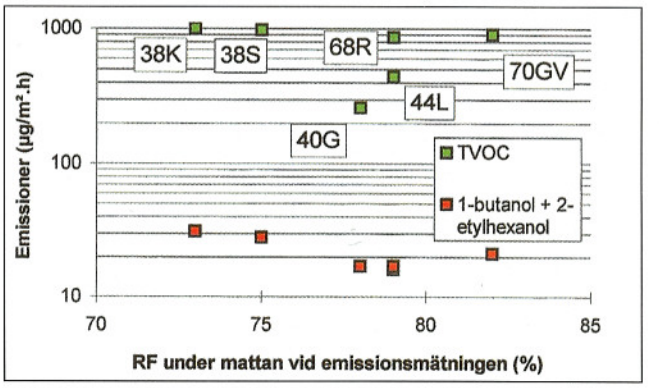
Figur 11. Inverkan av betongtyp på emissioner TVOC från golvsystem med PVC-matta standard. Beteckningar: G = glasfiller, K = kemi; L = luftporbildare; R = referens; S = självkompakterande; V = vattenglas; 38 = vct = 0.38 /22,25,26/.



Figur 12. Betongtyp och emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol från PVC-matta standard. Beteckningar: G = glasfiller, K = kemi; L = luftporbildare; R = referens; S = självkompakterande; V = vattenglas; 38 = vct = 0.38 /22,25,26/.



Figur 13. Inverkan av RF (normenligt mätdjup vid mattlimningen) på emissioner TVOC från golvsystem med PVC-matta standard. Beteckningar: G = glasfiller, K = kemi; L = luftporbildare; R = referens; S = självkompakterande; V = vattenglas; 38 = vct = 0.38 /22,25,26/.



Figur 14. Inverkan av RF (under mattan vid emissionsmätning) på emissioner av 1-butanol + 2-etylhexanol från golvsystem med PVC-matta standard. Beteckningar: G = glasfiller, K = kemi; L = luftporbildare; R = referens; S = självkompakterande; V = vattenglas; 38 = vct (%).

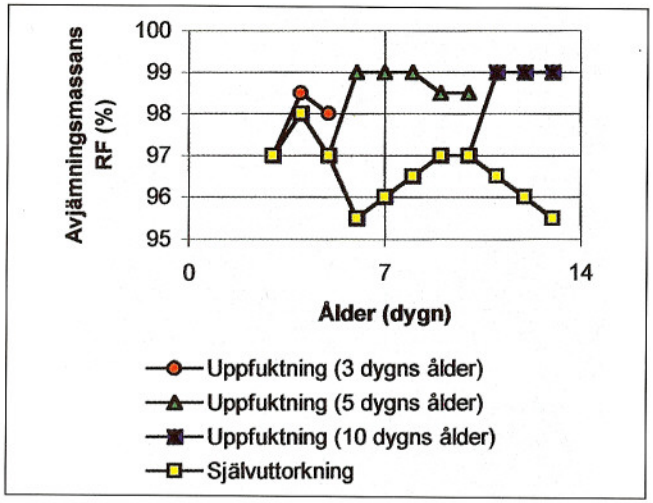
fortsatta försök, d v s att emissionerna ej ökar på sikt i betongerna med högre vct respektive med luftporbildare/glasfiller. Det fanns inget samband mellan uppmätta emissioner från golvsystem med PVC-matta standard limmad med akrylatlim på en grovavjämnad betong och relativa fuktigheten, RF, i betongen vare sig för RF på normenligt mätdjup i samband med mattlimningen eller direkt under mattan vid emissionsmätningen sannolikt beroende på att avjämningen hade fått torka ut ordentligt före limningstillfället, ca två veckor, Figurerna 13–14. Ytan hade således god förmåga att ta upp limfukt utan någon nämnvärd förhöjning av ytans RF. Dessutom försenades fukttransporten underifrån sannolikt av den primer som applicerades omedelbart före det att avjämningen utfördes, Figur 11.

Ekonomiska resultat

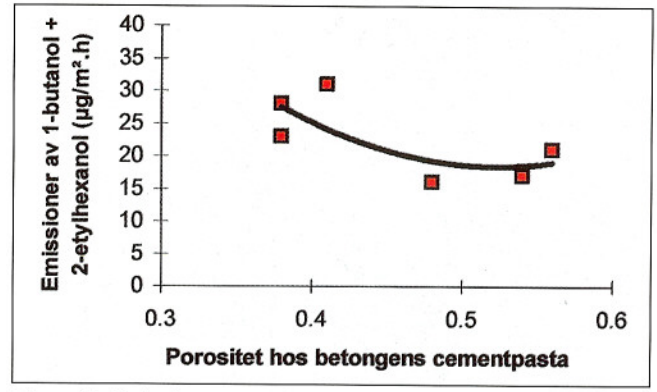
Merkostnaden för betong med vct ≈ 0.40 var ca 200 kr/m³, d v s ca 50 kr/m² bjälklagsyta. Tack vare snabb hållfasthetstillväxt och tidig uttorkning, Figur 6, kunde huset med låg-vct-betongen inflyttas två månader tidigare än referenshuset med normal betong. Merkostnader för betongen kompenserades därför väl av minskade räntekostnader samt minskade fasta kostnader för bodar och arbetsledning. Byggkostnaden blev låg, ca 8 450 kr/m² bostadsyta, vilket är rekord om man beaktar index[30].

Sammanfattning och slutsatser

Projektet blev ett föregångsexempel vad gäller möjliga effektiviseringar vid produktion av bostadshus. Tack vare det snabba byggtempot blev byget rekordbilligt - relativt sett bland de hitintills mest ekonomiska bostadshusen i Sverige. Vad avser fukt och emissioner studerades ett 50-tal provkroppar i full bjälklagstjocklek, 250 mm, härdade i likhet med det parallellt pågående bygget[31]. Såväl lösliggande linoleummatta, PVC standardmatta som PVC våtrumsmatta gav högre (i vissa fall flerfalt högre) totala emissioner, TVOC, än en matta limmad på en betong med avjämningsmassa. Mätningarna visade vidare att tillskottsemissioner från nedbrytning av lim och matta från golvsystem på betong kunde undvikas med nedan förtecknade produktionsmetoder och materialkombinationer. Med hänsyn till limförbandets goda bestånd bör man även beakta kraven på en högsta RF-nivå enligt Hus AMA 98.



Figur 15. RF i snabbhärdande avjämningsmassa efter självuttorkning och återuppfuktning /22/.



Figur 16. Emissioner av 1-butanol och 2-etylhexanol versus porositeten hos cementpastan hos de provade betongerna /22, 25,26/.

1. Matta direkt på betong med vct ≈ 0.70 som torkat 1 månad i RF = 60% vid 20°C:

Den provade linoleummattan eller PVC våtrumsmattan limmad med alkalibeständigt lim.

2. Matta på normal lågalkalisk avjämningsmassa torkad 2 veckor i RF = 60% vid 20°C:

Provad linoleummatta eller PVC våtrumsmatta limmad med alkalibeständigt eller akrylatlim.

3. Matta på snabbtorkande lågalkalisk avjämningsmassa torkad 2 dygn enligt ovan:

Provad linoleummatta eller PVC våtrumsmatta limmad med alkalibeständigt eller akrylatlim.

4. PVC standardmattan:

Den provade PVC standardmattan limmad med alkalibeständigt lim endera på en normal lågalkalisk som torkat under minst 2 veckor i RF = 60% vid 20 °C eller på en snabbtorkande lågalkalisk avjämningsmassa som torkat under minst 2 dygn i RF = 60% vid 20 °C.

Referenser

[1]Bertil Persson. Betong anpassad för ett effektivt byggande. Bygg & Teknik 7/96. 1996. Stockholm, 27–31.

[2]Bertil Persson. Krympsprickor i väggar å Kv. Potatisåkern, Limhamn. Rapport U 99.14. LTH Byggnadsmaterial. Lund (1999) 3 sid.

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

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

[5]Arne Elmroth. Livscykelanalys av hus med trä- och betongstomme. V-byggnadsdagen (1999).

[6]Jan Asztély. Avjämningsmassorna och miljön. Betong nr 4. Stockholm (1995) 16–17.

[7]Helene Wengholt Johnsson. Val av golvsystem påverkar inomhusmiljön. Betong nr 4/95 (1995) 18–19.

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

[9]Johan Alexandersson. Betong, avjämningsmassor och miljön. Betong nr 1/96 (1996) 24-25.

[10]Marina Fritsche. Fukt- och alkalispärrar kan påverka emissionsförloppet. Betong nr 3/96 (1996) 15–16.

[11]Marina Fritsche, Anders Sjöberg & Helene Wengholt Johnsson. Golvlimmet påverkar emissionen från golvsystem. Betong nr 1/97 (1997) 22–23.

[12]Anders Sjöberg. Nedbrytning av golvmaterial på betong. Betong nr 1/99 (1999) 15–16.

[13]Hans Gustavsson. Golvmaterial på olika typer av fuktiga betongunderlag – Översikt och kommentarer med inriktning på kemisk nedbrytning och emission. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås. Rapport 1996:25 (1996) 27 sid.

[14]Anders Sjöberg. Emissioner från och transportmekanismer i belagda be-

tonggolv. Nordisk Betongforskningsmöte. Reykjavik (1999) 122–124.

[15]Anders Sjöberg. Härdningssätt för provkroppar. Diskussion vid Nordisk Betongforskningsmöte. Reykjavik (1999).

[16]Bertil Persson. Snabbtorkande betong gav ej upphov till sjuka hus. Betong nr 4/95 (1995) 20–21

[17]Bertil Persson. Problem vid mattläggning på högpresterande betong - inverkan av ytans fukttillstånd. Betong nr 4/96 (1996) 21–23.

[18]Bertil Persson. Uttorkning av ytfukt i byggfuktfri betong. AMA-nytt Informationsdel AF – Mark – Hus 1/96. 1996. Stockholm (1996) 20–23.

[19]Bertil Persson. Plastmattor limmade till betong – karbonatisering och emissioner. Bygg & teknik 7/98. Stockholm (1998) 45–49.

[20]Bertil Persson. Samverkan mellan golvmaterial och betong. Rapport U 98.09. LTH Byggnadsmaterial. Lund (1998) 112 sid.

[21]Bertil Persson. Uttorkning och emissioner hos belagda betonggolv med glasfillerinblandning. Rapport U 99.02 LTH Byggnadsmaterial. Lund (1999) 97 sid.

[22]Bertil Persson. Kompatibilitet mellan golvbeläggningar på betong med avseende på emissioner, fukt och karbonatisering. Lägesrapport 10A. Rapport U99.09. LTH Byggnadsmaterial. Lund (1999) 31 sid.

[23]Bertil Persson. NORDTEST för kontroll av självuttorkning hos betong. Bygg & Teknik 5–6/99. Stockholm (1999) 5: 49-52, 6: 58–60

[24]Produktfaktablad. Tarkett AB. Stockholm och Nässjö. 1995, 1999.

[25]Birgitta Ek-Olausson. Emissionsprovning av material. Rapport 99K7 0190. Kemi och Materialteknik. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1999) 3 sid.

[26]Birgitta Ek-Olausson. Emissionsprovning av material. Rapport 99K7 0191. Kemi och Materialteknik. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås (1999) 2 sid.

[27]Bertil Persson. Fukt i betong efter olika härdningssätt. "Moisture in Concrete Subjected to Different Kinds of Curing." Materials and Structures 30. RILEM (203, 1997) 533–544.

[28]Bertil Persson. Självuttorkning och dess betydelse inom betongteknologin. "Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology." Materials and Structures 30. RILEM (199, 1997) 293-305.

[29]Bertil Persson. Kemisk krympning och självuttorkning hos cementbruk. "Chemical Shrinkage and Self-desiccation in Cement Based Mortars." Concrete Science and Engineering. (1999).

[30]Jonas Carlsson. PEAB AB. Personlig information (1999).

[31]Bertil Persson. Självkompakterande husbyggnadsbetong i Okayama, Japan – och i Malmö. Husbyggaren 2/99 (1999) 6-13. □

ISOLOCK®
Gör 2-glasfönster till effektiva 3-glasfönster
www.isolock.nu

Modern betongteknologi efter nya recept. Husbyggaren 2/2006, 32-36.

BETONG Miljökrav genomsyrar hela samhället. Betong ingår i allt byggande och det är därför viktigt att betongen miljöanpassas med hänsyn till växthuseffekten och med tanke på att naturgrus är en ändlig resurs.

Modern betongteknologi efter nya recept

Av BERTIL PERSSON, docent, Bara

Betong består i sin enklaste form av cementlim (cement), stenmaterial (naturgrus eller krossat berg) och vatten. Om 30 år kommer ingen att kunna förstå hur en så värdefull, ändlig resurs som naturgrus kunde få användas till betong.

I Japan får naturgrus under inga omständigheter användas till betong. Här dammsögs till exempel Hiroshimas omgivningar på grus i samband med rekonstruktionen efter stadens förstöring år 1945. Om inte ett betongprojekt kan genomföras utan naturgrus i Japan blir det inte av. Till exempel Nukui-dammen nära Hiroshima fick uppföras först efter det att allt betongmaterial togs från det närliggande berget under och mycket nära dammbygget.

Det är stort gemensamt ansvar att se till att denna utveckling når Sverige så snart som möjligt. Naturgrus är en ändlig resurs som är nödvändig som källa och för rening av dricksvatten för framtida generationer. I rullstensåsar tas och renas en mycket stor del av vårt dricksvatten – människans viktigaste födoämne näst efter luft.

Naturgruset har tagit slut

I närheten av våra storstäder finns inget naturgrus kvar eftersom det till stor del har använts till asfalt- och betongtillverkning. Asfalt tillverkas numera av krossat berg, till exempel kvartsit, och uppfyller på så sätt kravet på resurssnålt byggande. Även långt från storstäderna, som i närheten av Vislanda, finns inget naturgrus att uppbringa eftersom detta har ”dammsugits” av de lokala betongtillverkarna.

Det går dock mycket bra att använda krossade material till betongtillverkning. Just i Vislanda har ett examensarbete vid Abetong visat att allt naturgrus på ett enkelt sätt kan bytas ut mot krossat urberg[1]. Urberg finns i hela Sverige utom i sydvästra Skåne där dock såväl krossad kvartsit som krossad amfibolit sedan länge har använts till betong.

Användning av naturmaterial till krossat i betong kräver att betongrecepten noga studeras före det att utbytet sker.



FÖRFATTAREN

Bertil Persson docent i Byggnadsmaterial. Tidigare LTH (17 år) och Skanska (19 år).

