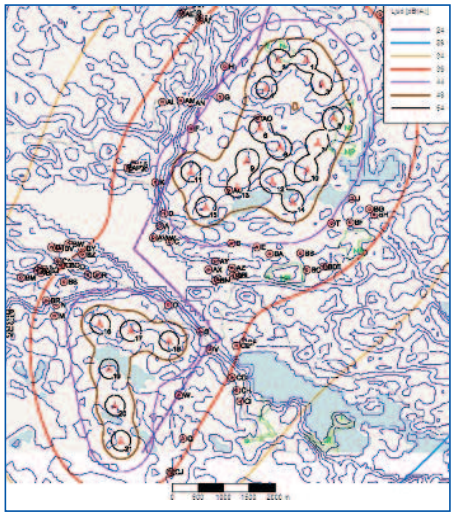
Betongfundament och andra effekter av vindkraftverk. Bygg & teknik. 07/12, 48-50.

Betongfundament och andra effekter av vindkraftverk

I ett pilotprojekt finansierat med stöd av Energimyndigheten kvarlämnas för gott betongfundament i naturen. Även andra negativa effekter av vindkraften kräver klarläggande. För detta ändamål struktureras i avsnitt med buller, ekonomisk nytta, energiåtervinning, miljönytta, systemnytta, värdeförluster samt återställande av naturen.

Prospektörer framför att en säkerhetsmarginal för bullerberäkning är beroende av typen av verk [1], vilket är felaktigt. Säkerhetsmarginalen är beroende av beräkningsmodellen. För att ett område ska bedömas som användbart för vindkraft krävs det att man kan uppfylla det genom hävd fastställda begränsningsvärdet 40 dB(A). Enligt dom från bland annat Mark- och miljödomstolen i Växjö, innebär det att eventuell felmarginal i beräkningsmodellen för buller ska tillgodoräknas de kringboende. Mark- och miljööverdomstolen har visserligen överprövat domen och ändrat utgången. Det gjordes i dom meddelad 2012-04-27 i mål nr M 7022-11. Den ändrade utgången berodde dock helt på att prospektören vid handläggning i Mark- och miljööverdomstolen gav in en kompletterande utredning som visade att denne klarade att uppfylla begränsningsvärdet även med avseende på beräkningsosäkerheten. Som domen får förstås håller Mark- och miljööverdomstolen med i slutsatsen att tänkbart fel i beräkningen för buller ska tillgodoräknas de kringboende. Det får som följd att, om modellens felmarginal ligger på 1 dB(A), så ska maximal ljudnivå vid närmaste bostadshus vara 39 dB(A) enligt resultat från beräkningsmodellen. Om modellen Nord 2000 används är dock felmarginalen i skog 4 dB(A) enligt en annan utredning [2]. Prospektören hävdade vidare att inga resultat finns att vindkraftverk avger lågfrekvent buller eller ger bullerinterferens. Resultat finns dock från Lillgrund där ett distinkt lågfrekvent buller har uppmätts, säkerligen från växellådan på verken [3]. Att inga resultat finns torde, enligt professor *Erik Skärbäck* vid Sveriges lantbruksuniversitet, bero av att området är obeforskat i Sverige [4]. I länder med många stora verk finns dock framstående forskning om bullerinterferens [5]. Prospektören hävdar vidare att vindkraften sparar *Tysta områden* till framtiden. Detta är sant, men först om cirka tjugo år, *figur 1* [6]. Närmast verken får man, för uppgiven energifångst 189 GWh/år, cirka 55 dB(A) i bullernivå, vilken nivå vida överskrider Naturvårdsverkets krav i *Tyst område*, 45 till 50 dB(A), även då sämsta bullerklass E väljs [7].



Figur 1: Bullerkarta för vindkraftsstation Ånhammar.

Ekonomisk nytta

Prospektören hävdar att landvindkraft bör byggas eftersom denna är billigare än havsvindkraft. Denna argumentering är suboptimal då livsmiljön inte beaktas. Vindkraft bör hellre byggas till havs än på land, då med färre och större verk. Genom omfördelning av stödsystemet torde detta vara möjligt med samma energiutfall som nu. Dessutom undviks till havs för vindkraftverk skadlig turbulens, vilken annars kan halvera livslängden. Prospektören hävdar vidare att stödet till vindkraften saknar betydelse för elnotan, vilket är irrelevant. Relevant är stödet per vindkraftverk till exempel under tjugo år, 15 miljoner kronor för ett 2-MW-verk. Prospektörer framhåller god lönsamhet med ett elcertifikat om 20 öre per kWh samt ett elpris om 50 öre per kWh. Dessa priser är dock inaktuella [8].

Energiåtervinning (livscykelanalys)

I en spansk artikel görs en livscykelanalys för ett vindkraftverk med effekten 2 MW, turbindiametern 80 m samt totalhöjden 108 m [9]. Jämförelsen haltar eftersom det till exempel i Hishult, Laholms kommun, krävs ett 150 m högt verk med turbindiametern 90 m för att nå ungefärligen samma energifångst (4 300 MWh per år) som Spanien, som har högre vindhastighet än i Hishult (4 000 MWh per år). Därmed ökar storleken på fundamentet från 729 ton i Spanien till 1 200 ton i Hishult. Granskning av artikeln visar vidare att fel har begåtts i fråga om betongen. Hela energiåtgången för betongen till fundamentet i Spanien beräknas i artikeln till 0,4 MWh eller till 0,541 kWh per ton betong (400/729). Betongen till fundamentet skulle då kräva lika mycket energi som produceras av verket under ett tiotusendels år (0,4/4000). Korrekt siffra för att tillverka betong är 560 kWh per ton [10]. Vidare har i artikeln endast själva verket analyserats, inte entreprenadenergi, inte kablage från verk till transformator, inte kablar från transformator till nätanslutning, inte skogsavverkning, inte transformator, inte vägar etcetera. Aluminium, bitumen, bly, grus, polyeten till andra delar av vindkraften än själva verket kräver avsevärd energi varför korrekt livscykelanalystid är 3,4 år.

Till denna tid kommer den tid som krävs för att producera energin till god ekonomi för och kapitaltillskott till verket. Nyare vindkraftverk är för närvarande en förlustbringande affär varför kapitaltillskott är nödvändigt. För elcertifikat och kapitaltillskott beräknat på skattemedel i Sverige krävs energianvändning för boende, bostäder, mat, omsorg, transporter, sjukvård, skola etcetera, för de människor, som genom sitt arbete ska skapa elcertifikat till verket. Sveriges elenergiåtgång kan jämförelse med Sveriges bruttonationalprodukt, vilket ger en bedömning av energikostnaden, ekonomiskt sett, för elcertifikat och kapitaltillskott eller cirka 0,20 kWh/kr. Den spanska artikeln bygger vidare på förutsättningen att betongen ska höljas över efter tjugo års drift och därmed inte belasta livscykeltiden. I och med att fundamentet överhöljs så förloras dock hela dess energi som livscykeln. Förutsättningarna i den spanska artikeln är slutligen att allt



Artikelförfattare är ***Bertil Persson****, tekn dr, docent i byggteknik, Bara.*

Tabell 1: Materialenergi till tolv verk 2 MW Vestas V90 i Hishult, Laholms kommun (livstid tjugo år).

***Vikter** (ton)*	***Aluminium***	***Betong***	***Bitumen***	***Bly***	***Grus***	***Koppar***	***Polyeten***	***Polypropylen***	***PVC***	***Stål***
Fundament		14 136								480
Kabel 36 kV, 12 km			4			94	37	8	24	113
Kabel 132 kV, 12 km			7	310		1 529	127	14	60	252
Maskinhus	108		36			36			36	600
Turbin								432		24
Torn										2 820
Vägar, 24 km					79 200					
Summa (ton)	108	14 136	47	310	79 200	1 658	164	455	120	4 289
à (kWh/ton)	91 000	560	12 000	39 500	90	19 500	16 400	29 650	24 650	8 890
Energi (GWh)	9,8	7,9	0,6	12,2	7,1	32,3	2,7	13,5	3,0	38,1

Tabell 2: Livscykelanalystid för tolv verk 2 MW Vestas V90 i Hishult, Laholms kommun (livstid tjugo år).

Parameter	***Energi** (GWh)*	***LCA** (år)*	***LCA** (mån)*
Material	127	2,5	30
varav fundament	12	0,2	3
Byggande och underhåll	42	0,8	10
El-certifikat och kapitaltillskott (elproduktion/BNP = 0,20 kWh/kr)	140	2,7	33
Totalt	310	6,0	72
Energiproduktion	1 030	20	

Tabell 3: Kalkyl för tolv verk 2 MW Vestas V90 i Hishult, Laholms kommun (livstid tjugo år).

Kostnad	***Belopp***	***Sort***
Kostnad per MW	18,75	Mkr
Investering	450	Mkr
Ränta 6 % över 20 år	300	Mkr
Kablar, skrotning, underhåll etcetera	75	Mkr
Totalkostnad	825	Mkr
Kilowattkostnad	0,80	kr/kWh
El-certifikat	-0,15	kr/kWh
Nettopris för vindkraftsel	0,65	kr/kWh
Nätavgift, skatt, mvs	0,65	kr/kWh
Totalpris för vindkraftsel	1,30	kr/kWh
Medelspotpris	-0,39	kr/kWh
Nätavgift, skatt, mvs	-0,39	kr/kWh
Totalpris för nätel	-0,77	kr/kWh
Kapitaltillskott	0,53	kr/kWh
El-certifikat + kapitaltillskott	0,68	kr/kWh
El-certifikat + kapitaltillskott	35	Mkr/år
El-certifikat + kapitaltillskott 15 år	702	Mkr/20 år

övrigt material ska kunna återvinnas till 90 procent.

En ny norsk fällningsmetod innebär dock att endast en liten del av verket kan återvinnas energimässigt sett. Alternativt ökas i stället kostnaden för demontage trefalt, vilken kostnad inte täcks av den bankgaranti som ställts fortlöpande under verkets driftstid, normal cirka 300 000 kronor per verk. Fällningsmetoden kostade cirka 3,3 miljoner kronor per verk. Allt från det efter nio år uttjänta verket blev skrot. Till exempel stålet får stöpas om för andra ändamål. Energin i stål utgörs till allra största delen av smältvärme. Om nytt stål ska skapas som ett steg i återvinningsprocessen krävs att det först smälts ned.

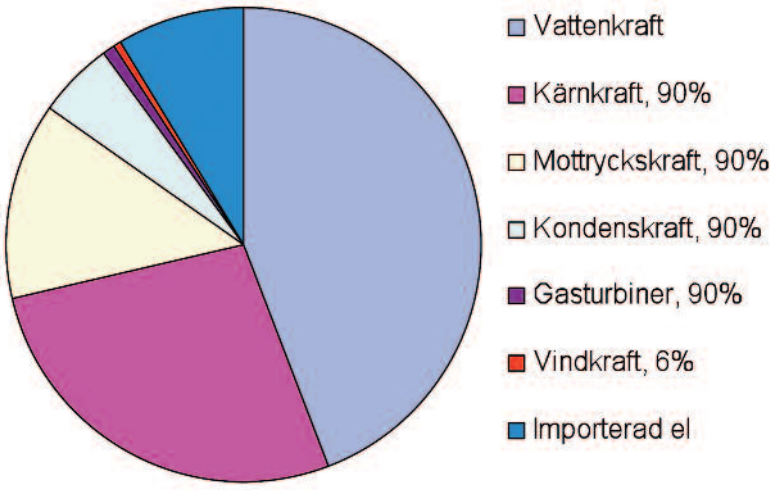
Till sist, det inte är möjligt att 150 m höga vindkraftverk i skog i Sverige skulle kunna produceras dubbelt så mycket energi som 108 m höga verk i Spanien. Detta skulle innebära 4 000 fullasttimmar i Sverige (2 x 4 000/2 000) eller en nyttjandegrad av 46 procent, vilken inte ens uppnås på Nordsjön. I Sverige var fullasttiden för stora, moderna verk 2 700 timmar 2011. Sammantaget arbete, elcertifikat, kapitaltillskott och materialenergi, ökar livscykeltiden från fem månader i den spanska artikeln, till cirka sex år i Hishult, Laholms kommun, se *tabellerna 1 till 3*.

Miljönytta

Prospektören hävdar vidare att en av denne krävd kalhuggning av skog runt två verk i Oberga, Gripenberg, Tranås kommun, skulle betingas av skogsskötsel och inte av turbulens i skog. Vid ett möte i Östanå Stenhus, Broby, den 13/9 2009 avrådde dock vd för Eolus Vind AB, Hässleholm, från byggande av vindkraft i skog. Även vindkraftsexperten *Tore Wizelius*, extra ordinarie adjunkt vid Gotlands högskola, Visby, utfärdade i tid en varning för vindkraft i skog [11]. Problem i Oberga beror på att turbulens i skog har en menligt påverkan på verk – inte på behov av markägarens skogsskötsel. I sånt fall skulle cirka 2 000 km² skog få kalhuggas i Sverige kring cirka 4 000 stycken planerade kraftverk.

Prospektören hävdade att problem men högintensivt blixtrande ljus från verk över 150 m i höjd har lösts med radaravstängning [12]. Luftfartsverket säger dock i maj 2012 att så inte var fallet utan att radarkontroll inte är godkänd och dessutom kostsam. Även om radarkontroll skulle se dagens ljus så tänds ändock ljuset till exempel då postflyg passerar.

Prospektören hävdar slutligen att biltrafiken dödar fler örnar i Sverige än vad vindkraft gör. Örndöd inom biltrafiken legitimerar dock inte örndöd inom vindkraften. Vindkraften ska femdubblas intill 2020. Statistiken för örndöden vid vindkraft är dessutom osäker där eftersök med hund är gängse. Örndöd inom trafiken är iakttagbar och rapporteras.



Figur 2: Elkraftbalansen normalår vid 30 GW.

Systemnytta

Prospektören hävdar att rikligt med vattenkraft finns i Sverige för att reglera en planerad femdubbling av vindkraften. *Figur 2* visar elkraftbalansen i Sverige ett normalår [13]. Visserligen motsvarar utbyggnaden av vindkraften ungefärligen nuvarande maximal effekt av vattenkraft men endast under ett i elkraftbalansen ansträngt läge, det vill säga vid ett köldhögtryck. Detta praktikfall är ointressant eftersom vindkraften då ändå står still till följd av isbildning, för låg temperatur (lägre än 30 °C) eller stiltje. Då vindkraften går för full effekt, sommartid eller höstid, kan vattenkraften inte regleras ned, eftersom ingen förbrukare finns denna tid, utan vindkraften får då jordas. Så sker redan i Danmark. Förbrukning i Sverige är under varmare delar av året betydligt lägre än cirka 13 GW. Vidare saknas det kraftledningar till utlandet i tillräcklig omfattning respektive förbrukare där varför vindelexport då inte är möjlig [14]. Jordning av vindel sker redan på Gränna-berget samt planeras ske för en vindkraftsstation vid Kårehamn. För närvarande ersätter vindkraft endast vattenkraft i Sverige med överfyllnad av dammarna som följd med nödavtappning av dessa med risk för skador på hus längst älvarna [15]. Hög fyllnadsgrad av dammarna ger också negativa effekter i form av ökande förluster till följd av ökad avdunstning samt perkolation jämfört med en lägre fyllnadsgrad utan vindkraft.

Värdeförluster på hus

Prospektören hävdar, baserat på en undersökning 2010, att en entydig påverkan inte finns av vindkraftverk på värdet på hus intill [16]. Detta kan vara korrekt, men huspriserna kan ändå falla, eftersom undersökningen inte är verklighetstrogen. Underlaget bygger nämligen på en undersökning av värdet på hus inom 5 km från ett (som ett medelvärde) 50 m högt verk. (Nyare verk är minst 150 m i höjd.) Detta ger ett storleksförhållande av hundra gånger mellan avståndet från verket till huset och höjden av verket. Påverkan bör bara beräknas inom en radie av tio gånger höjden av verket, där verket, arkitektoniskt sett, påverkar omgivningen. Då blir sannolikt utfallet ett helt annat. Följande kan till exempel, för Trelleborg (totalhöjd på verk 63 m) följande citeras ur undersökning: ”... bedömer två av tre de tillfrågade mäklarna att närhet till vindkraftverk kan påverka fastighetspriserna negativt” samt för Orust (höjd 77 m), citat: ”Snittpriset … reducerats från 12 procent … innan ansökan inlämnades till 23 procent under kommunsnittet året efter” samt för Offerdal (höjd 119 m), citat: ”Försäljningsdatat … något svagare prisutveckling efter att tillstånd till etableringen givits.” Generellt sett faller huspriser, på grund av vindkraft, mest i områden där få husaffärer görs. Till exempel på Österlen står ett flertal hus, utan att finna köpare, till salu i trakterna av Örum, Ystads kommun, där en vindkraftstation planeras. Även inom vindkraftstation Stora Herrestad, Simrimshamns kommun, har säljskyltar länge suttit uppsatta.



FOTO: JENNY WALDEMAN

Figur 3: Överhöljt fundament vid Hishult, Laholms kommun.

Återställande av naturen

Att riva ett 80 m högt och 450 ton tungt nio år gammal omodernt vindkraftverk beräknades till tio miljoner kronor. (Ursprungligen sattes sjutton verk upp varav tio är uttjänta redan efter nio år.) En ny norsk fällningsmetod kostade en tredjedel jämfört med krandemontering. Fällningsmetoden gjorde att kostnaden eventuellt skulle kunna bli noll efter sortering och försäljning av skrotet [17]. Fundament till vindkraftverk kan i Sverige lämnas kvar i naturen enligt ett ovan nämnt pilotförsök, *figur 3*. Återställandet av vindkraftfundamentet i pilotprojektet har dock inte utförts på ett resurssnålt, beständigt sätt utan får betecknas som slöseri med ändliga resurser. Metoden med överhöljning går därför stick i stäv med resurssnålt byggande. Återställandet får inte heller betecknas som beständigt. I sig är betong beständig, till exempel vägbetong i Via Appia, ålder 2100 år. Betong är dock inte beständig i armerad form. Inom relativt kort tid, cirka 50 år, kommer korrosion av armeringsstål att självspräcka betongen med förorening och nedskräpning av naturen som följd. Erosion av överhöljt material, jord och grus, kan inom cirka hundra år, leda till att betongbitar och utstickande armeringsstål påverkar omgivningsmiljön.

Eftersom återvinning inte har skett av armering, betong och grus på ett resurssnålt sätt innebär detta en cirka tre månader lång intjäningstid energimässigt före det att balans uppnås mellan, dels energi för att tillverka den armerade betongen, dels utkomst av energi från vindkraftver-

ket. För att tillverka betong till fundamentet krävs ett utsläpp till atmosfären av cirka 1 200 ton koldioxid per 2-MW-verk om 1 178 ton i samband med bränning av cement etcetera. Till denna tid kommer energiåtgång för stål ingjutet i fundamentet då även detta stål kvarlämnas. Ifrågavarande fundamentöverhöljning kan bli ett prejudikat för tusentals andra fundament. Det är därför viktigt att metoden överhöljning ifrågasätt på ett sakligt sätt. Kommande generationer bör rimligen inte få ta ansvaret för tusentals överhöljda fundament i naturen. Fundamenten bör i stället tas till vara på ett resurssnålt sätt. Kunskap finns om hur resurssäker återvinning sker av armerad betong men denna utnyttjas inte med föreliggande metod med överhöljning.

Slutsatser

Efter genomgång av prospektdokumentation för vindkraft kan följande slutsatser dras:

1. Osäkerheten för beräkningsmodellen ska räknas grannen tillgodo, till exempel 1 dB(A) i skog för Naturvårdsverkets modell, och 4 dB(A) i skog för modellen Nord 2000.

2. Ekonomisk nytta finns inte just nu för nyare vindkraftverk utan dessa kräver elcertifikat och stora kapitaltillskott för att gå runt ekonomiskt sett.

3. Tiden för energiåtervinning för ett vindkraftverk är cirka sex år om alla kringdetaljer till vindkraftverket beaktas samt energin för att skapa elcertifikat och kapitaltillskott.

4. Krav på kalhuggning av skog kring verk, blixtrande högintensivt ljus samt örndöd är exempel negativa miljöeffekter av vindkraftverk.

5. Systemnyttan är inte löst i och med nedreglering inte kan ske av planerad utbyggnad av vindkraft i Sverige utan att denna el får jordas.

6. Det är uppenbart, även vid granskning av vindkraftens egen rapport, att huspriser sjunker intill vindkraftverk, främst inom en radie av tio gånger verkets höjd.

7. Återställande av naturen sker inte om betongfundament kvarlämnas överhöljda. ■

Referenser

[1] Henric Carlsson. Eolus Vind AB. *Vindkraft i praktiken*. Dunker församlingshem. Flen. 1/9-12.

[2] Elis Johansson. *Ljudimmissionsberäkning och utredning av lågfrekvent ljud från vindpark vid Palsbo i Jönköpings kommun*. ÅF-Infrastruktur AB/f d Ingemansson. Rapp 567183. Göteborg. 2011-08-24, sid. 5, rad 34–35. http://www.eon.se/upload/eon-se-2-0/dokument/extranet/vind/MKB-Bilaga-10-Ljudberakning.pdf.

[3] *Fiskar hör buller från vindkraftverk*. FOI. 31/10-11. http://www.foi.se/nyheter/Press--nyheter/Nyheter/2011/Fiskar-hor-buller-fran-vindkraftverk/.

[4] Erik Skärbäck. *Landskapets värde för hälsa*. Vindkraft Gislaved. Föredrag no 6. http://www.mcenter.se/index.php?option=com_content&view=article&id=213.

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

[6] *God ljudmiljö ... mer än bara frihet från buller*. Naturvårdsverket. Rapport 5709. 2007,. http://www.naturvardsverket.se/Start/Om-Naturvardsverket/Vara-publikationer/ISBN1/5700/91-620-5709-X/.

[7] *Samrådsunderlag etablering och drift av en vindkraftspark på fastigheterna Ånhammar 1:1 i Gnesta kommun och Kvattala 1:1 i Flens kommun*. Eolus Vind AB, Hässleholm, 2012-03-12, 42 sid.

[8] *Kraftläget i Sverige. Vattensituationen*. Svensk Energi. www.svensk energi.se/upload/Statistik/Kraftläget/vrapp.pdf.

[9] E. Martınez, F. Sanz, S. Pellegrini, E. Jimenez & J. Blanco. *Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine*. Renewable Energy 34 (2009), sid. 667–673. http://www.cynulliadcymru.org/sc_3_-01-09__p8__further_evidence_ from_bwea_cymru_on_carbon_reduction_via_land_use.pdf.pdf.

[10] Karin Adalberth. *Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings*. Rapport TVBH-1012, Avdelning Byggfysik. Lunds tekniska högskola, Lund 2000.

[11] Marie Feuk & Tore Wizelius. *Varning för vindkraft i skog*. Ny Teknik. 24/10-08, http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/vindkraft/article253329.ece

[12] Lars Fröding. Arise Windpower AB. Samrådsmöte. Vindkraftstation Skararp. Markaryds kommun. 8/6-12.

[13] M. Odenberg. *Kraftbalansen på den svenska elmarknaden vintrarna 2009/2010 och 2010/2011*. Svenska Kraftnät. Rap. till Näringsdepartementet. Dnr 2010/441, 2010. http://www.svk.se/Global/02_Press_Info/Pdf/100813_Effektbalansen_rapport.pdf

[14] Thomas Karlsson. *Elsituationen i Sverige*. Vindkraft Gislaved. Föredrag no 3. http://www.mcenter.se/index.php?option=com_content&view=article&id=213.

[15] Ulf Lindblom. *Vindkraft slår ut miljövänlig vattenkraft*. GP. 30/9-11. http://www.gp.se/nyheter/debatt/friaord/1.735768-vindkraft-slar-ut-miljovanlig-vattenkraft.

[16] Annika Helker Lundström. *Vindkraft i sikte. Hur påverkas fastighetspriserna vid etablering av vindkraft?* V d Svensk Vindenergi. Stockholm. 2012-09-15, 44 sid. http://www.vindkraftsbranschen.se/wp-content/uploads/2011/10/Vindkraftisikte100915.pdf.

[17] Birger Aarmo, Sturla Nordbøe & Bjørn Erik Øvrelid. *Her felles en vindmølle til 25. mill*. ScanWind. Namdalsavisa. 21/8-12. www.namdalsavisa.no/naringsliv/article6198883.ece.

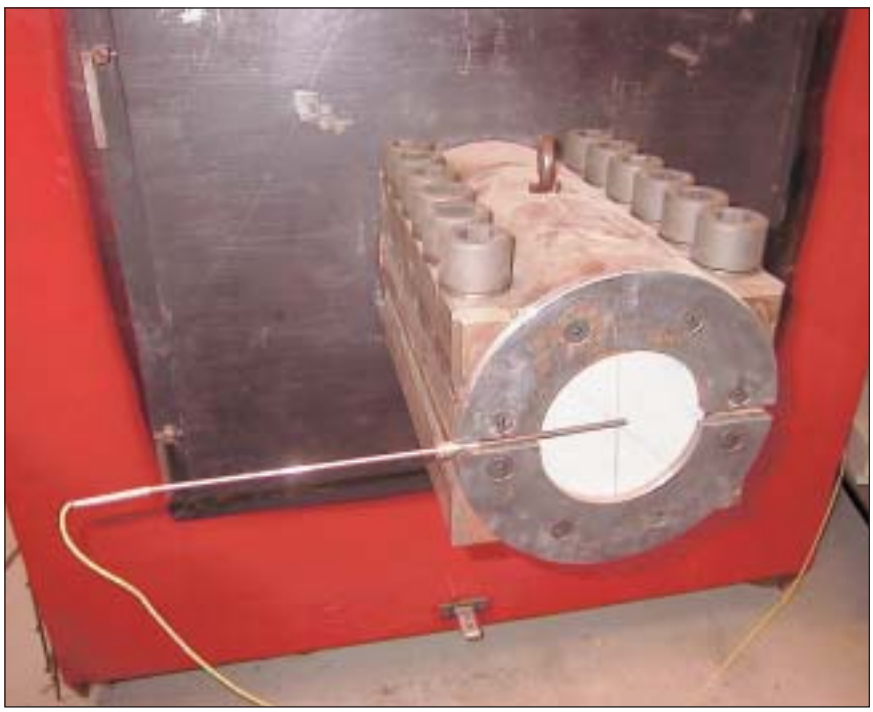
Välkommen till
Bygg & tekniks hemsida:
byggteknikforlaget.se

Betongstomme kunde begränsat WTC-katastrofen. Husbyggaren 4/2003, 18-27.

