Inblandad plastfiber minskar spjälkning vid brand. Husbyggaren nr 2. 2008, 28-32.

BRAND/BETONG Betongens akilleshäl har visat sig vara spjälkning även vid standardbrand. Så mycket som 1 cm per minut kan försvinna genom en så kallad ”pop-corn”-effekt. Beständig betong fås genom att blanda in plastfibrer av polypropylen.

Inblandad plastfiber minskar spjälkning vid brand

Av BERTIL PERSSON, Tekn Dr, *Bara*

Mont Blanc-tunneln och St Gotthardtunneln är exempel där betongen skadades mycket svårt efter brand i ett stort antal fordon. Eurotunneln skadades år 1996 efter brand i cellplastlastade lastbilar och fick stängas under ett år. Av Stora Bälttunnelns vägg återstod endast någon cm efter en så kallad hydrokarbonbrand.

Ett sätt att lösa problemet med brandspjälkning är keramik isolering av tunnelväggen. Denna metod kan dels vara oekonomisk, dels medföra att isolerplattor faller ned på passerade fordon. För tretton tio år sedan, i samband med uppförandet av skyskrapor i Frankfurt, presenterades en ny metod som gjorde betongen i sig själv beständig mot brandspjälkning, nämligen inblandning av plastfibrer av polypropylen, *ppf*, (Diedrich m.fl., 1995). Se bilderna 1–2.

Miljarder fibrer

I och med Citytunneln i Malmö, och Hallandsåstunneln har *ppf*-metoden kommit till Sverige för att stanna. Vid enbart persontågtrafik kan så lite som 1 kg *ppf* per kubikmeter betong vara tillräckligt av små *ppf*, 18 mikrometer med längd av 0.6 cm, vilka dock till följd av sin litenhet ger ett antal av en (1) miljard fibrer, tabell 1 (Jönsson U., 2007).

Genom en smärre justering av receptet blev det möjligt att bibehålla betongens gjutbarhet. Det krävdes dock avsevärd optimering för att få stabila lufthalter och därmed göra betongen frostbeständig, vilket var ett krav som, förutom brandbeständigheten, ställdes för Citytunneln (Jönsson U.; Munch Petersen C., 2007).

Betongen till Citytunneln hade en saltfrostavskalning om cirka 0.1 kg per kvadratmeter mot stipulerade 0.5 kg per kvadratmeter, tabell 1. Kloriddiffusionskoefficienten för betongen till Citytunneln varierade mellan 2 och $7x10^{-12}$ kvadratmeter per sekund. Normalt krävs $5x10^{-12}$ kvadratmeter per sekund för utsatta konstruktioner. (Jönsson U.; Munch Petersen C., 2007).

Även andra försök bekräftar god frostbeständighet även för betong utan luftporbildare och med vattencementtal, vct = 0.40. Luftporbildare krävs normalt för att erhålla god frostbeständighet. (Kalinowski M.; Trägårdh, J., 2007).

Alla betonger med minst 1.5 kg *ppf* per kubikmeter betong klarade kraven i saltfrostprovningarna. I betongerna med *ppf* uppmättes även lägre kloridtransport än hos motsvarande betong utan *ppf* (Kalinowski M.; Trägårdh, J., 2007).

Prov bekräftade brandsäkerhet

Brandtester vid MFPA i Leipzig visade att brandspjälkningen med 1 kg *ppf* per kubikmeter betong höll sig inom stipulera-



FÖRFATTAREN

Bertil Persson, docent i byggnadsmaterial. Har tidigare arbetat på LTH i 17 år, samt på Skanska i 19 år.



Bild 1. Brandtest inför skyskrapor i Frankfurt. Foto: VTT Brandteknologi, Espo.



Bild 2. Pelare efter brandtest.
Foto: VTT Brandteknologi, Espo.

Tabell 1. Sammansättning av betong C40/50 till Citytunneln, Malmö (Jönsson U., 2007).

Material	Fabrikat/Ursprung	Mängd (kg per kubikmeter)
Cement	Degerhamn Anläggning	370
Silika	Elkem Silicaslurry	25
Sand	Fakse Bugt 0/4	658
Makadam	Dalby 4/8	220
	Dalby 8/16	343
	Dalby 16/25	594
Flyttillsats	Grace Peramin F	5,18
	Grace Peramin HPA	0,18
Vatten	Malmö/Landskrona	140
ppf-fiber	Ignis	1

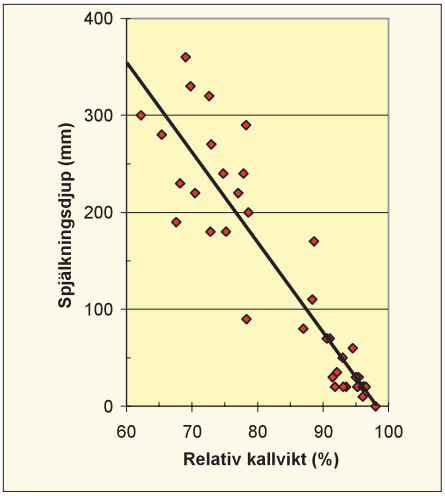
Tabell 2. Fuktkvot i parallellprov, i procent. (Kusterle m. fl., 2004).

Härdningssätt	Mitt i prov	Mot ugn
Uttorkning, luft	5.1, 5.5, 5.8	2, 3.2, 3.3
Uttorkning 50°C	4.9, 5.4, 7	4.3, 4.7, 4.7
Vattenlagring	5.3	5.2

Tabell 3. Villkor för åtgärder beträffande spjälkning hos betong (Silfwerbrand J., 2005).

	Betong med kalkstensfiller > 25 viktsprocent av cementmängden (som definierat under punkt 1)	Betong med kalkstensfiller < 25 viktsprocent av cementmängden (som definierat under punkt 1)
Max. fuktkvot	2.5 procent	2.5 procent
Max. tryckhållfasthetsklass*	C50/60	C80/95
Max. tryckpåkänning vid brandlastfallet	15 MPa	25 MPa

*Högre tryckhållfasthet medför större risk för spjälkning.



Figur 1. Spjälkningsddjupet versus relativ kallvikt efter spjälkning (Kusterle m. fl. , 2004).

de krav vid en brandbelastning motsvarande den som erhålls vid persontågstrafik (Jönsson U.; Munch Petersen C., 2007). Större betongplattor med dimensionerna 3.6 x 1.8 x 0.35 meter eller 1.8 x 1.2 x 0.40 meter provades med som mest fyra cm spjälkning under den första halvtimmen efter branden (Jönsson U.; Munch Petersen C., 2007).

En viktig faktor för att nå frostbeständighet var tillräcklig blandningstid vilket gjorde att kapaciteten i betongstationen minskade avsevärt. Det krävs också ny doseringsutrustning för plastfibrerna vilket tillsammans med fler blandare ökar kostnaderna för betongen något jämfört med betong utan *ppf*.

Vid transport av brandfarligt gods är dock 1 kg *ppf* per kubikmeter betong inte tillräckligt utan troligen krävs 1.5 eller i vissa fall 2 kg *ppf* per kubikmeter betong. Till exempel i Monc Blanc-tunnel brann en lastbil med tolv ton mjöl och åtta ton margarin vilket ledde till att 23 lastbilar och 23 personbilar blev totalt utbrända och till att 1 500 m av tunneln skadades svårt.

Frontalsammanstötningen i St Gotthardtunneln ledde till att 13 lastbilar, fyra skåpbilar och sex personbilar brändes ut samt till ett 170 meter långt mellanbjälklag att störtade samman. Cirka 300 meter av tunneln skadades. Eurotunneln skadades på en sträcka av 500 meter med ett spjälkningsdjup av 27 cm.

Jämfört med kostnaderna för dessa skador är kostnaden för 1–2 kg *ppf* per kubikmeter av all tunnelbetong givetvis ringa, förutsatt att betongleverantörer först anskaffar relevant utrustning för att tillverkning av fiberbetongen ska kunna ske.

Har testat tunnelbetong

Österrikiska försöksresultat anger 2 kg *ppf* per kubikmeter betong C25–30 för att helt förhindra explosiv spjälkning fram till armering hos tunnelbetong, oberoende av fuktinnehållet (Kusterle m.fl., 2004). För högpresterande betong ska doseringen av *ppf* ökas om så erfordras.

Anledningen till generaliteten i rekommendationerna av *ppf*-inblandning är omfattande spjälkning hos betong utan *ppf*, oberoende av armeringsmängd, ballasttyp, fuktkvot, påkänning, upphettningskurva, etcetera, se figur 1.

Stort spjälkningsdjup

I figur 1 har spjälkat betongskikt jämförts med brandbelastad betongmängd. Spjälkningsdjupet var stort trots kraftig ytarmering, upp till 36 cm – i allmänhet cirka 20 cm då *ppf* inte fanns i betongen. Betongformen med armering visas i bild 3.

Använda temperatur/tidsutvecklingskurvor för brand ISO 834 (standardbrandkurva), LTI eller RWS. Upphettning skedde med en brännare placerad i ena långsidan av en underliggande ugn med rökutgång på motstående sida. Betongplattor med storleken 1.8 x 1.4 meter och tjockleken 30 cm eller 50 cm användes, se bild 4. I längdriktningen spändes med 0.5 MPa samt transversellt med tryckpåkänningar varierande mellan –1.16 och 9 MPa. Spänning skedde endera symmetriskt eller osymmetriskt med spännstag i stål som förankrades mot stålplattor på utsidan av provet. Sidorna av provet samt den brandoexponerade undersidan (1.2 x 0.8 meter) kläddes med plåt i syfte att simulera ensidig brandbelastning.

Vägning skedde före och efter provning, efteråt i såväl varmt som kallt tillstånd, se bild 5. Mätningar skedde även av spjälkningsdjup, se bild 6.

I provet mättes temperaturutvecklingen på flera djup från ytan. Hållfasthet mättes på utborrade prover, med diameter 10 cm. Enligt undersökningen förefaller dock mellan 1.0 (prov 51, ytfuktkvot = 2 procent) och 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* (ytfuktkvot 5.2 procent) ha varit en tillräcklig mängd *ppf* även om 2 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* rekommenderas.

Ökningen av armeringsmängden i en riktning från diameter 1.4 cm till diameter 2 cm förhindrade inte spjälkning (prover 19-22), endast inblandning av 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* (pro-

Fortsättning s. XX ▶



Bild 3. Form för tunnelbetong med armering: Foto: Wolfgang Kusterle.



Bild 4. Tunneldel i betong ovanpå brandugn med 6.5 ton i förspänningskraft .
Foto: Wolfgang Kusterle.



Bild 5. Vägning skedde före och efter provning, då även i varmt tillstånd.
Foto: Wolfgang Kusterle.

ver 23–26) kunde förhindra spjälkning. I prover 54–55 där armeringen ökades enormt kunde spjälkningen begränsas till 6 cm även utan inblandning av *ppf*. Då sprutbetong med *ppf* användes spjälkades denna plus betong till 15 cm:s djup (vattenlagring). Ingen spjälkning uppstod för luftlagrad betong belagd med sprutbetong med 2.0 kg per kubikmeter *ppf*.

Fuktkvoten bestämdes vid 28 dygns ålder genom att en parallellgjuten provkropp delades mitt itu med uttagning av prover tvärs genom provet. Fuktproverna samlades i plastpåsar som sedan transporterades till Innsbruck, till Institutet för betongbyggnad, byggnadsmaterial och byggnadsfysik, för vägning av prover före och efter upphettning till 105 grader Celcius.

Tabell 2 visar uppmätt fuktkvot vid 28 dygns ålder i proverna medan brandprovningarna företogs upp till 360 dygns ålder. Fuktkvoten var hög trots varierande torkningssätt vilket i sin tur beror av ett högt vct. Emellertid återspeglar uppmätt fuktkvot gängse förhållanden i österrikisk tunnelbyggnadsteknik, vattentät betong med hög fillerhalt och ett högt vct.

Explosiv spjälkning utan fibrer

I tabell 2 visas fuktkvoten såväl i ytan av provet som mitt inuti. Ytfukten är avgörande eftersom explosiv spjälkning först sker allra närmast ytan av betongen.

Om ytan av betongen förblir intakt motstår även betongens inre delar explosiv spjälkning vid brand. Explosiv spjälkningsrisk förelåg inte inom 50 mm från ytan i *ppf*-betong inom 80 minuter om ytan behölls intakt – inte inom 50 minuter för betong utan *ppf* där dock ytan spjälkades av varför riskzonen då successivt flyttades inåt.

För betong utan *ppf* påbörjades den explosiva spjälkningen med RWS-kurvan redan efter 2–4 minuter till följd av den stora temperaturökningshastigheten, efter 3–5 minuter med LTI-kurvan samt efter 6–12 minuter med ISO 384-kurvan.

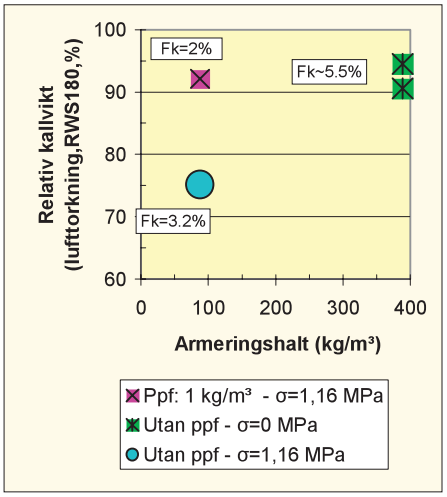
Störst explosiva spjälkningshastighet uppmättes för LTI-kurvan efter vattenlagring av betong med yttre påkänning 1.16 MPa: cirka 30 cm per timme. Den explosiva spjälkningen fortsatte oförhindrad av den normalt förekommande armeringen, cirka 100 eller cirka 200 kg per kubikmeter. Kraftigt ökad armering kunde bemästra den explosiva spjälkningen, cirka 400 kg per kubikmeter (Kusterle m.fl. , 2004). Se figur 2.

Figur 2 visar relativ kallvikt efter provning med RWS 180-kurvan som funktion av armeringshalten vid varierande påkänning. Det är mer ekonomiskt att använda 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* än att öka armeringshalten med cirka 300 kg per kubikmeter för att bemästra explosiv spjälkning intill armeringen. Figur 3 visar relativ kallvikt efter provning med RWS 120-kurvan som funktion av påkänning vid varierande mängd *ppf*.

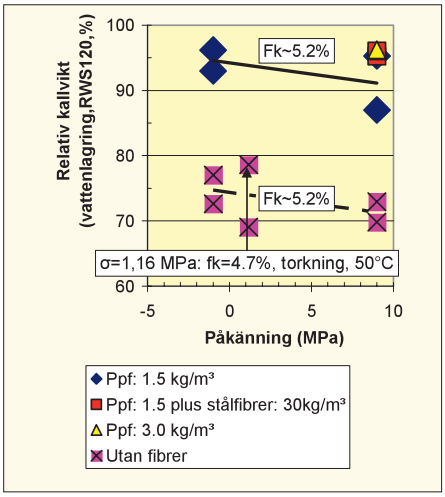
Figur 3 visar att stålfibrer inte inverkade på explosiv spjälkning. Påkänningen hade liten inverkan på mängden spjälkad betong åtminstone upp till 9 MPa – en för tunnelbetong rimlig påkänning. Inblandning av 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* bemästrade den explosiva spjälkningen. Utan *ppf* fortsatte spjälkning förbi armeringsskiktet på mindre än 10 minuter och sedan till mer än 30 cm:s djup. Med *ppf* uppstod endast sprickbildning i ytan samt spjälkning på cirka 2 cm, i vissa fall lokalt upp till 5 cm efter två timmar men inte förbi armeringsskiktet i något fall (Kusterle m.fl. , 2004).

Det står klart att påkänningen hade mycket mindre inverkan på mängden explosivt spjälkad betong än vad inblandning av *ppf* hade.

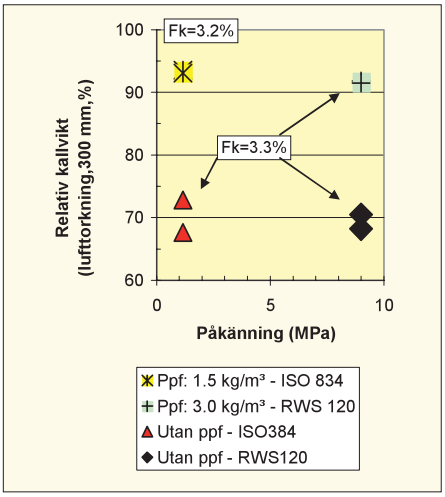
Figur 4 visar relativ kallvikt efter provning med RWS 120- och ISO384 kurvorna versus påkänning. Varierande mängd 18 mikrometer *ppf* visas med 30 cm betong. Det förefaller som om 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* var tillräckligt även i detta fall för att bemästra spjälkningen. Såväl temperaturer enligt



Figur 2. Relativ kallvikt efter provning med RWS 180-kurvan versus armeringshalten. Varierande påkänning. *Ppf* 18 mikrometer. 500 mm btg. Fk = ytfuktkvot, 28 dygns ålder, i procent. (Kusterle m.fl. , 2004).



Figur 3. Relativ kallvikt efter provning med RWS 120-kurvan som funktion av påkänning. Varierande mängd *ppf* 18 mikrometer. 500 mm btg. Fk = ytfuktkvot, i procent. (Kusterle m.fl. , 2004).



Figur 4. Relativ kallvikt vid provning med RWS 120- och ISO384 kurvorna versus påkänning. Varierande mängd *ppf* 18 mikrometer. 300 mm btg. Lufttorkning. Fk = ytfuktkvot, i procent. (Kusterle m.fl. , 2004).

ISO 384-kurvan som enligt RWS 120-kurvan var tillräckliga för att ge spjälkning. På samma sätt jämfördes LTI 180-kurvan med RWS 120-kurvan. Se figur 5.

Figur 5 visar relativ kallvikt efter provning med RWS 120- och LTI 180-kurvorna versus påkänning vid 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* och 50 cm betong. Prover visade i figur 6 med LTI 180 innehöll kvartsit som inte föreföll att ge upphov till större explosiv spjälkning än kalksten.

Figur 6 visar relativ kallvikt versus ytfuktkvot. Den visar dock inverkan av ytfuktkvoten var motsatt den förväntade, såväl med fibrer som utan fibrer i betongen (Kusterle m.fl., 2004).

Fiber bör blandas in

Rekommendationer för husbyggnadsbetong visar att fibrer krävs då brand kan äventyra byggnadens goda bestånd då påkänningen är stor och betongen fuktig, till exempel parkeringsdäck etcetera.