Nya materialkurvor och de befintliga kornkurvorna matas in i ett nyligen framtaget datorprogram som sköter resten och levererar nya recept med krossat material[2]. Betongfabriken får oftast kompletteras med ett par nya silobyggnader för att detta materialbyte ska bli möjligt – från en resurskrävande tillverkning till en miljövänlig.

Resultatet blir en betong med krossat

Fortsättning s. 20 ▶



Oval pelare i självkompakterande betong med ideal partikelfördelning. Foto: Giovanni Terrasi, CH-Lenzburg

Annons
1/1 sida

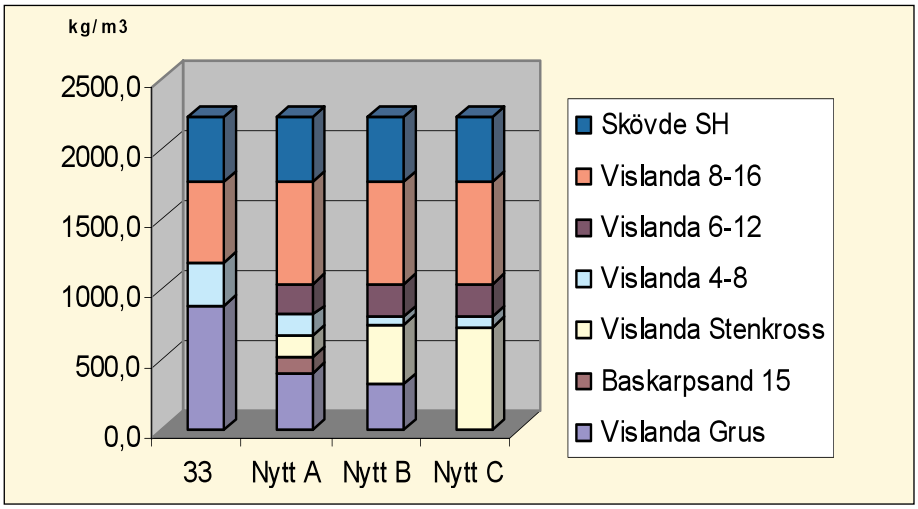


Fig 1. Successivt utbyte av naturgrus mot stenkross[1].

material, en betong som inte mycket skiljer sig från en resurskrävande betong baserad på naturgrus. Betongen blir på så sätt ett mycket mera naturvänligt material med krossat berg än när den är baserad på en mycket begränsad naturresurs, vilken bör sparas till framtida generationer. Detta är vårt gemensamma ansvar.

Arbetstillfällen sparas

För betongfabrikerna vid Vislanda hade rullstensgrus räckt till ytterligare cirka ett års produktion av betong. Sedan hade gruset varit slut, och därmed också betongproduktionen, om inget hade gjorts. Successivt byttes det naturliga materialet mot krossat berg, vilket medförde att betongen blev starkare och fick en bättre gjutbarhet[1], Fig 1.

Finmaterial från krossad ballast innehåller mycket mer partiklar i storleken < 0.05 mm än finmaterial från naturgrus. Ett byte från naturgrus till krossat material gav därför ett stort tillskott av material i detta storleksområde där cementet annars dominerar[1]. Alla optimerade recept hade likvärdigt eller mindre vattenbehov, detta trots att en del naturgrus ersattes med krossat material. Filler, det vill säga partiklar < 0.125 mm, ”Baskarp 15” gav kronkurvan ett något bättre utseende men inga tydliga resultat på förbättrad betong. Inblandningen av stenkross gav inga märkbara negativa effekter på vattenbehovet. Försöken visade att allt naturgrus kunde ersättas med stenkross med mycket goda resultat.

Dock var fullskaleförsök i produktion önskvärda. Försök i liten skala med bara torra ballastmaterial skulle också kunna göras för att få större noggrannhet på vattenbehovet[1].

Bytet från naturgrus till stenkross var ett miljömål hos Abetong men gav också ekonomiska fördelar då stenkross är ett material med lägre kostnad än naturgrus.

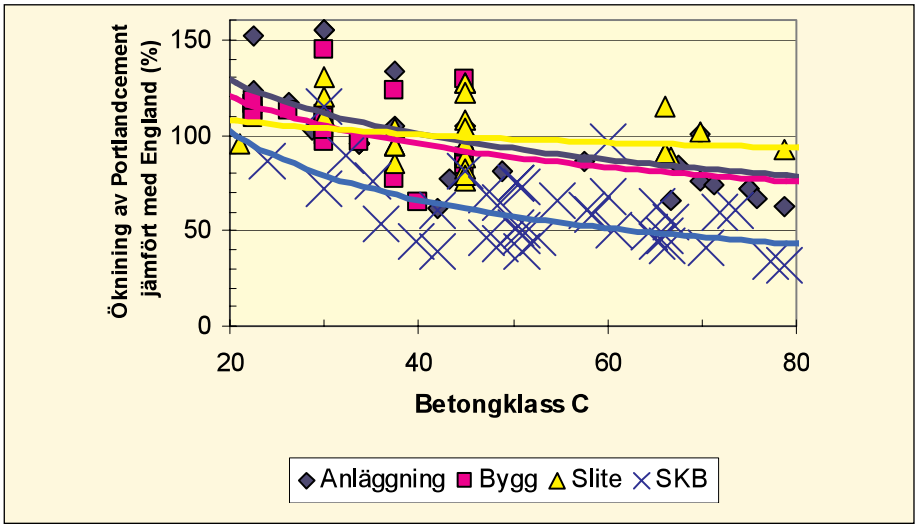


Fig 2. Ökning av Portlandcement i svenska betonger jämfört med engelska [3]. Anläggning = cementtyp. SKB= självkompakterande betong.

En översyn av hållfasthetsmarginalerna visade också att det fanns utrymme för en minskad mängd cement i recepten vilket gav en mer ekonomisk betong. Dock bör då även krav för tidig hållfasthet beaktas. En samtidig inblandning av stenkross kan ge positiv effekt då finmaterialet liknar det hos cementen[1].

Datorprogram god hjälpreda

Teorin bakom ett nytt datorprogram för proportionering av betong bygger på att det finns en ideal fördelning av partikelstorlekar för varje betong. Rent konkret talar man om en ”idealkurva”. Vilken idealkurva som är aktuell beror på önskad tryckhållfasthet, maximal stenstorlek och kompakteringsmetod.

Betongens viktigaste egenskap är tryckhållfastheten. Betongens tryckhållfasthet bestäms till största del av förhållandet mellan vatten och cement – det så kallade vattencementtalet. Idealkurvorna har tagits fram genom omfattande tester och bygger alltså på empiri. En betong med korrekt proportionerade delmaterial har en resulterande siktkurva som ligger mycket nära idealkurvan. Genom programmet fastställs vilken idealkurva som ska gälla.

Programmet tar genom en mycket stor databank fram siktkurvor för alla ingående material – även cement. Därefter beräknas mängden (andelen) cement som ska ingå för att erhålla önskat vattencementtal. Slutligen proportionerar programmet resterande material på ett sådant sätt att den resulterande partikelfördelningen avviker så lite som möjligt från idealkurvan.

Användarvänliga och lättfattliga grafiska gränssnitt hämtar indata från användaren. Ett fullständigt betongrecept med krossad ballast framställs som också tar hänsyn till eventuell fukt i delmaterialen. En beräkning av materialkostnad och mängder för eventuella tillsatsmedel ingår, såsom andel flygaska, silikastoft och slagg.

Programmet är mycket lättanvänt. Användaren behöver inte ha full förståelse för den bakomliggande teorin. Programmet ser till så att användaren inte gör några orimliga val[2]. Optimerade recept medger ett förenklat utbyte av naturmaterial (grus) till krossat berg och därmed lägre kostnader och mindre miljöpåverkan.

Optimerade recept ger också en självkompakterande betong, som annars kan vara svår att proportionera med varierande siktkurvor hos ballasten.

Programmet erbjuder ett enkelt sätt att katalogisera recept efter en mängd olika parametrar. Siktkurvor administreras centralt och kan hämtas från en heltäckande databas via Internet. Programmet för även en historik över fuktdata för de ingående materialen.

Inverkar på växthuseffekt

Varje tillverkat kg Portlandcement genererar cirka 1 kg koldioxid. Stora ansträngningar har gjorts i cementfabrikerna på senare år, och görs fortfarande, till exempel i Slite, i syfte att elda med avfallsbränsle i stället för olja. Men detta är inte tillräckligt. Portlandcementet upplevs fortfarande som en stor miljöbov. Omkring sju procent av världens samlade industriella koldioxidsutsläpp kommer från tillverkningen av Portlandcement. Det är därför viktigt att byta ut så mycket som möjligt av Portlandcementet mot restmaterial i syfte att minska miljöbelastningen och därmed göra betongen mer miljöanpassad. Annars kan cementets tidsålder vara ute med ett allt mer ökat träbyggande som följd.

Goda alternativ finns till användning av enbart Portlandcement som bindemedel i betong. I Sverige används redan ett fillercement Bygg med cirka 14 procents kalkstensmjöl. Upp till cirka 70 procent av Portlandscementet kan dock bytas ut mot slagg som finns att tillgå över hela Europa. Upp till hälften av Portlandscementet går att byta mot flygaska som i Danmark, som också är tillgängligt internationellt – dock inte i Sverige eftersom mycket lite stenkol används för energiproduktion här.

I Norge har det redan införts ett miljöcement där en stor del av Portlandscementet ersatts med slagg. I England är det gängse att byta ut hälften av Portlandscementet mot slagg, Fig 2[3]. Genom att hälften av Portlandscementet bytts ut mot slagg i England blir också behovet av Portlandscementet mycket lägre där jämfört med i Sverige. För normala betonger används dubbelt så mycket Portlandscement i Sverige jämfört med i England, vilket är ett veritabelt cementslöseri som kan ha en inverkan på växthuseffekten.

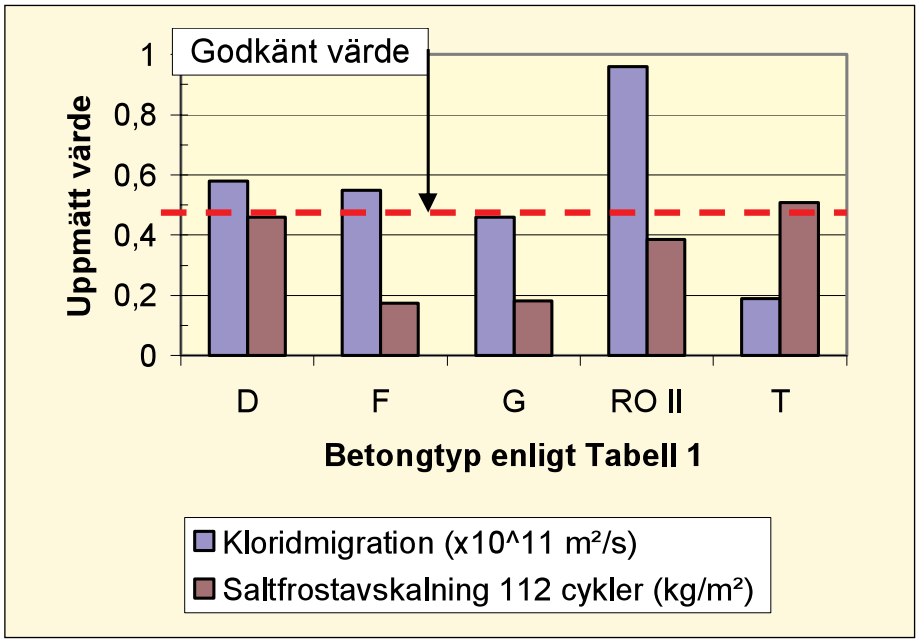


Fig 3. Klorinträngning och saltfrostavskalning i betonger avsedda för Fehmarn Bält[4].

För självkompakterande betong är Portlandcementökningen dock ”bara” cirka 60 procent jämfört med England vid konstant hållfasthet till följd av att självkompakterande betong innehåller en stor del filler. Restmaterial eller filler kan således också ersätta en stor del av Portlandscementet åtminstone för husbyggnad där beständighetskraven inte är så stora.

I Tyskland används ofta cement med upp till cirka 70 procent slagg just för att klara av beständighetskrav för kloridinträngning bättre än vad ett Portlandcement gör.

Slaggbetong till Fehmarn Bält

I ett examensarbete i samarbete med Skanska studerades ett antal betonger avsedda för betonger till Fehmarnbältförbindelsen[4]. Kraven var mycket stora beträffande beständighet i synnerhet mot kloridinträngning. Om klorider från havsvatten eller tösaltning når betongens armering börjar stålet att rosta och be-

Fortsättning s. 23 ▶

Tab 1. Betonger till Fehmarnbältförbindelsen (kg/m³, etc.)[4].

Recept	D	F	G	RO II	T
Kross 8-16	496	494	580	876	495
Natur 0-8	699	728	800	727	714
Natur 0-2	505	465	220	149	521
Flygaska	89	55			
Glassfiller			60		
Cement Aalborg (CEMI)	375				
Cement Degerhamn (CEMI)		440	420	438	
Slag cement (CEMIII. 68 procent slagg)					470
Silikastoft Elkem (granulat)	35	18	21		
Luftporbildare (10 procent g/m³)	0.498	0.501	0.500	0.482	0.498
Flytmedel (35 procent)	5.25		4.24	5.92	3.52
Vatten	191	172	162	171	183
Vattencementtal	0.38	0.38	0.37	0.39	0.39
Slump (flow) (mm)	690	725	720	150	737
Densitet	2247	2300	2306	2368	2281
Ballastandel (> 0.125. vol. procent)	0.64	0.64	0.60	0.66	0.65
Lufthalt (procent)	6.4	6.2	6.3	6.1	5.7
28-dygnshållfasthet (100 mm kub. MPa)	61	70	64	63	79
Kloridmigration (x1012 m³/s)	5.8	5.5	4.6	9.6	1.9
Saltfrostavskalning 112 cykler (kg/m³)	0.461	0.174	0.182	0.387	0.509

D = dansk flygaskabetong; F = flygaskabetong; G = glassfillerbetong; RO II = referensbetong; T = tysk slaggbetong

tongens ytskikt spjälkas så småningom av.

Detta skedde till exempel på Ölandsbron, då den bara var ett tiotal år gammal. Kostnaden för reparation av Ölandsbron blev flera gånger högre än kostnaden för den ursprungliga Skanskaentreprenaden. Bland andra cement i examensarbetet användes slaggcement där 68 procent av cementet utgjordes av slagg och 32 procent av Portlandscement som aktivator, Tab 1[4].