Betongstomme k WTC-ka

Den 11 september 2001 innebar en satsning på säkra byggnader i USA, i första hand en inventering av kända skadefall med hänsyn till byggnadens typ och dess material[1]. Det är förmodligen så att World Trade Center hade stått kvar även efter terrorattacken om stommen i byggnaden hade utförts i betong[2]. Normalt stål mjuknar vid hälften så hög temperatur som betong och förlorar sin hållfasthet redan vid 450°C efter mycket stora deformationer.

AV DOCENT BERTIL PERSSON



DTUs jämförande provningsmetod för brandspjälkning. (Foto: Finn H Kristiansen.)

För att stålkonstruktionen i WTC skulle kunna motstå den brand som uppstod då flygplanen träffade byggnaderna krävdes ett passivt system, eftersom undertaket i WTC ej var brandavskiljande – endast akustiskt betingat[3]. Huvudbärningen i golven på WTC bestod av upp till 18 m långa stålfackverk med ett centrumavstånd av 2 m. Under- och överramen i fackverket bestod av vinkelstål medan diagonalerna utgjordes av stålstänger svetsade till vinkelprofilerna. Mellan huvudbalkarna fanns sekundärfackverk med 4 m lång kvarsittande stålplåt och 0,10 m betongpågjutning. Huvudfackverken sprutades med 13 mm brandskyddsfärg. Krav på brandskydd av sekundärbalkarna och plåten förelåg inte. Enligt en rapport efter en brand mellan våningarna 9 och 19 i WTC 1, 1975, tyder dock mycket på att även sekundärbalkarna och plåten

kunde begränsat tastrofen

försetts med brandskydd, 6 mm påsprutning. Brandskyddsfärgen innehöll fram till 1970 asbest för de första 38 våningarna på WTC 1 då mineralull i stället började nyttjas för de resterande 72 våningarna av WTC 1 och hela WTC 2[3]. Asbestfärgen hade något högre termisk konduktivitet (sämre från brandskyddssynpunkt, k = 0,34 Btu·in/(h·ft²·°F)) jämfört med mineralullsfärgen med k = 0,29 Btu·in/(h·ft²·°F). Som bekant stod WTC 1 med asbestfärg kvar 42 minuter efter flygplanskraschen mot 56 minuter för WTC 2 med ett brandskydd innehållande mineralull. Tidsskillnaden kan dock även ha berott på träffbilden samt på flygplanens innehåll av bränsle. Gemensamt för de bägge brandskyddsfärgerna var dock den dåliga vidhäftningen mot stålet, vilket uppdagades inte minst efter attentatet 1993[3]. Det var knappast lönt att laga brandskyddet utan detta borde i stället ha ersatts med ett helt nya skikt i tre lager till en tjocklek av 34 mm enligt nya myndighetskrav från 1995. Så hade redan hunnit ske vid katastrofen 2001 – dock endast på nio våningar av WTC 1 och tio våningar i WTC 2.

Byggnaderna dimensionerade för flygplanskrock

Byggnaderna som sådana var dimensionerade för att klara stöten från ett flygplan av typen Boeing 707 – frågan var om brandskyddsfärgen tålde vibrationerna från stöten utan att falla av. Enligt de nya myndighetskraven från 1995 krävdes också en vidhäftningshållfasthet hos det passiva brandskyddet mot stålet av ca 10 kPa. Brandtester saknades av fackverken i WTC. Tester på ett liknande golv med 60 mm betongpågjutning tydde på att 650°C nåddes efter 105 minuter[3]. Tester på själva stålet i balkarna till WTC gav dock vid handen att materialets hållfasthet och hela golvets nedböjning påverkades menligt redan vid temperaturer över 400°C[3]. Enligt en rapport från 1999 krävdes endast 1,5 h brandskydd (13 mm brandskyddsfärg) eftersom WTC-byggnaderna då hade försetts med ett aktivt brandskydd (sprinkler) men detta fungerade troligen inte vid krascherna den 11 september 2001.

Normal betong däremot, uppvisar fortfarande vid 800°C en viss hållfast-

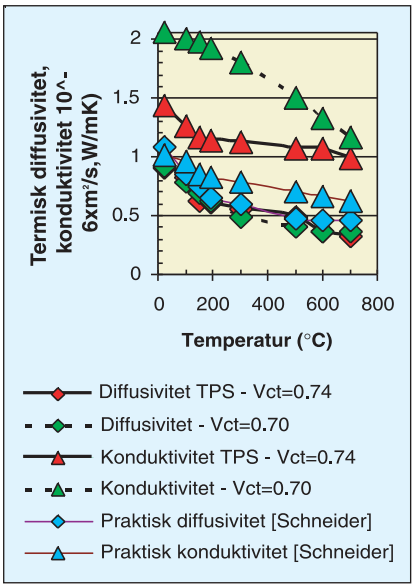


Fig 1 – Med TPS uppmätt termisk diffusivitet och konduktivitet.



Pelare av normal betong (till vänster – utan fiberinblandning) och självkompakterande betong efter ett brandprov vid SP, Borås. Från höger innehöll pelarna 0 kg, 2 kg respektive 4 kg fibrer per m³ betong. (Foto: Katarina Kieksi.)

het vilket gör att stål i armerade betongkonstruktioner skyddas från brand av betongen precis som betongen skyddar stålet från korrosion i aggressiv miljö[4]. Självkompakterande betong har också viss hållfasthet vid 800°C vilken dock förloras vid avsvalning eftersom kalken i betongen då tar upp fukt ur luften med en söndervittring av betongen som följd.

Nordiskt seminarium

Ett nordiskt miniseminarium om betong och brand hölls vid Danskt Teknologiskt Institut, DTI, Tåstrup, i maj i år.

Bijan Adl-Zarrabi, SP, presenterade en mätutrustning, Transient Plane Source, TPS, med vars hjälp termisk konduktivitet och diffusivitet kan mätas under brand med en tämligen kostnadseffektiv utrustning[5]. Resultaten av undersökningar av konduktiviteten med TPS skilde sig inte mycket vid temperaturer mellan 0°C och 400°C i förhållande till vad som tidigare är känt, (Fig 1). Även ifråga om den termiska diffusiviteten verkade med TPS uppmätta värden stämma bra med verkligheten med den skillnaden att TPS visade ett nära nog konstant



Bild 3 – Ugn för provning av brandegenskaper under belastning. Foto: Building Research Establishment, BRE, Cardington.

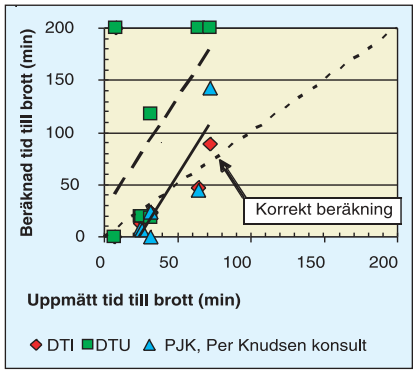


Fig 2 – Beräknad tid till brandbrott för en excentriskt belastad vägg versus uppmätt tid.

värde mellan 200°C och 500°C medan tidigare mätningar visade minskande värden. TPS kan kalibreras och därför kan återanvändningstiden bestämmas. **Niels Andersen**, Danskt Brandtekniskt Institut, DBI, visade resultat från brandförsök med excentriskt belastade väggar[6]. Obelastade väggar viker sig mot branden eftersom väggen utvidgas på denna sida. Väggar som belastas på brandsidan kan vika åt andra hållet. Resultaten avvek mycket från de resultat som tre olika typer av beräkningar givit vid handen, (Fig 2). Niels Andersen efterlyste en ändring av beräkningsmodellerna med hänsyn till inverkan av excentricitet. För Danskt Tekniskt Universitets, DTUs, modell beräknades följande samband:

$$t_{B,\,DTU} = 2.2 \cdot t_U + 25 \qquad (1)$$

$t_{B,\,DTU}$ betecknar tid till brandbrott med DTUs modell (min)
t_U betecknar uppmätt tid till brandbrott (min)

DTUs modell övervärderade tiden till brott. För Per J Knudsens, PJKs, modell erhölls följande samband:

$$t_{B,\,PJK} = 2.27 \cdot t_U - 58 \qquad (2)$$

$t_{B,\,PJK}$ betecknar beräknad tid till brandbrott enligt PJK (min)

DTIs modell gav i stort sett samma resultat som en modell enligt PJK d v s tiden till brandbrott undervärderades kraftigt vid mindre än 50 minuter till brott medan den övervärderades för tid över 50 minuter.

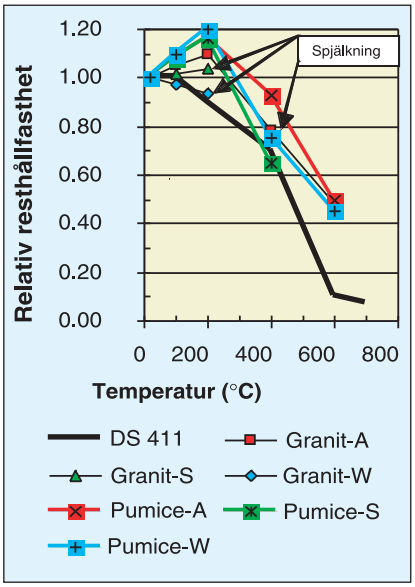


Fig 3 – Kvarvarande relativ hållfasthet enligt dansk norm, DS 411, för betong med granit, G, och med lättklinker, Pumice. A = lufthärdning; S = förseglig; W = vattenlagring.

Forskningsbehov: modell för beräkning av tid till brott för excentriskt belastade väggar.

Spjälkning hos betong

Tor-Arne Hammer genomförde ett antal försök på högpresterande betong/höghållfast betong med lättballast under 1980-talet inför byggandet av norska oljeplattformar[7]. Betongen hade vattenbindemedelstal, vbt, som varierade mellan 0,35 och 0,50. Såväl fullskaleprov med förspända balkar 0,15 x 0,20 x 2,80 m som prov på cylindrar med 100–150 mm diameter utfördes. Det huvudsakliga problemet var brandspjälkning med kraftig avskalning av armeringens täckskikt som följd. Vattenlagrade prover visade större avskalning än förseglade eller luftlagrade prover. Fuktinnehållet var den i särklass mest kritiska parametern för att brandspjälkning skulle äga rum. Inget samband erhölls mellan spjälkning och vbt. Ej heller kunde någon som helst inverkan av silikastoft på spjälkningen konstateras. Som ett resultat infördes 2 kg/m^3 polypropylenfibrer i betongen. Hydrokarbonbrand (HC) studerades d v s en extremt snabb temperaturutveckling

Forts sid 24

Nu föreskrivs Prelaq Nova på mer än vart fjärde bandtäckt tak



Grafiskt Utbildningscenter, Uppsala



Max Hamburgerrestaurang, Borlänge



Drottninggatan 2, Stockholm

Väljer du färgbelagd takplåt av gammal vana, så riskerar du att få en plåt med gamla egenskaper.

Väljer du nya Prelaq Nova så får du en färgbelagd plåt som inte kan flaga och som inte innehåller några diskutabla ämnen ur miljösynpunkt. Dina kostnader för underhåll och ommålning blir dessutom väsentligt lägre, när den dagen kommer.

Allt fler väljer färgbelagd takplåt på ett aktivt sätt. Därför finns Prelaq Nova på mer än vart fjärde bandtäckt tak som läggs och andelen ökar snabbt.

Gör ett aktivt val du också. Börja med att skicka eller faxa kupongen och lär dig mer om Prelaq Novas goda egenskaper.

PRELAQ®

❒ Jag vill veta mer om Prelaq Nova och Drottningatan 2
❒ Jag vill veta mer om Prelaq Nova och Max Hamburgare
❒ Jag vill veta mer om Prelaq Nova och Grafiskt Utbildningscenter

Husbyggaren

Namn

Befattning

Adress

Postadress

Telefon F ax

E-postadress

SSAB Tunnplåt AB
781 84 Borlänge
Telefon 0243-700 00
Telefax 0243-720 00
www.prelaq.com

SSAB TUNNPLÅT

Forts från sid 22

med 1 000°C ugnstemperatur inom tio minuter.

Här föreligger flera forskningsbehov som t ex:

- *Hur ändras de kritiska parametrarna i betong med brandtemperaturen?*
- *Experimentella materialegenskaper för betong.*
- *Materialmodeller och simuleringsprogram för betong.*
- *Beteende hos normal betong vid HC-brand.*
- *Inverkan på betongens egenskaper av brand i betonginklädd tunnel.*
- *När erfordras polypropylenfibrer respektive brandskyddsåtgärder för betong?*

** Klassificeringssystem för betong.*

Kristian Hertz redovisade mätningar av temperatur och tid till brott utförda vid DBI, Vhidovre[8] vid brand hos betongplattor med lättklinkerballast. Beräkningar enligt DTUs metod och resultaten enligt mätningarna stämde mycket väl överens, inom några få minuter. Kristian Hertz provade också väggar med lättklinkerbetong utsatta för brand. Väggens inåtbuktning mot branden resulterade i en excentricitet av 20 mm på en 200 mm tjock vägg (nedre hörnet mot brandsidan krossades). Trots dessa förändringar av det statiska beteendet blev beräkningarna enligt DTU mycket bra – inom två minuter i tid till brott i förhållande till de utförda proverna. **Michael Brögger Jensen** jämförde rena materialegenskaper vid brandtemperaturer hos betong med lättklinker, normal betong och danska normen BR 95[9]. Vid 20°C hade lättklinkerbetongen tryckhållfastheten 25 MPa och normal betong 50 MPa. I fråga om hållfasthetsutveckling vid brandtemperatur stämde den danska normen inte vare sig för normal betong eller lättklinkerbetongen med verkligheten. Betydligt högre hållfasthet uppmättes i verkligheten. Dock erhölls mycket lägre elasticitetsmodul i verkligheten än vad som beräknades med normen, (Fig 3–4).

Här krävs ytterligare forskning om ”Elasticitetsmodul hos betong vid högre temperatur”.

Lars Jensen studerade spjälkning hos högpresterande betong med vbt = 0,34 samt 11% silikastoft, dels utan polypropylenfibrer, dels med 6 kg/m^3 polypropylenfibrer[10]. Tryckhållfastheten var 58 MPa respektive 69 MPa samt draghållfastheten, 3,5 resp. 4,3 MPa. Elasticitetsmodulen var 32 MPa för betongerna. Bägge betongtyperna hade relativa fuktigheten, RF = 84% vid provningen samt fuktkvoten, u = 5,3%. Samtliga betongprover utan fibrer spjälkade kraftigt medan spjälkning i stort sett uteblev för betong med fibrer. Såväl spänningsfri som förspänd betong (MPa) studerades men yttre last hade ingen inverkan på brandspjälkningen eftersom fuktinnehållet var så stort i betongerna.

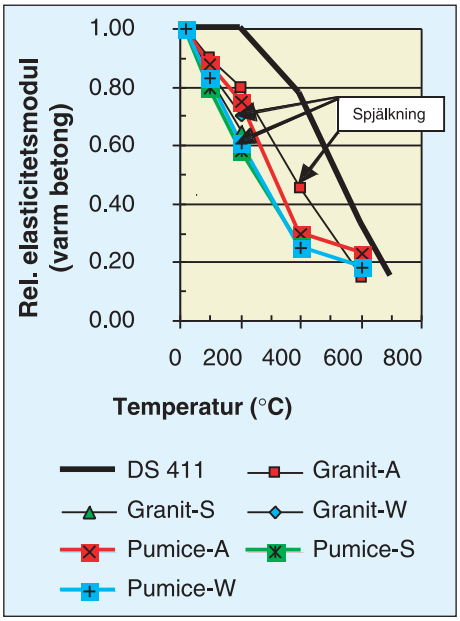


Fig 4 – Elasticitetsmodul i varmt tillstånd enligt dansk norm, DS 411, för betong med granit, G, och med lättklinker, Pumice. A = lufthärdning; S = försegling; W = vattenlagring.

Ny provningsmetod

Lars Schiött Sörensen redogjorde för brandspjälkning hos exponerad, brandutsatt, resurssparande betong[11]. En ny jämförande provningsmetod användes där en betongcylinder med diametern 150 mm spändes in i ett 50 mm tjockt stålrör med inte mindre än tolv bultar med diametern 36 mm. Änden på cylindern utsattes för temperaturstrålning direkt nära öppningen på en ugn varvid betongen utvidgade sig och spjälkade under vissa betingelser. Stålröret som betongen var inspänt i utvidgade sig däremot endast obetydligt, bara med hänsyn till dess elasticitet eftersom det höll 20°C. Metoden är enkel och kostnadseffektiv men kan bara genomföras i jämförande syfte,

Forts sid 26



Bild 4 – Fullskaleprovning av brandegenskaper under belastning med ved som bränsle. Foto: BRE, Cardington.



Sveriges mest kända isolering byter namn till Isover!

Tävla och vinn 10.000:- på www.isover.se

SAINT-GOBAIN
ISOVER SCANDINAVIA

Forts från sid 24

t ex mellan normal betong och resurssparande betong eller självkompakterande betong, SKB. I resurssparande betong används andra bindemedel i stället för cement, t ex silikastoft i syfte att minska bindemedlets påverkan på miljön t ex i form av koldioxidutsläpp. Försöksresultaten visade större spjälkningsrisk för betong med silikastoft än för betong utan detta tillsatsmaterial.

Självkompakterande betong

Lars Boström presenterade resultat från ett försök i fråga om spjälkning av självkompakterande betong, SKB[12-16]. Vid samma vattenpulvertal, vpt, kan olika stor mängd betong spjälkas beroende på hur stor mängd filler som ingår i betongen. En större mängd fibrer i betongen kan också ge större spjälkning om man ej samtidigt beaktar betongens fillerinnehåll.

Själv visade jag utvidgade analyser av spjälkningen beräknade även med hänsyn till innehållet av Portlandcement i bindemedlet[17-18] (Fig 5). Inverkan av mängden plastfibrer i betongen blev tydlig om man även tog i beaktande Portlandcementpulvertalet, d v s hur stor del av pulverinnehållet (cement+filler) som utgjordes av rent Portlandcement. Resultaten var logiska eftersom kalkstensfiller inte ger någon draghållfasthet i betongen vilket cementgelen ger. Resultaten stämde väl med de uppmätta värdena, (se ekvation[3]. (Figur 6). Mängden 32 µm fibrer för att vid konstant fuktkvot och påkänningsnivå erhålla samma spjälkning för SKB som för normal betong erhålls ur:

$$ppf_{normal} = (13\cdot(c/p)-12.3)\cdot\ln(w/c) - 2.69\cdot(Pc/p)^2 + 2.65\cdot(Pc/p) - 0.2 > 0 \quad (3)$$

ppf_{normal} 32 µm fibrer för att erhålla samma spjälkning som för normal betong (kg/m³)
w/Pc betecknar vattenPortlandcementtalet
Pc/p betecknar Portlandcementpulvertalet

Mer än 2 kg/m³ fibrer bör dock ej inblandas i betongen med hänsyn till gjutbarheten. Alternativet är således att i stället öka innehållet av cement i betongen. För stora konstruktioner kan det emellertid vara problematiskt att öka cementinnehållet till följd av värmeutveckling (tunnelväggar, t ex). I sådana fall blir det nödvändigt att kyla konstruktionen. För förtillverkande element torde dock inte problem med hög temperatur uppstå.

Forskningsbehov:

- *Porositet och vatteninträngning hos SKB med andra typer av filler än glas eller kalkmjöl.*
- *Porositet och vatteninträngning hos SKB med viskositetshöjande medel.*
- *Isoterm hos SKB med alternativ sammansättning.*
- *Brandspjälkning hos optimerade SKB.*
- *Brandspjälkning hos SKB med 18-µm fibrer.*

Claus Vestergaard Nielsen presenterade försök med värmeutvidgningskoefficienten hos resurssparande betong och hos traditionell svensk betong[19]. De resurssparande betongerna innehöll 35% flygaska samt 7–8% silikastoft (vattenbindemedelstal, vbt = 0,60–0,65) medan den svenska betongen innehöll rent Portlandcement, vbt = 0,86. De danska betongerna innehöll sjösingel som ballast medan den svenska betongen hade ballast av amfibolit, diabas och gnejs[20]. Värmeutvidgningskoefficienten hos betongerna varierande från 10 vid 20°C till 60 miljondelar vid 600°C per grad Celsius för den svenska betongen medan den uppgick 100 miljondelar vid 600°C per grad Celsius för de danska betongerna. Enligt Claus Vestergaard Nielsen var ballasten orsaken till skillnaderna i värmeutvidgningskoefficient[19].

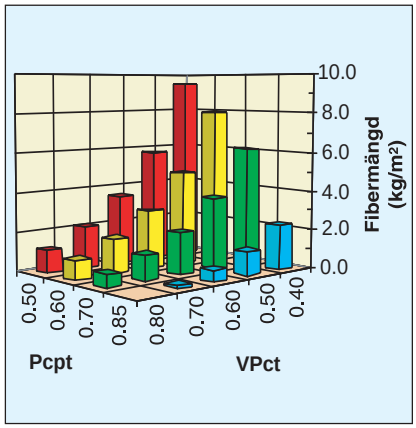


Fig 5 – Fibermängd vid olika vatten-Portlandcementtal, VPct, och Portlandcementpulvertal, Pcpt.

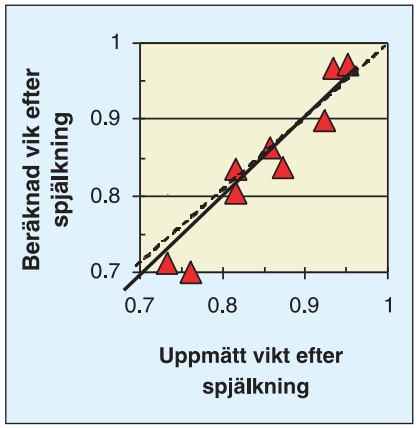


Fig 6 – Beräknad vikt efter brandspjälkning som funktion av uppmätt vikt (varje punkt motsvarar tre mätningar.

Enligt **Björn Vik** är forskningen om betong och brand åsidosatt jämfört med de insatser som görs inom området träforskning och brand[21]. Av denna orsak borde nya projekt sjösättas som klargör skillnaderna mellan säkerheten hos byggande i trä och betong vad gäller brand.

Forts sid 28



Spjälkning hos betongpelare med varierande innehåll av plastfibrer. (Foto: BRE, Carrington.)

SITAC
Dokumenterad kvalitet

www.sitac.se

Forts från sid 26

Inverkan av fukt och yttre spänning

Ett europeiskt workshop beträffande ”Brandsäkerhet hos betong” speciellt egenskaper hos SKB hölls vid CEMBUREAU i Bryssel i juni med 20 deltagare. Själv framhöll jag inverkan av filler, fukt och spänning på risken för brandspjälkning, (Fig 7)[4, 22]. För normal betong har det konstaterats ett samband mellan fukt, spänning och risken för brandspjälkning men detta gäller uppenbarligen inte för högpresterande, HP, betong även om fuktkvoten var så låg som 2,2% (Fig 7)[22]. Frågan var dock obesvarad för SKB eftersom resultaten var något motstridiga enligt Fig 7.

Henk Vanwalleghem presenterade belgiska försök med på SKB i form av långa cylindrar, Ø 150 mm, som hängdes i en ugn med en temperaturutveckling enligt ISO 834[24]. Betongerna var lufthärdade utan någon pålagd påkänning. Fuktkvoten var ca 4,5% vid provningstillfället. Ingen spjälkning inträffade för dessa betonger.

Fabienne Robert presenterade resultat med en temperaturutveckling enligt ISO 834[25]. Provningar utfördes på en del av en förspänd betongbalk med längden 700 mm samt tvärsnittet 300 x 500 mm, dels för SKB med tryckhållfastheten 40 och 55 MPa, dels för normal betong med motsvarande kvalitet, 40 MPa. Fuktkvoten var 3,7% för betongerna med tryckhållfastheten 40 och 55 MPa och 4,6% för SKB med tryckhållfastheten 55 MPa vid samma uttorkningsförhållanden. Ingen spjälkning uppstod för betongerna med tryckhållfastheten 40 MPa. För SKB med tryckhållfastheten 55 MPa uppstod en mindre spjälkning mittpå balken där viss, liten förspänning troligen fortfarande fanns kvar (i och med att balken kapades fanns knappt någon förankringslängd kvar). Djupet på spjälkningen var 29 mm som mest. Fabienne Robert presenterade också provningar av tryckhållfasthet vid förhöjd temperatur som visade högre värden än för normal betong, speciellt för temperaturen 400°C[25].

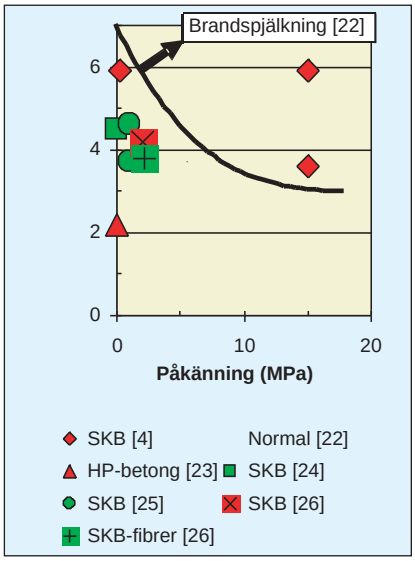


Fig 7 – Risk för brandspjälkning som funktion av påkänning och fuktkvot (ovanför linjen för normal betong). Röd markering = experimentella resultat av brandspjälkning.