Försiktighetsprincipen bör gälla, det vill säga då man är osäker beträffande en långt fram i tiden tänkt brandpåverkan så bör *ppf* under alla omständigheter blandas in även i husbyggnadsbetong. Kostnaden för fibrer är försumbar i förhållande till de skador som kan uppstå vid brandspjälkning givet att betongleverantörer allra först anskaffar relevant utrustning för att tillverkning av fiberbetongen ska kunna ske.

Följande rekommendationer kan ges (Silfwerbrand J., 2005):

1. Betong med vct_{ekv} > 0,55 och kalkstensfillermängd mindre än 25 viktsprocent av cementmängden.

Vid användning av cement med innehåll av kalkstensfiller ska den närvarande delen av kalkstensfiller i cementen räknas som kalkstensfiller och endast klinkerandelen som cement. Detta innebär att cement CEM II /A-L är tillåtet. Den får innehålla 20 procent kalkstensfiller av totalmassan. Inga speciella rekommendationer behövs eftersom risken för spjälkning är försumbar.

2. Övrig betong

2a. Byggnader med luftfuktighetens årsmedelvärde < 60 procent, brand ISO 834.

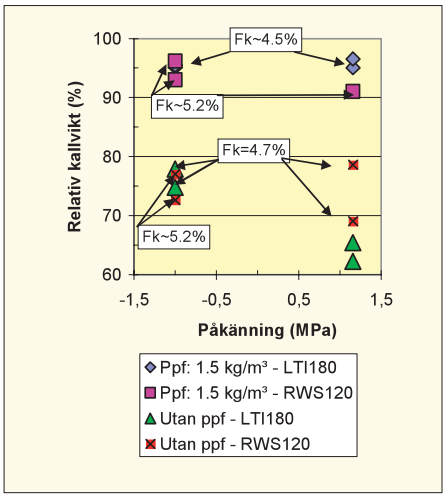
Vid dessa byggnader kommer betongen efter en tid att ha ett fuktinnehåll på < 2.5 viktsprocent. Om följande villkor i tabell 3 uppfylls behöver inga extra åtgärder vidtagas för att reducera risken för explosiv spjälkning i betong.

2b. Byggnader och anläggningar med RH > 60 procent.

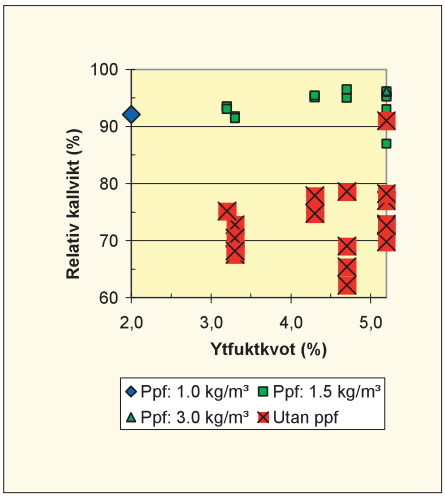
Om betongen inte brandprovats bör *ppf* tillsättas eller betongen skyddas av ett obrännbart värmeisolerande skikt (Silfwerbrand J., 2005). Några rekommendationer om mängd respektive typ av fibrer har inte kunnat ges beroende på bristande kunskapsnivå när det gäller betongsammansättning, beständighet och utförande.

Ppf har dock visat sig vara effektiva för att reducera spjälkningsmängden. Om man i ett aktuellt fall har tillräcklig kunskap för att bestämma erforderlig fibermängd kan brandprovning utelämnas. Föreliggande rekommendationer är under uppgradering för att mer precisa krav ska kunna ges. Försiktighetsprincipen bör dock gälla, i synnerhet för brand. Kostnaden för *ppf* i betongen är ringa i

Fortsättning s. XX ▶



Figur 5. Relativ kallvikt – provning med RWS 120- och LTI 180-kurvorna versus påkänning. Fk = ytfuktkvot, i procent. (Kusterle m.fl. , 2004).



Figur 6. Relativ kallvikt versus ytfuktkvot (Kusterle m.fl. , 2004).

förhållande till de kostnader som kan förorsakas av brandspjälkning.

Påverkar fukttransport

Efter hundratals försök med betong med temperaturer upp till 1 000 grader Celsius kan stora skillnader konstateras beroende på fiberinnehåll (Persson, 2003).

Med fibrer kokar fukten successivt ur betongen utan att explosion sker. Vattenånga lämnar provkroppen från första stund under försöket. Fibrerna förångas i ytan av betongen och brinner upp för att bilda en mängd kanaler där fukten kan transporteras ut ur betongen. Längre in i betongen smälter fibrerna och bidrar på så sätt till att impregnera betongen mot fukttransport inåt i betongen. Ännu längre in i betongen sväller fibrerna mer än betongen vilket också har en mot fukttransport impregnerande effekt.

Utan fibrer i betongen rör sig fukten i stället i temperaturgradientens riktning nämligen inåt i betongen. Ingen vattenånga alls syns lämna provkroppen under försökets gång. Kondensation och tryckökning sker inåt i betongen.

En spricka utbildas ungefär på samma avstånd från den brandutsatta ytan lika med maximal stenstorlek. En vattenficka uppstår i sprickan. Då temperaturen har höjts till en kritisk nivå i vattnet övergår en del av detta explosionsartat till vattenånga varvid betongen spjälkas. Efter spjälkningen bildas en ny spricka längre in i betongen med vattenansamling och successiv spjälkning som följd.

Efter en explosion kan man ofta se vatten skvala ned för den spjälkade betongytan även om lufttemperaturen i ugnen är mycket hög, eller så kan man se vatten i botten av eller under ugnen.

Slutsatser kan dras

Följande slutsatser kan dras efter analys av nationella och internationella försöksresultat:

1. Polypropylenfibrer, *ppf,* hade en avgörande betydelse i syfte att bemästra brandspjälkning. Två kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* rekommenderades för tunnelbetong för att bemästra brandspjälkning intill armeringen. Försöken visade dock att 1.5 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* var tillräckligt. Vid brandbelastning från enbart persontågstrafik var 1 kg per kubikmeter 18 mikrometer *ppf* tillräckligt för att bemästra brandspjälkningen.
2. Porstrukturen påverkades mycket kraftigt av inblandning av *ppf*, vilka impregnerade betongen och hindrade fukttransport inåt med påföljande tryckökning och explosion.
3. Betong med *ppf* föreföll att ha bättre saltfrostbeständighet och lägre kloridinträngning än motsvarande betong utan *ppf*.
4. Betonghållfastheten 33 MPa var tillräcklig för att förorsaka omfattande och fortgående brandspjälkning hos betongen utan *ppf* även då ytan på denna hade torkats ut under lång tid.
5. Belastning (drag- eller tryckpåkänningar) hade liten inverkan på spjälkningens storlek hos betong utan *ppf,* det vill säga om påkänningen ökade från en dragpåkänning av 1 MPa till en tryckpåkänning av 9 MPa så minskade kvarvarande kallvikt efter brand endast med fem procent.
6. Armeringsinnehåll hade betydelse först vid en ökning från normal armering på cirka 100 kg per kubikmeter till cirka 400 kg per kubikmeter i syfte att bemästra brandspjälkning.
7. Fuktinnehållet visade sig förvånansvärt nog ha motsatt inverkan mot den förväntade, det vill säga att betongens kallvikt efter brandförsöken var högre vid högre fuktkvot i betongen före försöket än vid lägre fuktkvot, såväl med *ppf* som utan *ppf* i betongen. □

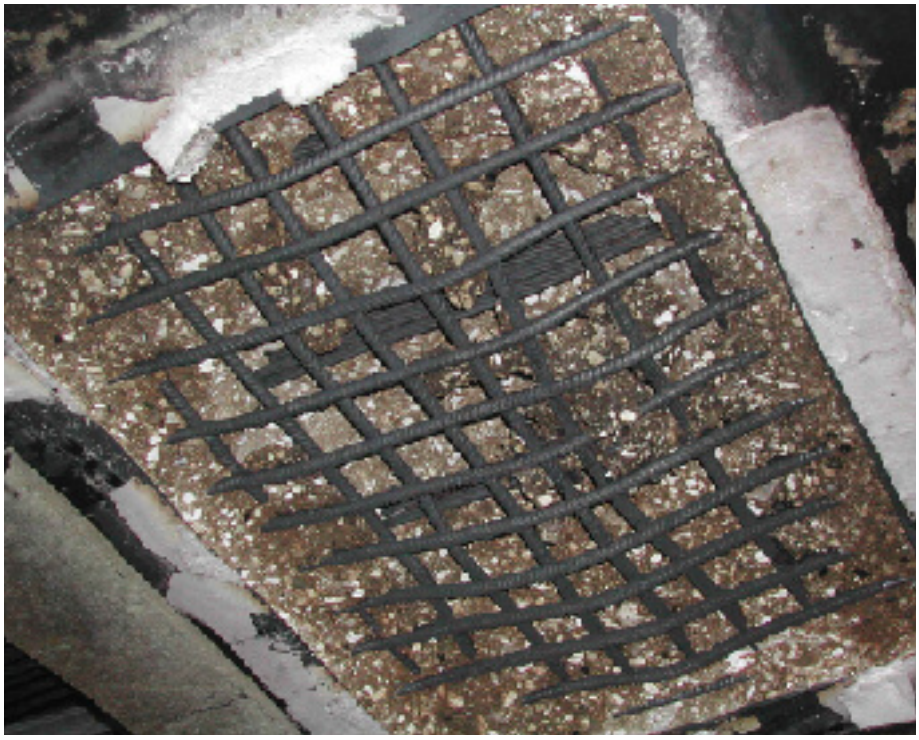


Bild 6. Mätningar skedde även av spjälkningsdjup. Foto: Wolfgang Kusterle.

Referenser:

Diedrichs U., Jumppanen U.-M., Schneider U., High Temperature Properties and Spalling Behaviour of High Strength Concrete. Weimar. Red.: Wittmann och Schwesinger. Freiburg and Unterengstringen. 1995, s 129–143.

Jönsson U. Personlig information. Föredrag vid SBF Tunneldagar, Malmö. 2007.

Jönsson U.; Munch Petersen C. Citytunneln – Hur gör man betong både frostbeständig och brandbeständig? SVR V-byggaren, 2007, no 4, s 16-20.

Kalinowski M.; Trägårdh, J. Bättre beständighet med PP-fibrer, CBI-nytt 2:07, 2007, s 2–3.

Kusterle W. et al. Brandbeständikeit von Faser-, Stahl- und Spannbeton. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie in Zusammenarbeit mit der Eisenbahn - Hochleistungsstrecken AG. Strassenforschung. 2004. Heft 544. ISSN 0379-1491. Bundesstrassensverwaltung. Stubenring 1, A-1010 Wien., 221 s.

Persson B. Fire Resistance of Self-Compacting Concrete, RILEM Materials and Structures, Vol. 37, No 273, 2003, s 575–584.

Silfwerbrand J. Guidelines for Preventing Eplosive Spalling in Concrete Structures Exposed to Fire, fib symposium “Keep Concrete Attractive”, Budapest, 2005, 6 s.

Inlandsbaserad vindkraft industrialisering i smyg. Husbyggaren 6/2000. 2000, 30-34.

Inlandsbaserad vin
industrialisering i

AV DOCENT BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

Kulturlandskapet genomgår för närvarande en dramatisk förändring i och med att en omställning på sikt skall ske från storskalig energiproduktion, t ex Barsebäcksverket, till vindkraftverk utspridda över landet. Detta innebär effekter på landskap, buller, störningar på TV-bilden och inverkan på ekonomin.

Främst i länder/områden med högt elenergipris och stora avstånd till tillgänglig vattenkraft har vindkraften fått ett starkt fotfäste, till exempel i Kalifornien, Wales, Holland, Tyskland och Danmark. I USA är det näppeligen politiska beslut som betingat en omfattande användning av vindkraft i vissa delar av landet utan snarare tvärtom, nämligen krass ekonomi. Målet i USA är att täcka fem procent av elbehovet med vindkraft. I Frankrike protesterar ekologerna kraftigt mot vindkraftverk speciellt i strandområden samt påpekar att lönsamheten är en myt.[1] I Danmark byggs vindkraftverk efter omfattande statsstöd[2].



Miljön ändras på ett radikalt sätt med ett vindkraftverk i blickfånget.

Tyskland har troligen det största antalet vindkraftverk i världen, ca 6 000, vilket innebär ca 0.08 promille/invånare.[3] I Sverige är jungfrulig mark för vindkraftetablering tillgänglig och beredskapen låg för den exploatering som pågår. För närvarande finns ca 600 vindkraftverk i Sverige[4], d v s samma antal per capita som i Tyskland. Kompetensen hos de tillståndsgivande byggnadsnämnderna är låg trots omfattande krav från myndigheterna[5]. Vid samrådsmöten om vindkraftetablering kallas ofta exploatören som kommunens expert vilket ger obalans i argumenteringen i förhållande till invånarna i det påverkade området.[6]

Kontrollmyndigheten, länsstyrelserna, är överlupna med ärenden[7] och etter värre lär det bli inför de ca 4 200 vindkraftverk som planeras under den kommande 10-årsperioden[8]. Tabell 1 visar antal vindkraftverk vid en utbyggnadsnivå av 10 TWh samt höjden hos resp. verk[8,9]. I stort sett alla ledande kommunpolitiker är positivt inställda till vindkraft, se Tabell 2, troligen på grund av de omfattande statsbidrag som kommer att fördelas[10].

Syftet med vindkraft, allmänt sett, är att minska produktionen av koldioxid. Man bör då betänka att ca tre års vindkraftsproduktion krävs för att kompensera den koldioxid som emitteras i samband med tillverkning av vindkraftverket i form av stål, koppar och epoxiplast, och dess grundläggning, t ex cement till betong, se nedan. Dessutom ingår vissa miljö- och arbetsmiljöbelastande delar i vindkraftverk, t ex tungmetaller i generator och epoxiplast i propeller.

Inverkan på landskapsbilden och närboende

Vindkraftverk blir genom sin höjd dominerande element i landskapet, Tabell 1. Områden som är av riksintresse för naturvården, kulturminnesvården eller friluftslivet skall skyddas mot åtgärder som påtagligt kan skada natur- eller kulturmiljön.

Vindkraftverket avviker framför allt genom sin storlek, sin form och sin rörliga propeller i alltför hög grad från övrig bebyggelse och miljö för att dessa krav generellt skall kunna uppfyllas. Kulturlandskapet kommer därför att genomgå en dramatisk förändring då vindkraftverk etableras. Ett nytt kulturlandskap står för dörren, med vindkraftverk, vilket är fråga om en industrialisering i smyg av mer eller mindre hela landet.

Tab 1 – Antal vindkraftverk vid utbyggnadsnivån 10 TWh (totalt 4224 st.) samt deras höjd 8,9.

Effekt (kW)	Antal (st)	Totalhöjd (m)	Propellerdiameter (m)
600	3022	100	44
1500	835	133	70
3000	367	ca 170	ca 100

dkraft smyg

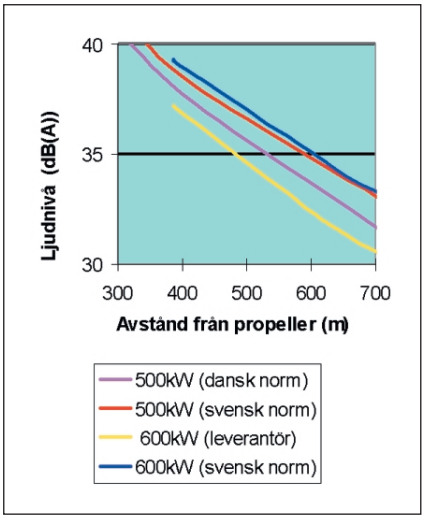


Fig 1 – Ljudnivå enligt dansk och svenskt beräkningsnorm för vindkraftverk med effekten 500 eller 600 kW. Vindhastighet: 8 m/s.

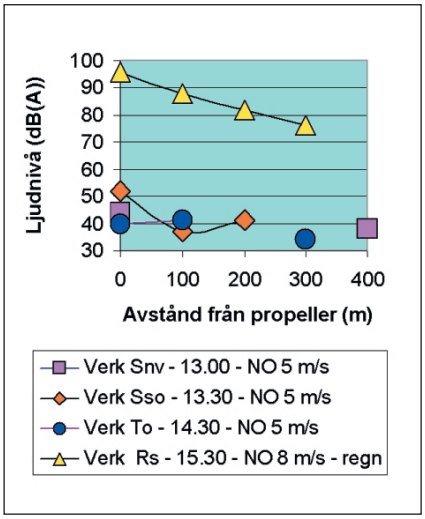


Fig 2 – Uppmätt ljudnivå för vindkraftverk med effekten 600 kW. Vindhastighet mellan 5 och 8 m/s.

Boverket anger generella riktvärden för skyddsavstånd till olika anläggningar, vilka (enligt inledningen) normalt bör följas vid planläggning enligt plan- och bygglagen och inte underskridas utan att särskilda motiv finns[11]. För verk med 1 MW effekt anges således ett skyddsavstånd på 700 m och för verk med 250 kW effekt 200 m, d v s ca 0.75 m per kW[11]. Dessa värden, som är byggda på erfarenhet av vindkraftsutbyggnad, måste vägas in vid en bedömning av lämplighetsavstånd till bostadsbebyggelse. En generell regel är att en byggnad och således även ett vindkraftverk vid fri sikt dominerar landskapet inom ett avstånd på tio gånger tornhöjden, vilket med en totalhöjd på 70 m innebär ett avstånd på 700 m[12]. Vid kortare avstånd till bostäder än så kommer ett vindkraftverk att utgöra det dominerande blickfånget i den boendes miljö. Förhållandena avser plan mark, d v s eventuell marklutning tillkommer. Kyrkor med kyrkbyar, slott, herrgårdar och sammanhållna bondbyar är kulturmiljöer med en helt annan skala än de moderna vindkraftverken. De kräver därför större skyddsavstånd än enskilda bostadsfastigheter för att inte de kulturhistoriska värdena skall spolieras.