Alla betonger erhöll godkända värden på saltfrostavskalning främst till följd av att tillräckligt hög lufthalt i betongen, cirka 6 procent, Fig 3. Däremot översteg kloridinträngningen i referensbetongen (= traditionell svensk anläggningsbetong) vida godtagbara värden, cirka 5 gånger så stor kloridinträngning i referensbetongen som för slaggbetongen. Det berodde främst på att slaggen i den tyska betongen band mycket mer klorider än vad referensbetongen gjorde.

Slaggbetong till Fehmarnbältförbindelsen kan dessutom komma att minska belastning av koldioxid på atmosfären med cirka 68 procent jämfört med referensbetongen med 100 procent Portlandscement som bindemedel. Om referensbetongen skulle uppfylla rimliga krav på kloridinträngning borde cirka 4 procent av Portlandcementet bytas ut mot restmaterial av silikastoft som för betongerna F och G, Tab 1, Fig 3. Med denna enkla åtgärd halverades kloridinträngningen jämfört med referensbetongens.

Detta har redan skett såväl vid Öresundsförbindelsen som vid Citytunneln i Malmö vid vilka för övrigt Portlandscementförbrukningen är cirka 70 kg/m^3 mindre än för traditionella svenska anläggningsbetonger. Resterande restmaterial kan lika väl bestå av flygaska som glasfiller eftersom kloridinträngning förefaller vara lika för dessa bägge betongtyper, Fig 3[4]. □

Referenser

1 Oscar Henriksson. Optimal partikelfördelning för förbättrad reologi hos betong med krossballast. Examensarbete. TVBM-5060. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2005. 35 sid.

2 Mikael Järleberg. Datorbaserad proportionering av delmaterial i betong enligt teorin om ideal partikelfördelning. Examensarbete. Samhälle, ekonomi och teknik. Halmstad högskola. Halmstad. 2006.

3 Christer Isgren. Betongrecept. Byrne Brothers. London. 2006.

4 Dimitrios Boubitsas and Katarina Paulou. Självkompakterande betong för havsmiljö. Examensarbete. TVBM-5048. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2000. 55 sid.

Annons
1/2 sida

Modern tunnelbetong skonar miljön.
Husbyggaren 1/2004, 44-52.

Modern tunnelbetong skonar miljön

AV DOCENT BERTIL PERSSON

Sydsverige står inför två tunnelprojekt där inklädnad kommer att ske med stora mängder betong, dels i Hallandsås, dels i Citytunneln i Malmö. Ett viktigt delmål för båda projekten är att modern, resurssnål teknik används.

Krav som framförallt skall uppfyllas är liten miljöpåverkan, snabb hållfasthetstillväxt vare sig prefab eller platsgjuten betong används, beständighet samt motståndskraft mot brand. Modern tunnelbetong, där en del av bindemedlet utgörs av restmaterial som flygaska/silikastoft, har använts bland annat i Stora Bältförbindelsen och i Japan. I dessa projekt har det visat sig att utsläpp av växthusbelastande koldioxid kan begränsas avsevärt om modern tunnelbetong används i stället för en mera traditionell.

För fjorton år sedan genomfördes en inklädnad av Stora Bälttunneln på samma sätt som nu planeras ske av Citytunneln[1]. Betongelement tillverkas på fabrik och monteras som en förstärkning inifrån, runt tunnelväggen, omedelbart efter det att tunnelborrmaskinens, TBM-ens, framdrift. I Japan kläddes tunnelväggen på plats med betong som göts inom TBM-ens arbetsområde[2]. I bägge fallen var kraven stora på en snabb hållfasthetstillväxt och god beständighet hos betongen. Betongrecept för de bägge tunnlarna framgår av Tabell 1 samt graderingen av material i färsk betong i figurerna 1–2. Betongen till Stora Bälttunneln var mer svårgjuten eftersom den utförda graderingen av allt material i betongen visade sig ligga långt från en jämförelsekurva, så kallad ideal partikelfördelning[3]. Vid Stora Bält tillverkades betongelement i en fältfabrik. Varvtiden mellan gjutningarna var åtta timmar, det vill säga tre element göts varje dygn i samma form. Mycket kraftig formvibrering utfördes i syfte att kompaktera betongen. Elementen med tjockleken 0,40 m värmehärdades därefter under sex timmar i 55°C. I Okayama (betongtjocklek 0,30 m) göts betongen på plats i slutet av TBM-en och här-

Forts sid 00



Bild 1 – Okayamatunneln, 1998.

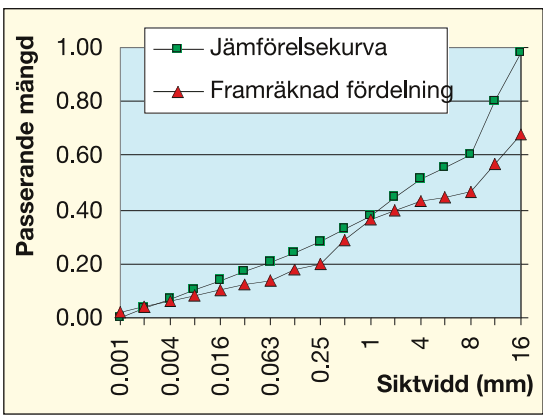


Fig 1 – Partikelgradering för betong till Stora Bälttunneln.

Annons
1/1-sida

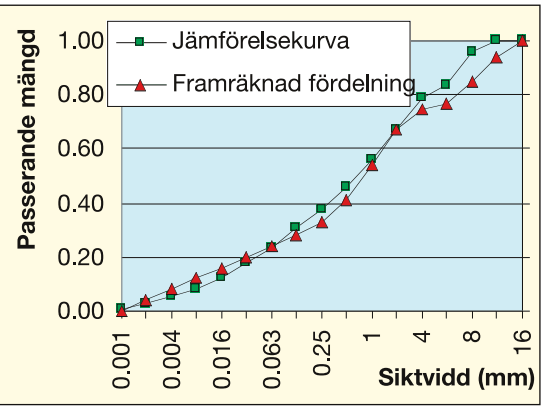


Fig 2 – Partikelgradering för betong till Okayamatunneln.

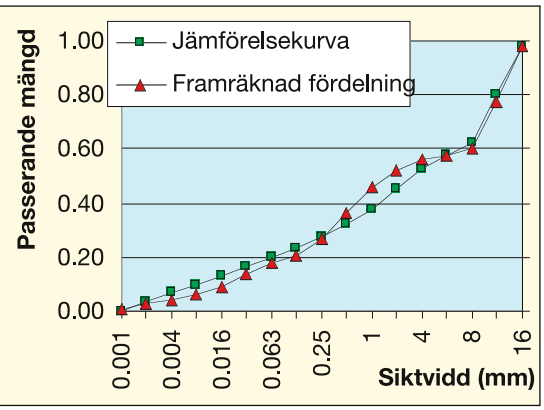


Fig 3 – Partikelgradering för betong I till Hallandsåstunnlarna.

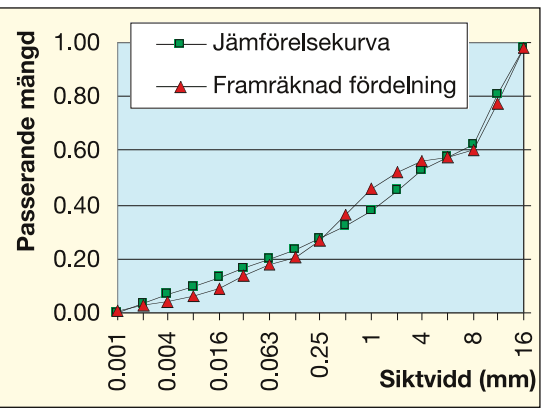


Fig 4 – Partikelgradering för betong II till Hallandsåstunnlarna.

Forts från sid 00

dades direkt. I Okayama följde graderingen av betongens material i stort sett en ideal kurva varför en ypperlig gjutbarhet erhölls, så kallad självkompakterande betong (SKB, Fig 2).

Ju längre från jämförelsekurvan den aktuella materialfördelningen för betongen befinner sig, desto sämre blir gjutbarheten[3]. Betongen i Japan krävde dock mer bindemedel än till Stora Bälttunneln, varav cirka 400 kg/m³ utgjordes av Portlandcement jämfört med 335 kg/m³ Portlandcement i Danmark[1-2].

Försöksbetong till Hallandsås

Den tillgängliga varvtiden i fallet Hallandsås var tolv timmar[4]. Detta innebar att cirka tio timmar var tillgänglig härdningstid mellan gjutning och avformning eftersom formen även skall användas för rengöring och armeringsarbete. Troligtvis får även kylning användas eftersom elementtjockleken i detta fall är 0,70 m med en stor värmeutveckling i betongen som följd. Högsta tillåtna temperatur under tillverkningen är 55°C med hänsyn till risken för ettringitbildning, en reaktionsprodukt som annars kan bryta ned betongen. Efter avformning får elementen skyddas så att inte en temperaturchock uppstår, varvid de också kan spricka (högst 25°C temperaturskillnad mellan den inre och den yttre delen av betongen). Behovet av kylning får fastställas då väl betongreceptet bestämts. Även brandmotståndet bör kontrolleras hos Hallandsåsbetongen då den väl har proportionerats. Flera stora tunnelbränder i Europa på sistone har aktualiserat frågan, till exempel vid engelska kanaltunneln men även under Stora Bält, där stor brandspjälkning uppstod – bara någon centimeter återstod av tunnelväggens utsida efter branden. Mot denna bakgrund kommer Vägverket att rekommendera inblandning av ca 2 kg/m³ 18 µm polypropylenfiber i tunnelbetong, även sprutbetong. Beständighetskraven för Hallandsåstunneln är inte så stora som för Stora Bälttunneln eftersom inget havssalt och inga sulfatjoner förväntas finnas i grundvattnet runt tunnlarna på åsen. Sulfatresistent cement är därför knappast av nöden i Hallandsåsbetongen varför ett mera reaktivt så kallat normalalkaliskt cement kan nyttjas. Det förväntas inte heller att frost eller saltfrost skall inträffa i de delar av tunnlarna där betongelement skall användas varför inga krav finns i detta avseende på ett maximalt vattenbindemedelstal, vbt.

Vatten-/bergtrycket är dock mycket



Bild 2 – Tunnelvägg i Okayama med betongform runt TBM, 1998.

stort i Hallandsås varför betongen skall uppfylla en sluthållfasthet av 65 MPa, vilket motsvarar cirka vbt = 0,42. Produktionscykeln för elementen krävde minst 2 MPa i spräckhållfasthet samt 20 MPa i tryckhållfasthet vid avformning tio timmar efter gjutning. Några försök har genomförts med betong med vbt = 0,42 (Tab 2). Såväl betong I som II hade en i det närmaste ideal gradering av delmaterialen vilket gav en mycket god gjutbarhet (Fig 3–4). Färre svackor eller pucklar fanns på partikelkurvorna än vad fallet var i partikelfördelningen till den färska Stora Bältbetongen, (Fig 1). Detta förklarade den förbättrade gjutbarheten. Andelen bindemedel som utgjordes av restmaterial var 15 procent för Hallandsåsbetong I och II, mittemellan värdena för de tidigare redovisade danska och japanska betongerna. Detta innebär att utsläpp av koldioxid i samband med cementtillverkningen kan minskas med ungefär 15 procent eftersom flygaska/silikastoft redan hade förbränts en gång för annat ändamål, uppvärmning

respektive kiseljärntillverkning. Tillverkning av ett kilo cement generar ungefär lika mycket koldioxid till atmosfären, varför miljöeffekten är mycket stor vid användning av restmaterial i stället för cement[6]. Cirka sju procent av världens industriella koldioxidproduktion kommer från just cementtillverkning varför byte av cement mot restmaterial så långt detta är möjligt från hållfasthets- och beständighetssynpunkt innebär stora miljöeffekter. I betong II till Hallandsås ingick dessutom tolv procent kristallint kalkstensmjöl i cementen vilket ytterligare minskade miljöbelastningen. Betong I innehöll således 327 kg/m^3 Portlandcement medan betong II endast innehöll 292 kg/m^3 Portlandcement. Byggcement har använts bland annat till ett stort tryckbelastat gaslager i Getinge i Halland varför inga större betänkligheter torde finnas i fråga om cementets beständighet, förutsatt att en maximal härdningstemperatur av 55°C hålls. Luftporbildare användes i betong I och II i syfte att förbättra gjutbarheten. Även här är en miljöeffekt eftersom materialåtgången minskade motsvarande mängden tillsats luft, cirka tre procent utöver den naturliga lufthalten i betongen. Om luftporbildare uteläm-



Bild 3 – TBM i Okayama.

Annons 1/2-sida

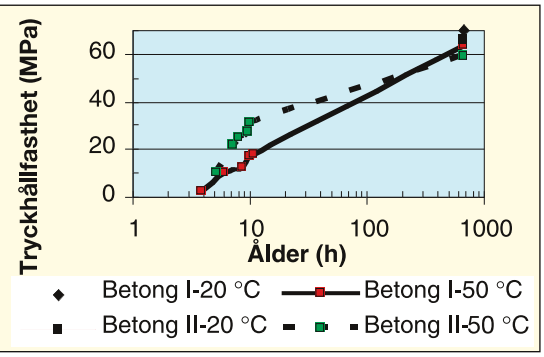


Fig 5 – Tryckhållfasthet hos betong till Hallandsåstunnlarna.

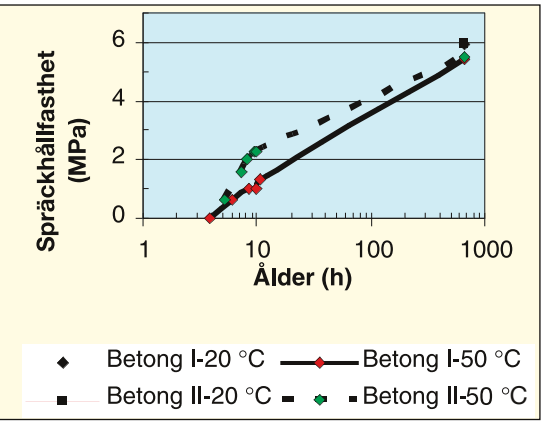


Fig 6 – Spräckhållfasthet hos betong till Hallandsåstunnlarna.

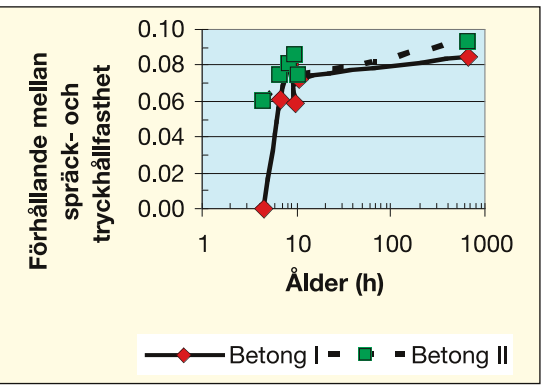


Fig 7 – Förhållande mellan spräck- och tryckhållfasthet i betong till Hallandsåstunnlarna.

nas ökar hållfastheten med cirka 10 MPa vilket kan erfordras i vissa tunnelavsnitt av Hallandsås, till exempel Möllebackszonen[7].