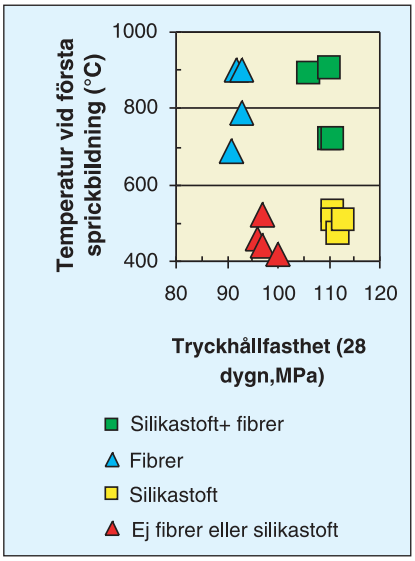


Fig 8 – Brandspjälkningen kunde elimineras med 2–4 kg/m³ polypropylenfibrer i betongen.

Patrick Sullivan visade provning av pelare av normal betong och SKB i full skala[26]. Den normala betongen och SKB härdades parallellt. För SKB skedde en total avskalning av täckskiktet medan nästan ingen spjälkning uppstod på den normala betongen. Med 2–4 kg/m³ polypropylenfibrer i betongen kunde spjälkningen elimineras (Fig 8)[27]. Fuktkvoten var ej känd vid provningen – endast härdningen som var exakt lika för SKB som för normal betong fram till provningen. Efter en avslutande diskussion togs en generell rekommendation fram i form av Tabell 1, ifråga om åtgärder beträffande brandsäkerhet hos betong, speciellt egenskaper hos SKB. De svenska betongrecepten stämde dock väl med t ex tyska rekommendationer i fråga om fillerhalten[28]. Gränsen för tryckhållfasthet vållade en speciell diskussion eftersom finska erfarenheter som mest medgav tryckhållfastheten C 60 MPa utan att speciella åtgärder vidtogs för betongens brandsäkerhet (C = cylinder). I Sverige finns en rekommendation att använda fibrer vid vattenbindemedelstal, vbt < 0,32, vilket torde motsvara tryckhållfastheten > C60 MPa. Rekommendationerna

Forts sid 30

Tab 1 – CEMBUREAUs sammanfattning av åtgärder för att säkerställa brandsäkerheten hos SKB.

Användningssätt	Normal SKB	Speciell SKB
Normalt	Fuktkvot <3% Hållfasthet ≤ C50/60, C70/80 Konventionella material Kräver speciella åtgärder krävs som för normal betong. Tämligen mycket kunskap finns.	Möjliga problem (speciella) åtgärder kan få vidtagas). Hög fuktkvot > 3%. Låg permeabilitet.
Speciellt, dvs tunnlar, hög fuktkvot	Möjliga problem (speciella åtgärder kan få vidtagas).	Möjliga problem (speciella åtgärder kan få vidtagas).



Bild 6 - Spjälkning hos betongplatta utan plastfibrer. Foto: BRE, Carrington.



Vi provar hela sambandet i din fastighet.

Samordnad provning - en tjänst från Bengt Dahlgren AB

Med dagens pressade bygg- och projekteringstider följer också ett högre tempo i alla led. Allt mer tekniskt komplexa fastigheter minskar tiderna för varje entreprenör att följa upp och kontrollera sin del av installationerna. Därför visar erfarenheten att en samordnad provning över entreprenörsgränserna är viktigare än någonsin för att få en väl fungerande fastighet.

Provningen har två syften. Det ena är att säkerställa funktionssambanden från början till slut, oberoende av entreprenörsgränssnitt. Med andra ord - att se till att hela anläggningen fungerar som den skall.

Provningens andra syfte är att mäta prestanda i anläggningen som helhet. Provning av prestanda kan gälla hela installationer som upphandlats med prestationskrav, t ex reservkraft. Prestandaprovningen kan också gälla delar av installationer, t ex reglerfunktioner för luftbehandlingsaggregat. Vid provning av t ex ett insvängningsförlopp för ett luftbehandlingsaggregat provas, förutom utförande och injustering, även dimensionering och konstruktion.

Bengt Dahlgren AB har stor erfarenhet av att leda och utföra samordnade provningar av fastighetsinstallationer. Vi upprättar också de handlingar som krävs för provningen. Vi utför provningar både i projekt där vi själva medverkar i projekteringen eller där vi enbart utför provning.

För mer information om samordnad provning, kontakta:
Jan Banfors, Stockholm, tel 08-588 88 137 eller Urban Carlsson, Göteborg, tel 031-720 25 25

BENGT DAHLGREN AB

GÖTEBORG 031-720 25 00 • STOCKHOLM 08-588 88 100 • LINKÖPING 013-37 40 50 • MALMÖ 040-672 88 60 • HÄRNÖSAND 0611-223 55
www.bengtdahlgren.se • e-post: fornamn.efternamn@bengtdahlgren.se

Forts från sid 28

ges i avvaktan på fortsatta försök i fråga om kritisk fuktkvot och kritisk påkänning för brandspjälkning hos SKB. SKB har vunnit insteg i så många länder, till 100% i vissa fabriker, att ingen vill ändra betongsammansättning med mindre än att det finns ett mycket större försöksunderlag med provningar av SKB under normala förhållanden (fuktkvot < 3%; tryckhållfasthet < C60–C85 MPa). Fortsatt forskning om brandspjälkning är således akut av nöden! ❑

Referenser

1 **Long Phan.** Personlig information. National Institute for Standards and Testing, NIST. Washington. 2002.

2 **Stig Strömkvist.** Stålskelett gav vika i hettan. Sydsvenska Dagbladet Snällposten 2001.

3 http://wtc.nist.gov

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

5 **Bijan Adl-Zarrabi.** Thermal Properties of Concrete Exposed to Fire. Nordic Concrete Research Mini-Seminar on Concrete and Fire. Tåstrup. 2003. Red.: Claus Nielsen. DTI, Tåstrup. 2003, 3 sid.

6 **Niels Andersen.** Calculation and Fire Testing of Load Bearing Concrete Walls. ibid, 4 sid.

7 **Tor-Arne Hammer**. Summary of the Norwegian Research on HPC/HSC in HC-fire. ibid, 3 sid.

8 **Kristian Hertz.** Fire Resistance of Concrete Constructions with Expanded Clay Aggregate. ibid, 3 sid.

9 **Michael Brögger Jensen.** Mechanical Properties of Concrete with Pumice Aggregate under High Temperatures. ibid, 3 sid.

10 **Lars Jensen, Mette R. Geiker, Lars Schiött Sörensen.** Explosive Spalling of Concrete, the Mitigating Effect of Polypropylene Fibers. ibid, 3 sid.

11 **Lars Schiött Sörensen, Kristian Hertz, Finn Harken Kristiansen.** Explosive Spalling of Exposed Resource Saving Concrete. DTU, Lyngby ibid, 3 sid.

12 **Lars Boström.** Spalling of Self-Compacting Concrete. ibid, 3 sid.

13 **Lars Boström.** SKB med plastfibrer klarar brand. Brandposten no 26. SP. 2002, 15.

14 **Lars Boström,** SKB utsatt för brand. Bygg & Teknik. 2002/06, 36–38.

15 **Lars Boström.** SKB med plastfibrer klarar brand. Betong 3/2002, 32.

16 **Lars Boström.** The Performance of Some Self Compacting Concrete when Exposed to Fire. Rapport 2002:23. SP, 37 sid.

17 **Bertil Persson**. Brandspjälkning i betong kan undvikas. Husbyggaren 2/2003, 18–28.

18 **Bertil Persson.** SCC at Fire Temperatures. Nordic Concrete Research Mini-Seminar on Concrete and Fire. Tåstrup. 2003. Red.: Claus Nielsen. DTI, Tåstrup. 2003, 3 sid.

19 **Claus Vestergaard Nielsen.** Thermal Deformation for Danish and Swedish Concretes Subjected to Heating. ibid, 4 sid.

20 **Ronny Boy.** Personlig information. Sydsten AB. Malmö. 2003.

21 **Björn Vik,** Brandförsvarets samarbetsorganisation Mur och Betong, BMB, Oslo.

22 **Gabriel Alexander Khoury.** Passive Fire Protection in Tunnels. Imperial College. Concrete. 2002, 26 sid.

23 **Long Phan.** High-Strength Concrete at High Temperarture – An Overview. Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Ed.: de Larrard, F., Lacroix, R., Paris, 1996, 501–518.

24 **Henk Vanwalleghem.** Fire Tests on SCC (Self-Compacting Concrete) Cylinders for Dutch CUR 120 Committee. Workshop, Brandsäkerhet hos SKB, CEMBUREAU, Bryssel, 2003.

25 **Fabienne Robert.** Characterisation of SCC in Fire, ibid.

26 **Patrick Sullivan.** UK Experience of SCC in Fire, ibid.

27 **Tom Lennon, Bailey, C Clayton, N.** The Performance of High Grade Concrete Columns in Fire, Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete. University of Leipzig. Ed.: König, G., Dehn, F., Faust, T., Leipzig. 2002, 341–353.

28 **DAfStb-Richtlinie.** ”Selbstverdichtender Beton”, Beuth Verlag, Berlin, 2001.

NYHET Flexikroken



- Låg vikt
- Lättmonterad
- Miljövänlig
- 15 års garanti
- Kulörbeläggning i Prelaq Nova
- Tillverkad av höghållfast stål

RYDAB

En ny produkt från RYDAB - www.rydab.se



PARTNERING

Egyptens pyramider är 4 000 år gamla. Kinesiska muren har funnits i 2 500 år. De romerska akvedukterna fungerar lika bra idag som för 2 000 år sedan. Det går med andra ord att bygga med kvalitet – om förutsättningarna är de rätta. Frågan vi alla i byggbranschen måste ställa oss är:

Kan vi inte bygga längre? Hur kommer det sig att nya hus börjar mögla? Varför blir det ofta dyrare än någon trodde från början?

Svaret är att det finns ett systemfel i byggbranschen som gör att ansvarsfrågor hamnar mellan stolar. Och det vill vi inte acceptera längre.

Oavsett vad som ska byggas finns det alltid två parter – beställare och byggare. Beställaren strävar efter att få så mycket som möjligt för pengarna och väljer oftast den byggare som har lägst pris. Byggaren å andra sidan strävar efter att få bygguppdraget och lägger sig därför på en prisnivå som exakt uppfyller kraven i specifikationen.

Att det kommer att bli problem är nästan givet. ”Det står inte i specifikationen”, säger byggaren och hoppas på en tilläggsbeställning som ska rädda ekonomin i projektet. ”Men titta här i offerten, där står ju att ni har totalansvar”, kontrar beställaren och börjar hota med förseningsavgifter.

Ansvaret styrs med andra ord av två papper. Inte av sunt förnuft och personligt engagemang.

Vi på NCC har alltid strävat efter samverkan för att effektivisera byggandet. Nu vill vi gå ett steg längre. Vi kallar det partnering. Principen bygger på fullständig ärlighet och öppenhet.

Vi och beställaren öppnar helt enkelt våra böcker för varandra. Beställaren talar om vad han vill ha byggt och hur mycket det får kosta. Vi talar om hur vi vill realisera det hela och visar exakt vad vi kommer att ta betalt för varje moment. Om vi under byggets gång kommer på idéer som gör att projektpengar kan sparas, så delar vi och beställaren på vinsten.

Det här sättet att bygga sänker kostnaderna samtidigt som kvaliteten förbättras. Vi vet, för vi har jobbat så här under flera år i Danmark och sedan ett halvår även i övriga Norden.

Vad förväntar du dig av NCC? Dela med dig av dina åsikter, tankar och idéer på vår hemsida **www.ncc.se**. Ge oss nya idéer om vad du vill bygga, förbättra eller skapa i din egen miljö. Det kan handla om ditt boende, ditt kontor eller visioner som rör samhället och din närmiljö.

Tillsammans utvecklar vi framtiden. Välkommen.

NCC

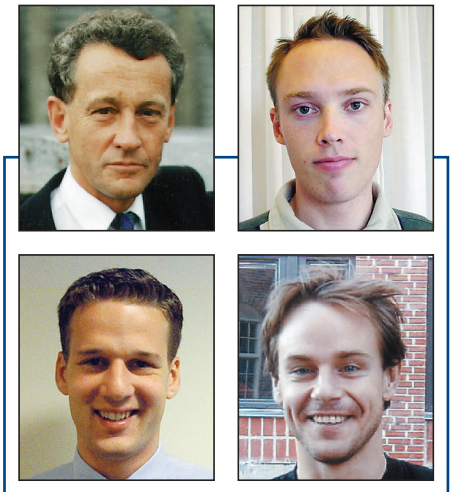
FÖRVÄNTA LITE MER

Betonguttorkning med Byggcement. Bygg & Teknik 07/2000, 30-32.

Betonguttorkning med Byggcement

I denna artikel redogörs för uttorkningen hos betong med Byggcement jämförs med andra cementsorter: Slite Std-cement samt anläggningscement. Inverkan att silikastoft på uttorkningen hos Slite Std-cement redovisas. För ändamålet studerades 14 betonger upp till ett halvt år. Inverkan av självuttorkning, lufthärdning och vattenlagring fanns med i programmet. Resultaten visar att uttorkningen i huvudsak följer vattencementtalet, dvs eftersom Byggcement innehåller cirka åtta procent mindre rent cement än vad Slite Std-cement gör, får man räkna med något sämre självuttorkning vid användning av Byggcement jämfört självuttorkningen i betong med Slite Std-cement. Silikastoft hade ingen inverkan på uttorkningen i kombination med Slite Std-cement. Största del av försöken finansierades av Cementa AB, Nordtest samt Svenska Fabriksbetongsföringen, SFF.

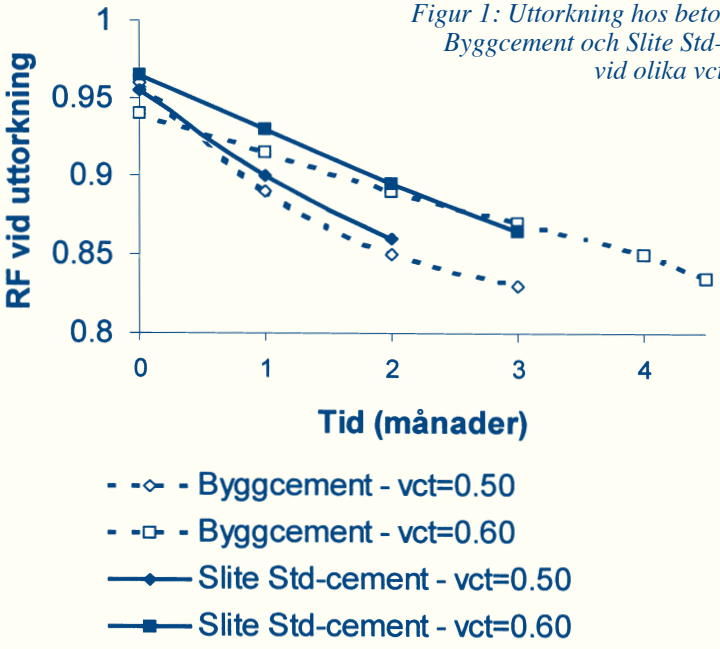
Behovet av ett billigare och mera gjutbart cement i stället för Slite Std-cement har funnits sedan introduktionen på 1970-talet [1]. Miljöskäl, dvs mindre produktion av koldioxid i samband med cementtillverkningen, motiverar en effektivare användningen av cement. Denna effektivisering kan endera göras genom att cementet ”späs ut” med filler eller genom att betongprodukten blir mera kostnadseffektiv, till exempel högpresterande betong [2, 3]. Den senare satsningen har inte slagit så väl ut eftersom betongbranschen för närvarande i stort sett saknar kompetens och utrustning för att tillverka högpresterande betong utom i enklare tillämpningar, snabbtorkande betong [4]. Tidigare har uttorkning hos betongplattor med tjockleken 180 mm med Byggcement studerades vid vct = 0,50 och 0,60, dels för betong med Slite Std-cement, dels för Byggcement [5, 6]. Härdningssätt: Två veckor i vatten, två veckors membranhärdning samt därefter luft med RF = 35 procent, 20 °C (dubbelsidig uttorkning). *Figur 1* visar RF för de fyra betongerna (20 procent av platt-tjockleken) som funktion av tiden [5, 6]. Skillnaden i RF vid uttorkning av betong med de bägge cementsorterna var liten.



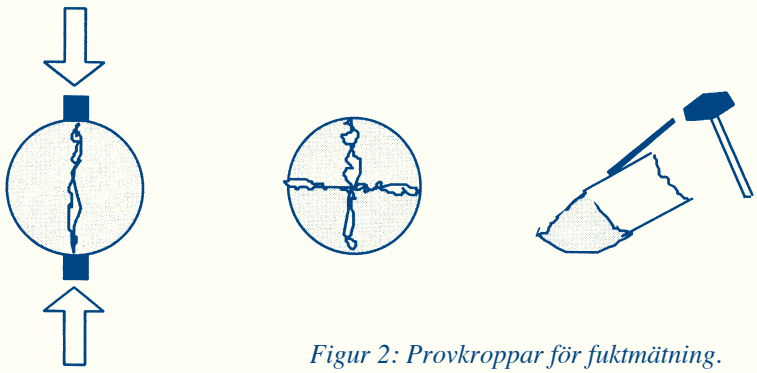
*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, (överst t v) Lunds Tekniska högskola, LTH, Byggnadsmaterial, **Andreas Allansson**, **Dan Gren** och **Petter Flodén-Nilsson**, (nederst t h) LTH, Bygg- och Miljöteknik, Lund.*

Utveckling av en Nordtest-metod för självuttorkning

Inom ramen för utveckling av en Nordtest-metod för självuttorkning hos betong studerades betong med vct = 0,32, 0,38 och 0,50 [7]. Vid varje vct användes bindemedelskombinationerna Degerhamn Std (L), Slite Std (N), samt Slite Std plus fem procent silikastoft (NS), *tabell 1*. Första dygnet förseglades betongerna i stålformen samt efter avformningen i tjocka plaströr. För varje kombination skedde härdningen vid 18, 20,5 eller 23 °C. Inverkan av dessa temperaturskillnader på betongens självuttorkning var liten. Totalt studerades självuttorkningen på 81 stycken prover i form av standardcylindrar, ø 100 x 200 mm^3, såväl vid en som sex månaders ålder, *figur 2–3*. *Figur 4* visar relativa fuktigheten, RF, efter en månad som funktion av vct. Till följd av sin kemiska sammansättning



Figur 1: Uttorkning hos betong med Byggcement och Slite Std-cement vid olika vct [5, 6].



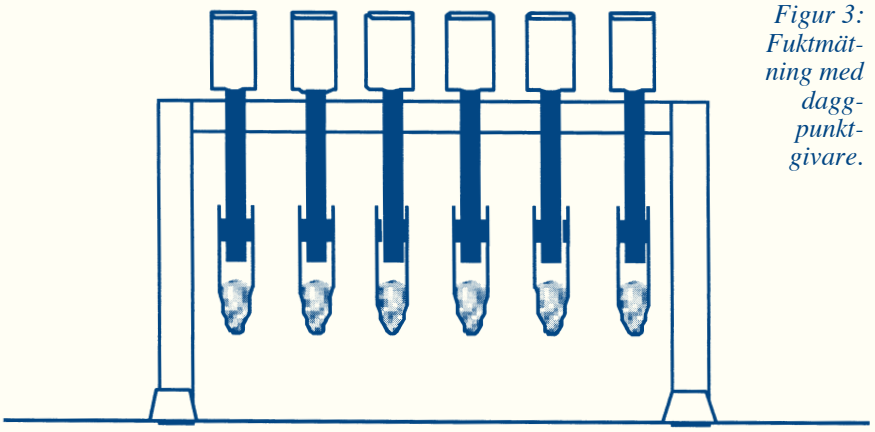
Figur 2: Provkroppar för fuktmätning.

Tabell 1: Betongrecept för Nordtest, etc. (kg/m³)

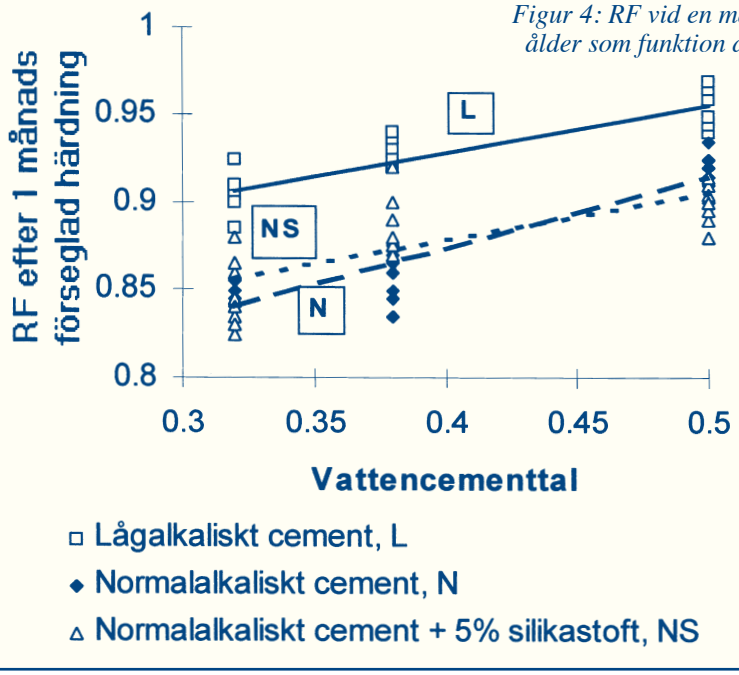
Material /betong	32L	32N	32N S	38L	38N	38N S	50L	50N	50N S
Kvartsit 12–16 mm	669	686	725	532	535	549	407	417	434
Kvartsit 8–12 mm	137	141	149	258	259	266	320	329	343
Grus 0–8 mm	704	722	763	747	750	771	830	852	887
Sand 0 mm (filler)	107	110	93	43	43	44	32	33	34
Cement	395	405	428	343	345	354	274	281	293
Granulerat silikastoft	–	–	21	–	–	18	–	–	15
Luftporbildare (g/m³)	43	44	50	34	35	35	26	26	27
Flytmedel (melamin)	3,4	3,5	3,6	1,7	1,7	1,8	0,9	0,9	1,0
Vattenreducerare	1,7	1,8	1,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1
Vatten inklusive all fukt	127	131	137	131	131	135	136	138	144
Lufthalt (% av volym)	12,5	10,5	6,0	13,0	13,0	10,5	15,5	13,5	11,0
Sättmått	90	100	80	140	170	150	200	180	180
Densitet i färskt tillstånd	2 145	2 200	2 330	2 090	2 100	2 175	2 000	2050	2 150
28-dygns cylinderhållfasthet[1)]	47	51	71	51	38	51	20	27	33

[1)] 9 cylindrar, L = lågalkaliskt cement (Degerhamn Standard), N = normalalkaliskt cement (Slite Standard), NS = normalalkaliskt cement (Slite Standard) + 5 % silikastoft, 32 = vct (%).

gav Slite Std-cementet cirka sex procent lägre RF än Degerhamn Std, främst innehållet av C_3A, C_4AF och K_2O inverkade [8]. Tillsats av silikastoft hade ingen inverkan på självuttorkningen då kombination skedde med Slite Std-cement.



Figur 3: Fuktmätning med daggpunktgivare.



Figur 4: RF vid en månads ålder som funktion av vct.

Självuttorkning hos betong med Byggcement

Eftersom Byggcement innehåller samma kemiska cementkomponenter som Slite Std-cement var det sannolikt att självuttorkningen hos betong med de bägge cementtyperna skulle ske på ett likartat sätt under förutsättning att en kompensation skedde av vct för det minskade ”rena” cementinnehållet i Byggcement, cirka åtta procent, dvs för att erhålla lika uttorkning bör vct minskas med cirka åtta procent i en betong med Byggcement jämfört med Slite Std-cement. Detta för att cementet, men ej kalkfillern i Byggcement, ger upphov till en kemisk krympning hos hydratvattnet. Det är denna kemiska krympning som är en grundförutsättning för att en självuttorkning ska äga rum. Totalt provades fem betonger. *Tabell 2* ger aktuella recept, etc [9]. Av varje betong göts tre cylindrar enligt rutinerna ovan vad gällde härdning (20 °C enbart). Vid en månads ålder togs prov ut enligt figur 2. Fuktmätning och kalibrering skedde enligt de metoder som ges under Nordtest ovan, dvs samma kalibreringsrutiner och daggpunktgivare kom till bruk, figur 3. *Figur 5* visar uppmätt självuttorkning, dels hos betong med Byggcement, dels hos betong med Slite Std-cement [7–9]. Skillnaden i självuttorkning vid konstant vct kan tyckas liten (upp till två och en halv procent högre RF i betong med Byggcement vid vct = 0,35). För att nå samma självuttorkning krävdes det emellertid en minskning av vct med upp till 14 procent hos betong med Byggcement jämfört med betong med Slite Std-cement, figur 5 (vid RF = 88 procent). Vid låga vct var det således mera kostnadseffektivt att använda Slite Std-cement än Byggcement för att nå samma självuttorkning hos betongen. Vid högre vct spelar betongens självuttorkning mindre roll i förhållande till den yttre uttorkningen.