Störningar på TV-bilden och buller

I propellern till ett vindkraftverk finns en stålvajer ingjuten per propellerblad för att ta hand om de elektriska strömmar som uppstår vid blixtnedslag. Det av vajrarna i propellern TV-störda området räknas till 2.4x0,8 km^2 varav 0,4 km framför verket mot sändaren räknat och resten bakom vindkraftverket i förhållande till sändaren.[13] Störningar på TV-bilden rättas enklast till med en digital dekoder eller en parabolmottagare i bägge fallen per TV eller med att TV-antennen riktas mot en annan sändare där så är möjligt. Den förstnämnda åtgärden beräknas kosta ca 7 000 SEK (2 TV) och den senare till ca 1 500 SEK per hushåll.[14] Eventuella åtgärder är en privaträttslig fråga som ej behandlas vid ett enstaka byggnadslov för vindkraftverk, endast då fråga är om en miljökonsekvensutredning för verk större än 1 MW.[15]

Då propellerbladen passerar tornet uppstår ett blåsbälgslikt ljud. Detta ljud dominerar och har en frekvens av ca 90 ggr/min, vilket kan verka stressande. I Tyskland redovisas standardiserade ljudmätningar vid endera vindhastigheten 8 eller 10 m/s på höjden 10 m över marken. Mätningarna utförs vid jämn (laminär) vind. Figur 1 visar exempel på beräkningar enligt dansk och svensk norm för ett vindkraftverk med effekten 600 kW, d v s ett förhållandevis litet verk (totalhöjden 87 m)[16]. I Sverige gäller beräkningspraxis från 1992[17]. Motsvarande beräkning till svenska krav innebär att rekommenderat minimiavstånd från bostäder till vindkraftverk med effekten 600 kW bör ökas från 270 m till ca 350 m, figur 1, om man vill uppfylla riktlinjerna på en ljudtrycksnivå mindre än 40 dB(A). För rekreationsområden gäller en högsta acceptabel ljudnivå på 35 dB(A) enligt riktlinjerna, vilket ökar minimiavståndet enligt dansk norm, 480 m, till 600 m enligt svensk, Figur 1.

Ljudmätningar

För oinitierade kan det vara svårt att avgöra vilken ljudnivå/vilket minimiavstånd som är rimlig/t, speciellt som leverantörens uppgifter grundas på mätningar under idealiska förhållanden, laminär vind[18], normal markinversion vad gäller temperatur (vilket gör att ljudvågorna studsar utåt från marken), etc. I Tyskland rekommenderas således ett minimiavstånd av 500 m vid ett 600 kW vindkraftverk (propeller 44 m) även om verket med tysk norm på 45 dB(A) som högsta ljudnivå kan ställas 250 m från bostäder. Alltför många klagomål, störningar, skadeståndskrav etc har gjort att man från leverantörens ljudexperts sida intar denna hållning.[19] Under ideala förhållanden är ljudnivån mycket lägre än vid regn, vindbyar eller omvänd markinversion, d v s högre temperatur högre upp än vid marken. En ljudmätning under realistiska förhållanden utfördes. Mätningen skedde vid vindstyrkor varierande mellan 5 och 8 m/s längs en väg utan skymmande buskar och träd. Det karaktäristiska blåsbälgsliknande ljudet från vindkraftverket kunde föl-

Tab 2 – Politisk inställning till vindkraftverk hos kommunstyrelseordföranden (80 procent svarade på enkäten) 10.

Positiva (%)	Totalt	Centerpartister	Socialdemokrater	Moderater	Övriga
Generellt	91	100	95	70	>50
I egna kommunen	82	98	85	51	>50

jas genom periodiska pendlingar på avläsningsinstrumentets visare. Förutom detta lågfrekventa ljud fanns ett högfrekvent metalliskt skärande ljud som inträffade före respektive efter vindbyar. Vid svag vind stämde resultaten väl överens med uppgifter från tillverkaren av verket, Figur 2. Vid regn- och vindbyar var de uppmätta ljudvärdena betydligt högre än vad som anges av tillverkaren av de aktuella verken. Det bör dock påpekas att mätningarna från ”verkligheten” ej följde föreliggande anvisningar, d v s mätning vid 8 m/s, uppehållsväder, laminär vind etc.

Återbetalningstid för energi, ekonomi

I vindkraftsdebatten florerar en siffra på återbetalningstid för energi för vindkraftverk som visat sig vara felaktig med ungefär en tiopotens.[20] Eftersom uppgiften, fyra månaders återbetalningstid, snedvrider debatten, är det viktigt att den vederläggs. Verklig återbetalningstid är ca 30 månader. Ett sätt ta reda på verkligheten är att hämta underlag från en vetenskaplig tidskrift.[21] Artikeln avser energiåtgång för att tillverka i ett vindkraftverk ingående material, utföra arbeten, transporter etc. I vindkraftverk ingående material kan hämtas på Internet från en leverantör.[22] I detta fall används aktuella siffror för ett vindkraftverk E40 – 600 kW med totalhöjden 87 m och propellerdiametern 44 m beläget i inlandet. Tabell 3 ger energiåtgång för arbete och material i samband med vindkraftverk. Det aktuella verket förväntades producera 1 150 MWh/år. Utfallet blev därför en återbetalningstid på 2,5 år innan det aktuella vindkraftverket började avge mer energi än vad som hade åtgått för tillverkningen, transport, montage, service etc.

Försäljningspriset för el är ca 12 öre /kWh beräknat som ett medelvärde över året[23]. Innehavare av vindkraftverk erhåller ett statligt pristillägg på 9 öre/kWh, energiskatten (16.2 öre/kWh) och ett särskilt investeringsbidrag på ca 5 öre/kWh, totalt garantipris således ca 42 öre/kWh.[8] Vid produktion av 10 TWh med vindkraftverk krävs således ett årligt statligt stöd på ca tre miljarder SEK. Bidragen är en förutsättning för att få ekonomi för vindkraftverk i synnerhet i inlandet där antalet effektiva timmar med lämplig vind är ungefär hälften av vad som finns tillgängligt vid kusten[24]. Figur 4 visar en kalkyl för ett vindkraftverk med effekten 600 kW (totalhöjden 87 m), dels för en inlandsbasering (Sturup), dels för kustbasering (Skanör) vid varierande energipris (öre/kWh). Kalkylen utfördes med följande förutsättningar:

- Avskrivningstid 15 år
- Elproduktion 1 150 (Sturup) resp 2 400 (Skanör) MWh/år
- Investeringskostnad vindkraftverk 3 750 kkr
- Investeringskostnad grund + väg 540 kkr
- Investeringskostnad kablar 150 kkr
- Diverse (serviceavtal, reservdelar, försäkr) 95 kkr/år
- Ränta efter skatt (annuitetsberäkning) 4%

Med nuvarande villkor erhålls en avkastning enligt Tabell 4. De årliga bidragen är 345 kkr (Sturup) respektive 720 kkr (Skanör). Med dessa bidrag blir verken företagsekonomiska. Nationalekonomiskt (utan bidrag) visar kalkylen en betydande förlust, 342 kkr för Sturupsbaseringen respektive 192 kkr för Skanör. För att satsa på inlandsbaserade vindkraftverk måste man därför enligt leverantören ha mycket god tro på fortsatta statsbidrag.[25]

Vad gäller sänkta fastighetsvärden finns få värden redovisade för hus sålda i närheten av vindkraftverk. I Tanumshede, där ett stort antal vindkraftverk har uppförts, finns dock ett par värderingar. En av värderingarna tyder på en minskning av fastighetsvärdet med 50 procent, den andra värderingen har skett oaktat vindkraftverket: ”skulle detta skett skulle marknaden varit mycket begränsad = värdet därefter”.[26], [27] Andra källor bedömer värdeminskningen till mellan 10 och 30 procent om ett vindkraftverk finns i blickfånget till fastigheten.[28]

Forts på sidan 34

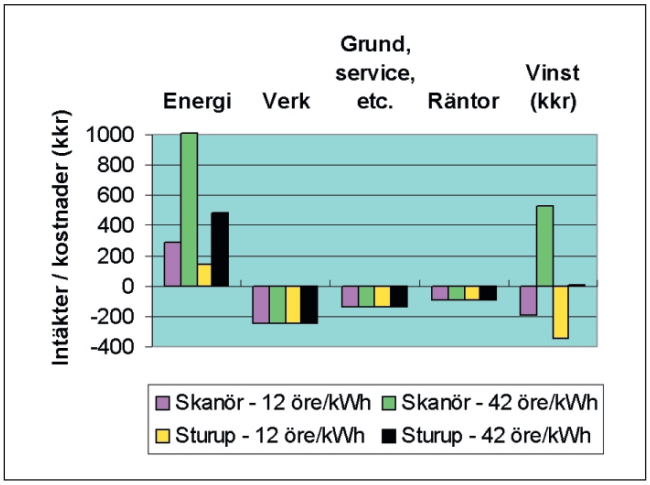


Fig 3 – Kalkyl för vindkraftverk med effekten 600 kW (totalhöjd 87 m, propellerdiameter 44 m) vid varierande energipris i öre/kWh. kkr = 1000:– kr.

Tab 3 – Energiåtgång för arbete och material i samband med vindkraftverk (MWh).

Arbetsavsnitt	Energi (MWh)
Vägar, uppställning och utgrävning	39
Transformator	195
Aluminiumledningar	562
Fundament	260
Torn	658
Generator	429
Propeller	270
Maskiner och transporter	418
Summa	2830
Återbetalningstid vid 1150 MWh/år	2,5

Tab 4 – Avkastning för ett förhållandevis litet vindkraftverk med effekten 600 kW (totalhöjden 87 m), dels för en inlandsbasering (Sturup), dels för kustbasering (Skanör) vid varierande energipris (kkr). kkr= 1000 kr.

Energipris (ort)	12 öre/kWh (Sturup)	12 öre/kWh (Skanör)	42 öre/kWh (Sturup)	42 öre/kWh (Skanör)
Vinst (kkr)	-342	-192	3	528
Bidrag (kkr)	0	0	345	720

Slutsatser

Följande slutsatser kan dras inför en svensk applikation av vindkraft i stor skala:

1. Landbaserad vindkraftverk kommer att få en dominerande inverkan på landskapet med ett nytt kulturlandskap som följd.
2. Det dominerande intrycket av vindkraftverk för närboende gör att en nationell praxis omgående bör tas fram för minimiavstånd mellan t ex verk och bostäder beroende av verkets höjd och effekt.
3. Inom ett område av ca 2,4x0,8 km^2 varav 0,4 km mot TV-sändaren kan man räkna med störningar på TV-bilden.
4. Mätningar visar att ljudnivån vid vindkraftverket kan vara betydligt högre än vad som ges av leverantörernas mätdata främst till följd av dynamiska effekter, byig vind, regn etc.
5. Återbetalningstiden är 2,5 år innan ett vindkraftverk börjar avge mer energi än vad som åtgått för tillverkningen etc.
6. En kalkyl visar att ett kustbaserat vindkraftverk kan vara en god affär, men att denna typ av energiproduktion ej är nationalekonomisk. Vad gäller fastighetsvärden är cirka 10–30 procents sänkning sannolik i närheten av vindkraftverk. □

Referenser

1 Jean-Paul Croizé. Tempête verte contre les éoliennes. Le Figaro. 2000-10-14—15.
2 Peter Schoubye. Vindmøller på Middelgrund – økonomisk vanvid. Ingeniøren 46. 1999, sid. 4.
3 Riksantikvarieämbetet. Stockholm. Fallstudier beträffande vindkraft. 2000.
4 Ola Billger. Revolutionens vindar blåser över Östersjön. Svenska Dagbladet. 2000-10-20.
5 Plan- och Bygglagen, PBL. Elfte kap. 4§.
6 Tage Strandmark. Unikt vindkraftsmöte i Svedala. Kvällsposten. 2000-10-12.
7 Håkan Thorson. Vindkraftsärenden hanteras snabbare. Sydsvenska Dagbladet Snällposten. 2000-10-21.
8 Per Ericsson. Blåsningen. Timbro. 2000, sid 22, 48.
9 ENERCON. Globala framsteg är vårt program. Hamburg. 2000, 15 sid.
10 Catharina Lundin. Kommunakt. 22, sid 18–20.
11 Boverket. Allmänna råd. 1995:5, sid 9, 130.
12 Statens offentliga utredningar, SOU 1998:152, sid 26.
13 Nils-Erik Sundstedt. TERACOM. Malmö. 2000
14 Antenn- och Teleteknik. Staffanstorp. 2000.
15 Agneta Sallhed Canneroth. Personlig information. Länsstyrelsen. Malmö. 2000.
16 Windpro Version 1.70 Nov 1999. Energi- och Miljödata. Aalborg. 2000.
17 Sten Ljunggren. Metod för mätning av bullerimmission kring vindkraftverk. Statens Naturvårdsverk. FFAP-A-935. 1992.
18 Harald Tonbrink; Christoph Blasius. Bericht Nr. 23554-2.0002. Kötter Beratende Ingenieure GmbH. Rheine. 1998, 21 sid.
19 Oliver Bunk. Personlig information. ENERCON. Aurich. 2000.
20 Statens offentliga utredningar, SOU. 1999:75. Bilaga 3, sid 162.
21 Karin Adalberth. Building and Environment. Elsevier. London. Vol. 32. No 4, sid 317-320.
22 t.ex. www.ENERCON.de
23 Sydkraft Energi AB. Personlig information. Malmö. 2000
24 Vindkraftskartor. SMHI. 2000.
25 Pamela Ljungberg. Personlig information. ENERCON GmbH. Malmö. 2000.
26 Gert Aldegren. Marknadsvärdering. Sparbanken i Tanum. 2000-02-02.
27 Gert Aldegren. Marknadsvärdering. Sparbanken i Tanum. 1999-12-07.
28 Åke Thylander. Personlig information. Värderingsinstituet. Malmö. 2000.



SYDBYGG 01
– mitt i byggandets centrum

Bron står klar, Sverige och Danmark är sammanlänkade och öresundsregionen sjuder av liv. I Skåne ökar bygginvesteringarna dubbelt så mycket som i övriga Sverige. Aldrig har det varit så roligt att arbeta med byggbranschen!

Mitt i hjärtat av denna byggexplosion arrangerar vi SydBygg 01 på MalmöMässan. Sydbygg är regionens främsta byggforum, en komplett fackmässa där branschens ledande företag och kunder träffas, där nya produkter och ny teknik lanseras och där nya projekt föds i mötet mellan utställare och besökare. Missa inte Sydbygg 01 den 6–8 mars 2001!

www.sydbygg.com

Jag vill ha information om SydBygg 01

❑ besökare ❑ utställare

Företag .....

Kontaktperson .....

Adress .....

Postnr/Ort .....

Telefon .....

E-mail .....

SYD BYGG 01
DEN KOMPLETTA BYGGFACKMÄSSAN PÅ MALMÖMÄSSAN 6–8 MARS 2001

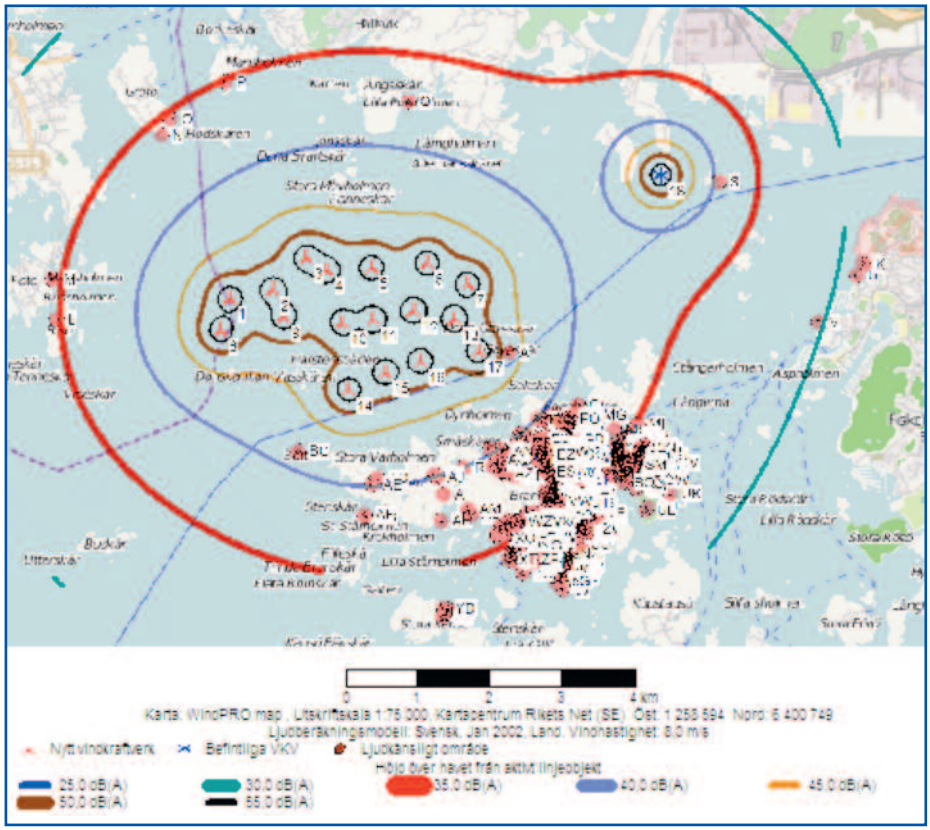
Mässkansli: Miller Freeman, Box 468, 201 24 Malmö
Telefon 040-690 85 00. Telefax 040-690 85 01.

Innerskärgård industrialiseras med vindkraft. Bygg & teknik. 04/2012, 20.

Innerskärgård industrialiseras med vindkraft

Prospektet är beläget i ett av de historisk och kulturellt mest kända områdena av västkusten och i landet, mittemellan Göteborg och Vinga. Med vindkraftverk vid Brännö industrialiseras Hakefjorden. Prospekterad energi, 200 GWh per år, kräver sjutton verk med 3,6 MW i effekt. Ett dylikt verk finns redan på plats på närliggande Risholmen. Evenemang med kappsegling i Hakefjorden får ställas in framgent till följd av säkerhetsavstånd till verken. Fåglars flytt och rastande har inte beaktats vid lokalisering av verken – inte heller påverkan på landskapsbilden. Fem verk ligger inom en kilometer från fågelskyddsområde. Flyttstråk för fiskgjuse, havsörn och sångsvan går tvärs genom vindkraftstationen

Samstämmig dansk forskning visar att värdet på fastigheter sjunker när vindkraftverk uppförs. Inom en markradie av tolv gånger totalhöjden finns därför per automatik skadeståndsrätt i Danmark. Runt Hakefjorden finns 160 bostäder inom tolv gånger höjden av verken, det vill säga inom 1,8 km. Ljudet från vindkraftverken tillsammans med det faktum att de syns på så långa avstånd gör att många drar sig för att köpa fastigheter i närheten av verken, *figur 1*. Figur 1 visar bullernivå kring Hakefjorden med arton stycken 3,6-MW-verk. Inom osolinjen för 35 dB(A) i bullernivå (krav i fritidsområde) finns mer än 360 bostäder förutsatt att verken körs vid full effekt.



Figur 1: Bullernivå kring Hakefjorden, Göteborg, med arton stycken 3,6-MW-vindkraftverk.

Bertil Persson,
docent, Bara

Internationellt arbetsmöte beträffande högpresterande betong. Betong 2/96. 1996. Stockholm, 27-29.

Internationellt arbetsmöte om högpresterande (HP) betong

Bertil Persson
LTH Byggnadsmaterial

I detta referat sammanfattas de intressantaste rönen från ett arbetsmöte om högpresterande (HP) betong i Weimar 13-14 okt 1995. Mötet syftade till att sammanfatta senaste materialdata om HP betong och att anvisa riktlinjer för fortsatt forskning inom materialområdet. Det genomfördes under ledning av de båda professorerna Peter Schwesinger, Tekniska Högskolan, Weimar och Folker Wittmann, ETH, Zürich.