Tillverkning och provning

Allt material blandades först med varmt vatten under en halv minut samt därefter med flytmedel under 2,5 min. Efter blandning höll betongen 25°C. Arbetbarheten var god och väl anpassad för tillverkning av tunnelement vilken sker i välvda formar. Betongen bör därför vara ganska trögflytande för att inte rinna ur formen då betongen fylls i. Betongen formvibreras sedan under ett par minuter för att få en god kompaktering[1]. Lite vibrering behövde utföras för att fylla i 100-mm kubformar som användes i undersökningen. Ytan på den härdade betongen blev mycket slät med liten ytporositet vilket troligen var en följd av att restmaterial som flygaska/silikastoft användes. Efter gjutning förvarades kuberna i 50°C klimatkammare under tio timmar inför hållfasthetsprovningar som utfördes vid ung ålder. Efter tio timmar härdades betongen i 20°C fram till slutlig hållfasthetsprovning vid 28 dygns ålder. Tryckhållfastheten, det vill säga det tryck som tunnelbetongen kan utsättas för erhölls efter belastning med 1 MPa/s. Spräckhållfastheten, som tillsammans med tryckhållfastheten är avgörande för när betongen kan avformas, bestämdes i en tryckpress där en åtta millimeter bred linjal av stål fanns mellan betongkuberna (150 mm) och pressens tryckyta. Spräckprovet utfördes under en halv minut (resultatet erhölls genom att den observerade påkänningen multiplicerades med 0,64). Efter 28 dygn provades även betong som härdats vid 20°C hela tiden från gjutning till tryckprovning. Figurerna 5–7 visar hållfasthetsutvecklingen för de provade betongerna. Betong I klarade inte kravet på

Forts sid 00

Tab 1 – Betongrecept till Stora Bälttunneln samt till tunnel i Okayama (kg/m³).

Material	Stora Bälttunnel	Okayama tunnel
Makadam 8-16 mm	1400	
Makadam 4-8 mm		530
Grus 0-8 mm	500	
Sand		1130
Flygaska	27	100
Silikastoft	13	
Lågalkaliskt cement	335	
Snabbhärdande cement		400
Vatten, w	131	190
Vattenbindemedelstal, vbt	0.35	0.42
Andel restmaterial av bindemedlet (%)	11	20
Cementpulvertal, cpt	0.89	0.80
28-dygnshållfasthet (MPa)	[a] 100	[a] 50

Tab 2 – Betongrecept och egenskaper i färskt tillstånd hos provad elementbetong (kg/m³).

Material	Hallandsås I	Hallandsås II
Makadam 12-16 mm	534	540
Makadam 8-12 mm	320	324
Grus 0-8 mm	662	670
Sand 0-2 mm	235	238
Flygaska	38	39
Silikastoft	19	19
Lågalkaliskt cement	327	
Byggcement		331
Andel restmaterial (%)	15	15
Cementpulvertal, cpt (Portland)	0.85	0.75
Luftporbildare	0.100	0.100
Vatten	161	163
Flytmedel	4.90	5.62
Vbt	0.42	0.42
Densitet	2300	2330
Luftinnehåll (%)	3.3	4
Sättmått (mm)	40	80
Tryckhållfasthet (28 dygn, MPa)	70	66
Spräckhållfasthet (28 dygn, MPa)	5.9	5.9

Annons
1/1-sida

Forts från sid 00

tidig hållfasthetstillväxt vilket betong II gjorde. Betong I torde därför inte kunna användas i elementproduktion eftersom formparken binds för länge. Detta är välkänt i betongelementbranschen. Den långsamma hållfasthetsutvecklingen i betong I berodde till stor del på cementets sammansättning (cementet till betong I hade en låg C_3A-halt). Cementets kemiska sammansättning var avgörande för dess tidigare hållfasthetstillväxt tillsammans med malningsgraden hos cementet. En felaktig kemisk sammansättning för ändamålet kan dock inte helt kompenseras med en högre malningsgrad. Dessutom är det förenat med stora kostnader att finmala ett cement. Betong II uppfyllde kraven på 28-dygnshållfasthet, 66 MPa, även om betong I erhöll en något högre sluthållfasthet än betong II, 70 MPa, efter 28 dygns härdning i 20°C (Fig 5). I förhållandet mellan spräck- och tryckhållfasthet kan stora skillnader spåras mellan de bägge betongerna (Fig 7). Betong II betedde sig från avformningssypunkt mycket mer gynnsamt än betong I. Om inte avformningskraven hålls spricker ytan på betongen tidigt efter avformning, eventuellt kan sprickskikt även uppstå mellan armeringen och betongen vilket är oacceptabelt från beständighets- och förankringssynpunkt (armeringen skadas)[1]. Betong II klarade de uppställda kraven på hållfasthetstillväxt inom åtta timmar, medan minst dubbelt så lång tid krävdes för att betong I skulle få tillräckligt hög hållfasthet. Betong II hade också ett gynnsammare förhållande mellan spräck- och tryckhållfasthet än betong I, mellan 0,05 och 0,08 (Fig 7).

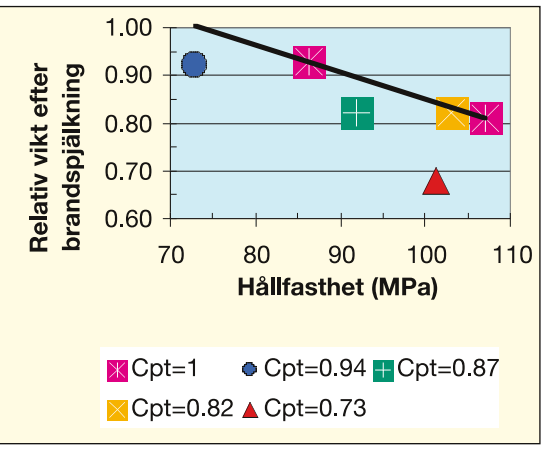


Fig 8 – Brandspjälkning hos betong till Citytunneln och hos SKB. Cpt = cementpulvertal.

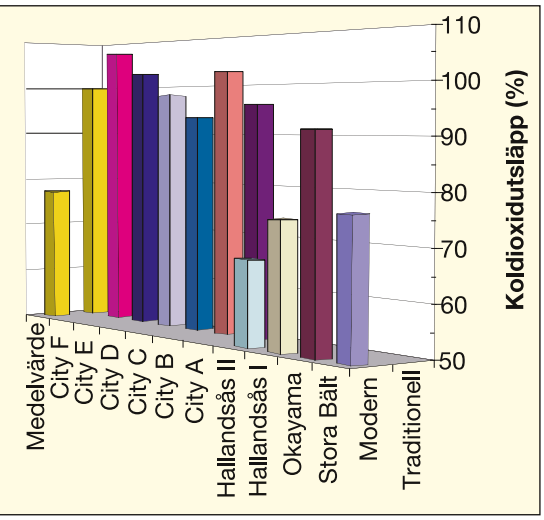


Fig 9 – Koldioxidutsläpp i samband med tillverkning av cement till provad tunnelbetong.

Traditionell tunnelbetong

Till Citytunneln i Malmö, provades sex traditionella svenska tunnelbetonger vid två upprepade brandförsök[8]. Stora betongplattor, 2,0 x 1,8 x 0,4 m, användes i syfte att simulera en del av tunnelväggen. Plattorna spändes så att betongen erhöll en inre påkänning i en riktning motsvarande den som förväntas uppstå i tunnelväggen till följd av marktrycket och ett tryck från TBM-en som skall användas för att driva en stor del av tunneln under Malmös centrum. Utvecklingen av hållfasthet och brandspjälkningen i samband med brandförsöken var häpnadsväckande varför en ytterligare resultatanalys var av nöden. Betong A var tämligen lättgjuten varför vbt troligen kunde hållas under så kallad ”target value”, vbt = 0,38, vbt = cirka 0,36[4]. Detta ledde till förhållandevis hög hållfasthet, 107 MPa, och stor brandspjälkning, 0,81 relativ medelvikt efter försöket. Då fibrer tillsattes i betong B kunde dock brandspjälkningen bemästras i enlighet med vad som är känt från tidigare omfattande

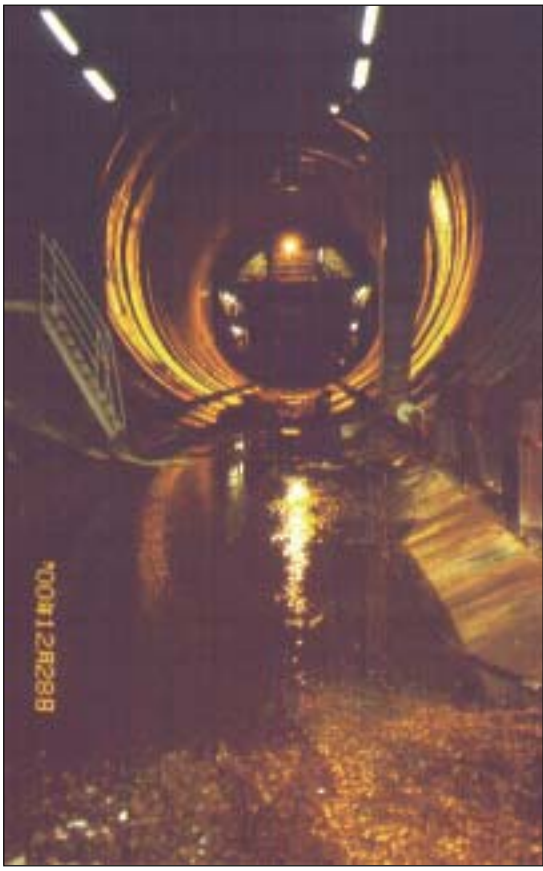


Bild 4 – Del av Hallandsåstunneln som klätts in med betong, 2000.

brandförsök[9]. Då silikastoft tillsattes försämrades däremot gjutbarheten radikalt varför betong C inte kunde tillverkas som planerat med ”target value”, vbt = 0,38 utan troligen erhölls ett betydligt högre vbt = cirka 0,49 efter extra dosering av flytmedel och därmed vatten på platsen för gjutningen[4]. Spädvattnet gav också upphov till en radikalt lägre hållfasthet i betong C än i betong A, 73 MPa i stället för 107 Mpa, det vill säga 44 MPa lägre tryckhållfasthet för betong C än för betong A. Då silikastoft tillsätts en betong brukar normalt hållfastheten i stället öka vid ett konstant vbt. Betong A kunde därför inte jämföras med betong C i fråga om brandspjälkning eftersom vbt var så olika. Då fibrer tillsattes betong D föreföll dessutom medelvikten efter brandspjälkning att öka vilket var en lapsus[4]. Om lika god gjutbarhet skall erhållas i en betong med som utan silikastoft bör även övriga delar av partikelfördelningen justeras så att inget partikel-

språng uppstår. Det vill säga även finsand måste tillföras betongblandningen[3]. Ett partikelsprång i partikelfördelningen hos en färsk betong kräver annars en extra tillsats av vatten som fallet var för betong C. Det är heller inte möjligt att utan vidare byta ut cement mot silikastoft i en betong eftersom silikastoft är mycket mer finfördelat än cement, cirka 1/100-del så stor korndiameter för silikastoft som för cement.

Gjutproblem med filler

Även för betong E uppstod gjutproblem då 100 kg/m³ kalkstensmjöl tillsattes tillsammans med en i viss mån ökad cementhalt i betong E. För att lösa gjutproblemen fick även i detta fall flytmedel tillsättas betongen på gjutplatsen och därmed även vatten varvid vbt = cirka 0,41 erhölls i stället för ”target value”, vbt = 0,38. Det är oftast svårt att tillsätta flytmedel på gjutplatsen eftersom en roterbil med en viss minsta roterhastighet krävs för att en god inblandning skall ske av flytmedlet. Efterdoseringen av flytmedel och vatten i betong E innebar att betong E erhöll en något lägre hållfasthet än betong A. Normalt ökar hållfastheten med 7 MPa då 100 kg/m³ tillsätts betong med konstant vbt, det vill säga cirka 114 MPa borde förväntats för betong E[10]. I betong E minskade hållfastheten i stället med 4 MPa jämfört med betong A, det vill säga 103 MPa, 11 MPa lägre värde än förväntat. Brandspjälkningen för betong E är därför även denna irrelevant vid ”target value”, vbt = 0,38 liksom den uppmätta brandspjälkningen för betong C. Då plastfibrer tillsattes betong F kunde brandspjälkningen bemästras i likhet med vad som var fallet för betong B. Brandförsöken med de traditionella betongerna med ”target value”, vbt = 0,38 visade vad som tidigare var känt nämligen följande[10]:

- Att brandspjälkning hos betong ökade vid minskande vbt = cirka 0,36 (betong A).
- Att brandspjälkning minskade något vid en ökning av vbt = cirka 0,41 (betong E).
- Att brandspjälkning minskade kraftigt vid en stor ökning av vbt = cirka 0,49 (betong C).

Resultaten från brandförsöken har därför korrelerats till hållfastheten även för tidigare brandförsök med SKB (Fig 8)[8-10]. I relation till tryckhållfastheten överensstämde resultaten väl med tidigare kunskap:

- Att relativa vikten efter brandspjälkning minskar med ökande hållfasthet hos betongen.
- Att relativa vikten efter brandspjälkning minskar med minskande cementpulvertal, cpt.
- Att brandspjälkning kan bemästras med fibrer.

Omräknat från innehåll av Portlandcement till utsläpp av koldioxid i samband med cementtillverkningen gav modern tunnelbetong och en mera tra-

Annons
1/2-sida

Tab 3 – Egenskaper och brandspjälkning hos betong provad till Citytunneln.