Tabell 2: Betongrecept för betong med Byggcement, etc. (kg/m³)

Material /betong	35B	38B	44B	55B	80B
Kvartsit 12–16 mm	594	543	477	428	372
Kvartsit 8–12 mm	292	314	327	352	372
Grus 0–8 mm	877	943	982	1054	1113
Byggcement	452	429	374	306	238
Flytmedel (melamin)			15	8	5
Flytmedel (polykarboxylateter)	3	5			
Vatten inklusive all fukt	158	163	165	170	191
Flytsättmått (mm)		600			
Sättmått (mm)	210	265	60	60	30
Densitet i färskt tillstånd	2 376	2 397	2 340	2 318	2 291
28-dygns cylinderhållfasthet (MPa)	53	52	38	32	18

B = Byggcement; 35 = vct (%)

Jämförelse med beräkningsprogram TorkaS

En experimentell jämförelse utfördes med ett aktuellt beräkningsprogram, SBUF:s TorkaS. Programmet baseras på försök med betong med Slite Std-cement. Förväntat RF med beräkningsprogrammet borde således vara mindre än det som erhölls experimentellt, upp till cirka två och en halv procent RF för betong med lågt vct, figur 5. För ändamålet tillverkades prover i stålcylindrar med diametern 100 mm och längden 200 mm. Efter ett dygn skedde avformning varefter en aluminiumfolie applicerades runt om provet. Ändytorna var fria från aluminiumfolie. Hälften av proverna härdades direkt med ena änden i 10 mm vatten och andra änden i luft, RF = 60 procent, hälften av proverna förvarades direkt i RF = 60 procent (dubbelsidig uttorkning). Även förseglade prover togs med i beräkningen varvid omgivnings-RF passades till det RF som erhölls med TorkaS. Rutiner enligt ovan användes, dvs vid en månads ålder togs prover ut enligt figur 2 och 3 och mättes, kalibrerades enligt dessa rutiner. *Figur 6* visar enligt TorkaS beräknad RF som funktion av experimentellt uppmätt RF [9]. Vid självuttorkning överensstämde enligt TorkaS förväntat RF (tunn linje) och uppmätt RF väl. Vid såväl vattenlagring som lufthärdning överskattades RF kraftigt med TorkaS jämfört med de värden som uppmättes vid försöket, speciellt för betong med lågt vct [9].

Slutsatser

I syfte att jämföra uttorkning hos betong med Byggcement med betong baserad på Slite Std-cement provades 14 betonger inom försökets ram. I huvudsak provades självuttorkning, som tar hand om största delen av uttorkningen tidigt hos betong med lågt vct, så kallad snabbtorkande betong. Resultat från en månads ålder redovisas i denna artikel men mätningar skedde delvis även efter sex månader. Följande slutsatser drogs:

1. Skillnaden i självuttorkning vid konstant vct var cirka två och en halv procent (högre) RF i betong med Byggcement (vct = 0,35).
2. För att nå samma självuttorkning krävdes en minskning av vct med upp till 14 procent hos betong med Byggcement jämfört med en betong baserad på Slite Std-cement (vid RF = 88 procent).
3. Vid lågt vct var det mera kostnadseffektivt att använda ett Slite Std-cement än ett Byggcement för att nå samma självuttorkning i en betong.
4. Tidigare studier visade att uttorkningen av betong med vct > 0,50 skedde tämligen lika i betong baserad på Byggcement och Slite Std-cement.
5. Vid självuttorkning överensstämde förväntat RF enligt TorkaS väl med uppmätt RF.
6. Vid såväl vattenlagring som lufthärdning överskattade TorkaS RF kraftigt, speciellt vid låga vct. ■

Referenser

[1]. Bertil Persson. *Ideal partikelfördelning i högpresterande betong*. Betong 95/3. 1995, 6–8, 39.

[2]. Bertil Persson, Anders Johansson, Peter Johansson. *Förspända balkar i högpresterande betong – ekonomiska och miljömässiga fördelar*. Bygg & teknik 7/98. Stockholm. 1998, 16–19.

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

[4]. Lars-Olof Nilsson. *Är högpresterande betong lösningen på fuktproblemen?* Byggforskning 2/98, 40–41.

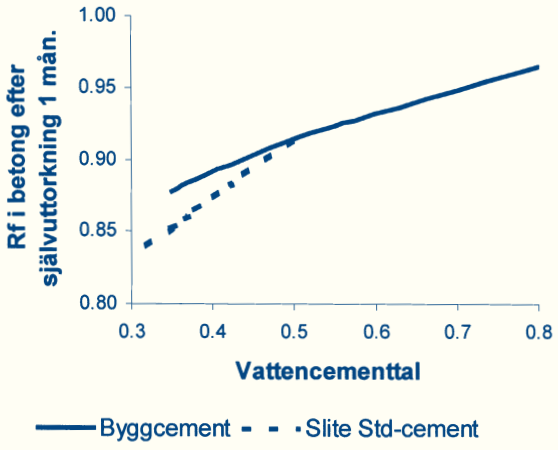
[5]. Göran Hedenblad. *Uttorkning av betong med cement*, CEM II/A-L.42.5. Rapport U99.12. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 7–8, 45–46.

[6]. Byggcement. Teknisk beskrivning. Cementa AB. Danderyd. 2000, 15.

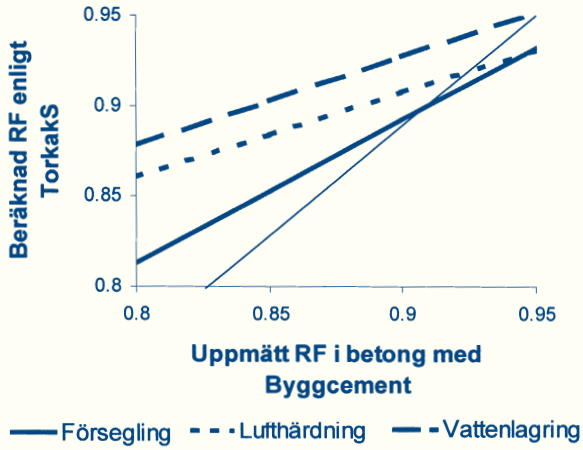
[7]. Bertil Persson. *Nordtest för kontroll av självuttorkning hos betong*. Bygg & teknik 5–6/99. Stockholm. 1999, 5: 49–52, 6: 58–60.

[8]. Bertil Persson. *Consequence of Cement Constituents, Mix Composition and Curing Conditions for Self-desiccation in Concrete*. Materials and Structures. RILEM. 2000, 11 sid.

[9]. Andreas Allansson, Dan Gren, Petter Flodén-Nilsson. *Självuttorkning och torkning av betong*. Laborationsuppgift. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2000, 19 sid.



Figur 5: Självuttorkning, dels hos betong med Byggcement, dels hos betong med Slite Std-cement [7–9].



Figur 6: Enligt TorkaS beräknad RF som funktion av experimentellt uppmätt RF [9]. Tunn linje = förväntat värde enligt TorkaS för betong med Byggcement.

Borrade tunnlar för miljöns skull. Husbyggaren 1/2001. 2001, 20-24.

TUNNLAR

Borrade tunnlar

för miljöns skull

AV DOCENT BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

**För närvarande planeras ånyo borrning genom Hallandsås där tekniken ställs inför hittills oprövade utmaningar.
Målet för denna tunnel är att ge en bättre yttre miljö: kortare restid och därmed en lägre miljöbelastning i samband med transporter längs västkusten. Förbättringen i arbetsmiljö vid borrning är påtaglig jämfört med förhållanden vid manuell tunneldrivning.**

För ca 20 år sedan borrades en tunnel i norra Peru. Tunneln har diametern 3,8 m och borrades 8,5 km av totalt 13,5 km. Den försörjer ett 125 MW kraftverk med vatten[1]. Ursprungligen planerades tre tunnelpåslag med det mellersta i oländig terräng med bland annat broar som del av tillfartsvägen. Alternativet med borrning blev därför attraktivt i och med att framdriften beräknades bli dubbelt så stor jämfört med manuell drivning (traditionell borrning och sprängning)[2-3]. En tunnelborrningsmaskin, TBM, byggdes av Jarva, USA, och kom till platsen i nedmonterad. Sammansättning av det 120 m långa ekipaget skedde på platsen, (Fig 1). Under TBM-tillverkningen och -montaget drevs de båda tunnelpåslagen manuellt. Det visade sig dock att smärre berggaddar från tunneldrivningen hindrade maskinens inmarsch. Det tog därför nästan lika lång tid att genomföra denna ”walk-in” som om maskinen hade borrat sig fram. TBMen borrade sedan som mest ca 60 m per dygn.

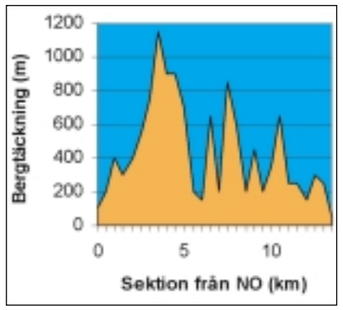
Borrningsarbetet hade förberetts minutiöst. För energiförsörjningen krävdes fyra oljedrivna generatorer varav en i reserv. Mötesplatser byggdes successivt på den spårbundna banan in i tunneln. Vattenförsörjning, från den ca 400 m lägre liggande Chancay-floden, skedde genom stegvis pumpning från bassäng till bassäng. Luftförsörjningen fram till tunnelfronten skedde genom ett platstillverkat plåtrör. Vidare konstruerades olika alternativ vad gällde tunnelförstärkning.

All förstärkningsmateriel fanns i beredskap i bakre delen av maskinen för att sättas in vid behov. Normalt räknade man med att borra utan förstärkning av berget. Av förklarliga skäl var bergundersökningen relativt sparsam speciellt som bergtäckningen var stor, delvis över 1 km, (Fig 2). Berget var i stort sett torrt men på enstaka stället gav vattenfickor upphov till stora vattentryck med utsprängning av bergbitar som följd.

TBM fick anpassas till berget

Efter borrning av en kort sträcka visade sig TBMen ha vissa inkörningsfel t ex skruvar som höll fast borrkronan i de fyra motorerna lossnade och fick bytas ut, samtliga transformatorer fick bytas ut etc.

Under väntetiden på ny materiel från USA stod TBMen stilla. Andra tunneländen växte oförtrutet med ca 15 m per dygn. Den manuella drivningen var dock inte ofarlig och ett par allvarliga olyckor inträffade. TBM-körningen genomfördes däremot utan att allvarligare arbetsolyckor inträffade. Efter att ha undvikit en gammal vulkanisk zon genom att göra tunneln S-formad kom man dock in i



Figur 2. Bergtäckning vid TBM-borrning i Peru.



Figur 1. TBM i Peru. På bilden Bernt Nilsson, Sentab.

dåligt berg med en s k ”bergkyrka” som följd. Skölden till maskinen skyddade dock förarna från skador. Efter rasen var det nödvändigt att sätta bågar och att lasta ut löst material manuellt. Frånsett förare, elektriker och utsättare var all TBM-personal peruaner som lärts upp på platsen. Trots maskinella fel var framdriften med TBM ungefär dubbelt så stor som den manuella drivningen. Utslaget på tre år borrades ca 8 m/dygn (inkl stillestånd).

Japansk tunnel

En tunnel under staden Okayama, Japan, utförd med en ny teknik, studerades i detalj 1998[4]. Fabrikstillverkad stålfiberarmerad självkompakterande betong extruderades omedelbart efter det att tunneldrivningen hade utförts. Metoden säkerställde tunnelns goda bestånd även vid borrning i lösa sediment. Den nya tekniken var dock inte helt problemfri eftersom sprickor uppstod efter hand som den platsgjutna betongen krympte. En annan nackdel var den långsamma framdriften, som mest ca 12 m per dygn. Betongen fick härda innan formen kunde flyttas framåt. Utslaget på projekttiden blev framdriften liten, ca 2 m/dygn.

I Okayama skedde borrningen med ett trycksatt borraggregat. Trycket samt en kraftig stålsköld höll vattnet ute intill dess att man successivt hade gjutit ett tätande betongskal i bakre delen av skölden. Vissa stenar av porfyr eller granit krävde speciella åtgärder framför fronten på borraggregatet. Därför fanns fyra trycksatta manluckor genom en roterande skiva med 35 diskusformade skärverktyg längst fram på TBMen. Då diskusarna rullar över sedimenten spräcks dessa och materialet kan sedan pumpas ut i slurryform genom ett rör. Vattentrycket var dock litet vid tunneln i Okayama, ca 5 m gravitationstryck samt ett par m artesiskt tryck.

Fortsatt borrning av projekt Hallandsås

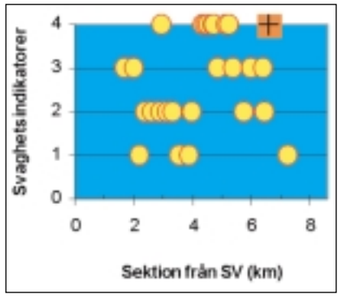
Som ett huvudalternativ till en fortsättning av projekt Hallandsås anges TBM[5]. Totalt återstår 2x5,6 km tunnel att driva. Åren 1992 till 1995 TBM-borrades 13,5 m av tunneln samt borrrandes och sprängdes ca 17 procent av totala tunnellängden på traditionellt sätt. Under 1996 och 1997 drevs ytterligare ca 17 procent av tunneln på traditionellt sätt. Under 1998 till 2000 fortsatte injekteringsarbetena. Dessutom har en betonginklädnad skett av 2x640 m av tunneln. Vid ett färdigställande av tunneln kommer kanske, med hänsyn till miljön, en annan produktionsmetod att väljas. Vattenläckaget vid TBM-borrning förväntas nämligen bli mindre än vid traditionell borrning och sprängning eftersom berget direkt efter TBMen tätas med betongelement. Å andra sidan är risktagandet större vid val av TBM-metoden. Veterligt klarar ingen TBM under drift fullt vattentryck i Hallandsås, ca 150 m[5]. Endera får man konstruera en maskin som tar fullt vattentryck eller täta berget innan en borrning kan ske. Maskinen uppges dock kunna ta fullt vattentryck som olyckslast, stillastående. Ett alternativ till TBM är manuell drivning. Tätningen av berget, som man under alla omständigheter blir beroende av, i synnerhet vid borrning och sprängning, är problematisk. Kemiska tätningsmedel är diskutabla från omgivningssynpunkt. Utvecklingen av nya tätningsmedel är fortfarande på experimentstadiet.

Eftersom spricksystemet i berget ofta är fyllt med lera är det svårt att injektera cement[6]. Därför blir inte tätning med injektering tillräckligt effektiv för att läckaget skall kunna hållas under kravnivån, d v s uppfylla föreliggande vattendom, 33 l/s. Andra problem är välkända, t ex Möllebäckszonen. Inom horsten har det uppstått en ca 400 m lång lokal gravsänka, ca 50 m djup i förhållande till den omgivande berggrunden. Berget är här krossat, mycket uppsprucket och vittrat (leromvandlat)[7]. Med tanke på att det inte finns någon TBM som klarar det aktuella vattentrycket torde detta



Figur 5. Tätning av tunneln genom Hallandsås (plastmatta + betonginklädnad).

avsnitt vara helt uteslutet för TBM-drift. Mest lämpligt torde vara att driva Möllebäckszonen från den befintliga (norra) tunnelfronten, ca 600 m. Horisontell borrning från den nuvarande tunnelfronten till Möllebäckszonen visar att man här kan förvänta sig friskt berg med goda möjligheter till stor framdrift i förhållande till vad som varit fallet hittills vid projektet[7]. Borrningen med TBM kan bli aktuell söderifrån. Fig 3 visar en sammanställning av bedömda antalet svaghetsindikatorer vid den återstående delen av Hallandsåsprojektet[7]. Enligt bedömningen är ca 44 procent av berget i den planerade tunneln behäftat med svaghetszoner.



Figur 3. Svaghetsindikatorer vid återstående delen av Hallandsåsprojektet: vittring, sprickzon, lervittring och krosszon.

TBM för rationell bergschakt

En TBM monteras inuti en bergkammare som in sin tur först schaktas ut, förstärks med bergbult och sprutas eller gjuts med betong. Eventuellt används två TBM, varvid den ena går före för att utröna bergets kvalitet. En pilotborrning sker genom TBM-fronten för att bedöma bergets täthet. Därefter utförs efter behov ett flertal injekteringar snett åt sidorna, uppåt och nedåt i förhållande till tunnellinjen. Injekteringsmedlet får härda varefter borrningen fortsätter o s v.

Ett problem vid förinjektering är den flacka lutningen på injekteringshålen. Vidare måste foderrör användas så att man säkerställer att injekteringen sker framför TBMen. Då injektering sker nära maskinen sprängs stora bergstycken loss och kan blockera framdriften.

Omedelbart efter borrningen sätts en ring av sju förtillverkade betongelement inuti skölden på TBMen. Elementens tjocklek är 700 mm och längden ca 2 m. Ett åttonde tunnelelement sätts in som en kil för att säkerställa att ringen skall kunna ta bergtrycket. På ringens plana sidor finns dubbla gummitätningar. Täthet under drivning nås genom att infettade stålvajrar på skölden släpar mot betongelementens utsida. Borrmaskinens domkrafter trycker ihop tunnelelementen varvid fogen blir tät och ringen satt under tryck. Bultar monteras mellan elementen. Mellan betongelementen och berget injekteras successivt cementbruk varefter elementen tar såväl bergtryck som vattentryck. Att använda förtillverkade betongelement i stället för platsgjutning är fördelaktigt eftersom betongen i elementen då har krymp färdigt före montage.

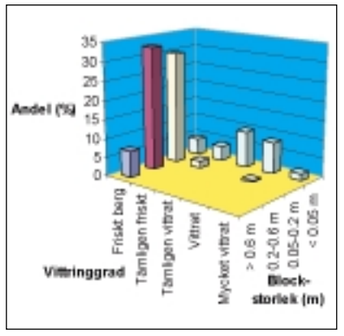
Betongelementen tillverkas i en fabrik utanför tunnelöppningen. Ca 44 000 element åtgår om hela den återstående delen av Hallandsås skall borras. Tillverkningen sker i skift. Kraven på delmaterial och toleranser är stora; tunneln skall stå i minst 120 år. Lämpliga cementsorter används för att inte värmeutvecklingen skall bli för stor med sprickor som följd. Efterbehandlingen av elementen är också viktig för att sprickor skall undvikas och vattentätheten garanteras. Varje element måste dessutom lasermätas så att man vet att det passar ihop med nästa element.

Största nackdelen med TBM-drift är rasrisken. Därför behövs ständigt kvalificerad personal på plats för att bedöma resultaten av pilotborrningar på ett korrekt sätt. En felbedömning av berget kan leda till ras på maskinen, vilken i värsta fall kan kilas fast.

Maskinell drivning säkrare

Rätt anpassad till bergets kvalitet ger en tunnelschakt med TBM påtagligt förbättrade arbetsförhållanden och förhöjd säkerhet i förhållande till en manuellt driven tunnel. Detta visar studier av tunnlarna i Peru och Japan. Dessutom ökar framdriften påtagligt tack vare TBM-tekniken.

En eventuell fortsättning av projekt Hallandsås kan bli borrad med hänsyn till att vattenläckaget då kan hållas på en rimlig nivå, miljön till gagn. Förutsättningen för att på nytt använda en TBM i Hallandsås är att man endera kan nykonstruera en maskin för ca 150 m vattenpelare i driftstryck, eller kan injektera berget tillräckligt för att halvera vattentrycket före och under TBM-borrningen. Med hänsyn till bergets dåliga kvalitet, speciellt i Möllebäckszonen, blir man dock på vissa avsnitt av den återstående tunneln hänvisad till traditionell borrning och sprängning. Injekteringsarbetet är på experimentstadiet. Om arbetet skall ske inom en rimlig tidsram får man söka en ny vattendom vad gäller temporärt vattenläckage från tunneln



Figur 4. Andel vittrat berg, en förnyad rapport.





Tabell 1 – För- och nackdelar vid traditionell borrning och sprängning resp TBM[8].

Traditionell borrning och sprängning		TBM	
Fördelar	*Nackdelar*	*Fördelar*	*Nackdelar*
Väl beprövad metod	Grundvattensänkning 50–100 m, 2 km bort	Endast lokal sänkning av grundvattnet	Problem med TBM förlänger byggtiden
Arbetet sker direkt på 8 st fronter samtidigt	Ca 20 års byggtid vid läckage < 33 l/s	Drivning med en front ger 33 l/s i läckage	Ingen TBM i världen klarar 150 mvp i tryck
Vid läckage 130 l/s är en rimlig tidplan 8 år	Spricka i plastmattan ger stora läckage[9]	Vid läckage 50 l/s är en rimlig tidplan 6 år	TBM torde ej forcera Möllebäckszonen
		Möjligt stänga tunneln vid stora läckage	Är känslig för ras och stora vattenläckage

under byggnadstiden, i synnerhet om manuell drivning väljes.

Förnyad bedömning av berg och injektering

I en s k PUH-rapport beskrivs berget som bättre än vad som kan utläsas av tidigare dokumentation, (Fig 4)[8]. Ca 75 procent av berget i den återstående delen av Hallandsåstunneln beskrivs som friskt; endast ca 10 procent (ca 560 m) anses som vittrat eller mycket vittrat. Med tanke på att endast Möllebäckszonen utgör totalt ca 400 m får man ifrågasätta den nya klassificeringen av berget, (Fig 4)[8]. Rapporten sammanfattar väl för- och nackdelar vid val av metod endera TBM med förtillverkade tunnelelement eller traditionell borrning och sprängning följt av gjutning av ett betonginklätt skal i efterhand, så kallad ”lining”, (Tab 1). Resultaten av injekteringsförsöken saknades men ansågs ej påverka val av arbetsmetod[8]. Kan ej injektering utföras av berget t ex i Möllebäckszonen, blir vattenläckagen orimligt stora. Två injekteringsmetoder beskrivs: endera från marken eller från en pilottunnel[8]. Enligt rapporten kompliceras injektering av att bergmassan till en stor del är kraftigt uppsprucken med stor andel vattenförande sprickor med vattentryck på upp till 150 mvp. Försvårande för injekteringen är att en stor del av sprickorna är fyllda med lermaterial[8]. Vid injektering är det svårt att dels med borrhål träffa vattenförande sprickor, dels att få injekteringsmedel att tränga ut i sprickssystemet. I Möllebäckszonen bedöms permeabilitetskoefficienten i berget till ca 10 000 ggr större än den permeabilitetskoefficient som erhålls efter tätning, $1x10^{-8}$ m/s. Nämnas bör att permeabilitetskoefficienten i Möllebäckszonen bedöms vara ca tio gånger större än i sedimenten under Okayama. I Okayama skedde borrningen under högst 15 mvp vattentryck. Mycket talar således för att injekteringsmöjligheterna i Möllebäckszonen blir gränssättande för projekt Hallandsås[8].



Figur 6. Yttre gjutform till tunneln genom Hallandsås.

Tidsaspekter

PUH-rapporten ger även detaljer för masstransporter under traditionell borrning och sprängning av tunnlarna[8]. Som mest planeras åtta fronter. Eftersom tätning av berget sker ca 500 m efter fronten hindras rationell transport förbi främre gjutplatsen under formningen och gjutningen. Schaktmassorna (totalt 1,5 miljoner m^3 löst berg) får då successivt transporteras över till den andra (lediga) tunneln. Därför byggs dubbla antalet tvärförbindelser mellan tunnlarna, c/c 250 m i stället för 500 m. Arbetet kommer således dels att störas av att tvärtunnlar skall byggas och förstärkas samt tätas, dels av att massorna skall lastas av och på vid tvärttunneln. Framdriften bedöms till ca 1,2 m/dygn och front[8].

Detta skulle i sig ge en byggnadstid på ca fem år. Till denna kommer tidsåtgången för Möllebäckszonen, där framdriften bedöms till mellan 0,6 och 1,5 m/dygn[8]. Möllebäckszonen kan bedömas ta två år[8]. Komplettering och tätning kan bedömas ta 1–2 år i anspråk varför åtta års byggtid torde vara realistiskt vid traditionell borrning och sprängning. Kompletterande injektering blir aktuell[9], (Fig 5–6). Frågan är om inte en rostfri stålplåt istället för plastmatta vore bra för att på ett beständigt sätt täta Hallandsåstunneln, jfr föreliggande krav om 33 l/s i totalt läckage. Trycket på tätskiktet motsvarar trycket i en normal renvattenledning.

Kraven på en TBM är stora. PUH-rapporten framhåller risken för fortskridande ras i Möllebäckszonen om inte borrning sker under tryck, upp till 100 mvp[8]. Tryck över denna nivå tas om hand genom ett speciellt tätande ventilsystem. Även om TBM-metoden gagnar miljön så får en borrad fortsättning av Hallandsås dessvärre betraktas som ett fullskaleförsök. ❑

Referenser

1. **Hans Andersson**. Sentab. 1981.
2. **Thomas Hultheimer**. Sentab. 1981.
3. **Per Mared**. Sentab. 1981.
4. **Bertil Persson**. Tunnel genom vattenförande sediment – utan föregående injektering. Bygg & Teknik 1/99. 28-29.
5. **En fortsättning av projekt Hallandsås?** Banverket. 2000.
6. **Jan Alemo**. LTH. Lund. 2000.
7. **Johan Landberg**. Tunnlar genom Hallandsås. SWECO rapport 980615.
8. **Miguel Guirao**. Projekt Utredning Hallandsås. Banverket. 2000.
9. **Stig Strömkvist**. Trasig tätning i Hallandsåstunneln lagas efter nyår. SDS. 2000.

HJÄRTSJÖ



Brandspjälkning i betong kan undvikas.
Husbyggaren 2/2003, 18-28.

Brandspjälk kan un

Självkompakterande betong, SKB, uppvisar något annorlunda brandegenskaper än normal betong, främst beroende på ett stort innehåll av filler. Vid ett stort innehåll av filler i förhållande till cementinnehållet kan brandspjälkning uppstå. En analys visar emellertid att problemen med brandspjälkning kan undvikas om fillerhalten begränsas i betongen eller om plastfibrer tillförs.