Besök i laboratoriet

Avdelningen för arkitektur och väg- och vattenbyggnad vid den tekniska högskolan i Weimar hade nyligen skaffat en utrustning, värd motsvarande 2,5 MSEK, för mätning av tidig krypning hos betong. Den är i princip uppbyggd som en MTS maskin med möjligheter för mycket snabb pålastning, max 640 kN inom 0,1 s. Aktuella krypförsök har sedan genomförts under upp till 14 dagar.

Vid tryckytorna på maskinen finns kyl/värmekanaler inlagda i stålplattor, där temperaturreglering kan ske i randen av provet med hjälp av cirkulerande vatten eller någon annan vätska. Även provet kan temperaturregleras under krypförsökets gång genom att applicera en tunn isolering runt betongcylindern med inlagda värmetrådar. Utrustningen är av stort intresse för prov på ung betong. Utanför isoleringen anbringas LVDT-givare. För de ingjutna distansstavarna till mätkonsolerna i cylindrarna används legeringen invar.

I de aktuella försöken har ingjutningsgodset placerats ca 20 mm från betongytan för att undvika randeffekter. Maskinen har primärt utnyttjats för krypförsök vid temperaturer upp till 140°C.

Värmeutveckling

Professor Walter Dilger, Calgaryuniversitet, Kanada sammanfattade värmeutvecklingen, Q, hos HP betong baserad på normalt Portlandcement i sambandet [1], sid. 3-22, (kJ/kg cement):

$$Q = [0{,}26 + 1{,}55\cdot(w/c) - 1{,}07\cdot(w/c)^2]\cdot 450 \quad (1)$$

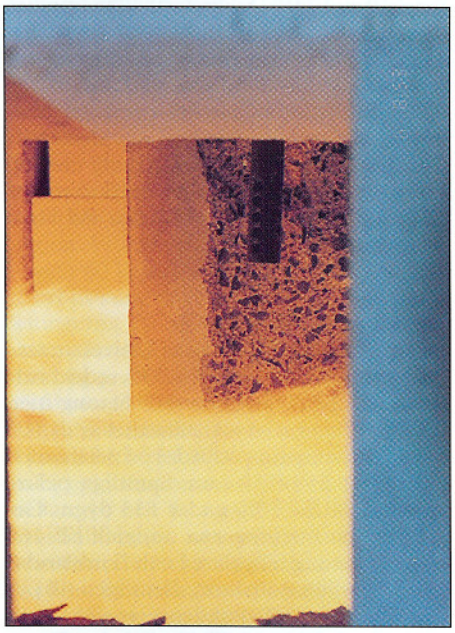
(w/c betecknar vattencementtalet, vct)

Värmeutvecklingen, Q, visade sig vara mindre och avta snabbare i en HP betong än i en normal betong. Beroende av flyttillsatsmedel fördröjdes dock värmeutvecklingen i en HP betong med upp till ca 15 timmar. Inblandning av silikastoft minskade den totala värmeutvecklingen i betongen. Resultaten sammanföll i stort sett med författarens egna rön [2].

Doktor De Schutter, Magnellaboratoriet, Universitetet, Gent, [1], sid. 23-40, presenterade inverkan av retarder på tidig sprickbildning i HP betong. Inblandningen av retarder minskade ej den totala värmeutvecklingen. Däremot fördröjdes den tidiga sprickbildningen i betongen.

Fukttransport

Professor Numao [1], sid. 43-52, Ibarakiuniversitetet, Hitachi, Japan, presenterade resultat från försök med krympning och fukttransport i cementpasta. Försöken utfördes på rörformade provkroppar med innerdiametern 13 mm samt längden 100 mm. Rörgodstjockleken var ca 1 mm. Vid vct= 0.30 uppgick krympningen i cementpasta baserad på ett lågalkalisk cement (Blaine: 470 m²/kg) till ca 20% av krympningen hos cementpasta baserad på ett normalt Portlandcement (Blaine: 320 m²/kg). Detta berodde på att en stabil ettringit bildades i cementpastan vid användning av ett lågalkaliskt cement. Då 5% av cementpastan, baserad på ett normalalkalisk cement, ersattes med silikastoft alternativt med samma andel flygaska (Blaine: 1000 m²/kg) minskade krympningen med ca 10%. Inblandning av 5% flygaska (Blaine: 400 m²/kg) i cementpasta baserad på ett normalalkalisk cement minskade krympningen med ca 30% jämfört med krympningen i en "ren" normalalkalisk cementpasta. Efter uttorkning till relativa fuktigheten, RF= 55% uppfuktades cementpastan till RF= 85% genom att en mättad kaliumsaltlösning placerades inuti röret av cementpasta. Vattenupptagningen hos en "normal" cementpasta med vct= 0.30 var ca 20% större än hos en pasta baserad på ett lågalkalisk cement. En pasta baserad på ett lågalkalisk cement innehöll dessutom en större andel grova porer vilket förklarar den anmärkningsvärt låga



Figur 1: Pelare II (utan plastfibrer) totalförstördes p g a spjälkning. Spjälkningen började efter 6 minuters brandbelastning. Foto: U Diedrichs



Figur 2: Efter 30 minuter var hela täckskiktet bortsprängt från pelare II. Försöket avbröts efter 45 minuter. Foto: U Diedrichs.



Figur 3: Från höger pelare III och I (bägge med plastfiber) samt till vänster pelare II (utan plastfiber) samtliga efter brandförsök. Foto: U Diedrichs.

nella spänningstillståndet i betongen [5].

En dynamisk kraft kan genom sin repetitiva verkan ha en utmattande effekt på betongens överyta. Ett typiskt sådant belastningsfall är ett rullande stolhjul. Genom sin litenhet ger hjulet upphov till ett högt yttryck, normalt dock inte så stort att en direkt skada uppkommer på undergolvet. Först vid upprepade hjulpassager kommer betongytan att smulas sönder.

Vad är förklaringen till detta fenomen? Förståelsen för de underliggande mekanismerna bakom rullande nötning och sambandet mellan hållfasthet och nötningsmotstånd underlättas redan av en spänningsanalys enligt elasticitetsteorin. Denna ger en god bild av hur en yttre koncentrerad last som belastar en betongyta balanseras av spänningar i materialet. Spänningsanalysen kan delas upp enligt följande:

1 Kontakttrycket mellan hjul och golvyta
2 Spänningsanalys utmed golvytan i hjulets rullriktning
3 Spänningsanalys utmed en lodlinje dragen genom hjulaxeln

Kontakttryck

Kontakttrycket mellan hjul och golvyta beror på hjullasten, hjulradien och hjulets egen respektive golvets deformation under lasten. Ett litet hjul av stål ger vid anliggning mot betong upphov till höga kontakttryck redan vid måttliga laster. Ersätter man betongen med ett polymermodifierat cementbruk, med ca hälften så stor elasticitetsmodul som för betong, reduceras kontakttrycket väsentligt. För hjul med en relativt mjuk gummibeläggning har golvytans elasticitetsmodul mindre betydelse. Vid teoretiska beräkningar av tryckfördelningen under ett hjul brukar man förutsätta, att kontakttrycket är elliptiskt fördelat med ett maximumvärde centriskt under lasten. Se figur 3.

Spänningsanalys utmed golvytan

Utmed golvytan kan endast tryck- och dragspänningar uppkomma under ett stillastående hjul. Man kan konstatera att en tryckspänning råder i underlaget direkt under lasten och att spänningen följer kontakttryckets fördelning med ett centriskt maximum. Ungefär där hjulets kontaktyta upphör mot golvet växlar spänningen tecken och övergår i dragspänning. Den maximala dragspänningen uppträder där kontakten mellan hjul och golv upphör, se figur 4. Teoretiska beräkningar visar att den maximala dragspänningen uppgår till ca 20 % av den största tryckspänningen under hjulet.

Spänningsanalys lodrätt under lasten

Verkan av en koncentrerad last på ett golv fördelar sig över en yta som växer med djupet. Spänningen avtar med avståndet från lasten. Av detta följer också att spänningen avtar långsammare under en last med stor utbredning än under en koncentrerad last. Samma kontakttryck förutsätts då i båda fallen. En analys längs lodlinjen för horisontella spänningar visar att tryck råder omedelbart under ytan medan drag uppkommer längre ned under hjulet. Kvalitativt kan man tolka tillståndet så att den koncentrerade lasten pressar in en "kil" i golvet som får detta att spjälkas ett stycke under hjulet. Samma analys ger också möjlighet att studera uppkommande skjuvspänningar i materialet under lasten. Det har särskilt intresse för de golv som är uppbyggda av flera parallella skikt.

Normalspännings- och skjuvspänningsfördelningen längs en lodrät linje under hjulet illustreras med ett genomfört beräkningsexempel [8]. Det omfattar tre hjultyper, se figur 5a och 5b.

Utmattning

Kraftiga skjuvspänningar i gränsen mellan två golvskikt kan förväntas leda till skador. Sker dessutom upprepade rullpassager uppkommer häftiga teckenväxlingar vid varje passage (se figur 6), som är utmattande för sammanhållningen i fogen. Vidhäftningshållfastheten sjunker och belastningsfallet kan leda till brott.

Samma resonemang kan föras för spänningstillståndet utmed golvytan; växling mellan tryck- och dragspänningar uppkommer vid varje hjulpassage.

I dagens arbetsliv förekommer rullande hjulbelastning allmänt på golv. Det är ändå inte självklart att överytan på ett betongbjälklag skall provas på ett analogt sätt, eftersom golvet under sin livscykel kommer att påverkas av många komplexa belastningsfall.

Karakterisering av egenskaper

För betongbjälklag anges ofta tryckhållfastheten hos materialet för att karakterisera den mekaniska tåligheten hos överytan. Detta sker trots att de flesta konstruktörer är väl medvetna om att sambandet i verkligheten är svagt. Enligt HusAMA 83, kapitel E, anges möjligheten att formulera kravet på betongöverytan med hjälp av en funktionell rullbelastningstest [11]. För att i allmänhet åstadkomma goda slitskiktsytor på betong är vakuumsugning en väl etablerad metod. Idag kan man också relativt enkelt höja ythållfastheten hos betongen genom tillsats av kompletterande bindemedel (puzzolan), såsom flygaska eller speciellt silica ("högpresterande" betonger, i Sverige bl a med SIAB-metoden). Ett av problemen med denna metod är att få fram kvaliteter med tillräckligt lång öppentid för bearbetning. En erfaren konstruktör vet också att föreskriva särskilt hård ballast i betongen, om hög tålighet eftersträvas mot repande och slitande nötning. Kommer däremot intensiv trucktrafik, med påföljande dammbildning, att belasta ytan, kan det bli aktuellt att impregnera den med polymerbaserad lack för att höja motståndsförmågan.

Det är viktigt att här studera de tyska normerna för pågjutningsmaterial [9] på betongbjälklag. För varje bindemedelssystem har man valt hållfasthetsparametrar som är enkla att mäta. För cement- och magnesitsystem används tryckhållfastheten som dimensioneringsparameter. För samma användning tillåts ett lägre värde på tryckhållfastheten för magnesitän för cementmaterial. Det beror troligen på att magnesiten uppvisar större böjdraghållfasthet än den cementbundna kompositen, vid samma tryckhållfasthet. För bitumenbundna golvmassor mäts inte ens tryckhållfastheten. Erfarenheten visar att sådana golv fungerar mycket bra i lagermiljöer med intensiv trucktrafik, där de statiska punktlasterna samtidigt är måttliga.

För betongmaterial med hårdballast används en provningsmetod för slipande nötning, enligt Böhme [10].

Europeisk standardisering av pågjutningsmassor för betongbjälklag

Inom CEN, det europeiska standardiseringsorganets ramar pågår ett arbete med att standardisera provningsmetoder för pågjutningsmassor. Arbetet leds via ett sekretariat i Tyskland. Standardiseringsförslagen präglas därför av det tyska synsättet i DIN- standarden.

För bestämning av motstånd för rullande belastning finns ingen standard i Tyskland. Däremot finns en intressant testanordning i Stuttgart med vilken man kan utföra fullskaleprov med truckbelastning.

Skandinaviska tillverkare av avjämningsmassor har nu tryckt på för att få med den egna metoden att mäta den mekaniska tåligheten mot hjulbelastning som speglas av de två SS- standarderna [12,13]. Standarden skall utformas så att den både skall kunna användas för att klassificera pågjutningsmaterialet och för att kontrollera att det färdiga golvet uppfyller föreskrivna krav på nötningsmotstånd för rullande hjulbelastning.

Referenser:

[1] Timoshenko S.P. "Theory of Elasticity", Mc Graw Hill, New York, 1970

[2] Hamilton G.M.& Goodman L.E. "The Stress Field Created by Circular Sliding Contact", Journal of Applied Mech., pp. 371- 376, 1966

[3] Herz H. "Über die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte". Aus der Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Werbeflusses, Berlin, 1882

[4] Kunterding R. "Beanspruchung der Oberflächen von Stahlbetonsilos durch Schüttgüter", Diss. Univ. von Karlsruhe, vorauss. Juni 1990

[5] Silfwerbrand J. "Renovering av industrigolv med cementbundna plastmodifierade avjämningsmassor", Inst. för Byggnadsstatik, KTH TRITA-BST-0155, 1990

[6] Zeus K. "Prüfung des Verschleisses von Industriefussböden". Handbuch Industriefussböden, Expert Verlag, 1994

[7] Golvbranschens Riksorganisation, GBR, "System för information om kemisk emission från golvmaterial och golvkonstruktioner", Slutrapport, Stockholm

[8] Asztély J. "ABS Golvhandbok I, Golvprojektering".

[9] DIN 18 560 "Estriche im Bauwesen".

[10] DIN 52 108 "Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme".

11] SS 13 42 71 "Betongprovning- Hårdnad betong- Nötningsmotstånd".

[12] SS 92 35 07 "Golvmaterial- Bestämning av verkan av rullande stolshjul".

[13] SS 92 35 08 "Golvmaterial- Bestämning av verkan av rullande stolshjul".

Japanska försök avseende hållfasthet och E-modul i väggar av vibreringsfri betong. Betong 2/99. Stockholm. 1999, 16-17.

Japanska försök avseende hållfasthet och E-modul i väggar av vibreringsfri betong

Bertil Persson,
LTH Byggnadsmaterial, Lund

I denna artikel beskrivs japanska försök avseende hållfasthet, E-modul och ballastfördelning i betongväggar utförda med vibreringsfri betong. För detta ändamål göts 3 m höga och 0.21 m tjocka väggar i form av ett T, sett i plan. Ur väggarna borrades ett par hundra cylindrar. Resultat beträffande hållfasthet, E-modul och ballastfördelning från cylindrarna jämfördes med motsvarande parametrar hos kontrollcylindrar gjutna på traditionellt sätt (dock utan vibrering). Såväl tryckhållfasthet som E-modul var ca 15% lägre i väggarna än i kontrollcylindrarna. Dessutom uppvisade resultaten en mycket stor spridning beroende på läge i väggarna. I försöken såg man tydligt den s.k. "isälvseffekten", dvs. ballasten sedimenterade tämligen nära mynningen på pumpslangen, medan det endast fanns bruk längst bort från platsen för inpumpning av betongen (pumpstället). Såväl tryckhållfasthet som E-modul i väggarna var upp till 30% lägre än medelvärdet. De högsta värdena uppmättes intill pumpstället, där också koncentrationen av grov ballast var som störst. Längst bort från pumpstället uppmättes de lägsta värdena. Väggarna och provningarna utfördes i Osaka, 1995.

Bakgrund

Under senare år har en mycket snabb utveckling skett vad gäller självkompakterande betong (SCC) som ett sätt att lösa problem i arbetsmiljön och i omgivningsmiljön i samband med gjutning av betong [1]. För att SCC skall kunna produceras krävs såväl moderna flytmedel av karboxyltyp [2] som filler [3] samt eventuellt separationshämmande medel i betongen [4]. I Sverige har vibreringsfri betong främst kommit till användning i broar och väggar [5]. Få undersökningar hittills har fokuserat på den största potentiella risken vid användning av SCC, nämligen ballastseparation. Den aktuella studien är därför av stort principiellt intresse för att initiera motsvarande försök i Sverige.

Provade betongkonstruktioner

Figur 1 och 2 visar de provade konstruktioner, dvs en T-formad vägg med pelare som avslutning. Tabell 1 och 2 ger recept resp. egenskaper hos färsk betong. Väggtjockleken var 0.21 m, höjden 3 m samt skänkellängden 7.5 resp. 15 m på resp. väggar. Pelarna var 0.3 x 0.3 m i tvärsnitt (längd: 3 m). (Konstruktionen är främst tillämplig inom områden med jordbävningslast.) Väggarna armerades med diameter 13 mm (centrumavstånd: 200 mm) medan pelarearmeringen hade samma dimension (men centrumavstånd: 100 mm). I tabell 1 ges recept och övriga egenskaper hos de provade betongerna. Varje sats om 1.5 m^3 betong blandades 3 minuter varav 1/2 minut torrt i en 2 m^3 planblandare. Sammanlagt 5 roterbilar transporterade betongen till arbetsplatsen. Gjutningen utfördes inom en tidsrymd varierande mellan 40 och 100 minuter från blandningstillfället. Betongpumpen, som var av kolvtyp, hade en kapacitet av 115 m^3/h (100 mm rör). Betongen pumpades först in i pelare C1 tills dess att denna pelare var fylld. Därefter pumpades betongen in i pelare 3 resp. pelare 2 i nämnd ordning. Pelare 4 fylldes med betong uppifrån.