Material	City A	City B	City C	City D	City E	City F
Lågalkaliskt cement (kg/m³)	420	450	410	430	450	470
Kalkmjöl (kg/m³)					100	100
Polypropylenfibrer (kg/m³)		2		2		2
Silikastoft (kg/m³)			25	25		
Cementpulvertal, cpt	1.00	1.00	0.94	0.94	0.82	0.82
Tryckhållfasthet, fcc (MPa)	107	105	73	88	103	94
Relativ vikt efter brandtest 1	0.79	0.98	0.93	1.01	0.77	0.95
Relativ vikt efter brandtest 2	0.84	1.00	0.91	1.02	0.88	0.96
Medelvikt efter brandtester	0.81	0.99	0.92	1.02	0.82	0.96

ditionell betong vitt skilda effekter på miljön (Fig 9). Modern tunnelbetong erhöll i genomsnitt cirka 23 procent lägre miljöeffekt i fråga om koldioxidutsläpp i samband med tillverkning av cement till betongen (betong Hallandsås II cirka 33 procent lägre miljöeffekt än medelvärdet för den traditionella betongen). Enda sättet att bemästra den traditionella betongens miljöeffekt är att dra nytta av dess förhållandevis höga hållfasthet det vill säga att minska tunnelväggens tjocklek då traditionell betong nyttjas. Betongåtgången minskas därmed liksom cementförbrukningen[6]. ❑

Referenser:

1 **Bertil Persson.** Bakgrund till val av betong vid Stora Bältförbindelsen. Rapport U91.02. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1991, 102 sid.

2 **Bertil Persson.** Tunnel genom vattenförande sediment – utan föregående injektering. Bygg & Teknik 1/99. Stockholm. 1999, sid 28–29.

3 **Bertil Persson.** Ideal partikelfördelning i högpresterande betong. Betong 95/3. 1995. Stockholm, sid 6–8, 39.

4 **Bertil Persson.** ”Fire Test of Concrete Elements for Malmö City Tunnel – Notes”. Rapport 0310:01. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2003, 12 sid.

5 **Remissutgåva,** Tunnel 2004, Vägverket, Borlänge, 2003.

6 **Bertil Persson, Anders Johansson, Peter Johansson.** ”The Benefit of Using High-Performance Concrete for Prefabrication”. Concrete International. 1999, sid 58–62.

7 **Bertil Persson,** Borrade tunnlar för miljöns skull. Husbyggaren 1/2001. 2001, 20–24.

8 **Katarina Kieksi.** ”Fire tests of concrete elements for Malmö City tunnel”, Banverket, Borlänge, 2003, 4 pp.

9 **Lars Boström.** The Performance of Some SCC when Exposed to Fire. Report 2002:23. Fire Technology. Swedish National Testing and Research Institute, 37 sid.

10 **Bertil Persson.** ”Self-Compacting Concrete at Fire Temperatures”, TVBM-3110. LTH Byggnadsmaterial, Lund, 2003, 200 sid.

Annons 1/4-sida

Annons 1/4-sida

Modernt byggande förödande för energikonsumtionen. Bygg & Teknik 2004/05, 35-39.

Modernt byggande förödande för energikonsumtionen

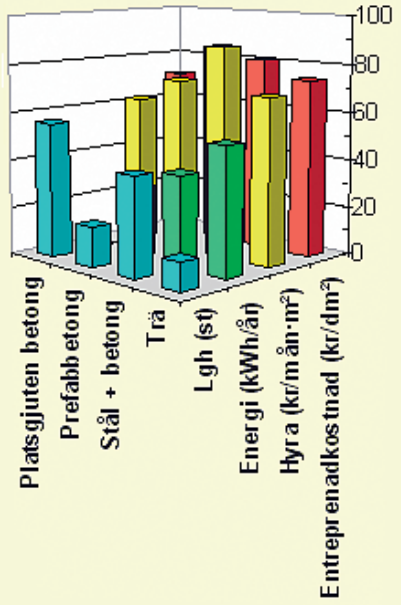
I artikeln redogörs för byggtekniska förutsättningar för ett modernt byggande samt tillhörande aspekter på innemiljö och livscykelenergi. Byggande sker i allmänhet utomhus varför materialets tålighet för fukt (regn och byggfukt) är av stor vikt i ett nordiskt klimat. God beständighet, isolering och ljudmiljö samt obrännbarhet, täthet och värmeåtervinning är andra krav som bör beaktas byggnadstekniskt. Energin som åtgår för att föra upp byggnaden utgör endast en mycket liten del av byggnadens totala energiåtgång under dess livscykel varför risken för suboptimering är stor om det billigaste huset väljs enbart baserat enbart på ett anbudsförfarande avseende material- och entreprenadkostnader. I artikeln ges också flera avskräckande exempel på hög energikonsumtion i samband med modernt byggande på Västra Hamnen, Malmö.

Sveriges billigaste bostadshus byggdes i betong

År 1999 genomförde Byggnadskostnadsdelegationen en jämförelse mellan ett antal bostadshus där huvudsyftet var att minimera entreprenadkostnaderna [1]. Fyra hustyper studerades:

1. Platsgjuten betong (Peab)
2. Prefabbetong (Peab)
3. Stål plus betong (NCC)
4. Trä (Skanska)

Samtliga hus utfördes i tre eller fyra våningars höjd. Av förklarliga skäl byggdes husen på enklast möjliga sätt varför endast stål plus betong-huset hade värmeåtervinning. Övriga hus hade endast frånluft med cirka 13 procent högre energiåtgång under husets antagna livscykel, 50 år, än om värmeåtervinning hade tillämpats [2]. I trähuset var ventilationen mellan 5 och 30 procent under ställda minimikrav. Fördelning av lägenheter, beräknad tillförd energi etc ges i *tabell 1* och *figur 1*. Byggnadskostnadsdelegationen jämförelse haltar betänkligt eftersom det inte är rimligt att jämföra entreprenadkostnaden eller hyran mellan ett flerfamiljshus (Peab) och ett studenthus (NCC) – ej heller ett hus med krav på kontantinsats (Peab) med övriga hus som ej var finansierade som bostadsrätter. Jämförelsen visar dock att det var möjligt att uppföra en byggnad i betong till en lägre entreprenadkostnad än en byggnad i trä. Betong får anses bättre uppfylla krav på tålighet avseende fukt (regn och byggfukt) än trä i ett nordiskt klimat. Samtliga golv och väggar i det platsbyggda betonghuset utfördes i självtorkande betong varför materialet erhöll en god tålighet mot byggfukt och problem med inbyggd fukt undveks. Väggarna i det platsgjutna betonghuset direktmålades, vilket bidrog till att hålla entreprenadkostnaden på en låg nivå. Även krav på god beständighet, god ljudmiljö, obrännbarhet och täthet var krav som byggnadstekniskt uppfylldes bättre med ett plastgjutet betonghus än med ett trähus. Det platsgjutna betonghuset var brett varför farhågor fanns för att badrum och kök skulle bli mörka i lägenheterna, speciellt i de lägenheter som ej var genomgående. Det har funnits synpunkter att planlösningen i så kallade ”tjockhus” bör spegelvändas så att kök och badrum, där man vistas en stor del av den del på dygnet då man är vaken, bör placeras i fasad. Å andra sidan visar en stor intervjuundersökning av hyresgästerna i de fyra projekten att man trivdes bäst i det platsgjutna betonghuset [1]. Möjligen gav val av ljusa färger på de direktmålade väggarna samt parkett och ljus klinker i det platsgjutna betonghuset en ökat trivselnivå jämfört med plastmattor på golven respektive traditionella tapeter. I fråga om beständighet, god ljudmiljö, obrännbarhet och täthet är betong ett odiskutabelt överlägset material. Exempel på god beständighet hos byggnader i betong är Pantheonteatern i Rom (byggd 27 f Kr) eller den väldiga Hagia Sofia-kupolen i Istanbul (532 e Kr). Det finns knappast någon byggnad i trä som är 1 500 år gammal, frånsett några japanska tempel där dock det mesta av byggnadens stomme har bytts ut successivt till följd av röta eller insektsangrepp. Konsten att tillverka cement, en av förutsättningarna för såväl det romerska väldets goda infrastruktur som den moderna civilisationens framväxt, gick dock förlorad under medeltiden



Figur 1: Entreprenadkostnader, hyra etc enligt Byggnadskostnadsdelegationens jämförelse [1].

Tabell 1: Entreprenadkostnader, hyra etc enligt Byggnadskostnadsdelegationen [1].

	Platsgjuten betong	Prefabbetong	Stål + betong	Trä
Typ (rok)	1–3,5	2	1–1,5	2–2,5
Entreprenadkostnad (kr/m²)	7 082	8 479	8 073	7 365
Lgh (st)	56	17	41	12
Beräknad tillförd energi (kWh/år)	?	29	38	53
Hyra (kr/mån·m²)	61	72	88	69
Ort	Malmö	Gävle	Jönköping	Växjö



*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, docent i byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola.*

för att återupptäckas år 1824 av *Joseph Aspdin*. Betong med Portlandcement ingår numera på något sätt i alla moderna byggnadsverk, om inte annat så i grunden. Förödande stadsbränder eller kyrkobränder är också en stor orsak till varför träbyggnader får en i förhållande till betong kort livslängd. Samma sak gäller stål där även korrosionsaspekten tillkommer, jämför WTC-katastrofen [3, 4]. God ljudmiljö och täthet är också egenskaper som talade till betongens fördel i tre av Byggnadskostnadsdelegationens jämförelse [1]. En av betongens stora nackdelar är energiförbrukningen vid tillverkningen av cement, cirka sju procent av jordens industriella produktion av koldioxid härrör därifrån [5].

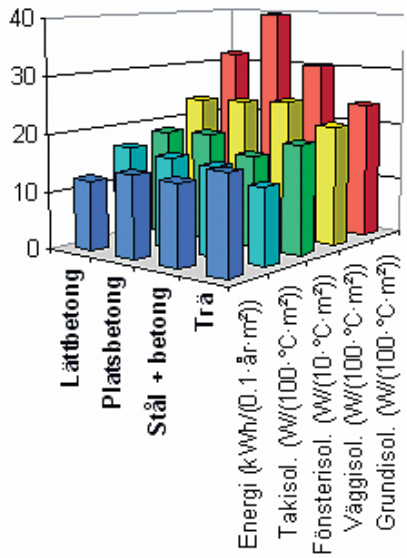
Låg produktionskostnad missvisande

Den diskussion som utmynnar i det enastående värdet av låga byggkostnader är ofta missvisande. Energikostnaden blir alltmer betydelsefull till följd av politiska åtgärder som avser att parera växthuseffekten, så kallad skatteväxling. Produktionskostanden för energin blir en allt mindre del av priset liksom är fallet för kraft baserad på petroleumprodukter, vattenkraft och kärnenergi. Därmed blir ett energimässigt korrekt byggande alltmer betydelsefullt att beakta – inte bara en låg entreprenadkostnad som man ofta stirrar sig blind på från politikers sida trots att man samtidigt inför alltmer skatt på energi. I själva verket står själva byggprocessen för en mycket liten del av totala energiåtgången för byggnaden under dess livstid – livscykelenergin [2] – även om man beaktar återbruk av till exempel trä då byggnaden en gång rivs [2]. Åren 1995–1999 genomfördes en stor studie på livscykelenergin för fyra projekt med hus, vilka var rätt snarlika de hus som ingick i Byggnadskostnadsdelegationens jämförelse, dock smärre projekt [2]. Följande hustyper studerades:

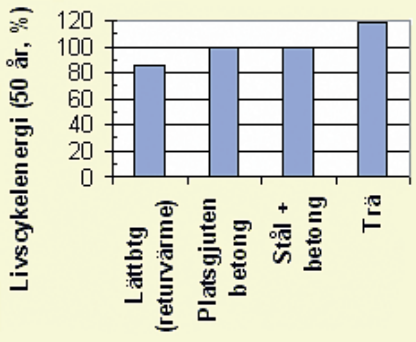
1. Lättbetong (NCC)
2. Platsgjuten betong (Skanska)
3. Stål plus betong (JM)
4. Trä (Skanska)

Lättbetonghuset var i två våningar medan övriga byggdes fyra våningar höga. *Tabell 2* och *figur 2* visar livscykelenergin inklusive byggande och återbruk för de studerade hustyperna. Lättbetonghuset med värmeåtervinning hade cirka 15 procent lägre livscykelenergi än betonghusen medan trähuset å andra sidan erhöll cirka 20 procent högre åtgång på energi under dess livstid än betonghusen troligen beroende av att ett trähus inte kan göras så vindtätt som ett betonghus eller så tätt som ett hus i lättbetong. På sikt har givetvis vindtätheten en betydande inverkan på energiåtgången under byggnadens livstid. Trähuset hade genomsnittligt den bästa isoleringen, dvs det lägsta U-värdet av de studerade hustyperna (cirka 18 procent lägre U-värde än övriga) varför förklaring inte kan ligga i olika isoleringstjocklek för konstruktionerna, snarare tvärtom. I *figur 3* visas relativ livscykelenergi jämfört med betonghusens livscykelenergi [2]. Ett högre energipris, framgent, kommer givetvis att ge livscykelenergin ett ännu större genomslag än vad som visas i figurerna 2–3 och därmed en direkt inverkan på hyran, fastighetsvärde etc. Det är således kortsynt att bygga billigt för att på sikt få höga hyror till följd av de accelererande energikostnaderna. Ett annat problem är att en allt större del av hyran i form av energikostnader läggs direkt på hyresgästen. Hyresgäster kan emellertid göra mycket lite för att påverka isolertjockleken i väggar eller möjligheten att återvinna värme. Han kan möjligen minska innetemperaturen någon grad Celsius och på så sätt minska energikostnaden någon procent men detta är marginellt i sammanhanget. Det är de fasta installationerna som avgör en byggnads livscykelenergi. I och med att energikostnaden förs över på hyresgästen får byggherren också ett allt mindre incitament av bygga effektivt med hänsyn till livscykelenergin.

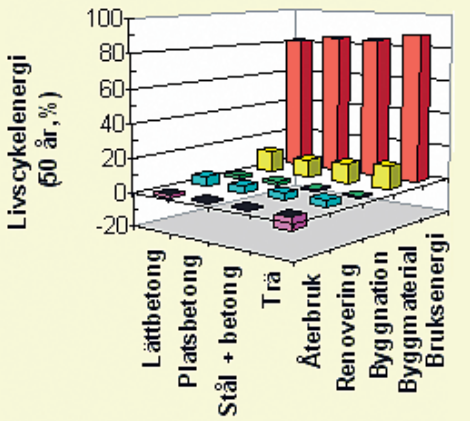
Huvudmålet har blivit att till varje pris bygga billigt, vilket må vara populistiskt men är på sikt förödande för landets energikonsumtion. *Figur 4* och *tabell 3* visar en fördelning av livscykelenergin för de 1995–1999 studerade husen [2]. Bruksenergin (uppvärmning, varmvatten, hushållsenergi etc) var helt dominerande. Mellan 81 och 88 procent av livscykelenergin utgörs av bruksenergi som hyresgästen bara till en mycket liten del själv kan påverka. I stort sett halva den energi som åtgår för att uppföra ett trähus kan återvinnas då byggnaden en gång rivs men detta gagnar föga eftersom trähuset relativt sett förbrukar mer energi än ett tätare hus i lättbetongen eller betong, tabell



Figur 2: Fördelning av livscykelenergi för studerade konstruktioner [2].