AV DOCENT BERTIL PERSSON

Spjälkningen gör att armeringsstål i betongen friläggs och att konstruktionens goda bestånd kan äventyras. Efter avsvalning från 800°C uppvisar SKB med kalkstensfiller till skillnad från normal betong,

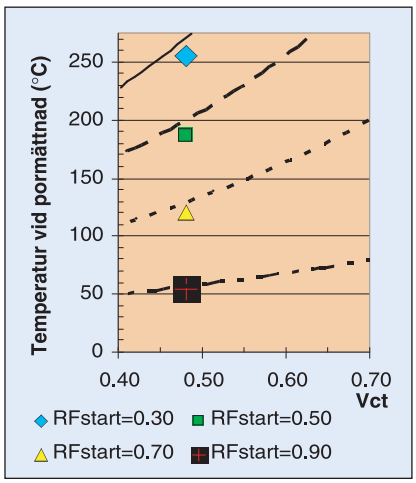


Fig 1 – Temperatur då vatten inneslutet i betong når pormättnad (varierande vct och RF vid brandens start).

ingen hållfasthet alls. Betongen faller sönder av sig själv under inverkan av luftens fuktighet. SKB kännetecknas av ett stort innehåll av finmaterial, cement och filler, i syfte att undvika segregation i gjutskedet. Detta gör att betongen blir alltför tät och innehåller för mycket vatten i inledningen av en brand för att den vattenånga som finns i betongen skall kunna transporteras ut. Vattenångan drivs i stället inåt i betongen där den övergår i flytande form då temperaturen ökar. Vatten har nämligen en större värmeutvidgningskoefficient än betong varför porerna fylls ut snabbt då temperaturen ökar (relativa fuktigheten, RF, ökar samtidigt som temperaturen ökar i betongen). Efter några minuters brand ökar även trycket i de vattenfyllda porerna. Vid en viss kritisk temperatur övergår vatten explosivt i vattenånga, vilket spränger betongen. Efter själva explosionsögonblicket kan man se vatten forsa nedför en brandspjälkad pelare vid provning i vertikalt läge. Detta visar att flytande vatten verkligen bildas i betongen även om dess relativa fuktighet, RF, inledningsvis är

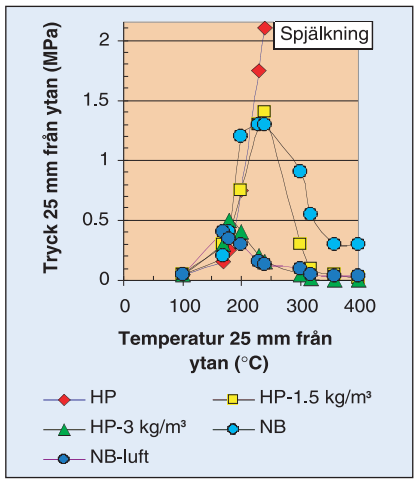


Fig 2 – Temperatur och tryck i betong vid spjälkningsförsök. HP = högpresterabde betong. NB = normal betong. 1.5 kg/m³ = 1.5 kg/m³ polypropylenfibrer

ning i betong dvikas

låg, RF = 70 procent, exempelvis, (Fig 1). Figur 1 visar temperatur i betongen då pormättnad nås vid varierande vattencementtal, vct, och RF i betongen vid brandens start[1]. I allmänhet varierar dock RF mellan 70 och 90 procent RF i betongen före brandens start eftersom RF i betongen normalt är cirka fem procent högre än den omgivande luftens medelfuktighet. Det förefaller också som om explosionen i betongen uppstår vid lägre temperatur än den kritiska. En vanlig betongtemperatur, som registreras just vid själva explosionen, är 185°C med ca 350°C på betongens yta, t ex vid försök på LTH. Förloppet är emellertid dynamiskt och stokastiskt varför exakt temperatur och portryck är svåra att följa. Klart är dock att den kritiska temperaturen, 275°C, överskrids före explosion i de försöksresultat som finns att tillgå (Fig 2)[2]. Vidare är det enligt Figur 2 gynnsamt att använda luftporbildare i betongen i syfte att minska risken för brandspjälkning. Vid de här redovisade försöken användes luftporbildare i betong med vattenlagring (upp till fem procents lufthalt). I luftlagrad betong varierade den naturliga lufthalten mellan en och fem procent. Under brandprovningar vid Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP, sprängdes inte bara de där provade pelarna, totalt 42 st, utan även ett av de säkerhetsglas som fanns i en av de omgivande ugnsväggarna[3-10]. Till råga på allt mjuknade en del av en videokamera som stod placerad alldeles intill säkerhetsglaset. Sprängningskrafterna är stora och skulle kunna äventyra säkerheten hos brandpersonal i ett inledande brandskede i ett av de hus som byggts i Sverige, byggherren ovetandes om problemet.



Bild 1 - Cylinder, 100 mm, av SKB, som exploderade under långsam upphettning, 480 °C/h. Försök på LTH, Lund[1]. (Foto: Stefan Backe).

Betongegenskaper vid brand

Fenomenet brandspjälkning hos SKB är känt sedan många år för högpresterande betong[1,2], (Fig 2). Normal betong består till allra största delen av ballast, grus och sten. En mindre del, ca 20 procent, utgörs av cementlim, ungefär lika viktdelar vatten och cement. Mängdförhållandet mellan vatten och cement anges av betongens vattencementtal, vct. Lika viktdelar vatten och cement i betongen innebär således vct = 0,50. Då betongen värms upp expanderar ballasten medan cementlimmet krymper. Vatten lämnar då betongens cementlim



Bild 2 – Provning av pelare i ugn vid SP, Borås. (Foto: Katarina Kieksi).

Tab 1 – Vikt hos betongerna 40AR0 och betong 40BR0 efter brand[9].

Betong	40AR0	40BR0
Cementpulvertal, cpt	1	1
Portlandcementpulvertal, Pcpt	1	0,85
Vattencementtal, vct	0,40	0,40
VattenPortlandcementtal, vPct	0,40	0,47
Vattenpulvertal	0,40	0,40
Lagringssätt (6 mån.)	Vatten	Luft
RF	93%	73%
Vikt efter brand	93%	95%

Beteckningar: A = Anläggningscement; B = Byggcement; R = referens (normal betong); 40 = vct; 0 = 0 % fibrer.

parallellt som temperaturen höjs varför stora rörelser uppstår i förhållande till ballasten. Dessa rörelser ger upphov till spänningar i gränsskiktet mellan ballast och cementlim. Då SKB fortfarande är varm påverkas inte hållfastheten i någon nämnvärd grad upp till ca 400°C enligt ett omfattande försök på området (Fig 3)[1]. Cementlim har ganska plastiska egenskaper under uppvärmningsfasen och kan därför fungera bra tillsammans med ballasten åtminstone upp till 575°C då en kvartsomvandling inträffar. Elasticitetsmodulen (betongens deformationer) påverkas emellertid kraftigare vid uppvärmning än vad hållfastheten gör. En halvering av elasticitetsmodulen kan utan vidare ske vid en uppvärmning upp till 400°C och provning vid denna temperatur, såväl för normal betong som för SKB (Fig 3). Recept för de provade betongerna ges i[11]. Positivt för SKB i förhållande till högpresterande betong är att hållfastheten bibehålls mellan 100 och 200°C, till och med ökar något (Fig 4)[1]. I högpresterande betong minskar hållfastheten ca 20 procent mellan 100 och 200°C. Efter det att betongen har utsatts för höga temperaturer sker ånyo stora deformationer hos ballast och cementlim. Både ballast och cementlim krymper men limmet något mindre eftersom det samtidigt tar upp fukt ur luften. Speciellt SKB påverkas kraftigt efter 800 °C då den kyls till 20°C och får vila någon vecka i rumsfuktig luft. SKB med kalkstenfiller, som kan ta tryck vid 800°C, pulveriseras totalt och faller sönder av sig själv (Fig 5)[1].

Beräkningsmässigt betyder de speciella egenskaperna hos SKB föga eller ingenting eftersom man ändå inte beräknar någon hållfasthet hos betong som utsatts för mer än 500°C[12]. Egenskaperna innebär emellertid rent praktiskt att en byggnad av SKB som stått kvar under en brand kan falla sönder av sig själv efter avsvalning. Detta är ett observandum inte minst för försäkringsbolag och brandpersonal.

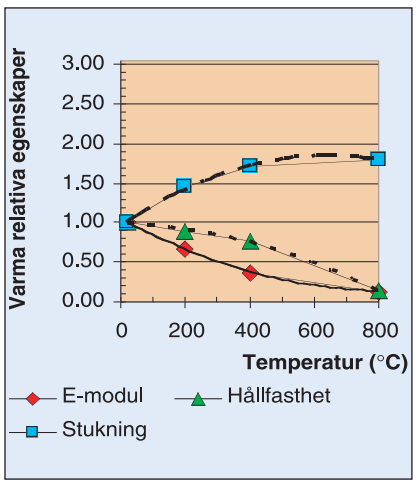


Fig 3 – Varma relativa egenskaper hos normal betong och SKB.

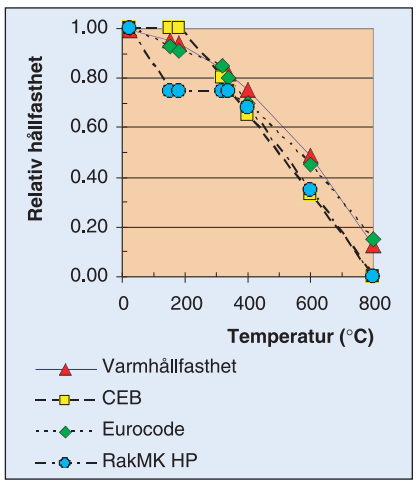


Fig 4 – Jämförelse mellan egenskaper hos SKB och högpresterande, HP, betong.

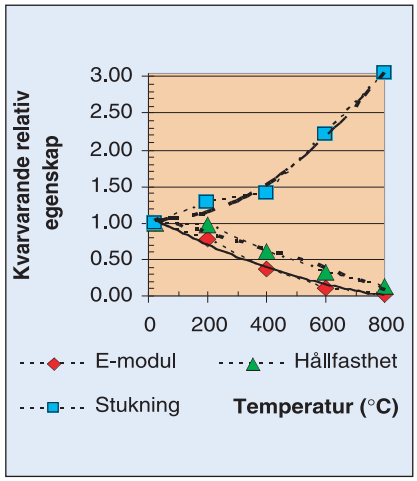


Fig 5 – Egenskaper hos upphettad normal betong och SKB efter avsvalning (ingen hållfasthet hos SKB med kalkfiller efter brand).

Cementhalt och brandspjälkning

Vad som tillkommer för SKB jämfört med normal betong är en relativt stor mängd filler ingående i pulverhalten tillsammans med cementen. Filler medverkar till att ge SKB förhållandevis hög tryckhållfasthet. Filler i betong bidrar dock ej nämnvärt till draghållfastheten, vilket kan vara avgörande vid brandspjälkning. Späs pulverhalten ut med alltför mycket filler blir betongen inte så motståndkraftig mot brand som med bara cement. Fenomenet kan också bero på att kalkfillret absorberar vatten. Motsvarande gäller för kloridinträngning i betong då cementen späs ut med för mycket kalkstensfiller[13]. SKB med mycket kalkstensfiller visar större kloridinträngning än betong utan filler. Utspädningseffekten kan uttryckas i det så kallade cementpulvertalet, cpt = 1 för betong med uteslutande Anläggningscement och (egentligt) cpt = 0,85 för betong med endast Byggcement. I Byggcement ingår ca 15 procent kalkstensfiller redan från leverans. Av praktiska skäl används dock här cpt = 1 även för betong med Byggcement[1]. För de provade SKB varierade cpt ned till 0,5[1]. Då cpt = 0,5 utgörs hälften av pulverhalten av filler, vilket är mycket, t ex 275 kg/m³ cement och 275 kg/m³ kalkstenfiller, så kallad fillerbe-

Forts sid 22

Tab 2 – Rel. vikt hos betonger med varierande ålder efter brand[9].

Betong	Cpt	Vct	Vpt	RF	Rel. vikt efter brand
40AR0	1,00	0,40	0,40	0,93	0,93
40BR0	1,00	0,40	0,40	0,95	0,95
55BK0-1 år	0,56	0,55	0,31	0,77	0,73
55BK2-1 år	0,59	0,55	0,32	0,85	0,85
55BK4	0,62	0,55	0,34	0,86	0,86
55BR0-1 år	1,00	0,55	0,55	0,73	0,86
70BR0	1,00	0,70	0,70	0,77	0,92

Beteckningar: A = Anläggningscement; B = Byggcement; R = referens (normal betong); 40 = vct; 0 = 0% fibrer.

Tab 3 – Mängd fibrer med diametern 32 µm vid ett halvt års provningsålder förutsatt att vikten efter brandspjälkning skall överstiga 85% av ursprungsvikten före brand (kg/m³).

Vct	Cpt=0.50	Cpt=0.60	Cpt=0.70	Cpt=0.80	Cpt=0,90
0,40	ej känd	4,2	2,4	1,0	0
0,50	4,2	2,0	0,4	0	0
0,60	2,1	0,9	0	0	0
0,70	2,0	0	0	0	0

Cpt = cementpulvertal = mängd cement/(mängd cement + mängd filler); Vct = vattencementtal.

Forts från sid 20

tong. Det går mycket väl att framställa SKB utan att filler ingår men då blir betongen mer instabil samt dyrare än SKB med filler[14]. Ytseparation av vatten är också vanlig hos en SKB utan filler vilket kan ställa till med skönhetsfel i form av bruna fläckar hos betongen. Fullskaleproduktion sker dock av SKB vid flera fabriker utan att filler används varför klara alternativ finns till fillermetoden[15]. Figur 6 visar klart hur cpt inverkar på brandspjälkning hos SKB med Byggcement (lufthärdning). Tendens till brandspjälkning översteg ej 15 procent vid ett vattenpulvertal, vpt > 0,50. Normal betong med cpt = 1 brandspjälkade upp till 15 procent av sin ursprungliga vikt vilket får anses som acceptabelt. Det kan inte vara rimligt att ställa mer konservativa krav på SKB än på normal betong. Vid vpt ≤ 0,50 uppstod däremot oacceptabelt stor brandspjälkning då mindre än 80 procent av pulverhalten utgjordes av Byggcement, cpt ≤ 0,80, (Fig 6). Figur 7 visar en sammantagen inverkan av cementpulvertalet på vikt efter brandprovning av betong med Anläggningscement (vattenlagring). För Anläggningscement kan ett något lägre vpt = 0,36 tillämpas vid en accepterad brandspjälkning av 15 procent (Fig 7). Det finns självfallet också ett samband mellan parametrarna cpt och vpt. Bägge parametrarna ökar samtidigt vid ett konstant vct. I branschen är vct den mest kända parametern så vct bör i görligaste mån nyttjas (vct inverkar direkt på hållfasthet och beständighet hos betong).

Inverkan av härdningssätt och ålder

Effekt av lagringstyp på mängden brandspjälkad betong kan bedömas med ledning av resultaten för två betonger (Fig 8), betong 40AR0 och betong 40BR0 (Tab 1)[11]. Betong 40AR0 (vattenlagrad med Anläggningscement; vct = vpt = 0,40; cpt = 1), som erhöll 93 procent i vikt efter brandspjälkning och betong 40BR0 (luftlagrad med Byggcement; vct = vpt = 0,40; cpt = 1), som erhöll 95 procent i vikt[9].

Det är förvånansvärt hur lika brandspjälkningen var för de bägge betongerna trots skillnaden i lagringssätt. Detta kan dock bero på att cpt egentligen var lägre för Byggcement, vpt = 0,85, än för Anläggningscement, vpt = 1. Om definitionen för vpt ändras påverkas dock även vct som i sånt fall ökar till vct = 0,47 för betongen 40 BR0 (beräknat på rent Portlandcement). Slutsatsen blir således att lagringssättet synes ha liten inverkan på mängden brandspjälkad betong. Aktu-

Forts sid 24

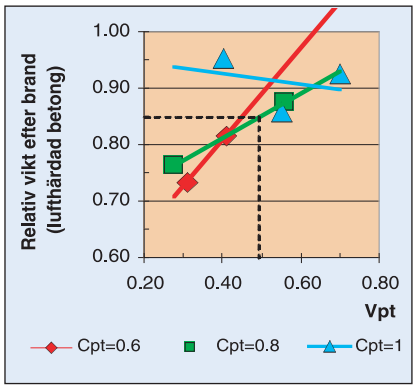


Fig 6 – Inverkan av cementpulvertalet, cpt, på vikt efter brandprovning (lufthärdad betong med Byggcement).

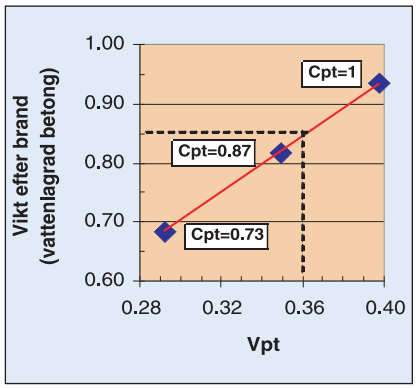


Fig 7 – Inverkan av cementpulvertalet, cpt, på vikt efter brandprovning (vattenalgrad betong med Anläggningscement).

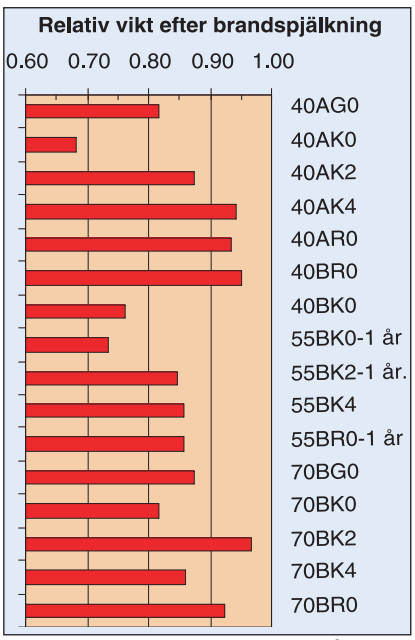


Fig 8 – Vikt efter brandspjälkning[9]. Medelvärde av 2–3 förspända pelare 200x200 mm² med längd 2 m av varje betong. A = Anläggningscement; B = Byggcement; R = referens (normal betong); 40 = vct; 0 = 0% fibrer.

Forts från sid 22

ell uppmätt RF = 73 procent för luftlagrad betong respektive RF = 93 procent för vattenlagrad betong var i varje fall tillräckligt stor för att ge en brandspjälkning i samma storleksordning för de bägge betongerna. Det fanns en tillräcklig mängd vatten i porsystemet på betongen för att snabbt ge porfyllnad vid ett brandförlopp.

Ålderns inverkan på mängden brandspjälkad betong kan också bedömas med ledning av Figur 8 och Tabell 2[9]. Betong 55BR0, som var ett år gammal vid provningstillfället förlorade 14 procent av sin vikt vid brandspjälkningen, jämfört med genomsnittliga värdet sju procent för jämförbara betonger med ett halvt års provningsålder, 40AR0, 40BR0 och 70BR0. I detta fall verkar ej heller provningsåldern ha inverkat på resultatet, snarare tvärtom[9]. Notabelt är att i en normal betong kan 14 procents brandspjälkning uppstå efter ett års luftlagring, RF = 73 procent, betong 55BR0.

I sammanhanget var det även intressant att jämföra brandspjälkningen hos en SKB med samma vct, 55BK0, med betong 55BR0 (normal betong). Det krävdes 2 kg/m³ plastfibrer i en SKB för att åstadkoma samma brandspjälkning, betong 55BK2 som i betongen 55BR0, ca 15 procent för bägge (vct = 0,55) vid 1 års ålder (Tab 2)[9]. Slutligen kan även ålderns inverkan på erforderlig fibermängd studeras för betongerna 55BK2 (2 kg/m² fibrer, 1



Bild 3 – Pelare efter provning i ugn vid SP, Borås. (Foto: Katarina Kieksi).

år) och 55BK4 (4 kg/m² fibrer, ett halvt år). För bägge betongerna noterades samma brandspjälkning, ca 15 procent, varför åldersskillnaden vid provningen, ett halvt år, i detta fall halverade behovet av fibrer, från 4 kg/m² till 2 kg/m². I huvudsak verkade dock inte åldern, ett halvt eller ett år, ha inverkat något nämnvärt på brandspjälkningen hos normal betong utan fibrer – ej heller verkade lagringssättet ha inverkat något nämnvärt vid ett halvt års ålder (Tab 2). Dessa resultat är anmärkningsvärda och strider mot tidigare forskningsresultat[1]. Tidigare har man för normal betong konstaterat att vattenlagring eller lagring vid hög luftfuktighet gjort betongen mera känslig för brandspjälkning än härdning i luft. Möjligen kan uttorkningstiden, i detta fall upp till ett år, ha varit för kort i förhållande till ett halvt år för att någon effekt skulle erhållas på brandspjälkningen. Alternativt absorberar SKB mera vatten än normal betong på grund av dess fillerinnehåll. Vid tidigare provningar har man konstaterat att betongpelare som brandspjälkade totalt vid ett halvt års ålder var intakta vid motsvarande brandprovning efter fem år. Frågan är vid vilken ålder på betongen som en första brand skall beräknas ske?

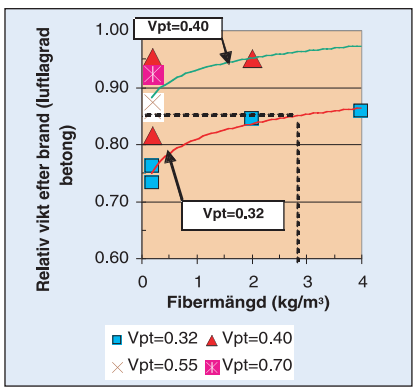


Fig 9 – Vikt efter brandspjälkning av betong med Byggcement vid varierande fibermängd och vpt. Fibermängder grundar sig på diametern 32 µm och ett halvt års ålder.

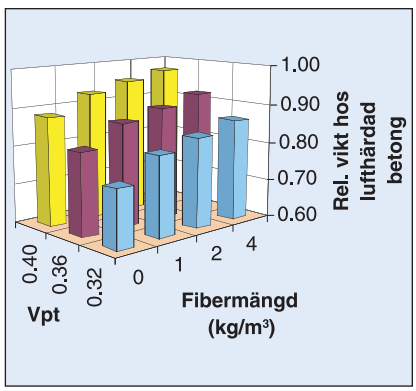


Fig 10 – Rel. vikt efter brandspjälkning av betong med Byggcement vid varierande fibermängd och vpt. Fibermängder grundar sig på diametern 32 µm och ett halvt års ålder.

Fibermängd och brandspjälkning

För vissa kombinationer av cementpulvertalet, cpt ≤ 0,80 och vattenpulvertalet, vpt ≤ 0,50, krävs andra åtgärder för att klara kravet på en högsta brandspjälkning av ca 15 procent av betongens ursprungliga vikt, t ex användning av polypropylenfibrer i betongen. I föreliggande projekt användes fibrer med diametern 32 µm medan finare fibrer, 18 µm, enligt senaste rön anses vara effektivare och halvera brandspjälkningen jämfört med de här använda[16]. Här angivna fibermängder grundar sig enbart på diametern 32 µm och ett halvt års ålder vid provningen. Redan en ökning av åldern till ett år förefaller att minska behovet av fibrer till hälften för att erhålla samma vikt på betongen efter

Forts sid 26

Forts från sid 24

brandspjälkning vid i övrigt konstanta förhållanden (Fig 8). Halveras sedan fibermängden en gång till vid övergång till diametern 18 µm i stället för 32 µm blir det inte särskilt stora krav kvar på fibrer för att erhålla en SKB som är säker mot brandspjälkning. Först och främst bör dock i görligaste mån kalkhalten begränsas i betongen.

Figurerna 9–10 visar hur vikten efter brandspjälkning hos betong med Byggcement påverkades av mängden fibrer. Effekten var avsevärd, d v s tillförsel av fiber är effektiv för att erhålla en brandsäker betong (Fig 9–10). På samma sätt visas i figurerna 11–12 hur vikten efter brandspjälkning hos betong med Anläggningscement påverkades av mängden fibrer[9]. Det var emellertid nödvändigt att söka sammanföra kraven på fibermängd till så få parametrar som möjligt (Fig 13)[1]. Figur 13 visar vikt efter brandspjälkning oberoende av härdningssätt och cementtyp som funktion av cementpulvertalet, cpt, vattencementtalet, vct och fibermängden[9]. Som synes varierar resultaten rätt avsevärt för referensbetongerna utan filler och fibrer. Effekten av vct och fibermängd på brandspjälkningen är dock tydlig (Fig 13). Figur 14 visar erforderlig mängd fibrer med diametern 32 µm vid ett halvt års provningsålder förutsatt att vikten efter brandspjälkning skall överstiga 90 procent av ursprungsvikten före brand[1]. Fibermängder ges i Tabell 3 är baserade på vad som kan urskiljas ur Figur 13 vid 15% spjälkning. Det är helt klart från Figur 14 och Tabell 3 att cpt till stor del avgör behovet av fibrer. Dessutom minskar fiberbehovet vid mindre fiberdiameter och högre provningsålder än vad som provats i föreliggande försök[16]. Det är nödvändigt att begränsa fiberinnehållet eftersom SKB annars blir synnerligen svårgjuten. Fiber i SKB begränsar betongens rörlighet. Mer än 2 kg/m³ plastfiber i SKB är inte att rekommendera från gjutbarhetssynpunkt. Detta krav sätter i sin tur krav på cpt och vct om betongen skall klara brandspjälkning redan vid ett halvt års ålder (Fig 14, Tab 3). Vid 10% spjälkning och cpt = 0,60 kan således endast betong med vct > 0,60 och 2 kg/m³ plastfiber användas. Vid cpt = 0,70 kan betong med vct > 0,40 och 2 kg/m³ plastfiber användas. Slutligen finns inga krav på

Forts sid 28

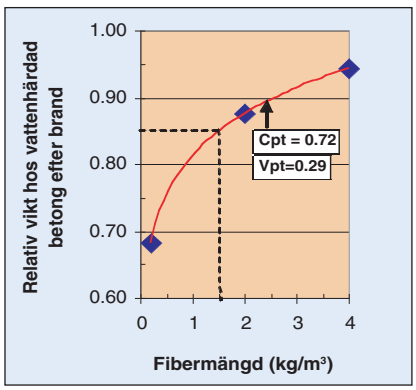


Fig 11 – Vikt efter brandspjälkning av betong med Anläggningscement vid varierande fibermängd och vpt. Fibermängder grundar sig på diametern 30 µm och ett halvt års ålder.