Provningsmetoder

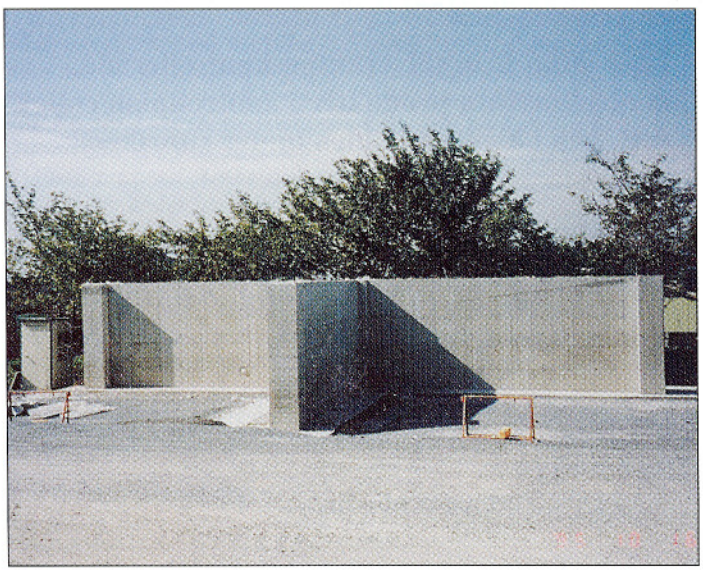
QC göts i två lager med 5 stötar genom varje lager. (SCC skall ej vibreras [6].) En tredjedel av QC lagrades i luft, en tredjedel i vatten medan resten förseglades fram till provningen. De utborrade cylindrarna togs jämnt fördelade över väggytan, såväl vid 28 som 91 dygns ålder. Såväl gjutna kontrollcylindrar (QC, 100 x 200 mm, 234 st) som utborrade cylindrar (218 st) slipades före provningen av tryckhållfasthet och E-modul. Vattenlagring utfördes under 2 dygn direkt före provningen. Tryckprovningen utfördes enligt [7] samt provningen av E-modulen enligt [8] med last upp till 1/3 av tryckhållfastheten. Vad gäller ballastfördelningen utfördes avtryck på transperent film från den utborrade cylinderns sida samt från dess ändytor. Stenhalten bestämdes sedan med bildanalys av cylinderytan resp. i cylinders ändytor.

Tryckhållfasthet, E-modul och stenseparation

Figur 3 visar resultat av tryckhållfasthet och E-modul i väggarna och pelarna (medelvärden, MPa resp. GPa), dels för QC, dels för utborrade cylindrar. I Figur 4 visar tryckhållfasthetens variation i väggarna vid 28 dygns ålder, således från 28 till 48 MPa. På samma sätt visar Figur 5 E-moduls variation i väggarna, från 17 till 32 GPa. Exempelvis varierade tryckhållfastheten mellan 28 och 42 MPa i pelare 4, medan värdena för pelare 1 låg mellan 42 och 44 MPa. Hållfastheten var som högst längst ned i väggarna medan E-modulen även hade ett förhöjt värde i överkanten av vägg 3. Sammantaget tyder dessa observationer på att en stenseparation ägt rum under betongmassans förflyttning från pelare 1 i riktning mot pelare 4. Den förhöjda E-modulen i överkant av vägg 3 är dock svårförklarlig och kan bero på ett mätfel. Figur 6 visas en kartering av stenhalten i väggarna, vilken i stort sett förklarar de stora variationerna i hållfasthet och E-modul. Stenhalten var som lägst längst upp i väggarna samt längst från den plats varifrån betongen pumpades in i resp. vägg.

Kommentarer

Det är odiskutabelt att den vibreringsfria betongen i de studerade väggarna uppvisade stor stenseparation. Denna separation gav i sin tur upphov till stora variationer i såväl E-modul som hållfasthet i väggarna, som knappast är acceptabla, åtminstone inte i bärande pelare. Troligen var avståndet för stort mellan den plats där betongen pumpades in och den där provet togs ut. Efter det att studien utfördes har dessutom s.k. separationshämmande medel kommit i bruk [4], vilka torde minska risken för de stora variationer i



Figur 1 - Väggar utförda av självkompakterande betong. Foto: Atushi Nishio.

hållfasthet och E-modul som rapporterats i denna artikel. Hitintills har vibreringsfri betong mest kommit till användning i grova fundament resp. tunnlar [1,4].

Innan den vibreringsfria betongen införs industriellt för väggjutningar måste en mera ingående fullskalestudie av stenseparation som funktion av pumpavstånd, recept, etc. genomföras.

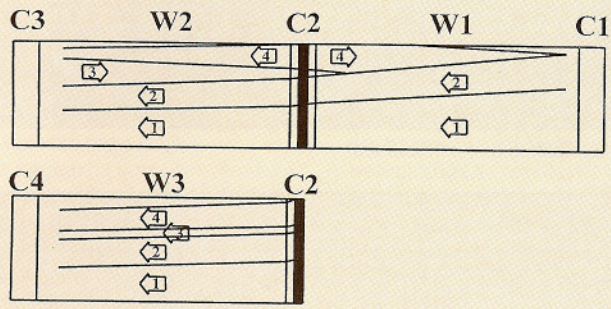
Tabell 1 - Betongrecept (kg/m³ torrhalt)

Makadam > 8 mm	Makadam 0-8 mm	Naturgrus 0-8	Krossad filler	Cement, OPC	Vct	Flytmedel
813	173	690	107	340	0.50	5

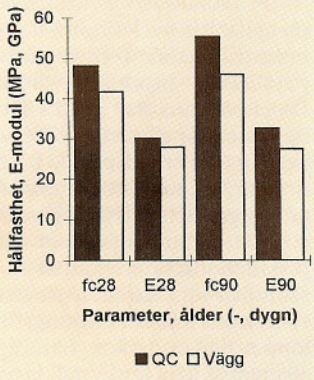
Tabell 2 - Egenskaper hos färsk betong

Roterbil no.	Provtagning vid betongfabriken				Provtagning på gjutplatsen			
	FS (mm)	FS 500 (s)	Lufthalt (%)	Temp (°C)	FS (mm)	FS 500 (s)	Lufthalt (%)	Temp (°C)
1	640	6	2.8	26	660	7	3.7	28
2	630	6	3.6	28	640	7	3.9	29
3	625	7	3.7	25	675	4	4.4	28
4	635	7	3.7	26	755	6	3.6	28
5	610	7	4.5	25	640	5	4.6	28

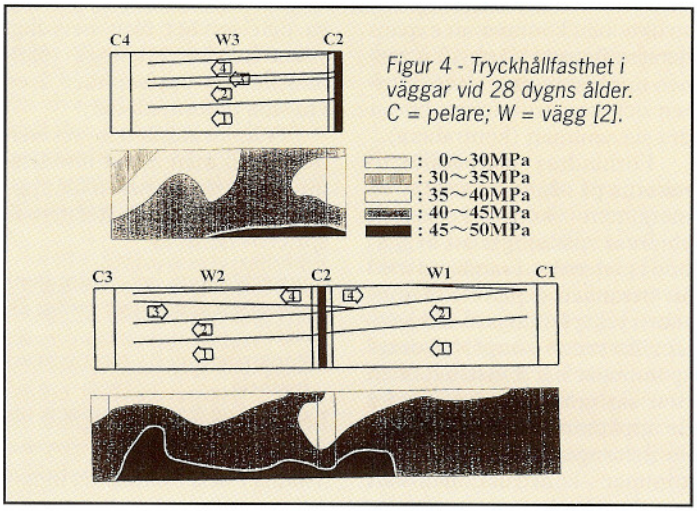
FS = flytsättmått; FS 500 = tid för att nå flytsättmått 500 mm



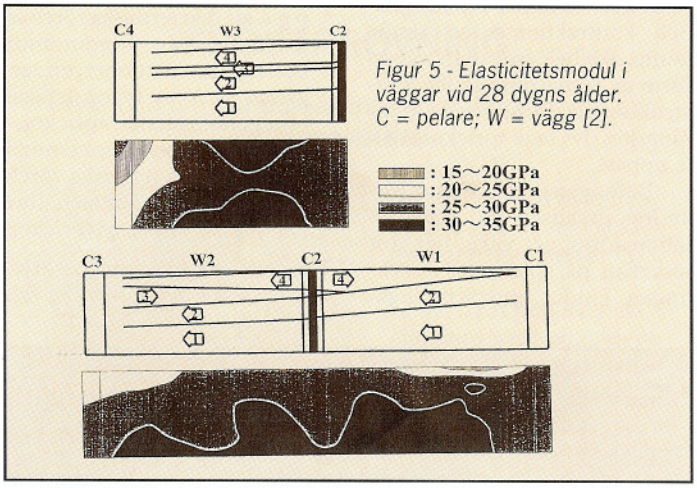
Figur 2 - Elevation av väggar samt gjutriktning. C = pelare; W = vägg



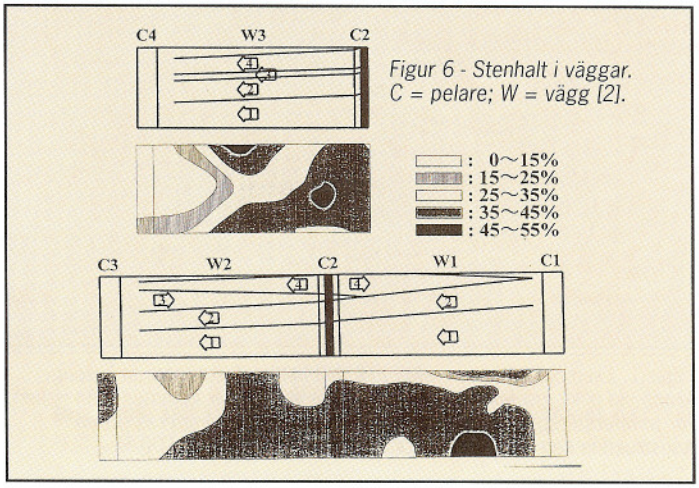
Figur 3 - Medelvärden av tryckhållfasthet och E-modul i väggar och pelare [2].
fc = cylinderhållfasthet;
E = elasticitetsmodul;
QC = kontrollcylinder;
28 = ålder i dygn.



Figur 4 - Tryckhållfasthet i väggar vid 28 dygns ålder. C = pelare; W = vägg [2].



Figur 5 - Elasticitetsmodul i väggar vid 28 dygns ålder. C = pelare; W = vägg [2].



Figur 6 - Stenhalt i väggar. C = pelare; W = vägg [2].

Referenser

[1] J Byfors; M Grauers. Vibreringsfri betong: Ett stort steg mot ett mer industialiserat byggande. Betong 4/97. Sid. 8-10.

[2] A Nishio; H Tamura; M Ohashi. Self-Compacting Concrete with High-volume Crushed Rock Fines. Föredrag vid ett internationellt ACI-symposium i Tokushima: Advances in Concrete Technology. Utgivare: M H Malhotra. ACI. 1998. Sid. 617-630.

[3] B Persson. Ideal partikelfördelning i färsk betong. Betong 3/95. Sid. 6-8, 39.

[4] B Persson. Fiberarmerad självkompakterande betong. Resebild från Japan. Betong 2/98. Sid. 16.

[5] D Söderberg. Pumpad vibreringsfri betong till broar och väggar. Personlig information. Modern Betongteknologi. Täby. 1998.

[6] H Takenaka; M Kakizaki; Y Abe; M Okada. Effects of Specimen Preparation on the Properties of Fresh and Hardened High Fluidity Concretes. Föredrag vid ett internationellt ACI/JCI-symposium i Tokushima: Advances in Concrete Technology. 1998. Utgivare: M H Malhotra. ACI. 1998. Sid. 605-616.

[7] JIS 1108; JIS 1108. Japanese Industrial Standard.

[8] JIS Draft Method. Prelimär japansk standard för bestämning av sekantmodul hos betong.

Kan ny japansk teknik rädda våra stränder. Husbyggaren 5/2000. 2000, 8-10.

Kan ny japansk rädda våra strän

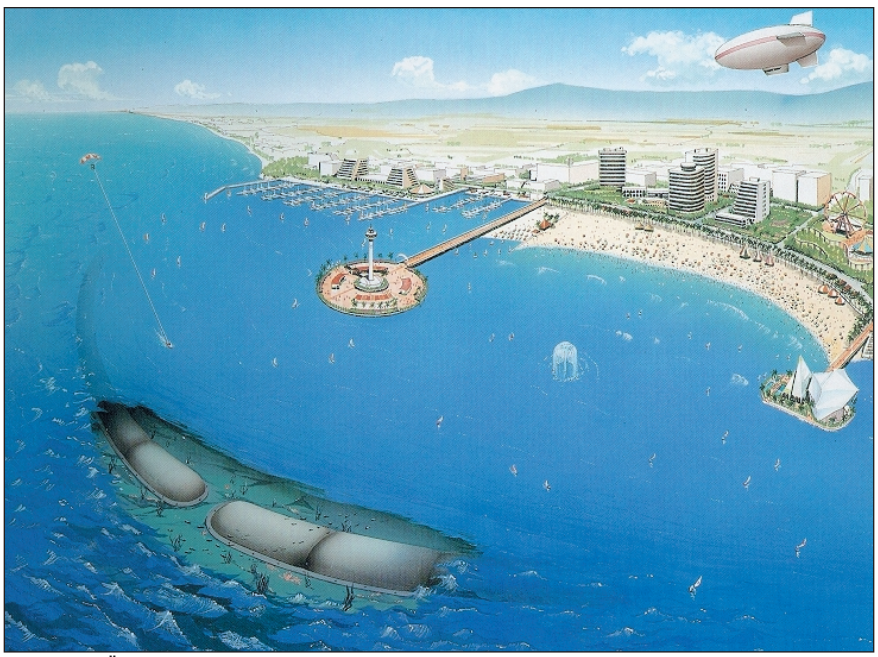
AV TEKN DR BERTIL PERSSON, LTH BYGGNADSMATERIAL

En ny typ av undervattenskonstruktion kallad flexibel vall har tagits fram och provats med framgång i Japan. Den flexibla vallen består av ett gummimembran som fylls med vatten.

Reflekterande vågor från membranet bryter och slår sönder främst de största vågorna. Vid en viss vågfrekvens släcks vågorna ut helt av membranet. Om det inre vattentrycket i den flexibla vallen väljs på ett korrekt sätt kan vågor av skiftande storlek minskas i höjd inom ett stort frekvensområde. Metoden har nu med framgång provats i Nagasakis hamn i Japan.

I Sverige drabbas sydkusten årligen av förödande stranderosion där den ena efter den andra typen av mekaniska strandskydd provats utan större framgång.

Under de senaste 20 åren har ett stort antal stränder i Japan med framgång skyddats mot erosion genom mekaniska strandskydd[1]. Motståndet mot de ofta fula och missprydande strandskydden är dock växande alltefter som japanernas fritid och fritidsintressen ökar speciellt för marina sporter och avkoppling i kustbandet. Ett försök att undvika påverkan av landskapet har därför gjorts med dolda undervattensskydd av stränderna. Eftersom endast ett membran erfordras blir därmed behovet av materiella insatser betydligt mindre än för massiva tunga strandskydd över vattnet. Membranen fylls nämligen med vatten som det finns riklig tillgång av på platsen, (Fig 1[2])! Däremot erfordras en avjämning av havsbottnen samt en beläggning med betongelement. Betongplattan och det flexibla membranet fästs därefter till havsbottnen med pålning från ytan. Trycket i membranet regleras enklast genom att detta ansluts till en behållare fylld med vatten till en väl utprovad nivå. Om man önskar minska undervattensvallens höjd eller helt ta bort den minskas helt enkelt vattnets nivå i behållaren eller så pumpas den tom på vatten[2].



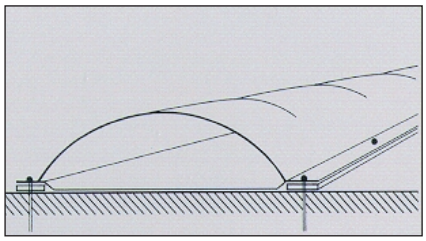
Figur 1 – Översiktsbild av ett tänkt undervattensstrandskydd.



Figur 2 – Undervattensstrandskydd till Nagasaki hamninlopp.

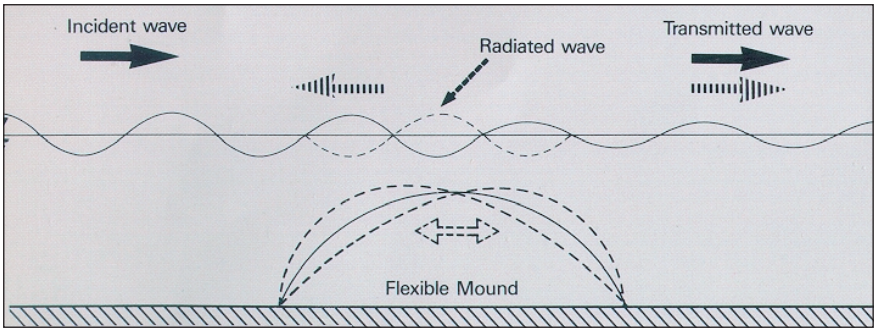
Konstruktion och funktion

I Nagasakis hamninlopp lades två strandskydd med planmåtten 40 m (längd) x 9 m (bredd) x 3 m (höjd) ut år 1992, (Fig 2). Gummidukens tjocklek var ca 14 mm. Konstruktionsperioden uppgick till nio månader och kostnaden till ca 500 miljoner yen (1 yen = ca 10 öre) för båda strandskydden. Totala längden för strandskyddet var således ca 100 m. Den årliga underhållskostnaden uppgår till ca 0.6 miljoner yen och består till största delen av pumpning av vatten till gummibehålla-



Figur 3 – Principiell förankring av undervattensstrandskydd.

teknik der?



Figur 4 – Strandskyddets funktion.

ren[3]. Livslängden anges till 30 år. Strandskyddet läggs på betongelement på en välavjämnad botten. Betongelementen fästs i sin tur till botten med pålning, (Fig 3[2]). Gummibehållarens höjd är så konstruerad att våghöjden skall halveras, (Fig 4[2]). Inkommande vågor bryts och halveras även i praktiken. Detta visade sig redan år 1993 då maxvågor på 1,6 m reducerades till 0,75 m[3]. Det finns ett visst förhållande mellan å ena sidan vågreduktionen och å andra sidan gummibehållarens höjd tillsammans med det kvarvarande vattendjupet över behållaren, (Fig 5[1]).