Figur 3: Relativ livscykelenergi jämfört med lättbetonghusets [2].



Figur 4: Fördelning av livscykelenergin för de 1995–1999 studerade husen [2].

Tabell 2: Livscykelenergi, U-värden etc för studerade konstruktioner [2].

	Lättbetong	Platsbetong	Stål + betong	Trä
Lgh (st)	6	8	15	16
Energi (kWh/(0,1·år·m²))	12	14	14	17
Takisol. (W/(100·°C·m²))	17	16	16	13
Fönsterisol. (W/(10·°C·m²))	19	19	16	19
Väggisol. (W/(100·°C·m²))	24	24	25	21
Markisol. (W/(100·°C·m²))	32	40	30	24
Ort	Malmö	Helsingborg	Stockholm	Växjö

Tabell 3: Livscykelenergi för studerade konstruktioner [2].

	Lättbetong	Platsbetong	Stål + betong	Trä
Bruksenergi	81	84	84	88
Byggmaterial	13	11	12	14
Byggande	2	2	1	1
Renovering	6	4	4	4
Återbruk	-2	-1	-1	-7

3. Under en livscykel vinns lika mycket genom värmeåtervinning, energitekniskt sett, cirka 15 procent av livscykelenergin, som förbrukas i energi då huset uppförs inklusive den energi som finns lagad i de inbyggda materialen, cirka 15 procent av livscykelenergin. Vidare vinner man mer på att bygga ett hus vindtätt i lättbetong eller betong, cirka 19 procent av livscykelenergin, än vad som totalt åtgår i energi för att uppföra hela huset, cirka 15 procent av livscykelenergin. Detta är jämförelser som borde vara en väckarklocka och mana beställare till eftertanke i samband med val av byggnadsstomme, isolertjocklek, fönstertyp och energiåtervinning. Stommässigt bör således ett hus med lättbetong eller betong väljas om man önskar en förhållandevis låg livscykelenergi. Vidare bör åtminstone värmeåtervinning av frånluften tillämpas tillsammans med god stomisolering och fönster som väl uppfyller gällande krav på tillräckligt låga U-värden. Anmärkningsvärt bristfällig är den i tabell 3 redovisade markisoleringen för de studerade husen, 65 procent högre U-värde i markisoleringen än i väggar och tak.

Optimal byggteknik för sunda hus

En människa kan ha ett sunt levnadssätt men knappast ett hus. Sjuka hus-begreppet är emellertid så inarbetat att principerna för motsatsen till detta bör beaktas vid val av byggteknik. Främst tänker man på innemiljön, i synnerhet inneluftens kvalitet, då krav ställs på ett sunt hus, men i ett vidare begrepp bör givetvis även omgivningsmiljön beaktas dvs livscykelenergin. Inneluftens kvalitet påverkas i sin tur av emissioner från delmaterial och av sekundäremissioner. Emissioner från delmaterial kan begränsas genom aktiva val med ledning av leverantörens materialdeklaration eller genom kompletterande emissionsmätningar. Sekundäremissioner, främst från golvsystem uppkommer på två till tre års sikt för att sedan pågå under många år och beror på reaktioner mellan olika delmaterial, ofta fuktberoende. För de ovan förordade stomsystemen bör i första hand betong av självtorkande kvalitet väljas för att begränsa nämnda sekundäremissioner till ett minimum men även ett avskiljande skikt i golvsystemet så att kontakt mellan känsliga material bryts på ett effektivt sätt, till exempel avjämningsmassa på betong för att bemästra alkaliska reaktioner med golvlim. I första hand bör dock parkett eller klinker väljas som golvmaterial, vilket kan ske till en relativt blygsam merkostnad i förhållande till entreprenadkostnaden. Exempel på ett stomsystem som uppfyller kraven visas i *bild 1*. Kvarsittande form av betong, vilken kan direktmålas, fylls med självtorkande betong, *bild 2*. Denna typ av stomme ger en tät byggnad, vilket i sin tur minskar livscykelenergin med cirka 19 procent. Vidare tål en betongstomme väl regn under byggnadstiden. Det är snarare så att betong kräver fukt för att nå hög hållfasthet.

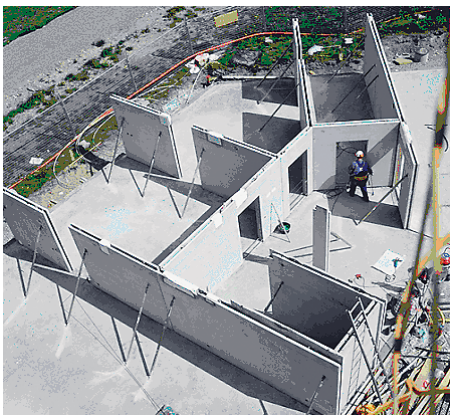


Bild 1: Kvarsittande form av betong, vilken kan direktmålas, fylls med självkompakterande betong.



Bild 2: Betonggolv med självtorkande betong på kvarsittande form minimerar risk för inbyggd fukt.



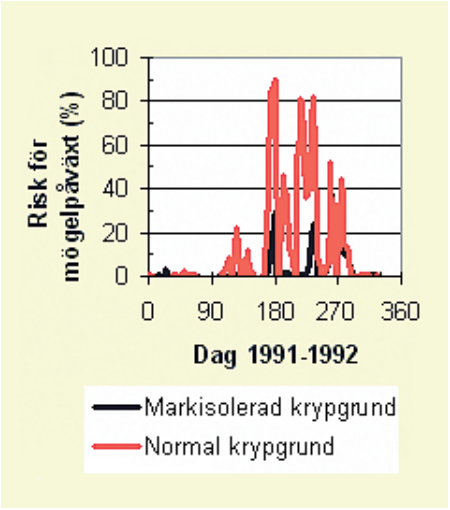
Bild 3: Golv av parkett och klinker minimerar risken för sekundäremissioner.

Igengjutning av väggar med betong ger också en i särklass god ljudkomfort i fråga om luftljud men även stomljud förutsatt att stegljudavskiljning sker i samband med ytbeläggning av golven. Givetvis måste fasadväggar i betong kompletteras med tillräcklig isolering för att kraven på låg energiförbrukning ska uppfyllas. Betonggolv som gjuts med självtorkande betong på kvarsittande form av direktmålningsbar betong minimerar risken för inbyggd fukt. Merkostnaden för självtorkande betong utgör en obetydlig del av entreprenadkostnaden. I ett livscykelperspektiv är självtorkande betong att föredra eftersom ingen yttre uttorkning krävs av betongen, vilket spar mycket energi och tid under byggprocessen. I Sveriges billigaste bostadshus användes självtorkande betong till projektet [1].

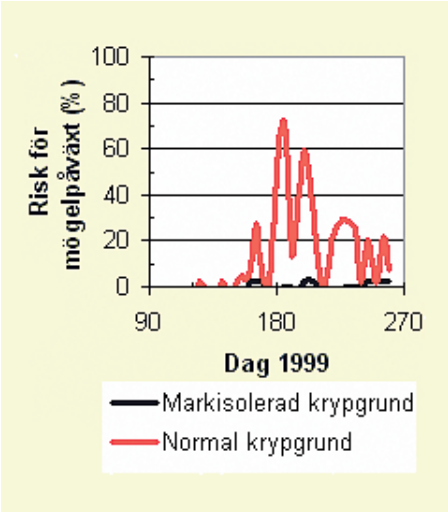
Golv av parkett och klinker minimerar i sin tur risken för sekundäremissioner till följd av olämpligt kombinerade golvmaterial, *bild 3* [6]. I många fall krävs dock fukttåliga ytbeläggningar, gummi, linoleum, PVC etc, varvid dessa skiljs från betongstommen på ett effektivt sätt genom lågalkalisk avjämningsmassa samt gärna också med ett lågalkalisk lim. På så sätt undviks på sikt sekundäremissioner från golvsystemet i och med att detta också är lagt på ett självtorkande underlag av betong.

Grundkonstruktioner

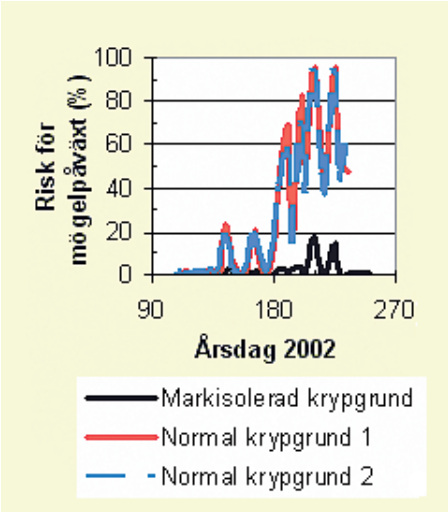
Grundkonstruktioner till sunda hus kräver ett särskilt kapitel eftersom dessa länge vållat problem såväl i fråga om stor energiåtgång som i fråga om påverkan på inneluftens kvalitet. Platta på mark är en okänd konstruktion i fråga om sekundärreaktionen till följd av fukt och nedbrytning av lim i en alkalisk miljö. Krypgrunden är en av många utdömd konstruktion vars problem accentureas genom växthuseffekten. Atmosfären innehåller sommartid alltmer vattenånga, vilken kondenseras på undersidan av golvet i den välisolerade krypgrunden [7]. Ett sätt att minska risken för kondens på bjälklagets underkant är att lägga lättklinker på marken under hela krypgrunden, med en fiberduk, över och under lättklinkern. På så sätt ökas temperaturen i krypgrunden med att par tre grader Celsius varvid relativa fuktigheten, RF, i kryp-



Figur 5: Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 1991–1992.



Figur 6: Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 1999.



Figur 7: Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 2002.

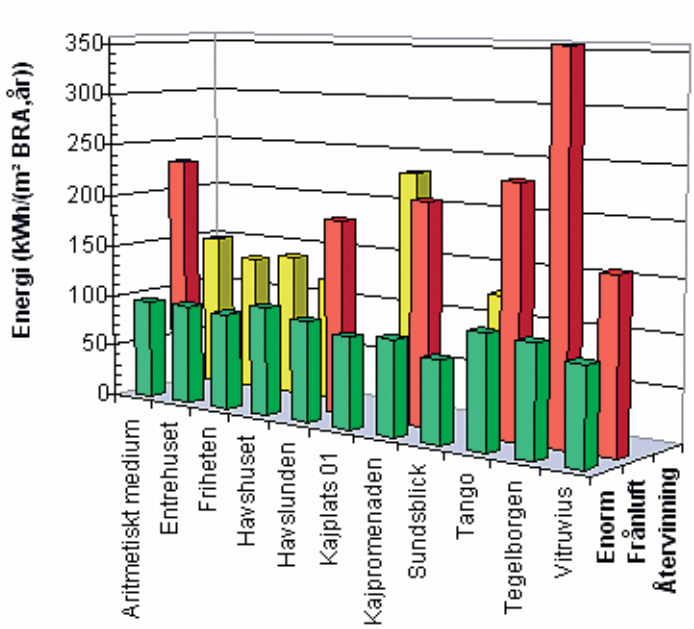
grunden minskar till under cirka 80 procent och risken för mögelpåväxt minimeras, *figurerna 5–7* [7]. Figurerna 5–7 visar risken för mögelpåväxt i underkanten på träbjälklaget i krypgrunder, dels med 0,30 m markisolering av lättklinker (fiberduk lagd över och undertill för att minska risken för materialblandning samt för att göra lättklinkern krypbar), dels för normala krypgrunder med endast plastfolie på marken. Risken för mögelpåväxt bekräftades genom mykologiska provningar av hård träfiberskiva från krypgrunderna, 1991–2002 [8]. I krypgrunden med lättklinker fanns ringa mögelpåväxt men ingen mögellukt medan grunderna med plastfolie hade riklig mögelpåväxt och mögellukt. Ett problem i sammanhanget är att plast, även om den inte möglar i sig självt, absorberar mögellukt, vilket kan ge sekundäremissioner under de delar av året då det inte finns risk för mögelpåväxt [10]. Plastfolier från krypgrunder kan annars ge odör även om krypgrunden i sig saneras. Även andra typer av plastmaterial i krypgrunder, syllar av plast, plastväv, cellplast etc, kan innebära problem med sekundäremissioner i det fall plasten har en förmåga att absorbera mögellukt. Lättklinker i en krypgrund absorberas veterligt ingen mögellukt. *Bild 4* visar rationell utblåsning av lättklinker i Tingsryd, 1991. Beträffande platta på mark i betong är det förvånande att så pass höga U-värden valdes i energiprojektet, 1995–1999, varierande mellan 0,24 och 0,40 W/(°C • m²) [2]. Samma U-värde bör användas i en markisolering som i väggar och tak med tanke på livscykelenergin i synnerhet vid golvvärme, som används allt mer och mer. Hos en självtorkande betong i platta på mark sker uttorkningen av sig självt även om betongen ligger på extruderad cellplast direkt på sand [7]. I och med att en självtorkande betong är tät även mot vatten kan en långsam hydratation ske på sikt med RF lika med 72 procent som slutvärde.



Bild 4: Utblåsning av lättklinker på fiberduk (en fiberduk läggs sedan även över lättklinkern).

Avskräckande erfarenheter från modernt byggande

Inför Bomässan 2001, Bo01 uppfördes ett antal flerfamiljshus på Västra Hamnen, Malmö, där Naturvårdsverket lämnade statsbidrag i syfte att energiförbrukningen skulle minimeras [11]. Resultatet från Bo01 skulle emellertid bli förödande för energikonsumtionen om hus generellt uppfördes så illa jämfört med målsättningen [11]. Målsättningen var att energikonsumtionen inte skulle överstiga 105 kWh per och m² bruksarea, BRA. Totalt ingick tio hus i undersökning som utfördes över ett år [11]. Beräkning skedde med energiberäkningsprogrammet Enorm



Figur 8: Energiförbrukning för flerbostadshus på Västra hamnen, Malmö.

med kompensation för utetemperaturen, som var högre under mätåret än under ett normalår. Så kallade energisignaturer togs fram för varje hus med vars hjälp energiförbrukningen korrelerades till utetemperaturen. Därmed kunde energiförbrukningen för varmvatten särskiljas samt nämnda temperaturkompensation mot normalåret utföras. Ett problem i samband med användning av Enorm var en stor fönsterarea, 30 procent, mot 15 procent för Enorm, vilket kan vara en orsak till en stor skillnad mellan beräknad energiåtgång och aktuell, *figur 8*. En annan orsak kan vara bristfällig isoleringstjocklek – tre av husen uppfyllde inte ens byggreglerna trots att statsbidrag hade lämnats i syfte att energiförbrukningen skulle minimeras [11]. Det är en synnerligen effektiv åtgärd för energiförbrukningen att hålla tillräcklig isolertjocklek i en byggnad! Figur 8 visar att aritmetiskt medium för flerfamiljshusen på Västra Hamnen, Malmö, i förhållande till målsättningen, 105 kWh/(m^2 BRA, år):

- Enorm: 90 procent
- Frånluftshus: 220 procent
- Hus med värmeåtervinning: 140 procent.