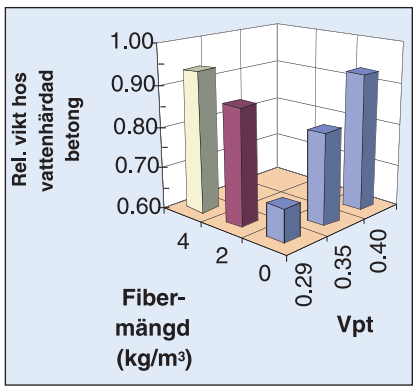


Fig 12 – Rel. vikt efter brandspjälkning av betong med Anläggningscement vid varierande fibermängd och vpt. Fibermängder grundar sig på diametern 30 µm och ett halvt års ålder.

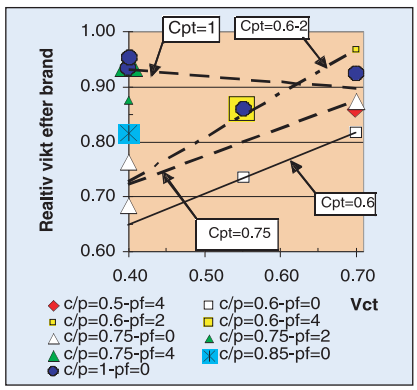


Fig 13 – Vikt efter brandspjälkning oberoende av härdningssätt och cementtyp som funktion av cementpulvertalet, cpt, vattencementtalet, vct och fibermängden[9]. Beteckningar: 0.6–2: cpt = 0.60 och 2 kg/m³ fibrer.

Med **BESTA®-BLOCK** bygger man en bärande och isolerad ytterväggsstomme för 1- och 2-våningsbyggnader.
SNABBARE OCH ENKLARE ÄN MED LÖSVIRKE!


Standardblock


Hörnblock



BESTA BYGGTEKNIK AB
Gävle, Tel. 026-51 53 83, Stockholm, Tel. 08-594 767 71, **www.besta.se**

Protimeter Timbermaster

Protimeter Timbermaster är den nya lilla mätaren med den stora displayen. Den har direktskalor för furu och gran samt Protimeters A-skala som möjliggör mätning i 150 träslag. Exakt och pålitlig vid de mest krävande tillämpningar för kvalitetskontroller av:

- **byggnadskonstruktioner av trä**
- **virkesprodukter**
- **inredningssnickerier**



PROTIMETER
Moisture measurement solutions

Tel 08-718 32 45 Fax 08-718 29 07 **www.protimeter.com**



Bild 4 – Provning i ugn vid LTH, Lund. (Foto. Stefan Backe).

Forts från sid 26

fiberinblandning i betong med cpt = 1 och vct ≥ 0,40, vilket är känt sedan tidigare för normal betong. Betong med vct < 0,40 har ej studerats här.

En annan aspekt är givetvis plastfibers beständighet som är föga känd. Så länge beständigheten hos plastfiber inte kan dokumenteras bör dessa ej användas i klimatklass där krav ställs på en hög beständighet, t ex kloridutsatta tunnlar. Fibrer i betongen nyttjas föga mot en brand efter 100 år om plasten bryts ned redan efter 50 år med en ökad kloridinträngning eller frostnedbrytning som följd. I inomhusbetong kan däremot plastfiber användas utan andra betänkligheter än deras påverkan på betongens gjutbarhet, vilken kan vara avsevärd[1].

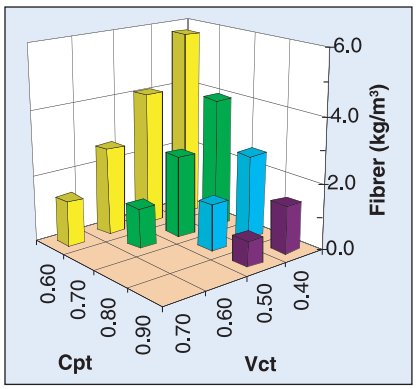


Fig 14 – Erforderlig mängd fibrer med diametern 32 µm vid ett halvt års provningsålder förutsatt att vikten efter brandspjälkning skall överstiga 90%[1].

Inverkan av kapillaritet och porositet

Kapillariteten och motståndstalet för vatteninträngning undersöktes på tunna skivor av betong vilka först hade upphettats till 200°C, 400°C och 600°C (800°C användes ej eftersom en del av betongerna ej klarade denna temperatur efter avsvalning). Porositeten hos betongerna och dess förändring med temperaturer undersöktes efter upphettning till motsvarande temperaturer. Det fanns ett klart samband mellan brandspjälkning och motståndet mot vatteninträngning.

Slutsatser

Med ganska enkla medel kan brandspjälkning hos SKB undvikas, t ex ett tillräckligt högt cpt eller efter en måttlig inblandning av plastfiber. För de undersökta betongerna kan följande slutsatser dras beträffande erforderliga mängden fibrer med diameterns 32 µm i SKB vid ett halvt års provningsålder under förutsättning att 85 procent av betongens ursprungliga vikt skall bibehållas efter brandspjälkning:

Cpt = 0,50	2 kg/m³ vid vct = 0,70 (övriga vct ej undersökta)
Cpt = 0,60	0,9 kg/m³ vid vct = 0,60; 2,0 kg/m³ vid vct = 0,50 och 4,2 kg/m³ vid vct = 0,40
Cpt = 0,70	0,4 kg/m³ vid vct = 0,50; 2,4 kg/m³ vid vct = 0,40
Cpt = 0,80	1 kg/m³ vid vct = 0,40
Cpt = 0,90	ingen inblandning av fibrer för vct = 0,40

Referenser

1 **Bertil Persson**. Självkompakterande betong vid brandtemperaturer. Rapport TVBM-3110. LTH Byggnadsmaterial. 2003, 200 sid.

2 **Long Phan**, High-Strength Concrete at High Temperarture – An Overview. Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Ed.: de Larrard, F., Lacroix, R., Paris, 1996, 501–518.

3 **Lars Boström**. SKB med plastfibrer klarar brand. Brandposten no 26. SP. 2002, 15.

4 **Bertil Persson**. High Performance Self Compacting Concrete. Red.: König, Dehn och Faust. Leipziguniversitetet. 2002, 1273–1290.

5 **Boström, L**. SKB utsatt för brand. Bygg & Teknik. 2002/06, 36-38.

6 **Bertil Persson**. Self Compacting Concrete with High Performance. Symposium. Nordic Concrete Research. Helsingör. Norsk Betongförening. Oslo. 2002, 327–330.

7 **Lars Boström**. SKB med plastfibrer klarar brand. Betong 3/2002, 32.

8 **Bertil Persson**. SKB motståndskraftig mot sprickbildning och brand. Husbyggaren 4/2002, 10–16.

9 **Lars Boström**. The Perfomance of Some Self Compacting Concrete when Exposed to Fire. Rapport 2002:23. SP, 37 sid.

10 **Bertil Persson**. Hållbarhet hos SKB med kalkstensfiller. Bygg & Teknik 07/2002, 35-38.

11 **Bertil Persson**. Förebygger plastfibrer brandspjälkning även hos SKB? Husbyggaren 2/2002, 26–30.

12 **Yngve Anderberg**. Personlig information. Fire Safe Design, FSD, Lund. 2002.

13 **Bertil Persson**. Chloride Migration Coefficient of Self-Compacting Concrete. Materials and Structures. RILEM. Paris. 2001, 20 sid. (Godkänd för publicering).

14 **Jan Lillieblad**. Personlig information. A-betong Precon. Växjö. 2002.

15 **Bertil Persson**. Självkompakterande husbyggnadsbetong i Okayama, Japan – och i Malmö. Husbyggaren 2/99. 1999, 6–13.

16 **Gabriel Alexander Khoury**. Passive Fire Protection in Tunnels. Imperial College. London. Concrete. 2002, 26 sid. ❑

Brosystemet mellan Honshu och Shikoku: Japanska rekordbroar. Bygg & Teknik 3/99. Stockholm. 1999, 56-60.

Brosystemen mellan Honchu och Shikoku:

Japanska rekordbroar



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

I denna artikel redovisas en sammanställning av ett stort antal broprojekt mellan den japanska huvudön Honchu och den söder därom belägna ön Shikoku. Först ges en bakgrund vad gäller andra stora hängbroar och snedkabelbroar i världen. Därefter belyses och specificeras de aktuella japanska broarna i detalj.

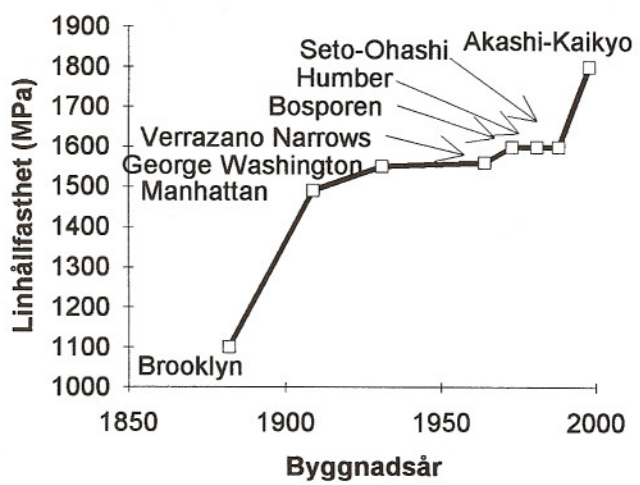
Sammantaget är brosystemen mellan Honchu och Shikoku imponerande inte bara vad gäller spännvidd (maximalt 1 990 m för en av hängbroarna samt 890 m för en snedkabelbro) utan även beträffande antalet broar, totalt 19 stycken broar med stor spännvidd.

Artikeln baseras på information som artikelförfattaren erhöll vid resor till Japan år 1998 (20 dagar i mars samt 10 dagar i juni).

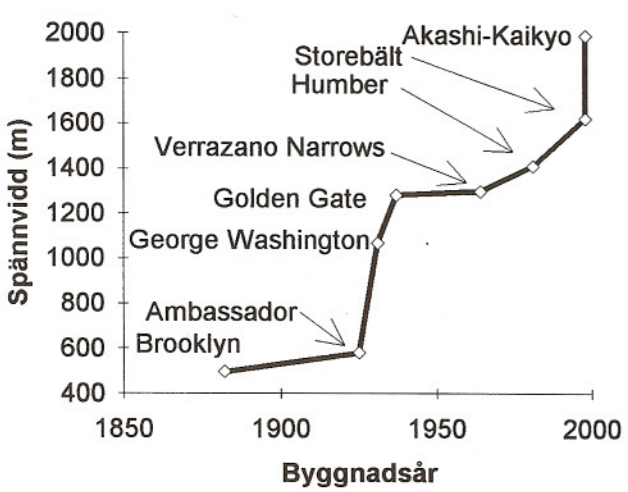
Sedan slutet av 1800-talet har hängbroar utgjort ett fundamentalt inslag i det infrastrukturella byggandet. Den successivt ökande kvalitén på stålet i linorna till broarnas bärkablar är givetvis en förutsättning för den möjliga spännvidden och därmed det möjliga antalet broar med hänsyn till avbrottets längd. I *figur 1* ges linhållfasthet versus byggnadsår för några stora broar. *Figurerna 2 och 3* visar på samma sätt spännvidd versus årtal för hängbroar respektive snedkabelbroar. Snedkabelbroar med stor spännvidd kom i bruk först under 1900-talets senare del medan hängbroar använts sedan urminnes tid, *figur 4. Tabell 1 och 2* ger en sammanställning av de största hängbroarna respektive snedkabelbroarna i världen.

Kojima-Sakaide

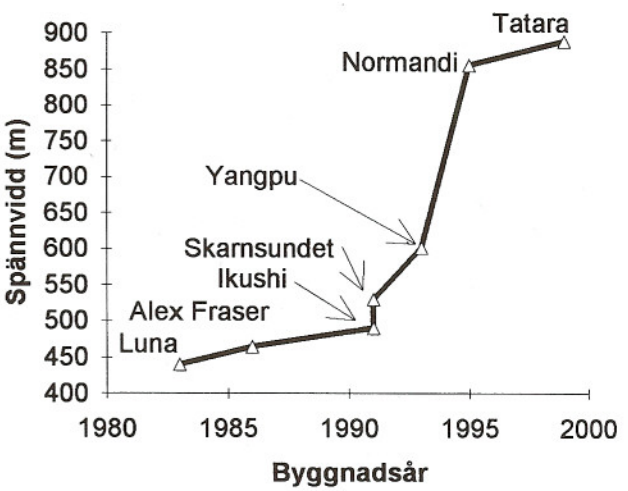
Det mellersta brosystemet mellan den japanska huvudön Honchu i den söder därom belägna ön Shikoku är samtidigt det äldsta, färdigställt år 1988, *figur 5*. Det tog tio år att bygga broarna. I detta brosystem ingår Minami Bisan-Seto – världens längsta bro med dubbelspårig järnvägstrafik, *figur 6. Tabell 3* ger en sammanställning av de största broarna i Kojima-Sakaide-systemet. Efter schakt och nivellering av fundamenten för bron (upp till 50 m under vattenytan) avjämnades botten ytterligare med en roterande borrkrona med så kallad "drill bits". Därefter bogserades väldeliga stålkassuner på plats samt sänktes ned med en nivånoggrannhet av ±5 cm. Fundamentet fylldes sedan med makadam som packades och fylldes med cementbruk från flytande tillverkningsstationer med en kapacitet av 240 m³/h, vilket motsvarar cirka 500 m³/h fundamentsbetong. Till ankarblocken användes cirka 100 000 m³ platsgjuten betong, vilken göts mot klätterform. Ytan på den platsgjutna betongen till ankarblocken uppvisade dock stora sprickor varför man vid de bägge andra brosystemen valt att gjuta en fyllnadsbetong mot kvarsittande prefab betongelement av hög kvalitet (polymerbetong). På så sätt undviks hög temperatur i



Figur 1. Linhållfasthet versus byggnadsår för några stora broar, [1].



Figur 2. Spännvidd versus byggnadsår för stora hängbroar, [1].



Figur 3. Spännvidd versus byggnadsår för stora snedkabelbroar.

Tabell 1. Förteckning över de största hängbroarna i världen, [1].

No	Namn	Spännvidd (m)	Land	Färdig (år)
1	Akashi-Kaikyo	1 990	Japan	1998
2	Storebält	1 624	Danmark	1998
3	Humber	1 410	England	1981
4	Jiangyin Yangtze	1 386	Kina	1998
5	Tsing Ma	1 377	Kina	1997
6	Verrazano Narrow	1 298	USA	1964
7	Golden Gate	1 280	USA	1937
8	Högakusten	1 210	Sverige	1997
9	Mackinacsundet	1 158	USA	1957
10	Minami Bisan-Seto	1 100	Japan	1988
11	Faith Sultan Mehmet	1 090	Turkiet	1988
12	Bosporen	1 074	Turkiet	1973
13	George Washington	1 067	USA	1931
14	Kurushima no 3	1 030	Japan	1999
15	Kurushima no 2	1 020	Japan	1999
16	Tjugofemte April bron	1 013	Portugal	1966
17	Kita Bisan-Seto	990	Japan	1988
18	Shimotsui-Seto	940	Japan	1988

Tabell 2. Förteckning över de största snedkabelbroarna i världen, [1].

No	Namn	Spännvidd (m)	Land	Färdig (år)
1	Tatara	890	Japan	1999
2	Normandi	856	Frankrike	1995
3	Qingzhou	605	Kina	1996
4	Yangpu	602	Kina	1993
5	Meiko-Chuoh	590	Japan	1997
6	Patras	560	Grekland	—
7	Skarnsundet	530	Norge	1991
8	Tsurumi-Tsubasa	510	Japan	1994
9	Ikuchi	490	Japan	1991
10	Öresund	490	Sverige	1999
11	Higashi-Kobe	485	Japan	1993
12	Alex Fraser	465	Kanada	1986
13	Yokohama Bay	460	Japan	1989
14	Hooghly no 2	457	Indien	1992
15	Severn no 2	456	England	—
16	Rama IX	450	Thailand	1987
17	Queen Elisabeth II	450	England	1991
18	Chongquing no 2	444	Kina	1991
19	Luna	440	Spanien	1983
20	Tongling	432	Kina	1995
21	Kap Sui Mun	430	Kina	1997

Tabell 3. Sammanställning av de största broarna i Kojima-Sakaide-systemet, [1].

Namn	Brotyp	Totallängd (m)	Mittspann (m)	Pylon-höjd (m)	Segelfri höjd (m)
Minami Bisan-Seto	Hängbro	1 648	1 100	194	65
Kita Bisan-Seto	Hängbro	1 538	990	184	65
Yoshima	Fackverk	850	245	–	–
Iwakurojima	Snedkabelbro	790	420	161	40
Hitsuishijima	Snedkabelbro	790	420	152	32
Shimotsui-Seto	Hängbro	1 400	940	149	31

massbetongen samtidigt som ytan av betongblocket får en mycket god beständighet, en genialt enkel lösning på sprickproblemet. Övriga delar av bron utförs i stål, pyloner, vägbana, bärverk etc.

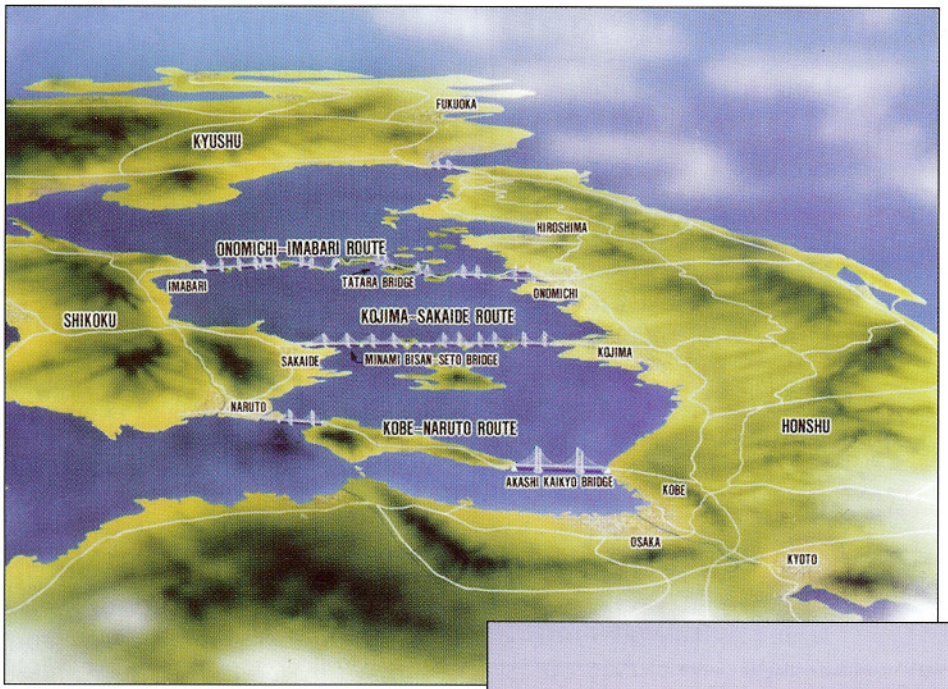
Kobe-Naruto

Tidigt under våren 1998 öppnades Akashi-Kaikyo-bron – världens hitintills längsta hängbro – för trafik efter tio års byggnadstid. Brons totallängd är 3 910 m med 1 990 m i mittspannet samt 65 m i segelfri höjd. Narotu-bron närmast Shikoku, har totallängden 1 629 m med ett mittspann på 876 m (pylonhöjd: 145 m), i sig imponerande. I likhet med broarna i Kojima-Sakaide-systemet göts även Akashi-Kaikyo-brons fundament mot stålform upp till 55 m under havsytan. I detta fall användes dock betong blandad i en flytande fabrik. Ett av ankarblocken närmast Kobe göts, som nämnts ovan, mot kvarsittande form av polymerbetong, *figur 7*. Bara ankarblocket närmast Kobe väger 350 000 ton (!). Recept för den självkompakterande fyllnadsbetongen till Kobeblocket ges i *tabell 4*. Bron dimensionerades för en vindhastighet av 60 m/s, 4 m/s strömhastighet i vattnet samt för jordbävningslaster enligt 8,5 på Richterskalan. (Brons fundament har, i samband med den stora Hanshinjordbävningen år 1995, redan fått utstå 7,2 på Richterskalan utan att skadas). De galvaniserade ståltrådarna till brons bärkablar (med diameter 5,23 mm) tvinnades först till linor med 127 trådar i vardera. Trådlängden uppgick till otroliga 300 000 km, dvs cirka åtta varv runt jordklotet. Linorna hade en hexagonal form och lades sedan tillsammans 290 stycken för att forma en bärkabel med diametern 1 m, *figur 7*. Kablar och hängare väger tillsammans 57 700 ton.

Tornen till Akashi-Kaikyo-bron är 297 m höga, 6,6 m breda i brons längdriktning



Figur 4. Primitiv hängbro i Takamatsu hembygdspark.



Figur 5. Karta över broförbindelser mellan Honchu och Skikoku.

samt 10–15 m breda tvärs brons längdriktning. En pylon överför upp till 100 000 ton från bärkablarna till fundamentet. Pylonerna utförs i 30 stycken stålsektioner med inbyggda stabilisatorer mot vindsvängningar. Som mest beräknas bron böja ut 27 m i sidled samt 8 m uppåt och 5 m vertikalt nedåt i samband med maximal vindlast (tyfon). Stålet till varje torn väger 23 000 ton. Stålfackverket till vägbanan är 14 m högt samt 35,5 m brett, *figur 8*. Mitt under den övre vägbanan finns det vertikala stabilisatorer inbyggda vilka fördelar vindlasten mellan övre och undre delen av fackverken i syfte att minska bron vridning (torsionssvängning). Mitt under stabilisatorerna på undre delen av fackverket finns det ytterligare en vägbana avsedd för underhållstrafik. Stålet till fackverken, underhållsvägen etc, väger 90 000 ton. Själva vägytan består av 7,5 cm asfaltbetong lagd på 2 cm stålplåt. Det finns sex stycken vägbanor på bron. Allt som allt finns det 193 000 ton stål i Akashi-Kaikyo-bron.

Onomichi-Imabari

För närvarande pågår slutspurten för att färdigställa det brosystem som ligger närmast Hiroshima, figur 5. Totalt 11 stycken broar ingår varav en blir världens längsta snedkabelbro år 1999, *figur 9*, *tabell 5*. Från stabilitetssynpunkt finns det förspända betongbalkar närmast land, 63 respektive 106 m långa i form av lådbalkar, 31 x 2,7 m. I övrigt är bron helt i stål. Tatara-bron är intressant vad gäller spännviddsfördelningen. Den asymmetriska pylonplaceringen betingades av vattendjupet, som mest 60 m under bron. Den vänstra pylonen på figur 9 kunde placeras på ett grund med tio meters vattendjup varav det blev möjligt att utföra en asymmetriska snedkabelbro, mycket mer ekonomisk än till den ursprungligen planerade hängbron. Följande etapper ingick i byggandet av Tatara-bron:

- Grundläggning i betong samt montage av de nedre delarna av stålkonstruktionen från pråmkran med 3 500 tons kapacitet.
- Montage av förspänd betong nära land samt stålbalkar närmast pylonerna, 123 respektive 163 m långa sektioner från pråmkranen.
- Montage av pyloner från klätterkran med 160 tons kapacitet.
- Balanserat montage av stålsektioner, fyra stycken mot mittspannet från en ”vandrande” kran respektive tre stycken i sidospannen från en flytande pråmkran med 1 300 tons kapacitet.
- Sträckning av kablar med justering av stålelement. En kran i toppen av pylonen monterade kablarna.
- Asymmetrisk montage mot mittspannet från den ”vandrande” kranen.



Figur 6. Minami Bisan-Seto-bron – världens längsta hängbro med dubbelspårig järnvägstrafik.



Figur 7. Till höger; kabel till Akashi-Kaikyo-bron; till vänster; prefabelement av polymerbetong till fundamentsytan; i bakgrunden: Akashi-Kaikyo-bron.

Tabell 4. Betongrecept (kg/m³ etc.) till ett av Akashi-Kaikyobrons ankare [2].

Sten	Sand	Kalkstensfiller	Cement	Vatten	Vct	Flytsättmått	Lufthalt
970	770	150	260	145	0,56	500 x 650 mm	< 3 %

● Förtätat montage av kablar närmast land samt normalt montage i mittspannet – allt från kranarna i toppen av pylonerna.

Närmast Shikoku-ön seriebyggs tre stycken hängbroar, Kurushima-broarna, varav två stycken kommer att tillhöra världens 15 längsta. Byggandet utförs enligt principerna för Akashi-Kaikyo-bron men ett par dimensioner mindre. Trots detta var det en hissnande upplevelse att genomföra en ”cat walk” på en av Kurushima-broarna, *figur 10*. Sammantaget finns det i Onomichi-Imabari-systemen mycket brohistoria att uppleva. Den först byggda bron i systemet är den nu tämligen omoderna bågbron vid Ohmishima från år 1979, ”bara” 297 m lång, *figur 11*.

Tabell 5. Sammanställning av de största broarna i Onomichi-Imabari-systemet, [1].

Namn	Brotyp	Total-längd (m)	Mitt-spann (m)	Pylon-höjd (m)	Segelfri höjd (m)	Färdig (år)
Onomichi	Snedkabel	546	215	90	15	1968
Shin-Onomichi	Snedkabel	385	215	?	15	1999
Innoshima	Hängbro	1 270	770	145	50	1983
Ikuchi	Snedkabel	790	490	?	23	1991
Tatara	Snedkabel	1 480	890	226	70	1999
Ohmishima	Bågbro	297	297	–	50	1979
Hakata-Oshima 1	Lådbro	325	145	–	10	1988
Hakata-Oshima 2	Hängbro	840	560	?	26	1988
Kurushima 1	Hängbro	960	600	149	36	1999
Kurushima 2	Hängbro	1 515	1 020	184	65	1999
Kurushima 3	Hängbro	1 570	1 030	184	65	1999



Figur 8. Akashi-Kaikyo-bron – världens hittills längsta hängbro.