Utveckling för svenska förhållanden

Sedan lång tid är stranderosion ett pågående fenomen på sydkusten, främst öster om Ystad. Flera försök har gjorts att med mekaniska anordningar, pirar, vingar, beklädnad, etc skydda stranden mot havets nedbrytning och avtransport av sand[4]. Troligen krävs det ett visst utvecklingsarbete innan den nya japanska tekniken kan tas ibruk här, lämpliga bottenavstånd, förankringssätt, strandavstånd, etc. Samtidigt kan tekniken, som veterligt är ny i Europa, ge sysselsättningsmöjligheter i landet, såväl för materialtillverkare som entreprenörer[5]. Följande problemområden kvarstår att utreda:

1. Vågbrytarens dimensioner och elementindelning
2. Förankringsavstånd
3. Förankringsstorlek

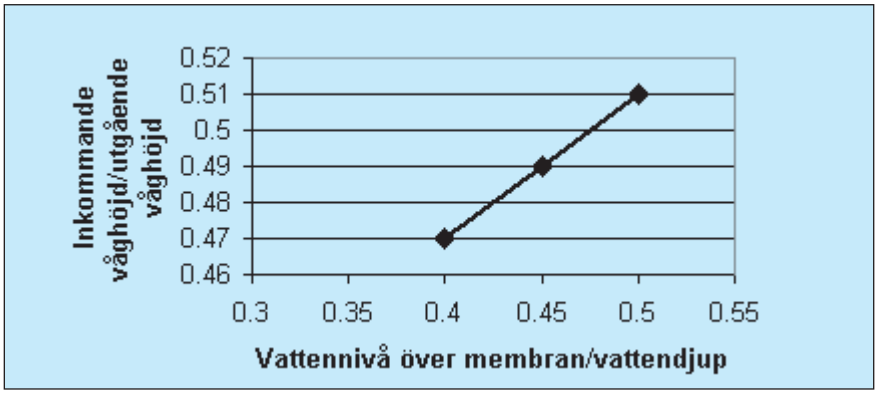
Den första punkten kan utredas i ett modellförsök i vattenhall där vågbrytarens storlek och avstånd till stranden utreds. Därefter sker lämpligen ett förförsök under en vinterperiod i syfte att preliminärt utreda placering och storlek hos förankringen. Huvudförsöket kunde innebära studier i full skala med en vågbrytare som har en längd lika med 5 ggr strandavståndet, t ex 250 m. Ett eventuellt projekt skulle kunna ha följande mål:

TYRÉNS

BYGG - OCH INFRAKONSULTER, TYRÉNS PROJEKTLEDARNA,
BODAB DATATEKNIK, PREFABUTVECKLING,
INSTITUTET FÖR BYGGEKOLOGI

TYRÉNS utgörs av närmare 450 tekniska konsulter från Umeå i norr till Malmö i söder.
Vi har kompetens inom följande områden:
Bygg- och anläggningsprojektering, bro, projektledning, skyddade anläggningar, risk- och säkerhetsanalyser, processledning och IT för fastighetsföretag, prefabteknik, teknisk informationshantering, trafikplanering, väg- och järnvägsprojektering, markprojektering, VA-projektering, kart- och mätteknik samt geoteknik, geohydrologi, geologi och bergteknik, samhällsplanering och miljöteknik. Vi bedriver också egna forsknings- och utvecklingsprojekt.

KUNSKAP PÅ DJUPET OCH PÅ BREDDEN!
www.tyrens.se info@tyrens.se



Figur 5 – Utgående våghöjd i förhållande till inkommande våghöjd (dämpning)1.

1. Att dokumentera den vågbrytande förmågan hos vattenfyllda gummibälgar placerade på havsbotten, dels med skalförsök, dels i naturen.
2. Att undersöka lämplig elementindelning av vågbrytarna (gummibälgarna) med hänsyn till produktionsförhållanden och ekonomi.
3. Att undersöka beständigheten hos vågbrytarna med hänsyn till vågrörelser och havsströmmar.
4. Att undersöka lämplig storlek och beständigheten hos förankringar till vågbrytarna med hänsyn till vågrörelser och havsströmmar.

Intressenter i ett eventuellt projekt är kommuner, materialleverantörer, med framförallt entreprenörer som drivande kraft bakom projektet (med möjliga nya marknader för ögonen).

Kommentarer

Den nya japanska strandskyddstekniken har visat sig på ett effektivt sätt minska våghöjden till hälften i Nagasakis hamn. Strandskyddet består av ett uppblåsbart gummimembran som läggs ut på betongelement och förankras med pålning till havsbotten. Innan en allmän tillämpning kan ske i Sverige krävs troligen såväl modell- som fullskaleförsök, gärna gemensamt finansierade av beställare (kommuner?), materialleverantörer och entreprenörer. Metoden kan, om den visar sig framgångsrik även i Sverige, bli aktuell för export till hela den europeiska marknaden. □

Referenser

1. *Takumi Ohyama, Masahiro Tanaka, Tetesushi Kiyokawa, Takaaki Uda och Yoshimi Murai.* ”Transmission and Reflection of Waves over a Submerged Flexible Mound”. Coastal Engineering in Japan. Vol. 32, No. 1 (1989) sid 53-68.
1. *Morio Kurita.* Personlig information. Shimizu Corporation. Tokyo (2000).
3. *Takumi Ohyama.* Personlig information. Shimizu Corporation. Tokyo (2000).
4. *Erling Alm.* Personlig information. Ystad Kommun. Ystad (2000).
5. *Fredrik Åhman.* Personlig information. Trelleborgs Gummi AB. Värnamo (2000).

Ett specialistföretag
i Skanska-koncernen

stabilator

www.stabilator.se

Kloridinträngning i kalkstenfillerbetong. Bygg & Teknik 2004/08, 58.

genom otäheter om sådana finns i byggnadens övre del.

Höga byggnader, till exempel kontorsbyggnader utsätts för stora tryckskillnader som orsakas av vinden. Finns otätheter störs ventilationssystemet i större eller mindre omfattning. Det kan vara mycket besvärligt, kanske till och med omöjligt att ställa in ventilationsanläggningen för rätt luftflöden därför att trycket varierar med vindhastighet och vindriktning. I sämsta fall försämras inneklimatet därför att personer där inne besväras av "drag".

Frånsett krav från föreskrivande myndighet är det, som nämnts tidigare viktigt att beställare (byggherren) och dennes konsulter på ett professionellt sätt analyserar vilken betydelse byggnadskonstruktionens lufttäthet har för den färdiga byggnadens driftsekonomi och användbarhet.

Provning enligt EN-standard

Under 2005 kommer en ny standard för täthetsprovning att tillämpas i Sverige: EN 13829. I standarden anges flera provningsmöjligheter än vad som finns i den som gäller nu. Till skillnad mot vad som anges i den gamla standarden kan enligt den nya, delar av byggnader täthetsprovas och stora byggnaders ventilationssystem kan få användas som "provningsutrustning".

Inom Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har vi dock sedan många år tillbaka tillämpat de provningsprinciper som numera beskrivs i den nya standarden. Vi är alltså väl förtrogna med den nya standarden.

Provningsmöjligheter

Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har, ända sedan vi utvecklade den första metoden för täthetsprovning (vi hette då Statens Provningsanstalt) genom åren genomfört mängder av täthetsprovningar. Vi har mobil provningskapacitet upp till 75 000 m³/h (20 833 l/s). Det vill säga att vi kan täthetsprova byggnader med upp till 26 000 m² respektive 13 000 m² omslutningsarea enligt Boverkets byggregler. I fall att mobil utrustning inte är lämplig använder vi byggnadens ventilationssystem för att skapa de tryck och luftflöden som täthetsprovningen kräver.

Täthetsprovning ska genomföras i ett så tidigt skede som möjligt. Helst ska täthetsprovningen läggas in tidigt i byggets tidplan så att den inte "glöms bort" utan i stället blir en del av processen. Täthetsprovning i sent skede när byggnaden är färdig kan medföra mycket stora kostnader för åtgärder i fall att provningsresultaten inte kan godkännas. Det är mycket besvärligt att på ett permanent sätt åtgärda en otät klimatskärm.

Vi genomför även spårgasmätningar som komplement till täthetsmätningar. Spårgasmätningarna genomförs enligt ISO 12569, "5.4 Tracer gas decay method" (avklingningsmetoden) eller "5.6 Constant concentration method" (konstant koncentrationsmetoden). Resultaten från spårgasmätningar används för att bedöma luftläckningens storlek vid det tryckskillnader som förekommer vid normal drift. Spårgasmätning är annars ett sätt att mäta den verkliga tillförseln av uteluft.

För lokalisering av eventuella luftläckage i samband med täthetsmätning använder vi oss av IR-kamera. ■



INSÄNT

Kloridinträngning i kalkstensfillerbetong

I en tidigare artikel har det visats att kloridinträngningen i betong ökar om Portlandscement ersätts med kalkstensfiller av den enkla anledningen att kalkstensfiller ej binder klorider (*Bertil Persson.* Chloride Migration Coefficient of Self-Compacting Concrete. Materials and Structures. 37. 2004, 82–91 samt LTH rapport TVBM-3100, 2001, 31–32).

Ånyo har det nyligen i en artikel visats att kloridinträngningen vid havsvattenexponering nära nog fördubblats med 14 procent innehåll av kalkstensfiller i cementet jämfört med kloridinträngningen i betong med cement utan kalkstensfiller (*Dirch Bager.* Long-term Durability of High Perfomance Concrete in Seawater. International Workshop on Durability of HPC. Essen 23–24 September 2004, 301–310).



Åren 1999–2002 göts i Sverige 19 broar av betong med stora mängder kalkstensfiller.
FOTO: THOMAS ÖSTERBERG

Slutligen har *Dimitrios Boubitsas,* doktorand på avdelningen, i likhet med Dirch Bager visat att kloridinträngningen snarare förstärks om kalkstenfiller tillsätts betongen även beaktat den mängd Portlandcement som ersätts. Det kan därför vara klokt att avråda från användning av kalkstensfiller i betong till utsatta konstruktioner som broar och parkeringsdäck, tösaltade trappor, ramper, tunnlar, utomhusschakt, hamnar etcetera. Detta gäller även för självkompakterande betong.

Bertil Persson,
LTH Byggnadsmaterial, Lund

Krypning hos förspända balkar i högpresterande betong. Betong 2/98. Stockholm. 1998, 13-15, 34.

Krypning hos förspända balkar i högpresterande betong

Bertil Persson,
LTH Byggnadsmaterial, Lund

I denna artikel beskrivs omfattande fältstudier av krypning hos förspända balkar utförda i högpresterande betong. För detta ändamål tillverkades industriellt 7 st betongbalkar med "hatt"-formigt tvärsnitt samt 20 st balkar med kvadratiskt tvärsnitt. Förspänningen utfördes med stållinor med diameter 13 mm. Resultaten från fältförsöken visar god överensstämmelse med tidigare utförda laboratorieförsök vid LTH Byggnadsmaterial, förutsatt att hänsyn tas till den hydrauliska radien hos respektive tvärsnitt. Fältförsöken utfördes vid Strängbetong AB, Veddige, och Skanska Prefab AB, Uppåkra, 1995 och 1996.

Inledning

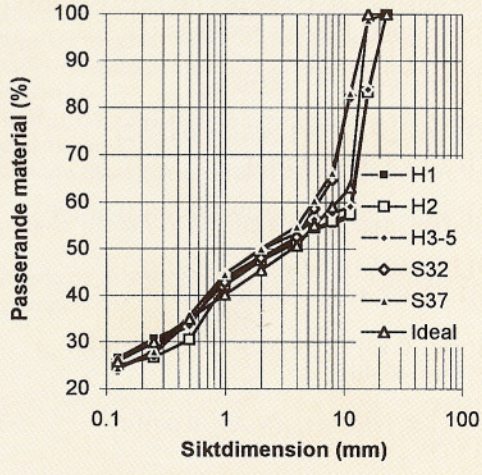
Krypning och krympning tillhör de mest förödande mekanismerna vad gäller betongens beständighet. Främst byggnadsverk med stor spännvidd såsom broar har fått repareras eller rivas till följd av oväntat stor krypdeformation [1,2]. Krympsprickor i betong utgör ofta inkörsport för t.ex. klorider med armeringskorrosion som följd. För högpresterande betong, HPB, togs det under åren 1991-1997 fram ett antal samband för krypning och krympning [3-5]. Det var viktigt att pröva dessa empiriska samband "i verkligheten". Det har således varit syftet med fältförsöken att bekräfta de ovan nämnda laboratorieförsöken.

Experimentellt

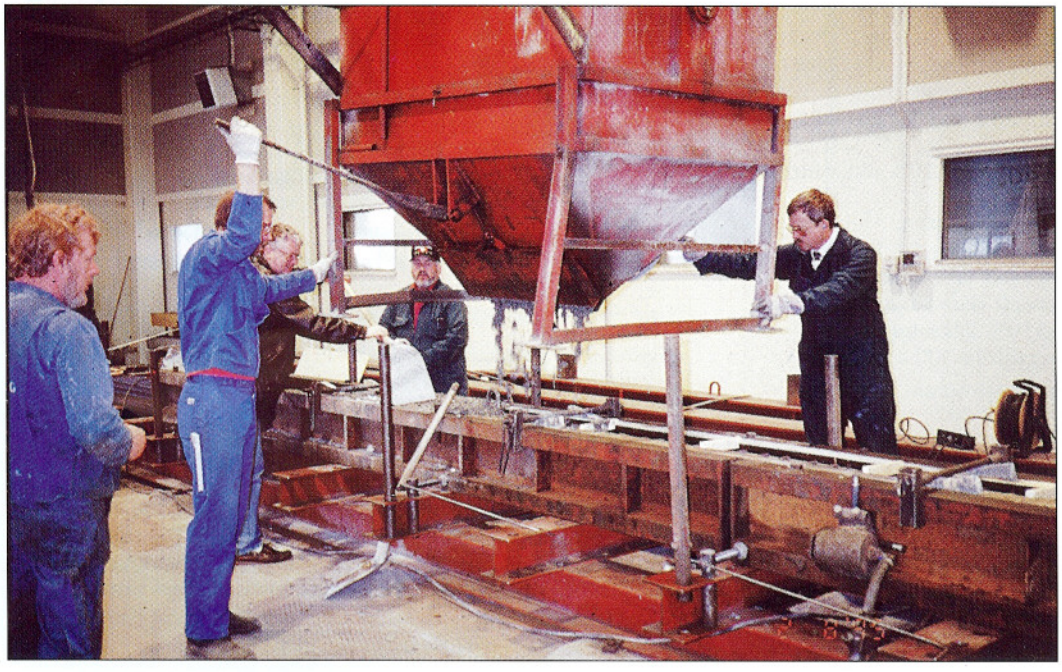
Följande parametrar studerades och begränsningar gjordes:

- Vattencementtal, vct {0.25<vct<0.38}
- Mognadsgrad vid belastning av betong, aktuell hållfasthet/28-dygnshållfastheten, f_c/f_{c28} {0.45< f_c/f_{c28}< 0.75}
- Förspänningsgrad dvs. σ/f_c {0.25< (σ/f_c)<0.55}
- Mängd silikastoft/cement, s/c {5%< (s/c)<10%}
- Fibermängd för att hindra täckskiktsspjälkning p.g.a. brand, [6,7] {0<fibermängd<4 kg/m³}

Formen värmdes så att den tidiga hållfasthetstillväxten blev snabb, upp till 80 MPa inom 20 h [8]. Partikelfördelningen i den färska betongen optimerades varför gjutbarheten hos betongen blev god. Tillförsel av filler (Baskarpsand) gav betongen till hattbalkarna en vibreringsfri karaktär, Figur 1. Betongen till de kvadratiska balkarna var halvflytande (partikelfördelning låg över idealkurvan [9], Figur 2). Balkarnas tvärsnitt ges av figur 3. Före avspänning (överföring av linkraften till betongen) monterades induktiva LVDT-givare på balkarna. LVDT-givarna användes för korttidsmätningar. Rostfria skruvar med precisionsssvarvade hål monterades för långtidsmätningar, vilka utfördes med mekaniska längdmätare (noggrannhet: 2/1000 mm). Parallellt med krypmätningarna mättes även krympning på provkroppar , som härdades under samma betingelser som balkarna.



Figur 2 - Partikelfördelning i färsk betong.
H=hattbalk, S=kvadratisk balk, Ideal=ideal partikelfördelning för K120



Figur 1 - Gjutning av hattbalkar i Veddige. Från vänster Bjarne Christensen, Lennart Norberg, Thomas Österberg, Bo Wiberg, Gunnar Rise.
Foto: Stefan Backe

Krympning

Uppmätt slutkrympning hos balkbetongerna ges i Figur 4 [8]. Beräkningar utfördes enligt följande samband [5]:

$$\varepsilon = k \cdot 34 \cdot [(w/c)^2 - 0.68 \cdot (w/c) + 0.13] \quad (1)$$

$$\varepsilon_B = k_B \cdot 1.5 \cdot [0.43 - (w/c)] \quad (2)$$

$$\varepsilon_C = 0.85 \cdot [(w/c) - 0.25] \quad (3)$$

$$\varepsilon_D = 33 \cdot [(w/c)^2 - 0.654 \cdot (w/c) + 0.115] \quad (4)$$

k=	1.1 för HPB med 10% silikaslurry; k=1 för HPB med 10% granulerat silikastoft eller 5% silikaslurry
k_B=	1.5 för HPB med 10% silikaslurry; k_B=1 för HPB med 10% granulerat silikastoft eller 5% silikaslurry
w/c	betecknar vattencementtal.
ε, ε_B, ε_C, ε_D	betecknar total, autogen, karbonatiserings- respektive uttorkningskrympning (promille)

Figur 5 visar beräknad krympning som funktion av uppmätt krympning. Överensstämmelsen var god med tanke på att vattencementtalet, vct, torde ha varierat med i storleksordningen ± 0.02 på grund av de svårigheter som föreligger att kontinuerligt mäta rätt fuktkvot i delmaterialen (främst grus) under industriell betongproduktion.