Om det är så att erfarenheterna från de tio flerfamiljshusen på Västra Hamnen, Malmö, är generella skulle detta innebära att den andel av totala energikonsumtionen i landet som går till bostäder kommer att öka avsevärt framgent, från dagens 40 procent av totala energikonsumtionen. Trots att energiåtgången var extremt stor i de tio undersökta husen förekom ändock ett stort antal klagomål från de boende i en enkät som genomförts, bland annat följande [11]:

- ❍ låg temperatur vintertid trots 22 °C, utmätt,
- ❍ matos till följd av dålig ventilation,
- ❍ en tredjedel på kalla golv,
- ❍ två tredjedelar på drag.

Husen byggdes under stor press, vilket förklarar en del problem men knappast för tunn isolering [12].

Rekommendationer

Följande byggtekniska aspekter bör beaktas för ett sunt hus:

1. Billigt byggande
2. Innemiljö
3. Livscykelenergi
4. Materialets tålighet för fukt (regn och byggfukt).

Vidare bör följande krav uppfyllas i ett sunt hus:

1. God beständighet
2. God isolering
3. God ljudmiljö
4. Obrännbarhet
5. Täthet
6. Värmeåtervinning.

Slutligen bör ett sunt hus optimeras med hänsyn till totala energiåtgången under dess livscykel och inte bara med hänsyn till material- och entreprenadkostnader, eftersom energin som åtgår för att uppföra byggnaden (inklusive material) endast utgör en mycket liten del av byggnadens livscykelenergi. Eventuella statsbidrag i syfte att minimera energiförbrukningen bör dras in om inte målsättningen uppfylls. Bygglov bör inte ges om inte ens byggreglerna uppfylls i fråga om isolering. ■

Referenser

[1]. SOU 2000:44.

[2]. Karin Adalberth, *Energy Use in Multi-Family Dwellings during their Life Cycle*. LTH Byggfysik. TVBH-3034. 1999, 118 sid.

[3]. Stig Strömkvist, *Stålskelettet gav vika i hettan*, Sydsvenska Dagbladet Snällposten, 2001-09-12.

[4]. Bertil Persson, *Betongstomme kunde begränsat WTC-katatrofen*, Husbyggaren 2003/04, 20–30.

[5]. Bertil Persson, Anders Johansson, Peter Johansson, *The Benefit of Using High-Performance Concrete for Prefabrication*, Concrete International, 1999, 58–62.

[6]. Bertil Persson. *Golvsystem på betong – fuktpåverkan, kemisk emission och vidhäftning*. TVBM-7165. LTH Byggnadsmaterial. Lund, 2003, 157 sid., www.byggnadsmaterial.lth.se

[7]. Bertil Persson. *Mögel i småhusgrunder kan undvikas till rimliga kostnader*. Husbyggaren 5/2002, 10–17.

[8]. Elisabeth Geilert, *Mikrobiologisk analys M02 425*, Mykologisektionen, Botaniska analysgruppen, Göteborg, 2002.

[9]. Elisabeth Geilert, *Mikrobiologisk analys M02 996*, ibid, 2002.

[10]. Ingvar Magnusson, personlig information, Skanska, Enköping, 2003.

[11]. Annika Nilsson, *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*, LTH Byggfysik. TVBH-3045. 2003, 125 sid.

[12]. Bertil Persson. *Tål Bo01-husen tidens tand?,* Husbyggaren 4/2001, 8–11.

Mögel i småhusgrunder kan undvikas till rimliga kostnader. Husbyggaren 5/2002, 10-17.

Mögel i småhus

kan undvikas till riml

AV DOCENT BERTIL PERSSON

På senaste tiden har larmsignaler ljudit ifråga om krypgrunder med träbjälklag som en veritabel riskkonstruktion. Under sommartid bildas kondens på undersidan av bjälklaget med mögelpåväxt som följd. Betongplatta på mark är sedan länge en av många utdömd riskkonstruktion, dels till följd av risken för kapillär uppsugning av vatten, dels till följd av långa, för bygget försenande uttorknings-tider. Det finns dock exempel på goda småhusgrunder.



Normal krypgrund med plastfolie på marken. Mätutrustning för fukt och temperatur.

I ett fall utfördes ett träbjälklag på en lättklinkerisolerad krypgrund. I ett annat fall göts högpresterande betong på cellplast. Båda fullskaleförsöken står sig väl efter 11–12 år – utan fukt eller mögel.

Produktion av småhus kan givetvis inte upphöra i och med att man konstaterar stora risker för fukt och mögel med nuvarande grundkonstruktioner. Däremot är det nödvändigt att snabbt anpassa grundkonstruktionerna på ett sådant sätt att riskerna elimineras. Ett småhus betingar idag ett pris av cirka två miljoner kronor. Det är då oacceptabelt att det skall byggas med risk för något så banalt som fukt och mögel. Bilindustrin har i internationell konkurrens sedan många år lärt en metodik att utreda och lösa fel och brister i produktionen efter omfattande provningar. Om bilindustrin inte hade handlat på ett systematiskt sätt hade

sgrunder

liga kostnader



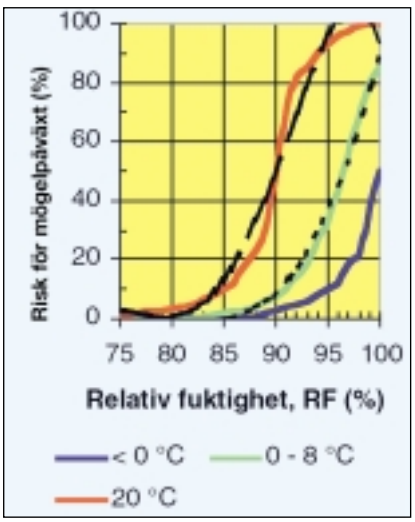
Cementstabiliserad randzon av lättklinker samt fiberduk på lättklinkerisolerad krypgrund.

den inte heller funnits kvar i Sverige. I byggbranschen saknas i stort sett konkurrens utifrån. Problem kan finnas och lösas för att sedan dyka upp igen efter ett antal år. Gamla problem blir som nya i byggandet. Det är ungefär som om man plötsligt skulle sluta att rostskydda underreden till bilar med omfattande rostskador som följd. Givetvis är en bil med galvaniserat underrede något dyrare än en bil med lackad svartplåt, men ett krav om bilen skall kunna säljas – i konkurrens med importbilar.

Normal krypgrund med mögelpåväxt

En normal krypgrund utförs ofta halvmeterhög med en lutning uppåt i ytterkanterna. På marken läggs en plastfolie i syfte att minska fuktavgången. Runt krypgrunden finns isolerade murar upp till träbjälklaget. Med tjock bjälklagsisolering blir krypgrunden ett effektivt kylskåp. Varm luft med hög halt av vattenånga kondenserar i ett kylskåp. Så kan även ske i en normal krypgrund, speciellt på sommaren. Då är just uteluften varm med hög relativ fuktighet, RF. Av utseendeskäl tillåts oftast bara små ventiler runt krypgrunden. Den får inte tillräckligt hög temperatur för att kunna ta upp uteluftens fuktighet varför kondens av vattenånga inträffar[1].

Skall kondens undvikas får huset istället byggas på plintar med ett stort fritt utrymme under huset. En plintkonstruktion accepteras dock inte av en blivande småhusägare av utseendeskäl. Exteriören får gå före förebyggande av risken för fukt och mögel i krypgrunden. Ofta är dock golvet i småhuset så tätt att mögellukten inte sprider sig in i huset. Då spelar mögel i krypgrunden ingen roll för husägaren även om huset ändå får betraktas som en riskkonstruktion. Mögel i krypgrunden kan också räknas som ett dolt fel i samband med en försäljning av huset. Man vet inte om och när mögellukten kan spridas sig inomhus.



Figur 1 – Risk för mögelpåväxt för virke som behandlas på ett omsorgsfullt sätt[2] (mycket osäkra värden för lägre temperaturer).

Som is i sågspån

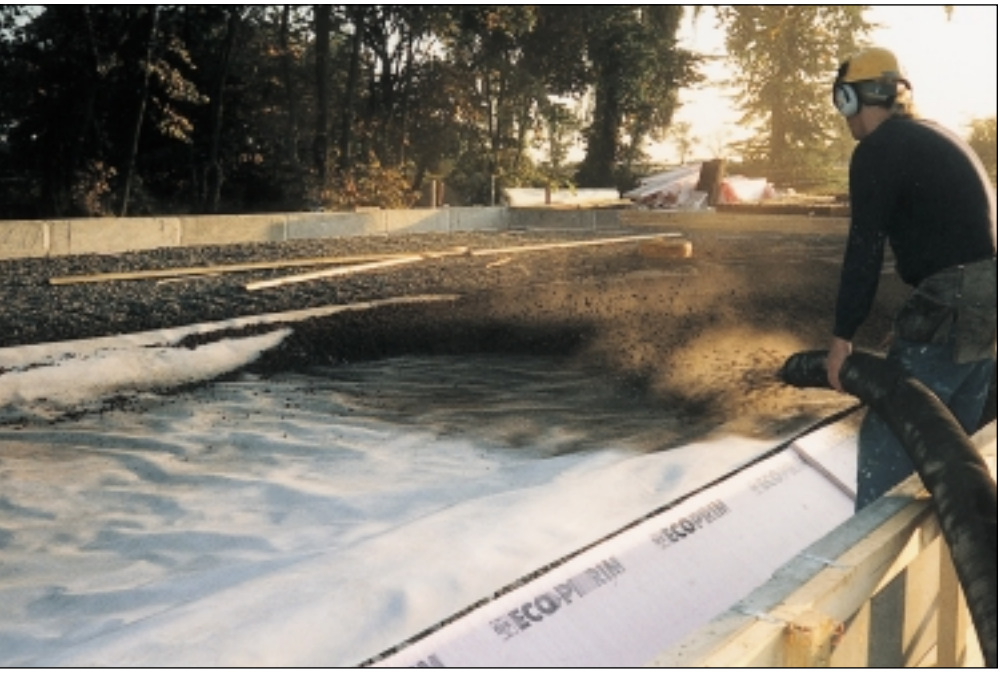
Produktionsförhållanden påverkar också påtagligt risken för fukt och mögel i krypgrunden. Byggs huset vintertid så är marken av lättförklariga skäl kall, ofta frusen. På krypgrunden ställer man sedan ett välisolerat hus.

Tabell 1 – Frekvens efter elva år av mögelsvamphyfer på träfiberplatta i krypgrund[6, 7].

Plats	Gavel, öster	Gavel, väster	Husmitt
Markisolerad	-	-	Sparsam
Normal 1	Måttlig - Riklig	Sparsam - Måttlig	Sparsam
Normal 2 – slät sida	Riklig	Sparsam - Måttlig	Sparsam - Måttlig
Normal 2 – mönstrad	Sparsam – Måttlig	Måttlig	Måttlig

Tabell 2 – Frekvens efter elva år av mögelsporer på träfiberplatta i krypgrund[6, 7].

Plats	Gavel, öster	Gavel, väster	Husmitt
Markisolerad	Sparsam	Sparsam	Sparsam
Normal 1	Måttlig	Måttlig - Riklig	Måttlig
Normal 2 – slät sida	Riklig	Måttlig	Sparsam
Normal 2 – mönstrad	Sparsam	Måttlig	Riklig



Utblåsning av lättklinker på fiberduk vid fältförsök 1991-2002[3, 4]. (Foto: Göran Hedenblad)

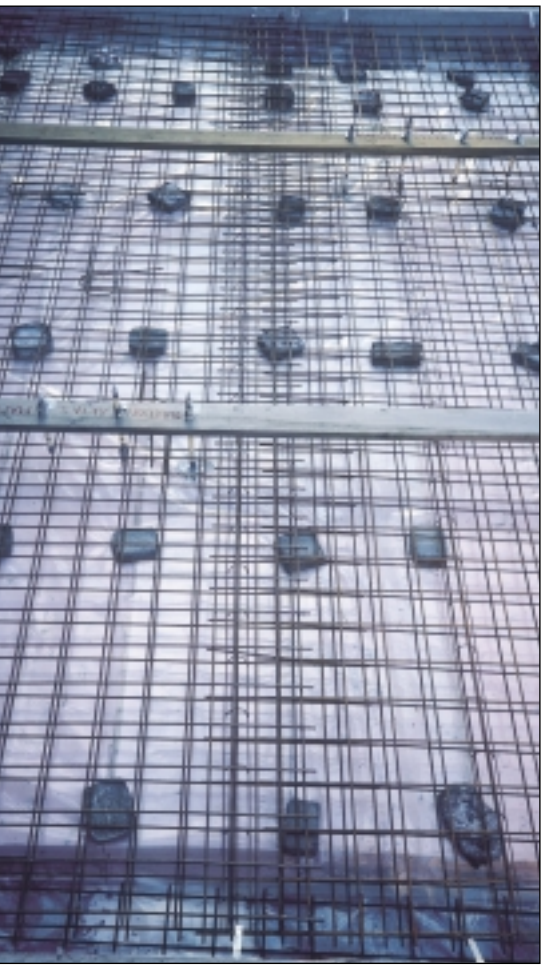


Bild 4. Betongplatta på mark med 200 mm isolering och dubbla lager av byggplatsfolie.

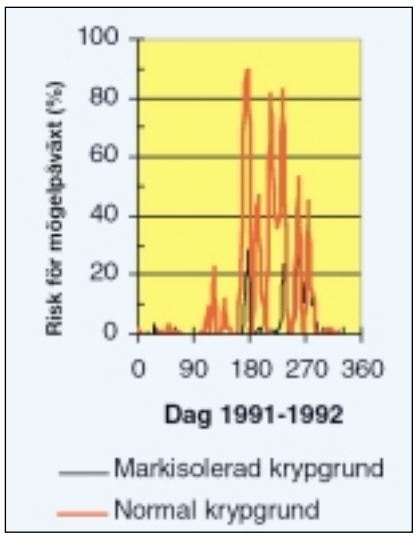
Detta kan jämföras med att lägga in is i sågspån. När man tar fram isen på sommaren dryper den av fukt och även sågspånen närmast intill, jfr krypgrundsbjälklaget. När vatten kondenserar på trä (RF = 100%) som kan vara fallet för bjälklaget i en normal krypgrund är mögelrisken hög även om temperaturen är låg, (Fig 1)[2]. Figurerna 2–4 visar risken för mögelpåväxt i en normal krypgrund baserad på omfattande mätningar av fukt och temperatur, 1991–1992[3,4] samt 1999[5] och 2002. Mögelrisken var störst år 2002 till följd av rekordhög temperatur med ett ökat innehåll av vattenånga i luften som följd. Om denna temperaturökning är bestående år från år, kan detta ytterligare öka risken för mögelpåväxt i normala krypgrunder.