Slutsatser

För varje brointresserad torde ett studiebesök vid brosystemen mellan öarna Honchu och Shikoku i Japan vara synner-



Figur 9. Tatara – världens hitintills längsta snedkabelbro.



Figur 10. "Cat walk" på Kurushima-bron – en hissnande upplevelse.

ligen berikande. Tre av de 19 broarna innehar eller kommer inom kort att inneha gällande världsrekord vad gäller maximal spännvidd:

- Akashi-Kaikyo-bron – världens längsta hängbro.
- Minami Bisan-Seto – världens längsta hängbro med dubbelspårig järnvägstrafik.
- Tatara-bron – världens längsta snedkabelbro.

En förutsättning för att byggandet skulle bli möjlig var att såväl senaste stålmaterialteknik användes som att en avancerad konstruktionsteknik kom i bruk. Eftersom Japan satsat stort på forskning och utveckling inom detta område, i synnerhet efter år 1945, finns det idag kunskap och kompetens utan motstycke i Japan vad gäller broar i stål. Detta syns inte minst i de redovisade rekordtabellerna! ■



Figur 11. Ohmishima-bron från 1979 är "bara" 297 m lång.

Erkännanden

Finansiellt stöd från Japan Society for the Promotion Science, JSPS, 1997 samt från Sigfrid och Walborg Nordkvists fond, Lunds universitet, erkänns härmed tacksamt.

Referenser

[1] Honchu-Shikoku Broförvaltning, Kobe, 1998.

[2] *Kazuyoshi Sakai*, Personlig information, Honchu-Shikoku Broförvaltning, Kobe, 1998.

Bruksenergi dominerar livscykelkostnad. Husbyggaren 2/2004, 36-43.

Bruksenergi dominerar livscykelkostnad

Byggande sker i allmänhet utomhus varför materialets tålighet för regn och byggfukt är av stor vikt i vårt klimat. God beständighet, isolering och ljudmiljö samt obrännbarhet, täthet och värmeåtervinning är andra krav som bör beaktas byggnadstekniskt.

Energin som går åt för att uppföra 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 baserat enbart på ett anbudsförfarande avseende material- och entreprenadkostnader.

AV DOCENT BERTIL PERSSON

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

- Platsgjuten betong (PEAB)
- Prefabbetong (PEAB)
- Stål + betong (NCC)
- Trä (Skanska)

Samtliga hus utfördes i tre eller fyra våningar. Av förklarliga skäl byggdes husen på enklast möjliga sätt varför endast stål/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. Byggnadskostnadsdelegationens jämförelse haltar betänkligt eftersom det inte är rimligt att jämföra entreprenadkostnaden eller hyran mellan ett flerfamiljshus (PEAB)

Forts sid 38



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

zero energy system

Precasting restarts at zero med Rheodynamisk betong



COMPLEX P30

ett betongtillsatsmedel till elementindustrin

- Förbättrad produktivitet
- Eliminering av vibrering
- Optimerad utformning
- Minimerad värmehärdning

BKN BYGGEKEMI AB
Box 105, 446 22 ÄLVÄNGEN
Tel. 0303-33 19 80 Fax 0303-33 19 99
e-mail:bkn.byggekemi@bkn-byggekemi.se
www.bkn-byggekemi.se

degussa. Construction Chemicals

BKN

NORDCERT

SWEDAC ACKREDITERING 1821 EN 45 011

Produkter som

märks

behöver inte synas!

Enligt BKR 7 behöver produkter med bestyrkta egenskaper inte provas vid mottagningskontroll.

Nordcert AB är ackrediterat certifieringsorgan för

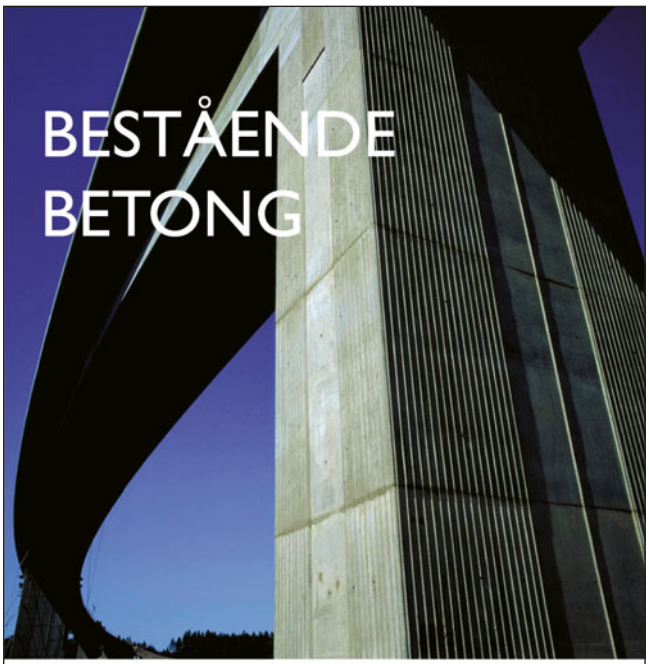
- **Armering**
- **Betong**
- **Ballast**
- **Stål**

VÅRA VÄL ETABLERADE CERTIFIERINGSMÄRKEN

Betong och Ballast Certifiering

SBS SVENSK BYGG-STÅLKONTROLL

NORDCERT AB
Tel: 08-34 92 70. Fax: 08-30 70 54 www.nordcert.se



Betongen kommer ifrån Ballast. Ballastprodukter marknadsförs av NCC Roads - Sveriges ledande leverantör av vägbyggnadsmaterial, fabriksbetong, beläggningsarbeten samt trafiksäkerhetsprodukter och vägservice.

Läs mer på www.ncc.se

BALLAST

Wienerberger

Er tegelleverantör

Haga Terca Wewers
Koramic Porotherm Moeding



Fasadtegel Prefab Taktegel

Murblock av tegel Skärmtegel

Wienerberger AB
237 91 Bjärred
Tel 0771-42 43 50 Fax 046-25 95 60
www.wienerberger.se

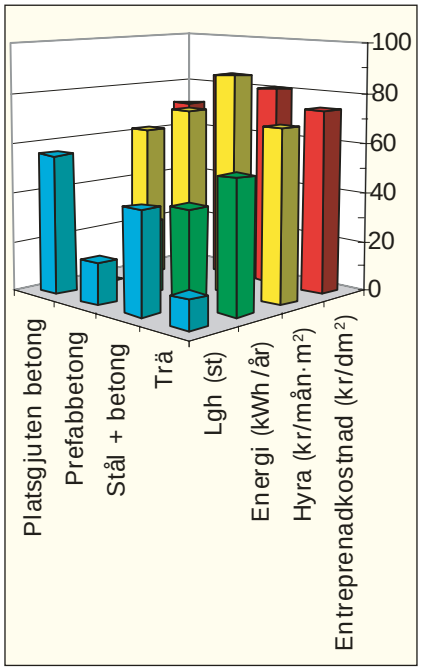


Fig 1 – Entreprenadkostnader, hyra, etc. enligt Byggnadskostnadsdelegationens jämförelse1.

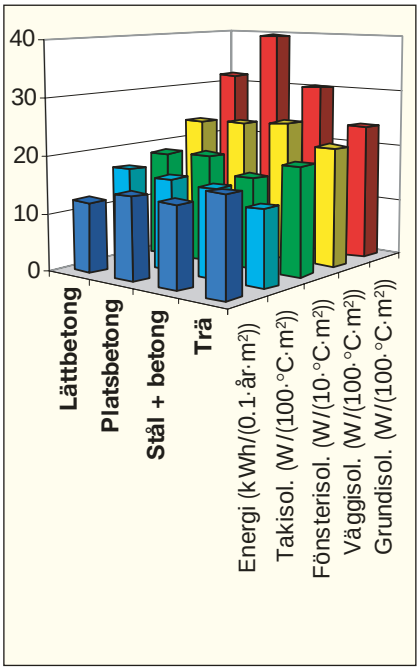


Fig 2 – Fördelning av livscykelenergi för studerade konstruktioner2.

Forts från sid 38

och ett studenthus (NCC) – inte heller ett hus med krav på kontantinsats (PEAB) med övriga hus som inte 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 Tab 1 och Fig 1. Betong får anses bättre uppfylla krav på tålighet avseende fukt 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, bilderna 1–3. Väggarna i det platsgjutna betonghuset direktmålades vilket bidrog till att hålla entreprenadkostnaden på en låg nivå.

Även god beständighet, god ljudmiljö, obrännbarhet och täthet var krav som byggnadstekniskt uppfylldes bättre med ett platsgjutet 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 inte var genomgående.

Det har funnits synpunkter på att planlösningen i så kallade ”tjockhus” bör spegelvändas så att kök och badrum, där man vistas en stor del av dygnet, 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].



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

Ökad trivsel

Möjligen gav val av ljusa färger på de direktmålade väggarna samt parkett och ljus klinker i det platsgjutna betonghuset en ökad 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 1500 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 för att återupptäckas år 1824 av **Joseph Aspdin**.

Fördelar och nackdelar

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, jfr WTC-katastrofen[3,4]. God ljudmiljö och täthet är också egenskaper som talade till betongens fördel i tre av projekten i

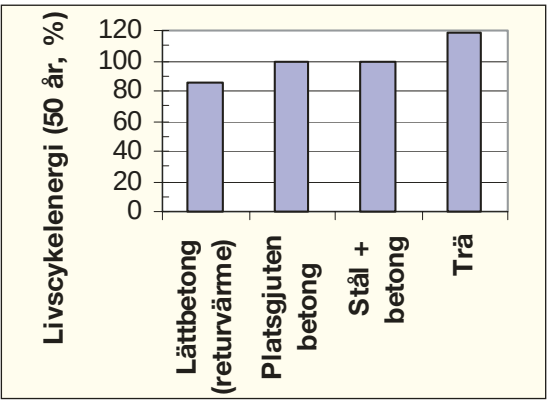


Fig 3 – Relativ livscykelenergi jämfört med lättbetonghusets[2].

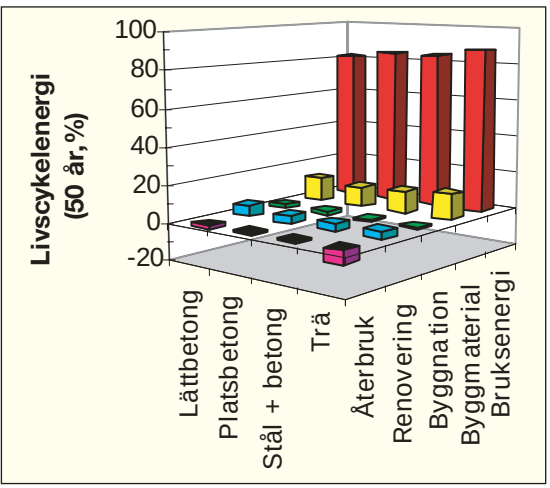


Fig 4 - Fördelning av livscykelenergin för de 1995–1999 studerade husen[2].

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].

Missvisande kostnad

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. Produktionskostnaden 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,

Tab 1 – Entreprenadkostnader, hyra, etc. enligt Byggnadskostnadsdelegationen[1].

	Platsgjuten betong	Prefab betong	Stål + betong	Trä
Typ (rok)	1-3.5	2	1-1Z|x	2-2Z|x
Entreprenadkostnad (kr/m²)	7082	8479	8073	7365
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

trots att man samtidigt inför alltmer skatt på energi.

I själva verket står själva byggprocessen för en mycket liten del av den 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:

- Lättbetong (NCC)
- Platsgjuten betong (Skanska)
- Stål + betong (JM)
- Trä (Skanska)

Lättbetonghuset var i två våningar medan övriga byggdes fyra våningar höga. 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 på 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, det vill säga det lägsta U-värdet av de studerade hustyperna (cirka 18 procent lägre U-värde än övriga) varför förklaringen inte kan ligga i olika isoleringstjocklek för konstruktionerna, snarare tvärtom. Ett högre energipris framgent kommer givetvis att ge livscykelenergin ett ännu större genomslag än vad som visas i tabell 2 och figurerna 2–4 och därmed en direkt inverkan på hyran, fastighetsvärdet etcetera.

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 isoleringstjockleken i väggar eller möjligheten att återvinna värme. Hon eller han kan möjligen minska innetemperaturen någon grad och på så sätt minska energikostnaden någon procent men detta är marginellt i sammanhanget.

Energiåtgång avgör

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 till att 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.



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

Tab 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

Tab 3 – Livscykelenergi för studerade konstruktioner [2].

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

Bruksenergin (uppvärmning, varmvatten, hushållsenergi, etcetera) 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 lättbetong eller betong (Tab 3). Under en livscykel sparas lika mycket energi genom värmeåtervinning som den energi som åtgår för att bygga hela huset inklusive den i byggmaterialen bundna energin. 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, isoleringstjocklek, 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 redovisade markisoleringen för de studerade husen, 65 procent högre U-värde i markisoleringen än i väggar och tak (Tab 3).

Optimalt sunda hus

En människa kan ha ett sunt levnadssätt men det kan 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 det vill säga 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 2–3 års sikt för att sedan pågå under många år och beror på reaktioner mellan olika delmaterial, ofta fuktberoende.

Självtorkande bäst

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

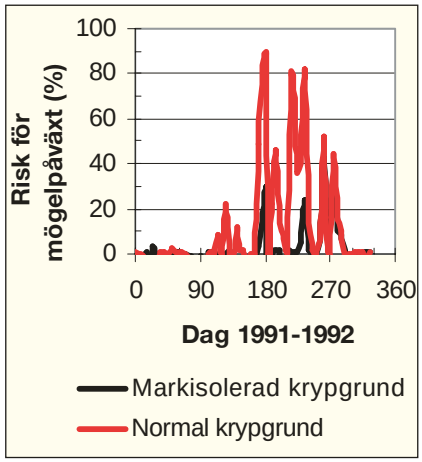


Fig 5 – Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 1991–1992.

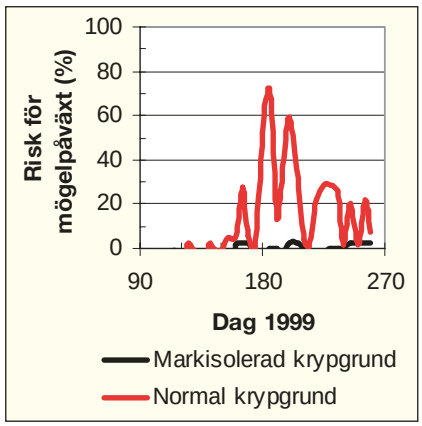


Fig 6 – Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 1999.

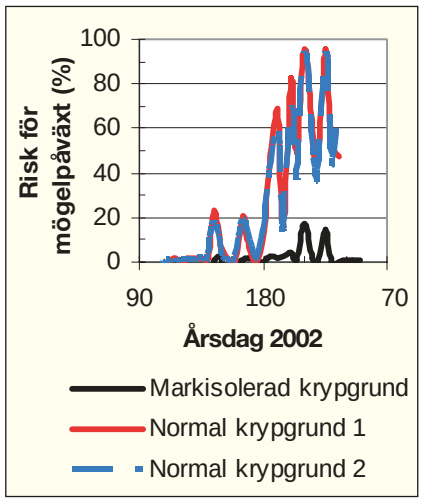


Fig 7 – Risk för mögelpåväxt i markisolerad respektive normal krypgrund, 2002.

Forts sid 42

Svensk Byggtjänst



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

Forts från sid 38

hand bör dock parkett eller klinker väljas som golvmaterial vilket kan ske till en relativt blygsam merkostnad i förhållande till entreprenadkostnaden. Kvarsittande form av betong, vilken kan direktmålas, fylls med självtorkande betong. Denna typ av stomme ger en tät byggnad vilket i sin tur minskar livscykelenergin med cirka 19 procent. Vidare tål en betongstomme regn under byggtiden. Det är snarare så att betong kräver fukt för att nå hög hållfasthet. Igengjutning av väggar med betong ger också en i särklass god ljudkomfort i fråga om luftljud och stomljud förutsatt att stegljudavskiljning sker i samband med ytbeläggning av golven.

Fuktrisken minskar

Givetvis måste fasadväggar i betong kompletteras med tillräcklig isolering för att kraven på låg energiförbrukning skall 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[6]. I många fall krävs dock fukttåliga ytbeläggningar, som gummi, linoleum, PVC etcetera, varvid dessa skiljs från betongstommen på ett effektivt sätt genom lågalkalisk avjämningsmassa samt gärna också med ett lågalkaliskt lim. På så sätt undviks på sikt sekundäremissioner från golvsystemet i och med att detta också är lagt på ett självtorkande underlag av betong.

Platta på mark

Grundkonstruktioner till sunda hus kräver ett särskilt kapitel eftersom dessa länge vållat problem såväl ifråga om stor energiåtgång som om påverkan på inneluftens kvalitet. Platta-på-mark är en ökänd 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 accentueras 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, bild 4. På så sätt ökas temperaturen i krypgrunden med ett par, tre grader varvid relativa fuktigheten (RF) i krypgrunden minskar till under cirka 80 procent och risken för mögelpåväxt minimeras, (Fig 5–7)[7].

Risk för mögel

Risken för mögelpåväxt bekräftades genom mykologiska provningar av hård träfiberskiva från krypgrunderna, 1999–2002[9]. I krypgrunden med lättklinker fanns ringa mögelpåväxt och 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 själv, absorberar mögellukt, vilket kan ge sekundäremissioner under de delar av året då det inte finns risk för mögelpåväxt. 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 etcetera kan innebära problem med sekundäremissioner ifall plasten har en förmåga att absorbera mögellukt.

Lättklinker i en krypgrund absorberar veterligt ingen mögellukt. 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·m^2)[2]. Samma U-värde bör användas i en markisolering som i väggar och tak med tanke på livscykelenergin i synnerhet vid golvvärme, som används alltmer. Hos en självtorkande betong i platta på mark sker uttorkningen av sig själv även om betongen ligger på extruderad cellplast direkt på sand. I och med att en självtorkande betong är tät även mot vatten kan en långsam hydratation ske på sikt med RF = 72 procent som slutvärde.

Rekommendationer

Följande byggtekniska aspekter bör beaktas för ett sunt hus:

- Billigt byggande.
- Innemiljö och ventilation.
- Livscykelenergi.
- Materialets tålighet för fukt.

Vidare bör följande krav uppfyllas i ett sunt hus:

- God beständighet.
- God isolering.
- God ljudmiljö.
- Täthet.
- 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. ❑

Referenser

1 SOU 2000:44.

2 **Karin Adalberth.** Energy Use i Multi-Family Dwellings during their Lift Cycle. LTH Byggfysik. TVBH-3034. 199, 118 sid.

3 **Stig Strömkvist.** Stålskelettet gav vika i hettan, Sydsvenskan, 2001-09-12.

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

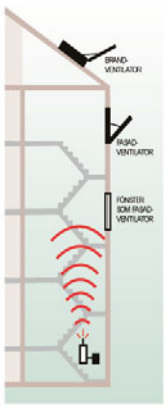
5 **Bertil Persson, Anders Johansson, Peter Johansson.** The Benefit of Using High-Performance Concrete for Prefabrication, Concrete International, 1999, 58–62.

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.



Trådlös Brandventilation i trapphus

Med en väl fungerande brandventilation kan man effektivt ventilera ut den dödande röken och de heta gaserna vid en brand och säker ställa utrymning genom trapphuset.

- BRANDVENTILATOR
- BRANDVENTILATOR FASAD
- BRANDVENTILATOR FÖNSTER
- KOMFORTSTYRNING
- SERVICE OCH NYMONTAGE

ÖPPNINGSANORDNINGAR
Brandventilatorer kan nu öppnas från entréplan via effektiv trådlös kommunikation. En kostnadseffektivoch snabbmonterad lösning!






Noton Fire AB

Elementvägen 1
437 36 LINDOME
Tel: 031-99 22 22
Mobil: 0705-65 68 20



Kv Kättingen i Södertälje, ritad av Myrenbergs Arkitektkontor, är ett exempel på projektering, tillverkning och montage av byggnader som KC Betong AB utför. Vi arbetar med alla typer av byggnader som t ex bostäder, skolor och övriga typer av förvaltningsbyggnader, industrier, ställverk osv. Dessutom tillverkar vi egna produkter för miljövård och markprodukter till tele- och IT-branschen. Välkommen med din förfrågan.

KC Betong AB Box 139, 641 22 Katrineholm. Tel 0150-34 99 00. Fax 0150-34 99 29. E-post info@kc-betong.se

KC BETONG

Byggfuktfri betong blev 10 år. FÖRENINGEN SVERIGES BYGGNADSINSPEKTÖRER. KONTAKTBLAD ÅRGÅNG 28 NR 2, 2001/27-28.

Byggfuktfri betong blev 10 år

BERTIL PERSSON, LTH, BYGGNADSMATERIAL, 046-222 00 00

En viktig upptäckt inom byggbranschen har fyllt 10 år; nämligen byggfuktfri betong. Upptäckten baserades på ett omfattande laboratorieförsök följda av fältförsök. Minst en miljon kvm betonggolv, kanske två, har utförts med byggfuktfri betong, i Sverige och Finland. Något fuktskadefall har ej kunnat konstateras med den nya metoden. Byggfuktfri betong är väldokumenterad och vetenskapligt erkänd.

Bakgrund

Ofta förekommer problem med hosta, rinnande näsor och ögon hos personal i nybyggda skolor, barnstugor etc. Ett exempel på dessa problem visade sig nyligen i en skola Sydsverige. Det visade sig att skolan, ca 1500 kvm stor, var behäftad med fuktskador i golvet. Normal betong med stort vatteninnehåll hade använts till en platta på mark. Omedelbart före limning av plastmattor till betongen uppmättes mer fukt i betongen än vad som var tillåtet'. Tidplanen skulle hållas vilket gjorde att mattläggning ändock måste utföras. I byggandet, som i trafiken, finns en 90-gräns. I byggandet gäller denna gräns inre relativa fuktighet, RF, i betong. Den skall var mindre an 90% om mattor skall kunna limmas på ett framgångsrikt sätt. I den aktuella skolans golv var nästan alla mätvärden över 90%. I trafiken tolererar polisen ett par procents högre fart. I byggandes 90-gräns finns däremot inga marginaler: limmade plastmattor släpper från betongen vid RF över 90% till följd av s.k. förtvålning. Problemen för personalen den aktuella skolan ansågs dock inte kunna ge bestående men. En renovering av skolan kunde därför anstå till sommarlovet. Renoveringen kommer att bli kostsam förutom de problem som personalen fått utstå. Femhundra kronor per kvm är ingen ovanlig siffra för en totalsanering av fukt- och mögelskadade betonggolv. I vissa fall kan kostnaden bli den dubbla om det befintliga betonggolvet skall tvångsventileras. Byggs ett betonggolv redan från början med byggfuktfri betong slipper man alla problem med byggfukt till en kostnad av ca 20 kr mer per kvm platta på mark (100 mm). Den byggfuktfria betongen innehåller nämligen redan från början mycket lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct < 0.39.

Byggfuktfri betong

Betong innehåller i färskt tillstånd sten, grus, cement, vatten och tillsatsmedel. I den kemiska reaktion som följer mellan cementet och vattnet kan som högst 2/3 av vattnet bindas till cementet. 1 normal betong finns ett stort överskott av vatten i förhållande till vad som krävs för att allt cement skall reagera med vatten i betongen. Därför måste man torka ut en normal betong till den fuktnivå (kritisk RF) som krävs med hänsyn ovanförliggande golvmaterial. Exempel på kritiska fuktnivåer ges i HusAMA Bygg, t. ex för linoleum 90%, homogen PVC 90%, PVC med fyllnadsmedel 85%. Från kritiskt RF skall dras en marginal för mätosäkerhet, t. ex. 3%, dvs. 90% blir 87%, 85% blir 82% avläst på mätinstrumentet (efter kalibrering). Då byggfuktfria betongen används med lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct <0.39, reagerar så gott som omedelbart 2/3 av blandningsvattnet med cementet. Det oreagerade cementet i betongen söker sedan binda mer vatten varvid en självuttorkning uppstår. Denna "kamp om vatten" kan fortgå ända tills det att RF når 70%.

Pilottest med byggfuktfri betong

En pilottest med byggfuktfri betong utfördes bara 3 km från den aktuella skolan i det närmaste 10 år före det att fuktskadan uppdagades där. En 175 mm tjock byggfuktfri betongplatta göts på cellplastisolering. Trots ymnigt regnande månaden efter gjutningen (175 mm) torkade betong till <90% RF. Då tak lagts på byggnaden, ca 1 månad efter gjutning, fortsatte uttorkningen snabbt. Betongen innehöll mindre än 85% *RF* inom 2 månader från gjuttillfället. Ungefär ½ år efter gjutning var RF <75% i betongen (betongen i den aktuella skolan höll RF >90% vid samma ålder. Byggfuktfri betong är svårgjuten varför det inte går att limma plastmattor direkt till betong. Ytan blir helt enkelt för ojämn. Det krävs ett avjämnande bruk på ytan. Om bruket är av lågalkalisk kvalitet bryts direktkontakten mellan betongen och limmet. Detta är en fördel eftersom betongens alkalitet har en nedbrytande effekt på lim.

Trots detta, för att nå en god vidhäftning mellan lim och plastmatta, kräver limfabrikanterna RF <85%. Detta krav uppfylls i allmänhet bara med byggfuktfri betong om en rimlig tidplan skall kunna följas på ett bygge. Ingen byggare väntar numera på att betongen skall hinna torka, detta visar exemplet från den aktuella skolans golv.