Krypning

Figur 6 visar uppmätt krypning hos några av balkarna [8]. Beräkningar utfördes enligt följande samband [5]:

$$J(t,t') = a \cdot \int \{d(t-t')/(t-t') + 1000/D_{100} \quad (5)$$

$$a_{Blo} = k_{s5} \cdot 231 \cdot [(w/c)^2 - 0.594 \cdot (w/c) + 0.0952] - k_{s5} [2.83 - 3 \cdot (\sigma/f_c)] \cdot \ln(f_c/f_{c28}) \quad (6)$$

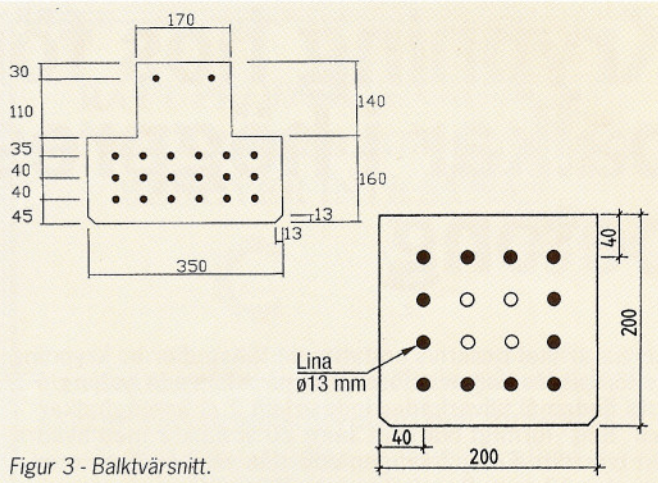
$$a_{Bsh} = 0.14 \cdot [(w/c) + 2.5] \cdot s_{Ba5} + [0.29 - 6.9 \cdot (\sigma/f_c)] \cdot \ln(f_c/f_{c28}) \quad (7)$$

$$a_{Dlo} = k_{ai} \cdot 513 \cdot [(w/c)^2 - 0.6 \cdot (w/c) + 0.0959] - k_{as} [1.83 + 2.37 \cdot (\sigma/f_c)] \cdot \ln(f_c/f_{c28}) \quad (8)$$

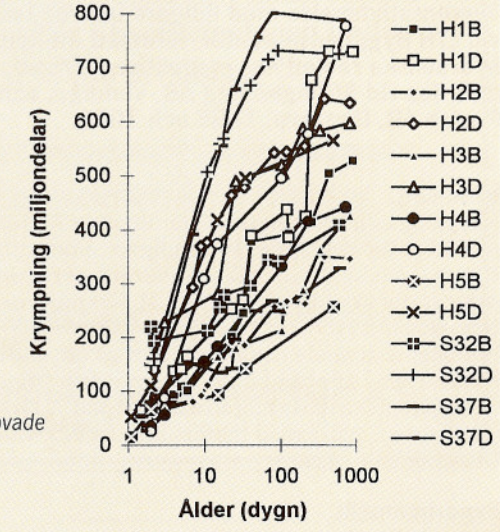
$$a_{Dsh} = 3.4 \cdot [(w/c) - 0.13] \cdot s_{Da5} + [0.3 - 11 \cdot (\sigma/f_c)] \cdot \ln(f_c/f_{c28}) \quad \{0.25 < w/c < 0.40\} \quad (9)$$

$$J_{balk} = J_B + \frac{(V/A)_{cyl}}{(V/A)_{balk}} \cdot |(J_B - J_D)| \; ; \; [(V/A)_{cyl} = 0{,}014] \quad (10)$$

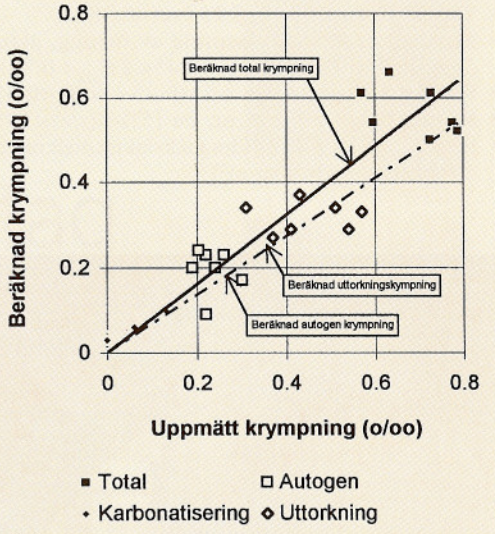
a	betecknar kryphastigheten (miljondelar/MPa·h eller dag)
cyl	betecknar cylinder med diametern 55 mm
f_c/f_{c28}	betecknar relativa 28-dygnshållfastheten vid pålastning $\{0.3 < f_c/f_{c28} < 1\}$
k_{as}=	0.8 for HPB med 5% luftinblandning; k_{as} = 1.3 för HPB med silikaslurry; k_{as} = 1.0 i övrigt
k_{ai}=	1.5 for HPB med 5% luftinblandning; $k_{ai} = k_{as}$=1 i övrigt
k_{s5}=	1.5 for HPB med 5% silikastoft eller 10% silikaslurry; k_{s5}= 1 i övrigt
lo	betecknar långtidskrypningen efter 66 h
s_{Ba5}=	1.25 för HPB med 5% silikastoft eller 5% luftinblandning; s_{Ba5}= 1 för HPB med 10% silikastoft
s_{Da5}=	1.5 för HPB med 5% silikastoft eller 5% luftinblandning; s_{Da5}= 1 för HPB med 10% silikastoft
sh	betecknar korttidskrypningen från 100 s fram till 66 h
t	betecknar betongålder (h eller dygn)
t´	betecknar ålder vid pålastning
w/c	betecknar vct
B	betecknar grundkrypning för förseglade provkroppar
D	betecknar uttorkningkrypning hos cylindrar med diametern 55 mm
D_{100}	betecknar deformationsmodulen ("elasticitetsmodulen") efter 100 s belastning (GPa)
J(t,t´)	betecknar specifika deformationen hos betongen (miljondelar/MPa)



Figur 3 - Balktvärsnitt.



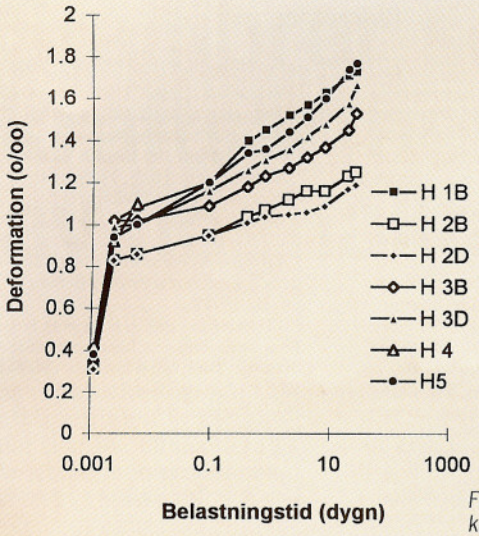
Figur 4 - Uppmätt krympning hos provade betonger /8/.



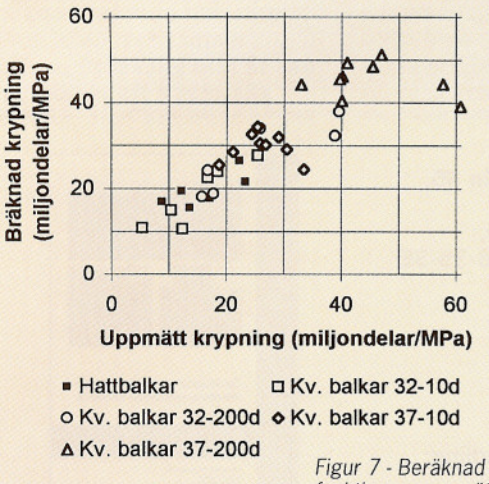
Figur 5 - Beräknad krympning som funktion av uppmätt krympning /5/

V/A	betecknar halva hydrauliska radien hos tvärsnittet (m)
σ/f_c	betecknar spänning/hållfasthet (100 mm kub) vid pålastning $\{0.3 < \sigma/f_c < 0.6\}$

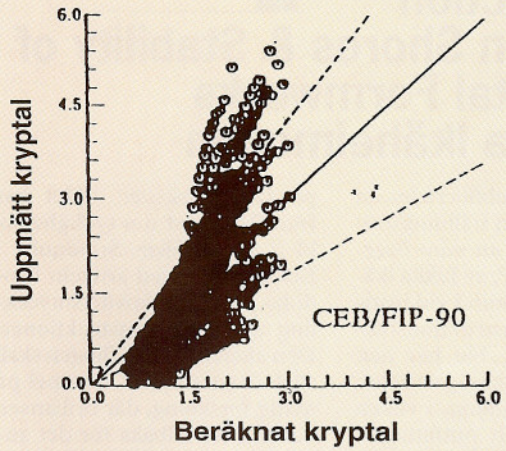
Figur 7 visar beräknad krypdeformation som funktion av uppmätt krypning [5]. Den beräknade krypningen var ca 10% större än den uppmätta, dvs. på "säkra sidan". Jämfört med krypning beräknad enligt CEB/FIP-90 får dock överensstämmelsen anses vara god [10], Figur 8.



Figur 6 - Uppmätt krypning hos några av betongbalkarna /8/.



Figur 7 - Beräknad krypning som funktion av uppmätt krypning /5/.



Figur 8 - Krypning beräknad enligt CEB/FIP-90 /10/.

Elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen uppmäts normalt vid avlastning av betongen. För mogen betong är överensstämmelsen mellan deformation vid avlastning och pålastning god, varför elasticitetsmodulen ofta används även vid pålastningen av betongen. Hos ung betong erhålls dock stora skillnader mellan elasticitetsmodulen vid avlastning av betongen och deformationsmodulen vid pålastning till följd av att krypningen är stor hos ung betong. Beräkningen av betongens deformationsmodul utfördes för förseglade förhållanden, baserat på ett stort antal försök med snabb pålastning [2-4]:

$$E_B[f_c,(t\text{-}t')\sigma/f_c]=\{6.06\text{-}3.02\cdot(\sigma/f_c)\text{-}[0.44\text{-}0.51\cdot(\sigma/f_c)]\cdot \ln(t\text{-}t')\}\cdot(f_c)^{0.42+0.061\cdot(\sigma/f_c)-0.039\cdot(\sigma/f_c-0.5)\cdot\ln(t\text{-}t')} \quad (11)$$

E_B deformationsmodul vid förseglade förhållanden (GPa)
f_c betecknar tryckhållfastheten (MPa)
$t\text{-}t'$ betecknar belastningstiden < 1 s
σ betecknar spänningen (MPa)

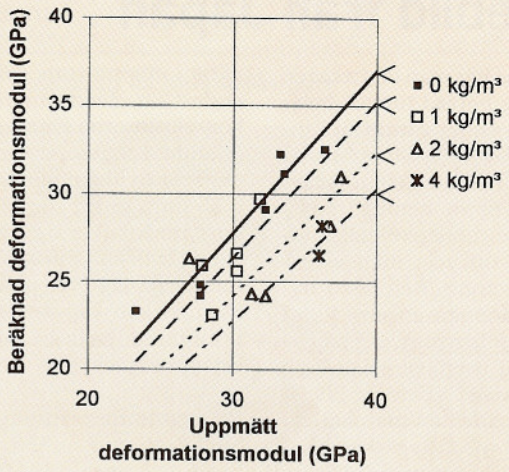
Eftersom beräkningar enligt ekvation (11) endast omfattade 1 s gjordes ett tillägg för deformation fram till 100 s belastningstid enligt ekvationerna (5) och (7) ovan. Figur 9 ger beräknad deformationsmodul versus uppmätt.

Inblandning av plastfiber hade en viss inverkan på den uppmätta deformationsmodulen. På sikt inverkade dock ej inblandning av plastfiber på krypningen hos betongen, Figur 10. Kryptalet i betong med plastfiber blev dock större än i betong utan plastfiber eftersom elasticitetsmodulen var större i betong med än utan fibertillsatsen.

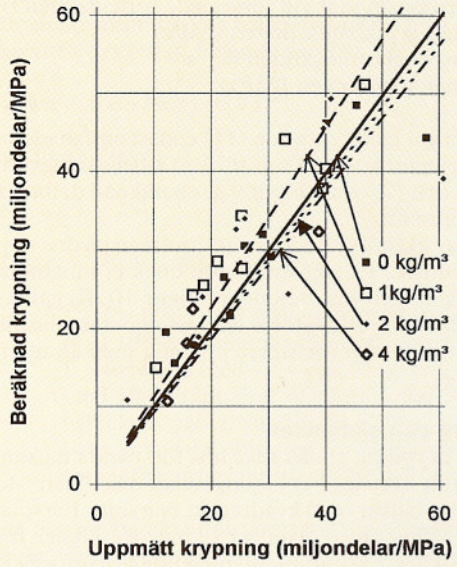
Sammanfattning och slutsatser

Krympning och krypning studerades hos förspända balkar utförda i högpresterande betong, 7 st betongbalkar med "hatt"-formigt tvärsnitt samt 20 st balkar med kvadratiskt tvärsnitt. Förspänningen utfördes med stållinor med diameter 13 mm. Resultaten från fältförsöken visar god överensstämmelse med tidigare utförda laborationsförsök vid LTH Byggnadsmaterial, förutsatt att hänsyn tas till tvärsnittets hydrauliska radie. Fältförsöken utfördes vid Strängbetong AB, Veddige, och Skanska Prefab AB, Uppåkra, 1995 och 1996:

- Krypningen hos balkarna i fältförsöket var ca 10% mindre än den krypning som uppmättes hos betongen i laboratoriet, förutsatt att hänsyn togs till mognadsgrad, förspänningsgrad, mängd silikastoft samt till belastningstiden och den hydrauliska radien hos respektive tvärsnitt.
- Efter 200 dygn överensstämde krympningen väl mellan fält- och laboratoriestudier.
- Den beräknade elasticitetsmodulen var ca 7% mindre än den uppmätta.
- Inblandning av plastfiber föreföll att öka elasticitetsmodulen något.
- På sikt inverkade inblandning av plastfiber i betongen ej på dess krypegenskaper.



Figur 9 - Beräknad deformationsmodul versus uppmätt /5/. Mängden plastfibrer anges i figuren.



Figur 10 - Beräknad krypning som funktion av uppmätt krypning vid varierande innehåll av plastfiber /5/.

Referenser

[1] A Scordelis (1993). On the Importance of Creep and Shrinkage in the Analysis, Design and Construction of Concrete Structures. Femte internationella RILEM-symposiet beträffande krypning och krympning. Barcelona. 1993.

[2] B Persson (1995). Grundkrypning hos betong efter värmehärdning. Betong 1, sid 8-12

[3] B Persson (1995). "Grundkrypning hos högpresterande betong." Basic creep of High Performance Concrete. Report M6:14. LTH Byggnadsmaterial. 1995. 292 pp.

[4] B Persson (1997). "Krypning hos högpresterande betong." Creep of High Performance Concrete. Report M6:28. LTH Byggnadsmaterial. 1997. 225 pp.

[5] B Persson (1997). "Elastiska och långtidsdeformationer hos högpresterande betong." Elastic and Long-term Deformations of High Performance Concrete. Report TVBM-1015. LTH Byggnadsmaterial. 1997. 212 pp.

[6] U Diedrichs, U M Jumppanen & U Schneider (1995)."High Temperature Properties and Spalling Behaviour of High Strength Concrete". Proceedings of the Fourth Weimar Workshop on High Performance Concrete. Weimar. Freiburg (D) and Unterengstringen (CH), sid 219-235.

[7] B Persson. Arbetsmöte beträffande högpresterande betong. Betong 2/96, sid 27-29.

[8] B Persson (1997). Krypning hos förspända balkar i högpresterande betong. Rapport U97.15. LTH Byggnadsmaterial. 1997. 18 pp.

[9] B Persson. Ideal partikelfördelning i färsk betong. Betong 3/95, sid 6-8.

[10] K Sakata (1993). "Prediction of Concrete Creep and Shrinkage." Femte internationella RILEM-symposiet beträffande krypning och krympning. Barcelona. 1993. pp 649-654.



Resebild från Japan

I Okayama har man tillverkat en 2 km lång borrad tunnel, belägen 25 m under gatunivå. Liningen av väggarna har utförts på plats med nymodigheten "självkompakterande betong" (self-compacting concrete), eller annorlunda uttryckt med vibreringsfri betong. Betongen har haft en sammansättning som i stort sett följer principerna enligt "Ideal partikelfördelning i färsk betong" (Betong 3/95), med skillnaden att man har ersatt filler med flygaska. Med vbt= 0,38 har man erhållit en viss självuttorkning, som också kunnat påvisas med mätning av RF i betongen. Spräckta kuber har visat sig vara torra, trots 28 dygn i vatten. Omräknat till krympning ger självuttorkningen upphov till en deformation om 0,1‰, vilket kan tyckas vara obetydligt. Eftersom tunneln gjuts i etapper om 3,6 m och endast är fiberarmerad, blir konsekvenserna emellertid förödande: i fogen på var 3,6 m, där sprickvidden blir nominellt 0,36 mm, läcker tunneln. Man får tydligen akta sig för att använda självkompakterande betong med lågt vct utan att ha närmare kunskap om dess självuttorkning eller autogena krympning.

Betongsammansättning:

Sten 2-16 mm	530	kg/m³
Sand < 2 mm	1160	- -
Cement, snabb	400	- -
Flygaska	100	- -
Vatten	190	- -
Stålfibrer	80	- -
Separations-hämmare	1,2	- -
Superplasticerare	2,2%	

Bertil Persson, LTH

Lågfrekvent buller kan stoppa landsvindkraften. Bygg & teknik 06/2010, 58-59.

Lågfrekvent buller kan stoppa landsvindkraften

Cirka 10 000 vindkraftverk krävs i Sverige fram till 2020 för att nå Riksdagens mål om förnyelsebar vindelenergi. Målet 2020 innebär ett vindkraftverk var sjunde kilometer i alla riktningar i Sverige. Så blir inte fallet utan vindkraftverk kommer att byggas i gruppstationer. Den största planlagda gruppstationen finns i Piteå med 1 100 vindkraftverk. Gruppstationer på mellan 50 och 250 vindkraftverk är mer normala. Det är viktigt att förstå skillnaden mellan buller från enstaka vindkraftverk respektive medelstora och stora gruppstationer av vindkraftverk. En ny forskningsrapport påvisa stora skillnader i lågfrekvent bullernivå för stora och små vindkraftverk. Även ett nytt examensarbete ger viktiga ledtrådar i syfte att öka kunskapsnivån även om resultaten av studien har misstolkats [1]. Innehållet i texten i den refererade artikeln överensstämmer inte med slutsatserna i texten i artikeln.

Bullernivå vid stora vindkraftverk

Vindkraftverk blir större och större [2]. Oro har därför uppstått för att lågfrekvent buller ska påverka grannarna menligt. Resultat av fältmätningar av vindkraftverk inom projektet hemlighölls dock varför rapport begränsas till en analys av de fysiska mätningarnas utförande. Rapporten omfattar 48 vindkraftverk. Undersökningen visar att stora vindkraftverk med en effekt mellan 2,3 och 3,6 MW sänder ut mer lågfrekvent buller än vindkraftverk med upp till 2 MW i effekt. På längre avstånd från vindkraftverk blir det lågfrekventa bullret än mer accentuerat eftersom buller med högre frekvens absorberas mer av luften än buller med låg frekvens. Sammanvägt lågfrekvent buller enligt dB(A) utgör en väsentlig del av totalt uppmätt buller utomhus. Lågfrekvent buller inomhus blir beroende av bostaden bullerisolering. Även om bullret utomhus intill bostaden ligger under dansk tillåten bullernivå, 44 dB(A), finns risk för att lågfrekvent buller inomhus ska störa grannarna. Om bullernivå utomhus är lägre än 35 dB(A) minskar påverkan av lågfrekvent inomhus buller avsevärt. Utsänt buller enligt dB(A) stiger proportionellt med effekten på vindkraftverk varför samma bullerstörningar uppstår per ytenhet runt stora vindkraftverk som runt små med en förskjutning av frekvensbandet nedåt för stora vindkraftverk. Stora skillnader föreligger i uppmätt källbuller från stora vindkraftverk även om det är samma modell och storlek. En säkerhetsmarginal bör därför användas för att undvika av tillåten bullernivå överskrids. Säkerhetsmarginalens storlek kan beräknas enligt fastställda metoder men detta tillämpas sällan. Vid vissa atmosfäriska förhållanden kan i synnerhet lågfrekvent buller spridas mycket längre än vad som normalt antas vara fallet. Kunskap saknas om detta. Infrabuller från vindkraftverk, det vill säga med frekvens lägre än 20 HZ, saknar betydelse för människan. Det ingick 48 vindkraftverk vid mätningarna av lågfrekvent buller i det danska projektet varav elva (11) vindkraftverk med en effekt större än 2 MW.