Tabellerna 1–2 visar resultat från mykologiska prov av mögelpåväxt på träfiberskiva uttagen i samma krypgrunder för vilka mögelrisken beräknades[6,7]. Hög beräknad mögelrisk gav också måttlig/riklig frekvens av mögelsporer och mögelsvamphyfer[2,6,7]. Det fanns således enligt fältförsöket 1991–2002 även i praktiken ett direkt samband mellan hög RF i kryprummet, temperatur och mögelrisk, (Fig 1)[2–5].

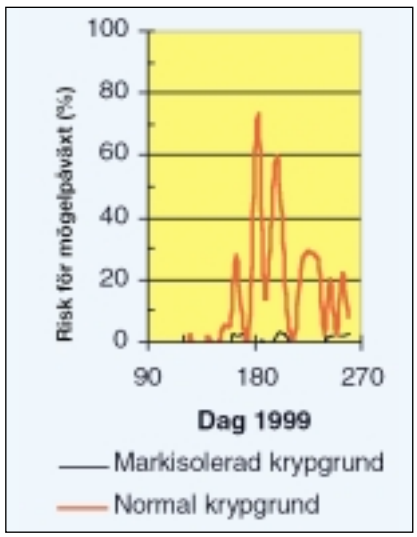
Markisolerad krypgrund utan mögelpåväxt

En markisolerad krypgrund studerades i omedelbar anslutning till den normala krypgrunden. Utblåsning av oöm markisolering och hydrofoberad lättklinker är ett rationellt sätt att på ett beständigt sätt isolera bort markkyla. Hydrofobering innebär att ytan av lättklinkern behandlats i syfte att minska risken för kapillärsugning. Undertill finns fiberduk för att man skall undvika att lättklinkern blandas med marken respektive över lättklinkern. Även på ovansidan har man fiberduk, för att

Forts sid 14



Figur 2 – Risk för mögelpåväxt i krypgrund 1991-1992[4].



Figur 3 – Risk för mögelpåväxt i krypgrund 1999[5].

Forts från sid 12

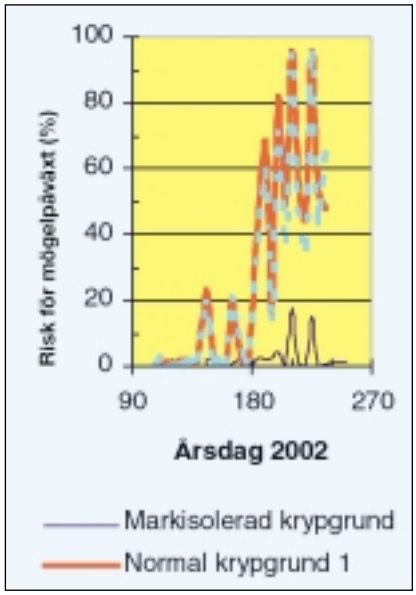
man skall kunna krypa ovanpå. I försöket användes ca 0.30 m lättklinker.

Markisoleringen isolerade bort markkylan på ett effektivt sätt. Marktemperaturen är ca 8°C. Utstrålningen från bjälklaget mot en oisolerad markyta gör att temperaturen blir så låg att vattendroppar kan utvecklas sommartid. Med en markisolering nås två fördelar, dels minskas skillnaden mellan temperaturen utomhus och krypgrundstemperaturen, dels minskar markens kylande effekt. Med detta nås en högre temperatur på underkanten av bjälklaget med en minskad kondensrisk som följd.

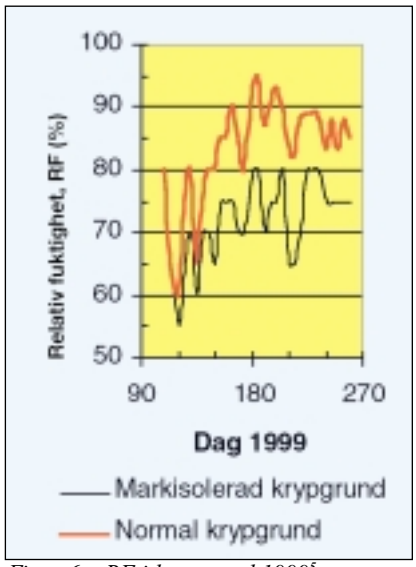
Enligt figurerna 1 och 5–10 samt tabellerna 1–2 fanns det ett direkt samband mellan temperatur, RF och risken för mögelpåväxt. Av figurerna 2–4 framgår att risken för mögelpåväxt på trät i en markisolerad krypgrund nära nog har eliminerats[4,5]. Tabellerna 1–2 visar objektivt sett effekten av åtgärden: sparsam frekvens efter elva år av mögelsvamphyfer och mögelsporer på träfiberplatta i krypgrund i den lättklinkerisolerade krypgrunden. Den normala krypgrunden innehöll måttlig/riklig frekvens efter elva år av mögelsvamphyfer och mögelsporer på träfiberplattan. Subjektivt sett luktade det kraftigt av mögel i den ena normala krypgrunden. Mögellukt fanns ej i den markisolerade krypgrunden. I den andra normala krypgrunden luktade det svagt av mögel.



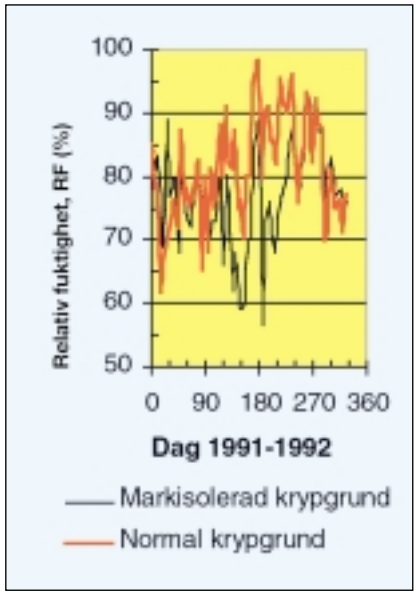
Pumpning av högpresterande betong.



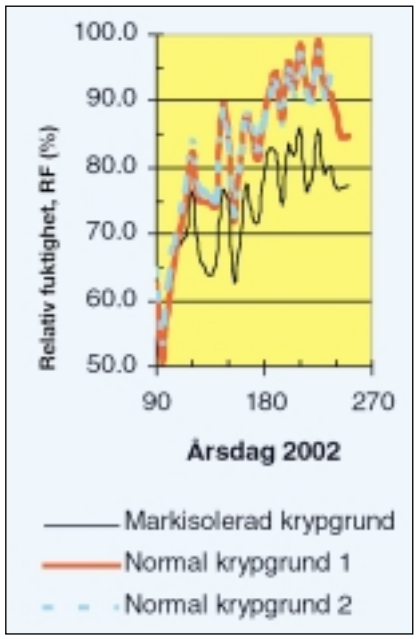
Figur 4 – Risk för mögelpåväxt i krypgrund 2002.



Figur 6 – RF i krypgrund 1999[5].



Figur 5 – RF i krypgrund 1991–1992[4].



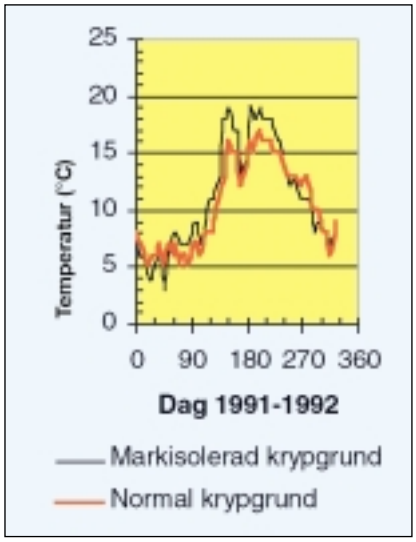
Figur 7 – RF i krypgrund 2002.

För ett hus om 100 m² krävs ca 30 m² lättklinker. Merkostnaden blir ca 10 000 kr inklusive extra schakt och fiberduk, vilket är litet jämfört med saneringskostnaden ifall mögelpåväxt skulle ske på 100 m² bjälklag med mögellukt inomhus som följd.

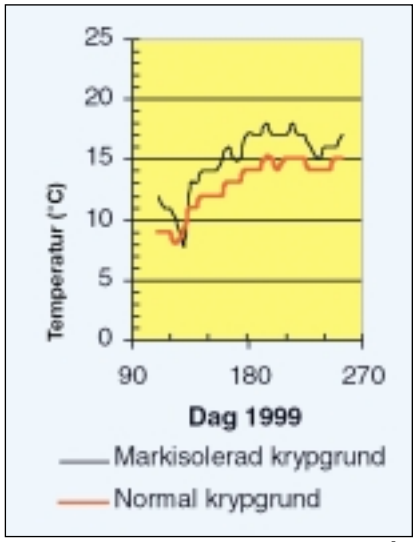
Högpresterande betongplatta på mark

Problemen med platta på mark är kända: dels risken för kapillärsugning av

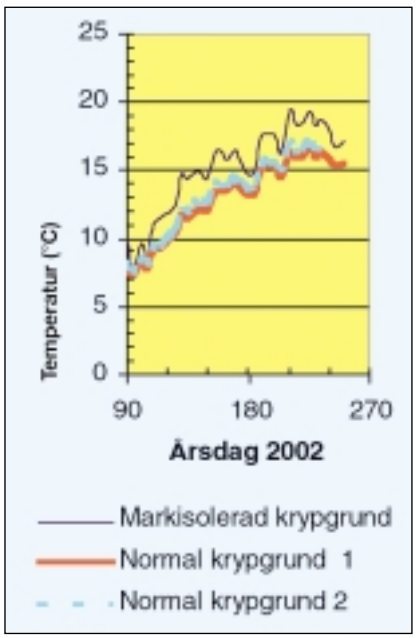
Forts sid 16



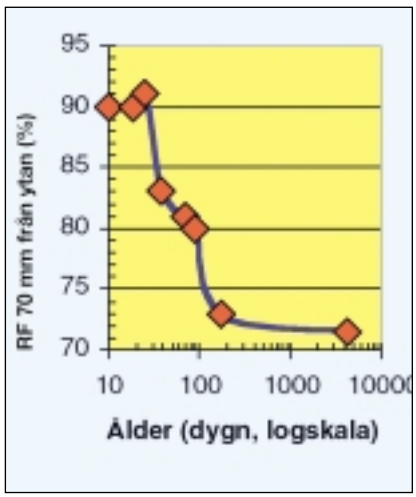
Figur 8 – Temperatur i krypgrund 1991–1992[4].



Figur 9 – Temperatur i krypgrund 1999[5].



Figur 10 – Temperatur i krypgrund 2002.



Figur 11 – RF i högpresterande betongplatta på mark[7].

fukt, dels långa uttorkningstider till följd av ensidig uttorkning. Problemen med kapillärsugning kan bemästras med ett tvättat makadamskikt under betongplattan.

Ett försök för tolv år sedan utfördes på en markisolering av 200 mm cellplast lagd direkt på befintlig sandbotten. Dränering fanns under cellplasten varför risken för tjälskjutning bedömdes som liten. Markisoleringen gjorde att frysrisken var liten (i norra Sverige kan en randisolering erfordras utanför byggnaden). Runt betongplattan ställdes isolerade kantelement varefter dubbla skikt av en beständig plastfolie lades på isoleringen, dels i syfte att bryta kapillärsugningen av fukt, dels för att hindra cellplasten att flyta upp i samband med gjutningen. Därefter göts 175 mm betong av högpresterande kvalitet jämntjockt över cellplasten. Den höga betongkvaliteten gjorde att plattförstyvningar kunde slopas, en stor produktionsteknisk fördel. Betongen torkade trots intensivt regn till ca 80% RF efter ett halvt år[8].

Figur 11 visar resultatet av en långtidsuppföljning av RF i betongen tolv år efter gjutningen. Ingen uppfuktning skedde utan betongen fortsatte att självtorka till RF = 71.5%, (Fig 11). Markfukten och markkylan har isolerats på ett effektivt sätt. Byggfukten har torkat ut av sig själv i och med den högpresterande kvaliteten på betongen.

En högpresterande betong fås till en merkostnad av ca 200 kr per m^2. Jämfört med ett hus med 100 mm



tjock normal betong blir merkostnaden för ett hus om 100 m² ca 10 000 kr. Isoleringstjockleken kan väljas efter önskemål. Mellan isoleringen och betongen placeras dubbla skikt av byggplastfolie.

Slutsatser

Som alternativ till en normal riskfylld småhusgrund kan följande konstruktioner väljas[9]:

- Krypgrund med 300 mm markisolering av hydrofoberad lättklinker lagd med fiberduk över och under;
- Betongplatta av högpresterande kvalitet gjuten mot extruderad cellplast. Merkostnaden för var och en av konstruktionerna är ungefär 10 000 kr eller ca 0,5% av huspriset. ❑

Referenser:

1 **Arne Elmroth et al.** Går det att bygga fuktsäkra krypgrunder? Bygg &Teknik. 2002/02, 20–26.

2 **Lars-Erik Nevander, Bengt Elmarsson.** Fukthandboken. Svensk Byggtjänst. 1994, 293.

3 **Göran Hedenblad, Bertil Persson.** Den problematiska krypgrunden. Byggindustrin 1990/01, 39–41.

4 **Bertil Persson, Göran Hedenblad.** Lättklinkerisolerad krypgrund – fältförsök i Tingsryd. U93:01. LTH Byggnadsmaterial. 1993, 84 sid.

5 **Charlotte Svensson.** Effekter av åtgärder i uteluftsventilerade krypgrunder med fukt- och mögelskador. TVBH-3038. LTH Byggnadsfysik. 2001, 300 sid.

6 **Elisabeth Geilert.** Mikrobiologisk analys M02 425. Mykologisektionen. Botaniska analysgruppen. Göteborg. 2002.

7 **Elisabeth Geilert.** Mikrobiologisk analys M02 996. ibid. 2002.

8 **Bertil Persson.** Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet. TVBM-1009. LTH Byggnadsmaterial. 1992, 400 sid.

9 **Bertil Persson:** Lättklinkerisolerad krypgrund utan mögelpåväxt. Rapport U02.05. LTH Byggnadsmaterial. 2002, 309 sid.

Stockholm Vatten

4-färg