Erkänd teknik

Chalmers Tekniska Högskola, CTH, studerade byggfuktfri betong för ca 5 år sedan varvid pilottesten i stort sett bekräftades. Byggfuktfri (högpresterande) betong var enligt CTH lösningen på fuktproblemen i byggbranschen. CTH varnade samtidigt för limning av plastmattor direkt på byggfuktfri betong eftersom den var för tät - både mot vatten och lim. Ett par misstolkade tester bidrog dock till att byggfuktfri betong fick en minskad användning. I ett fall hade den normala betongen fått torka intensivt med avfuktare före limning av plastmattor. I testen utfördes mattlimning på byggfuktfri betong som ej alls hade torkat ut i ytan. CTH rekommenderar ett avjämnande lågalkaliskt bruk mellan matta och betong - något som ändå finns på plats eftersom ytan på

byggfuktfri betong blir alltför skrovlig för att möjliggöra mattlimning. Resultaten av ett stort SBUF (Svenska Byggbranschens UtvecklingsFond)-projekt inom området emissioner och fukt från golv på betong visar bl.a. att byggfuktfri betong har en inbyggd fuktsäkerhet. Betongen fortsätter att torka även lång tid efter det att en tät ytbeläggning har lagts. I en normal betong utjämnas däremot fukten inom betongen varvid ytfukten ökar och lim kan släppa från mattorna, jfr den aktuella skolans golv.

Två stora internationella seminarier har hållits vid LTH, 1997 och 1999 där fördelar och nackdelar med metoden noga har penetrerats. Det finns även andra internationella publikationer tillsammans med en nyligen godkänd NORDTEST-metod. Troligen är kostnadsaspekten avgörande för den byggfuktfri betongens framtid, men även giutbarheten. Främst är det nog fråga om ett informationsbehov.

Ökad fuktsäkerhet

Byggfuktfri betong har lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct <0,39.

Därmed finns oreagerat cement kvar i betongen. Det oreagerade cementet tar hand om eventuellt överskottsvatten så att RF av sig själv sjunker ned till ca 70%. Dessutom blir betongen tät så att vattnet bara tränger in ca 2 cm i betongen. Det vatten som tränger in i en byggfuktfri betongs yta (vid regn el. dyl.) torkar därför ut snabbt. Att vatten tränger in så lite en byggfuktfri betong beror på utrymmesbrist. Vattnet strävar omedelbart att reagera med överskottscementet. Denna reaktion medför i sin tur att en volymökning äger rum. Denna volym finns en tillgänglig i en så tät strukur som byggfuktfri betong har utan att reaktionen avstannar. Först utbildas emellertid stora tryckspänningar i ytskiktet respektive dragspänningar längre in i betongen vilken spänningsväxling förmodligen gör betongen tät . Effekten är konstaterad på många håll men dock ej helt teoretiskt utredd. Eftersom självuttorkningen i en byggfuktfri betong fortsätter mycket lång tid efter gjutningen får konstruktionen automatiskt en inbyggd fuktsäkerhet. Även efter det att täta mattor limmats fortsätter självuttorkningen. Stora kapillära krafter i betongens porvatten gör dessutom att ytan närmast mattan blir torrare än det inre av betongen även om ytan tätas. Detta konstaterades redan 1995 i Japan men även vid ovannämnda SBUF-projekt samt vid ett nyligen avslutat examensarbete. Fuktprofilerna för cementpasta, vct = 0.38 respektive byggfuktfri betong, bägge med vct = 0.38 visade att underkanten av provkropparna torkade medan ovansidan förseglades. Det visade att underkanten torkade ut till omgivningens fuktnivå. Även ovankanten på provkroppen torkade trots att den förseglats på grund av självuttorkningen och kapillära krafter i betongen.

Den självuttorkande effekten gör att man med byggfuktfri betong kan räkna med en ökad fuktsäkerhet då betongen åldras. Man riskerar inte, som i den aktuella skolan, att mattorna släpper efter ett tag på grund av förtvålning av limmet. Genom självuttorkningen och betongens sugande förmåga sjunker RF ständigt under en limmad matta på byggfuktfri betong, låt vara att det finns ett skikt av avjämningsmassa emellan.

Gjutbarhet och information

Byggfuktfri betong är, som ovan nämnts, ca 20 öre dyrare per liter. För exempelvis bostadsområdet Potatisåkern i Malmö år 1995 blev merkostnaden ca 1 miljon kronor eller ca 4‰ av totalkostnaden för projektet. Å andra sidan behövdes ett ringa antal fuktmätningar vid projektet, inga fuktskador uppstod, inga mögelhundar behövde anlitas, etc., en stor bonus i byggandet. Betongfukt står för närvarande för merparten av byggfuktskadorna. Platschefer, som idag oftast väljer betongkvalitet efter hållfasthet, ser inte de stora skador som kan komma efter ett par år och kräva att en fuktsanering utförs. Merkostnaden för betongen belastar direkt det ekonomiska resultat utan att gagna produktionen. Tvärtom är byggfuktfri betong mer svårgjuten än normal om den inte optimerats i förväg. Det är dessutom viktigt att "gubbarna" får känna på betongen i förväg samt att de känner sig motiverade att använda den. Med byggfuktfri betong undviker man problem på sikt - ej för stunden första timmen efter gjutning! Man kan med byggfuktfri betong erhålla minst lika god gjutbarhet som med normal. Detta visades sig vid Kv. Kapellmästaren, Malmö, 1999, där självkompakterande byggfuktfri betong kom till bruk. Det är också viktigt att ha "öppen" linje mellan betongfabrik och arbetsplats för att byggfuktfri betongen skall kunna anpassas efter det behov som just den aktuella arbetsplatsen har. Frågan om byggfuktfri betong skall användas eller ej är en managementfråga.

På sikt minskar riskerna och kostnaderna för fuktskador i byggandet om byggfuktfri betong används vid rätt tillfälle. Det är främst boende, beställare, arkitekter och konstruktörer som behöver informeras om fördelarna med att använda byggfuktfri betong jämfört med normal. Detta informationsbehov har försummats av betongbranschen som främst inriktat sig på tekniken att tillverka och transportera betongen - ej ekonomin inbegripet kostnader för fuktrisker. Branschen har på ett förtjänstfullt sätt tagit fram ett antal tekniska broschyrer och handböcker om byggfuktfri betong. Vad som återstår för branschen är att ge beställare och boende information om de stora ekonomiska risker som finns vid användning av normal betong jämfört med byggfuktfri.

Byggfuktfri betong 10 år. Husbyggaren 2/2001. 2001, 8-12.

Byggfuktfri betong fyller tio år

AV DOCENT BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

En viktig upptäckt inom byggbranschen har fyllt tio år, nämligen byggfuktfri betong. Upptäckten baserades på omfattande laboratorieförsök följda av fältförsök. Minst en miljon kvadratmeter betonggolv, kanske två, har utförts med byggfuktfri betong, i Sverige och Finland. Något fuktskadefall har ej kunnat konstateras med den nya metoden. Byggfuktfri betong är väldokumenterad och vetenskapligt erkänd.

Ofta förekommer problem med hosta, rinnande näsor och ögon hos personal i nybyggda skolor, barnstugor etc. Ett exempel på dessa problem visade sig nyligen i en skola Sydsverige. Det visade sig att skolan, ca 1 500 m^2 stor, var behäftad med fuktskador i golvet. Normal betong med stort vatteninnehåll hade använts till en platta på mark. Omedelbart före limning av plastmattor till betongen uppmättes mer fukt i betongen än vad som var tillåtet[1]. Tidplanen skulle hållas vilket gjorde att mattläggning ändå måste utföras. I byggandet, som i trafiken, finns en 90-gräns. I byggandet gäller denna gräns inre relativ fuktighet, RF, i betong. RF skall vara mindre än 90 procent om mattor skall kunna limmas på ett framgångsrikt sätt. I den aktuella skolans golv var nästan alla mätvärden över 90 procent. I trafiken tolererar polisen ett par procents högre fart. I byggandets 90-gräns finns däremot inga marginaler: limmade plastmattor släpper från betongen vid RF över 90 procent till följd av s k förtvålning av limmet[2]. Problemen för personalen i den aktuella skolan ansågs dock inte kunna ge bestående men. En renovering av skolan kunde därför anstå till sommarlovet[3]. Renoveringen kommer att bli kostsam förutom de problem som personalen fått utstå. Femhundra kr/m^2 är ingen ovanlig siffra för en totalsanering av fukt- och mögelskadade betonggolv. I vissa fall blir kostnaden den dubbla om det befintliga betonggolvet skall tvångsventileras. Byggs ett betonggolv redan från början med byggfuktfri

Forts sid 10



Figur 1. Pilottest med byggfuktfri betong, 1990[4]. Pumpning av betong. Ingjutningsanordningar för fuktmätning.

JUTUNDER XAKT®
Krympfri och pumpbar undergjutning. Med fibrer!
BEVINI SCANDINAVIA AB
08-590 344 60, www.bevini.se

www.strateg.se



Ytong Helvägg
- revolutionerar det murade byggandet

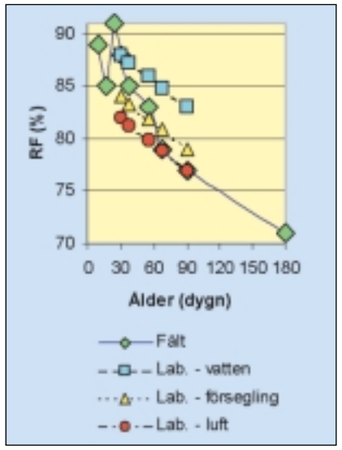
Nu kan du också bygga sunda stenhus med ett prefabricerat byggsystem. Lösningen heter Ytong Helvägg. Ett nyutvecklat helväggselement från Yxhult som revolutionerar det murade byggandet!

- Ytong Helvägg går mycket snabbt att montera.
- Ytong Helvägg monteras med kran direkt från bil.
- Ytong Helvägg levereras skräddarsydd – i längder upp till sju meter och i våningshöjd upp till tre meter.
- Ytong Helväggvillor ger villor och fler bostadshus fogfria fasader med lågt fuktinnehåll.

Vill du veta mer om Ytong Helvägg?
Beställ broschyr via info@yxhult.se eller kontakta något av våra försäljningskontor.

YXHULT
ETT FÖRETAG I PLENA-GRUPPEN

Dalby tel: 046-20 55 00, fax: 046-20 11 33 **Göteborg** tel: 031-704 45 20, fax: 031-704 45 30
Kumla tel: 019-58 60 00, fax: 019-58 61 91 **Stockholm** tel: 08-13 61 90, fax: 08-618 39 85 **Internet** www.yxhult.se



Figur 2. Uttorkning av byggfuktfri betong vid fältförsök och i laboratorium, 1990[4].

Forts från sid 8

betong slipper man alla problem med byggfukt till en kostnad av ca 20 kr mer per m² platta på mark (100 mm). Den byggfuktfria betongen innehåller nämligen redan från början mycket lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct < 0.39.

Byggfuktfri betong

Betong innehåller i färskt tillstånd sten, grus, cement, vatten och tillsatsmedel. I den kemiska reaktion som följer mellan cementen och vattnet kan som högst 2/3 av vattnet bindas till cementen. I normal betong finns ett stort överskott av vatten i förhållande till vad som krävs för att all cement skall reagera med vatten i betongen. Därför måste man torka ut en normal betong till den fuktnivå (kritisk RF) som krävs med hänsyn ovanförliggande golvmaterial. Exempel på kritiska fuktnivåer ges i Hus-AMA Bygg, t ex för Linoleum: 90 procent, homogen PVC: 90 procent, PVC med fyllnadsmedel: 85 procent. Från kritiskt RF skall dras en marginal för mätosäkerhet, t ex tre procent, d v s 90 procent blir 87, 85 procent blir 82 avläst på mätinstrumentet (efter kalibrering). Då den byggfuktfria betongen används med lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct < 0.39, reagerar så gott som omedelbart 2/3 av blandningsvattnet med cementen. Den oreagerade cementen i betongen söker sedan binda mer vatten varvid en självuttorkning uppstår. Denna ”kamp om vatten” kan fortgå ända tills det att RF når 70 procent.

Pilottest med byggfuktfri betong

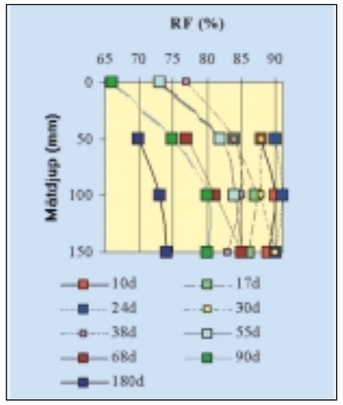
Ett pilottest med byggfuktfri betong utfördes bara tre kilometer från den aktuella skolan i det närmaste tio år före det att fuktskadan uppdagades där. En 175 mm tjock byggfuktfri betongplatta göts på cellplastisolering, (Fig 1). Trots ymnigt regnande månaden efter gjutningen (175 mm) torkade betongen till < 90 procent RF[4]. Då tak lagts på byggnaden, cirka en månad efter gjutning, fortsatte uttorkningen snabbt, (Fig 2). Betongen innehöll mindre än 85 procent RF inom två månader från gjuttillfället. Ungefär ett halvt år efter gjutning var RF < 75 procent i betongen (betongen i den aktuella skolan höll RF > 90 procent vid samma ålder)[5].

Byggfuktfri betong är svårgjuten varför det inte går att limma plastmattor direkt till betongen. Ytan blir helt enkelt för ojämn. Det krävs ett avjämnande bruk på ytan. Om bruket är av lågalkalisk kvalitet bryts direktkontakten mellan betongen och limmet. Detta är en fördel eftersom betongens alkalitet har en nedbrytande effekt på lim.

Trots detta kräver limfabrikanterna RF < 85 procent, för att nå en god vidhäftning mellan lim och plastmatta. Detta krav uppfylls i allmänhet bara med byggfuktfri betong om en rimlig tidplan skall kunna följas på ett bygge. Ingen byggare väntar numera på att betongen skall hinna torka, detta visar exemplet från den aktuella skolans golv.

Erkänd teknik

Chalmers Tekniska Högskola, CTH, studerade byggfuktfri betong för cirka fem år sedan varvid pilottestet i stort sett bekräftades[6]. Byggfuktfri (högpresterande) betong var enligt CTH lösningen på fuktproblemen i byggbranschen. CTH varnade samtidigt för limning av plastmattor direkt på byggfuktfri betong eftersom den var för tät – både mot vatten och lim. Ett par misstolkade tester bidrog dock till att



Figur 3. Fuktprofiler vid uttorkning av byggfuktfri betong vid fältförsök 1990[4]. d = ålder (dygn). Betong på cellplast (ensidig uttorkning).

byggfuktfri betong fick en minskad användning. I ett fall hade den normala betongen fått torka intensivt med avfuktare före limning av plastmattor. I testet utfördes mattlimning på byggfuktfri betong som ej alls hade torkat ut i ytan. CTH rekommenderar ett avjämnande lågalkaliskt bruk mellan matta och betong – något som ändå finns på plats eftersom ytan på byggfuktfri betong blir alltför skrovlig för att möjliggöra mattlimning. Resultaten av ett ett stort SBUF – (Svenska Byggbranschens UtvecklingFond) projekt inom området emissioner och fukt från golv på betong visar bl a att byggfuktfri betong har en inbyggd fuktsäkerhet[7]. Betongen fortsätter att torka även lång tid efter det att en tät ytbeläggning har lagts. I en normal betong utjämnas däremot fukten inom betongen varvid ytfukten ökar och lim kan släppa från mattorna, jfr den aktuella skolans golv.

Två stora internationella seminarier har hållits vid LTH, 1997 och 1999 där fördelar och nackdelar med metoden noga har penetrerats[8]. Det finns även andra internationella publikationer tillsammans med en nyligen godkänd Nordtest-metod[8, 9]. Troligen är kostnadsaspekten avgörande för den byggfuktfria betongens framtid, men även gjutbarheten. Främst är det dock fråga om ett informationsbehov[10].

Ökad fuktsäkerhet

Byggfuktfri betong har lite vatten i förhållande till cement, vattencementtal, vct < 0.39. Därmed finns oreagerad cement kvar i betongen. Den oreagerade cementen tar hand om eventuellt överskottsvatten så att RF av sig själv sjunker ned till ca 70 procent. Dessutom blir betongen tät så att vattnet bara tränger in cirka två centimeter i betongen. Det vatten som tränger in i en byggfuktfri betongs yta (vid regn el dyl) torkar därför ut snabbt. Att vatten tränger in så lite i en byggfuktfri betong beror på utrymmesbrist. Vattnet strävar omedelbart att reagera med cementöverskottet. Denna reaktion medför i sin tur att en volymökning äger rum. Denna volym finns ej tillgänglig i en så tät struktur som byggfuktfri betong har utan reaktionen avstannar. Först utbildas emellertid stora tryckspänningar i ytskiktet respektive dragspänningar längre in i betongen vilket förmodligen gör betongen så tät[11]. Effekten är konstaterad på många håll men dock ej helt teoretiskt utredd. Eftersom självuttorkningen i en byggfuktfri betong fortsätter mycket lång tid efter gjutningen, får konstruktionen automatiskt en inbyggd fuktsäkerhet. Även



Figur 5. Gjutning med självkompakterande byggfuktfri betong, Kv. Kapellmästaren, Malmö, 1999. Foto: Per Johansson, PEAB Syd AB.

TEPRO FIBERBETONG



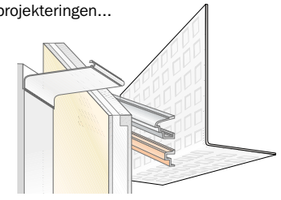
Tunn, lätt och starkt.

Conmax är formsprutad glasfiberarmerad betong. Av den tillverkar vi riktigt tunna produkter, från 10 mm och som kan formges med stor arkitektonisk frihet. Som Johan Celsings jalusier på Millesgården t.v. Eller fasadelementen på BO 01 och kv Arenan, med element som ger ”hela” hörn och vinklar.

Cemtek heter våra gjutna stålfiberarmerade element. De är ca 30 mm. Blakongrenoveringar i miljonprogrammet, beklädnadsbetong, bröstningar ...

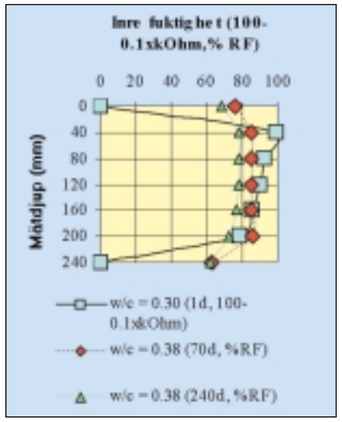
Cemtek sandwichelement
Tjocklek 210 eller 260 mm. Det består av cellplast omgivet av två skikt stålfiberarmerad betong.

Beställ mer information. Använd oss i projekteringen...





tepro
NÄR FACKMÄN BYGGER
Tepro Byggmaterial AB
Tel 08-18 82 80
Fax 08-18 82 25
www.tepro.se
WORLD WIDE FORUM



Figur 4. Inre fuktighet i cementpasta resp byggfuktfri betong. Ovansidan av provkropparna förseglades, underkanten torkade ut. d = (dygns ålder); vct = vattencementtal.

efter det att täta mattor limmats fortsätter självuttorkningen. Stora kapillära krafter i betongens porvatten gör dessutom att ytan närmast mattan blir torrare än det inre av betongen även om ytan tätas. Detta konstaterades redan 1995 i Japan[12] men även vid ovannämnda SBUF-projekt[7] samt vid ett nyligen avslutat examensarbete[13]. Fig 4 visar fuktprofiler för cementpasta, vct = 0.38 respektive byggfuktfri betong, bägge med vct = 0.38. Underkanten av provkropparna i Fig 4 torkade medan ovansidan förseglades. Figuren visar att underkanten torkade ut till omgivningens fuktnivå. Även ovankanten på provkroppen torkade på grund av självuttorkningen trots att den förseglats.

Den självuttorkande effekten gör att man med byggfuktfri betong kan räkna med en ökad fuktsäkerhet då betongen åldras. Man riskerar inte, som i den aktuella skolan, att mattorna släpper efter ett tag på grund av förtvålning av limmet. Genom självuttorkningen hos betongen sjunker RF ständigt under en limmad matta på byggfuktfri betong, låt vara att det finns ett skikt av avjämningsmassa emellan.

Gjutbarhet och information

Byggfuktfri betong är, som ovan nämnts, ca 20 öre dyrare per liter. För exempelvis bostadsområdet Potatisåkern i Malmö år 1995 blev merkostnaden cirka en miljon kr eller ca 4 promille av totalkostnaden för projektet[14]. Å andra sidan behövdes ett ringa antal fuktmätningar vid projektet, inga fuktskador uppstod, inga mögelhundar behövde anlitas, etc, en stor bonus i byggandet. Betongfukt står för närvarande för merparten av byggfuktskadorna. Platschefer som idag oftast väljer betongkvalitet efter hållfasthet ser inte de stora skador som kan komma efter ett par år och kräva att en fuktsanering utförs. Merkostnaden för betongen belastar direkt det ekonomiska resultatet utan att gagna produktionen. Tvärtom är byggfuktfri betong mera svårgjuten än normal om den inte optimerats i förväg. Med byggfuktfri betong undviker man problem på sikt – ej för stunden första timmen efter gjutning! Man kan med byggfuktfri betong erhålla minst lika god gjutbarhet som med normal. Detta visades sig vid Kv Kapellmästaren, Malmö, 1999, där självkompakterande byggfuktfri betong kom till bruk (Fig 5)[15]. Det är också viktigt att ha en ”öppen” linje mellan betongfabrik och arbetsplats för att den byggfuktfria betongen skall kunna anpassas efter det behov som just den aktuella arbetsplatsen har. Om byggfuktfri betong skall användas eller ej är en managementfråga[10].

Informationsbehov

På sikt minskar riskerna och kostnaderna för fuktskador i byggandet om byggfuktfri betong används vid rätt tillfälle. Det är främst boende, beställare, arkitekter och konstruktörer som behöver informeras om fördelarna med att använda byggfuktfri betong jämfört med normal. Detta informationsbehov har försummats av betongbranschen som främst inriktat sig på tekniken, att tillverka och transportera betongen – ej ekonomin inbegripet kostnader för fuktrisker. Branschen har på ett förtjänstfullt sätt tagit fram ett antal tekniska broschyrer och handböcker om byggfuktfri betong. Vad som återstår för branschen är att ge beställare och boende information om de stora ekonomiska risker som finns vid användning av normal betong jämfört med byggfuktfri. ❑

Referenser

1 **Bertil Persson,** Fukt och karbonatisering i skolgolv, Rapport U97.13, LTH Byggnadsmaterial, 1997.

2 **Lars-Olof Nilsson,** Fuktproblem vid betonggolv, TVBM-3002. LTH Byggnadsmaterial, 1977.

3 **Andreas Mårtensson,** Fuktproblem i skola ej hälsovådliga, SDS, 2001.

4 **Bertil Persson,** Högpresterande betong ger fuktsäker platta på mark, Betong 1/1991, 8–10.

5 **Bertil Persson,** Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet, Rapport TVBM-1009, LTH, 1992.

6 **Lars-Olof Nilsson,** Är högpresterande betong lösningen på fuktproblemen? Byggforskning 2/98, 40–41.

7 **Bertil Persson,** Kompatibilitet mellan golvmaterial och betong, Rapport TVBM-7149, LTH, 2000.

8 **B Persson;** G Fagerlund, Self-desiccation of concrete, Rapporter TVBM-3975, -3085. 1997, 1999.

9 **Bertil Persson,** A NORDTEST Method for Verification of Self-desiccation in Concrete, CCR, 2001.

10 **Bertil Persson,** Högpresterande betong – en match för management, Byggforskning 90/6, 1990, 26–27.

11 **Bertil Persson,** Moisture in Concrete Subjected to Different Kinds of Curing, Materials and Structures 30, 1997, 533–544.

12 **E –i Tazawa;** S Miyazawa, Experimental Studies of the Mechanism of Autogenous Shrinkage, CCR, 25, 1995, 1633–1638.

13 **Petter Flodén-Nilsson,** Kvalitetssäkring av fuktmätningar och uttorkning av betong vid Barnkliniken, Universitetssjukhuset, Lund, Rapport 5047, LTH Byggnadsmaterial, LTH, Lund, 2001.

14 **Bertil Persson,** Betong anpassad för ett effektivt byggande, Bygg & Teknik 7/96, 27–31.

15 **Bertil Persson,** Modern betong och filigranform förutsättningarna för ett rekordbygge, Husbygg. 6/99, 34–43.

Vill du se en stjärna?

HERA



Prelaq Nova

Den nya stjärnan bland färgbelagd takplåt

Prelaq Nova är en ny färgbelagd plåt med fler goda egenskaper än någon annan.

I grunden är den en polyester med alla miljöfördelar det innebär. Fast Prelaq Nova har nästan dubbelt så tjockt färgskikt som vanlig polyester. Tjockleken, de stabila pigmenten och den höga värmetåligheten ger Prelaq Nova en kulörbeständighet av högsta klass. Därför får du 15 års garanti mot kulörförändringar och färgflagning.

I färgskiktet ligger små och extremt hårda kulor av plexiglas inbäddade. Kulorna ger Prelaq Nova en mycket hård och slitstark yta, samtidigt som de gör Prelaq Nova ännu lättare att rullforma och pressa.

Du kan inte att hitta en bättre färgbelagd plåt om du tänker på miljön. Komponenterna är mycket väl kända sedan 25 år och har alltid ansetts vara gynnsamma ur miljösynpunkt.

Andra färgsystem kan vara marginellt bättre när det gäller någon enstaka egenskap. Men ingen slår Prelaq Nova när du räknar ihop de samlade egenskaperna. Skicka in kupongen så får du en provbit och mer kunskap om Prelaq Nova.

❒ Skicka mig en broschyr och provplåt så jag får känna på Prelaq Nova.

❒ Skicka mig miljöredovisning och tekniska fakta om Prelaq Nova.

Husbyggaren

Namn:

Adress:

Postadress:

Telefon:

E-postadress:

Faxa kupongen till 0243-72 000 eller skicka den till:
SSAB Tunnplåt, 35 MF, 781 84 Borlänge.
www.prelaq.com Mailadress: lena.hedin@ssab.com

SSAB TUNNPLÅT