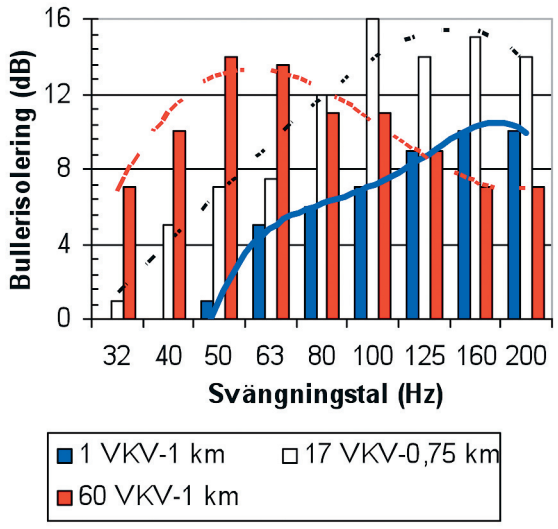
Lågfrekvent bullernivå

Vindkraftverk avger lågfrekvent buller främst av följande orsaker:

1. Turbinbladets svischande med buller från svängningstal 63 Hz och uppåt
2. Samverkan mellan inströmmande turbulensvirvlar och turbinblad främst i skog
3. Växellåda, kylfläktar, generator och kraftelektronik även då det inte blåser.

Lågfrekvent buller hörs på stora avstånd. Lågfrekvent buller mellan 32 och 200 Hz dämpas mindre med ökande avstånd än vad högfrekvent buller gör. Avståndet mellan gruppstationen och bostaden måste därför ökas mer för att bemästra lågfrekvent buller än för att bemästra högfrekvent buller. Antalet vindkraftverk i gruppstationen har större betydelse för den lågfrekventa bullernivån än avståndet mellan gruppstationen och bostaden. Detta visas i *figur 1* [1]. Figur 1 visar, att då antalet vindkraftverk ökas, ökar även andelen lågfrekvent buller vid bostaden, vid konstant avstånd 1 km mellan bostad och vindkraftverk.

Planering sker nu med datorprogram som tar hänsyn till begränsningsvärdet 40 dB(A), avståndet mellan vindkraftverk och bostad samt markens egenskaper. Lågfrekvent buller får dessutom mindre inverkan än högfrekvent buller eftersom bullernivån invid bostad sammanvägs enligt dB(A). En kontroll av bullernivån vid bostad borde därför även göras med bullernivån dB(C), det vill säga med högre inverkan av lågfrekvent buller än vad som nu sker i samband med tillståndsgivning för vindkraftverk. På så sätt skulle Socialstyrelsens krav på högsta lågfrekventa bullernivå inomhus bättre kunna beaktas för stora gruppstationer av stora vindkraftverk än vad som nu sker. Minimiavstånd från bostad till stora vindkraftverk, med källbuller varierande mellan 104 och 107 dB(A), är nu ofta så litet som 0,5 km, i vissa fall 0,4 km, samt från bostäder till gruppstationer 1 km. Dessa avstånd är rent för små med hänsyn till lågfrekvent buller.



Figur 1: Bullerisolering av bostad för att uppfylla Socialstyrelsens krav på lågfrekvent buller inomhus då avståndet från vindkraftverk till bostad varierade mellan 0,75 km och 1 km [1].

Krav på ljudisolering ökar med antalet vindkraftverk

Figur 1 visar bullerisolering av en bostad för att uppfylla Socialstyrelsens krav på lågfrekvent buller inomhus då avståndet från vindkraftverk till bostad varierade mellan 0,75 km och 1 km [1]. Figuren visar klart att fler vindkraftverk ökar kravet på isolering av bostaden mot lågfrekvent buller. För ett (1) vindkraftverk eller en gruppstation om sju (7) vindkraft-

verk finns inget krav på bullerisolering vid svängningstal 32. För 60 vindkraftverk krävs cirka 6 dB i bullerisolering. Kravet på isolering av bostaden mot lågfrekvent buller ökar med ökande antalet vindkraftverk. För tio (10) vindkraftverk är bullernivån 10 dB högre än för ett (1); för 100 vindkraftverk 20 dB högre än för ett (1) samt för 1 000 vindkraftverk 30 dB högre än för ett (1) vindkraftverk. Eftersom lågfrekvent buller inte avklingar nämnvärt med avståndet innebär detta att bostäder måste tilläggsisoleras mot detta buller till exempel i Lillpite. Detta torde vara praktiskt och ekonomiskt ogörligt, vilket innebär att endera får vindkraftverk stängas av eller så får Socialstyrelsens riktvärde för lågfrekvent buller inomhus kringgås.

Betong bäst – fönster sämst

Statlig planering har lett till att vindkraftverk byggs för nära bostäder. Dessa får därför bullerisoleras i efterhand. Värst utsatta är bostäder norr om vindkraftverk. De har ofta fönster mot söder. Fönster ger nästan ingen isolering mot lågfrekvent buller. Dämpare kan sättas in mellan glasen för att förbättra bullerisoleringen något. Nästa steg blir att minska fönsterytan. Hälften så stora fönster förbättrar isolering mot lågfrekvent buller mycket. Svenska träväggar har sämre isoleringen mot lågfrekvent buller än tegel- och betongväggar. Detta gör att isoleringen mot lågfrekvent buller blir sämre i Sverige än utomlands, där tegel- och betongväggar används. Utomlands byggs heller inte stora vindkraftverk 0,5 km från bostäder eller gruppstationer av stora vindkraftverk 1 km från bostäder utan till havs [3].

Sammanfattning

En ny dansk forskningsrapport anger bullernivån 35 dB(A) utomhus för att avvärja problem med för hög lågfrekvent bullernivå inomhus. Prospektering av stora vindkraftverk så nära bostäder som 0,5 km hotar att bli ett folkhälsoproblem respektive stora gruppstationer av stora vindkraftverk så nära bostäder som 1 km. Såväl teoretiska avväganden som praktiska erfarenheter beträffande lågfrekvent buller saknas för närvarande vid en sådan prospektering. Prospektering sker baserat på bestämmelser som är cirka 15 år gamla i fråga om kunskapsbas medan prospekterade vindkraftverk ofta ännu inte har sett dagens ljus, som fallet är i Piteå – cirka 200 m höga vindkraftverk med turbindiameter 124 m. Människor bör inte utsättas miljöfarlig verksamhet utan att de hälsomässiga konsekvenserna är kända.

Bertil Persson,
docent i byggnadsmaterial, Bara

Referenser

[1] Per Lindkvist & Martin Almgren. *Ljudisolering i bostadshus mot ljud från vindkraftverk*. Bygg & teknik. 3/10 2010, sid. 60–62.

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

[3] Bertil Persson. *Bemästra landvindkraft*. ISBN 978-91-86007-50-8. Bara. 2009, 300 sid.

Lättklinkerisolerad krypgrund med minskad mögelpåväxt. Bygg & Teknik2003/02, 22-28.

Lättklinkerisolerad krypgrund med minskad mögelpåväxt

Artikeln redogör för ett elvaårsförsök avseende mögelpåväxt och mögelrisk tre krypgrunder i kombination med parallella mätningar av relativ fuktighet, RF, och temperatur. För ändamålet studerades RF och temperatur under tre mätperioder, dels i nio punkter i en med lättklinker markisolerad krypgrund, dels i fem punkter av två normala krypgrunder. Första mätperioden (1991–1992) omfattade ett helår medan de bägge senare begränsades till den varmare hälften av året (1999 och 2002). Det bör framhållas att mätperioden 2002 innehöll en rekordvarm del med flera så kallade tropiska dygn då medeltemperaturen översteg 20 °C. Mögelsvamphyfer och mögelsporer studerades 2002 på tolv prov från bjälklaget över krypgrunderna (2002).

Resultaten tyder på att det i en krypgrund med markisolering av lättklinker fanns sparsamt med mögelsvamphyfer på ett av tre prover. Vidare fanns det sparsam förekomst av mögelsporer på alla tre prover i en krypgrund med markisolering av lättklinker. Resultaten tyder vidare på att det i bägge de normala krypgrunderna fanns sparsam till riklig förekomst av både mögelsvamphyfer och mögelsporer på alla nio prover. I den med lättklinker markisolerade krypgrunden fanns ingen mögellukt. Påtaglig omisskännlig mögellukt fanns i en av de normala krypgrunderna. I den andra normala krypgrunden fanns en svag mögellukt. Inga tecken finns på att markisoleringen uppfuktats under elva år.



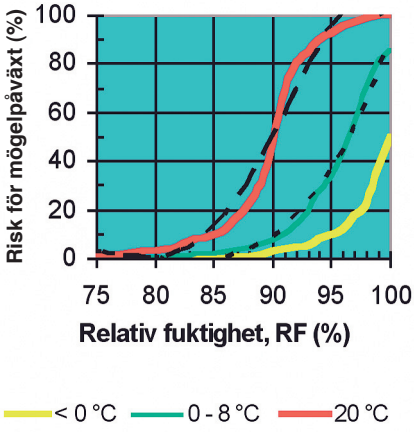
*Artikelförfattare är **Bertil Persson**, docent i byggnadsmaterial vid Lunds Teknisk Högskola.*

Omfattande mätningar av mögelpåväxt och mögelrisk utfördes på tre krypgrunder (en markisolerad och två normala) i kombination med parallella mätningar av RF och temperatur. Försöket inleddes 1991–1992 med uppföljningar på samma hus, 1999 och 2002. Tjugohundratvå tillkom ytterligare en normal krypgrund av samma konstruktionstyp omedelbart intill det första huset med normal krypgrund.

Husen är bostadsrätter belägna i Tingsryd. De är byggda på samma område enligt samma ritning (frånsett den markisolering i ett av husen). En normal krypgrund med träbjälklag är en veritabel riskkonstruktion. Under sommartid bildas kondens på undersidan av bjälklaget med mögelpåväxt som följd. Risken för mögelpåväxt är delvis en följd av senare års energisparande; ju tjockare isolering i bjälklaget desto kallare kryprum. Produktion av småhus kan givetvis inte upphöra i och med att man konstaterar stora risker för fukt och mögel med nuvarande grundkonstruktion. Däremot är det nödvändigt att snabbt anpassa grundkonstruktionerna på ett sådant sätt att riskerna elimineras.

Normal krypgrund

En normal krypgrund utförs ofta halvmeterhög med en lutning uppåt i ytterkanterna. På marken läggs en plastfolie i syfte att minska fuktavgången. Runt krypgrunden finns isolerade murar upp till träbjälklaget. Med tjock bjälklagsisolering blir krypgrunden ett effektivt kylskåp. Varm luft med hög halt av vattenånga kondenserar i ett kylskåp. Så kan även ske i ett normalt krypgrund, speciellt på sommaren. Då är just uteluft varm med hög RF. Av utseendeskäl tillåts oftast bara små ventiler runt krypgrunden. Den får inte tillräckligt hög temperatur för att kunna ta upp uteluftens fuktighet varför kondens av vattenånga kan inträffa [1]. Ska kondens undvikas får huset istället byggas på plintar med ett stort fritt utrymme under huset. En plintkonstruktion accepteras dock inte av en blivande småhusägare av utseendeskäl. Ofta är dock golvet i småhuset så tätt att mögellukten inte sprider sig in i huset. Då spelar mögel i krypgrunden ingen roll för husägaren även om huset ändock får betraktas som en riskkonstruktion. Mögel i krypgrunden kan också räknas som ett dolt fel i samband med en försäljning av huset. Man vet inte om och när mögellukten kan spridas inomhus. Produktionsförhållanden påverkar också påtagligt risken för fukt och mögel i krypgrunden. Byggs huset vintertid så är marken av lättförklariga skäl kall, ofta frusen. På krypgrunden ställer man sedan ett välisolerat hus. Detta kan jämföras med att lägga in is i sågspån. När man tar fram isen på sommaren dryper isen av fukt och även sågspånen närmast intill, jämför krypgrundsbjälklaget. När vatten kondenserar på trä (RF = 100 procent), som kan vara fallet för bjälklaget i en normal krypgrund, är mögelrisken hög även om temperaturen är låg, *figur 1* [2].



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

Markisolerad krypgrund

En markisolerad krypgrund utfördes som ett träbjälklag på ett med lättklinker markisolerat kryprum. Hydrofoberad lättklinker är en oöm markisoleringen och ett rationell sätt att på ett beständigt sätt isolera bort markkyla. Hydrofobering innebär att ytan av lättklinkern behandlats i syfte minska risken för kapillärsugning. Undertill finns fiberduk för att man ska undvika att lättklinkern blandas med marken. Över lättklinkern finns även fiberduk för att man ska kunna krypa ovanpå, figur 2.

Kanterna runt det isolerade kryprummet stabiliserades med cementslamma, *figur 3*. Vid försöket användes cirka 0,30 m lättklinker. Markisoleringen isolerade bort markkylan på ett effektivt sätt. Marktemperaturen är cirka 8 °C. Utstrålningen från bjälklaget mot en normal markyta gör att temperaturen blir så låg att vattendroppar kan utvecklas sommartid. Med en markisolering nås två fördelar, dels minskas skillnaden mellan temperaturen utomhus och krypgrundstemperaturen,



Figur 2: Fiberduk ovanpå 0.30 m lättklinker i markisolerad krypgrund (fanns även undertill).



Figur 3: Kanterna runt det isolerade kryprummet stabiliserades med cementslamma.



Figur 4: Normalt kryprum med plastfolie upp mot kantbalkar i betong med ventilationsöppningar.



Figur 5: Utblåsning av 0,30 m lättklinker. Foto: Göran Hedenblad, 1991 [4].

dels minskar markens kylande effekt. I och med att dessa fördelar nås en högre temperatur på underkanten av bjälklaget med en minskad kondensrisk som följd.

Det var försöket syfte att jämföra förekomst av mögelsvamphyfer och mögelsporer i krypgrunder, med och utan markisolering av lättklinker samt att jämföra resultaten med riskanalyser baserade på mätningar av RF och temperatur under lång tid.

Material och metoder

För försöksuppläggning redogörs i [3, 4]. På schaktbotten och ett skikt av sand i den normala krypgrunden lades byggplastfolie löst omlott. Folien drogs upp mot kantbalkar i betong, i vilka fanns ventilationsöppningar, *figur 4*.

I ett hus med normal krypgrund placerades en RF- och temperaturmätare på underkant av träbjälklaget. I ett andra hus med normal krypgrund placerades följande RF- och temperaturmätare:

1. Inomhus ovanpå ett cirka 2 m högt skåp.
2. Mitt i huset på underkant av träbjälklaget.
3. Mitt i huset mittemellan plasten och träbjälklaget.
4. Mitt i huset under plasten.

Tabell 1: Sammanställning av mätpunkter.

Punkt	Hustyp	Beskrivning
1	M	Utomhus på norr vägg
2	M	Mitt i huset under fiberduken
3	N	Mitt i huset under plasten
4	M	Mitt i huset mittemellan plasten och träbjälklaget
5	M	Mitt i huset i överkant av lättklinkern
6	M	Mitt i huset i underkant av lättklinkern
7	M	Inomhus ovanpå ett cirka 2 m högt skåp
8	M	Vid väster gavel i huset i överkant av lättklinkern
9	M	Vid väster gavel i huset i underkant av lättklinkern
10	N	Inomhus ovan på ett cirka 2 m högt skåp
11	N	Mitt i huset på underkant av träbjälklaget
12	N	Mitt i huset mittemellan plasten och träbjälklaget
13	M	Mitt i huset på underkanten av träbjälklaget
14	N2	Mitt i huset på underkant av träbjälklaget

Beteckningar: M = markisolerad krypgrund; N = normal; 2 = andra huset.

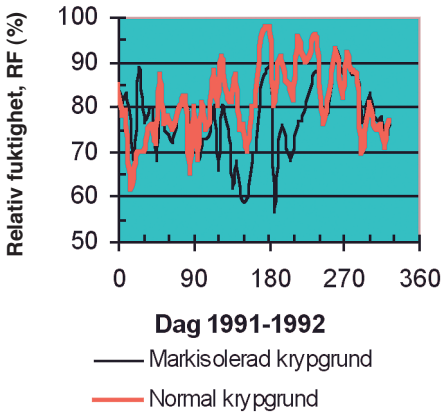
Mätningen utfördes perioden april-september, 2002. Mätintervall var sex timmar. Mätnoggrannheten var ± 3 procent RF samt ± 0,3 °C. Ur de normala krypgrunderna togs prover av hård träfiberskiva i syfte att undersöka förekomst av mögelsvamphyfer och mögelsporer på följande platser:

1. Gavel i västlig riktning.
2. Gavel i östlig riktning.
3. Husmitt.

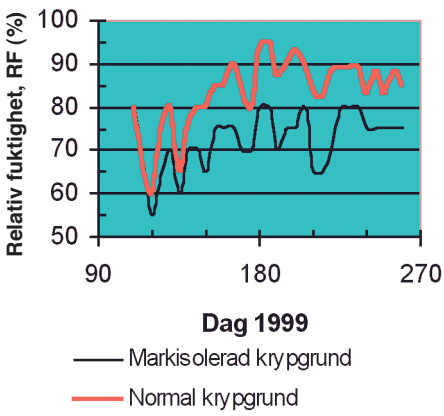
Proverna förvarades i plastpåsar och sändes omedelbart till Botaniska analysgruppen, mykologisektionen, Göteborgs universitet för en mikrobiologisk analys. *Figur 5* visar utblåsning av 0,30 m lättklinker. Ventilationsöppningarna i den markisolerade krypgrunden hade samma storlek och placering som de hade i de normala krypgrunderna.

Vegetationen runt huset var likartad, dvs blomsterrabatter fanns omedelbart intill ventilationsöppningarna. Mätningar 1991–1992 visade att ventilationen var lika stor i de bägge typerna av krypgrund [4]. I ett andra hus med markisolerad krypgrund placerades RF- och temperaturmätare på följande platser:

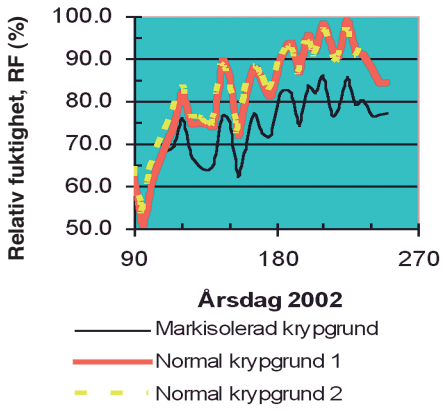
1. Utomhus på väggen mot norr
2. Inomhus ovanpå ett cirka 2 m högt skåp
3. Mitt i huset på underkanten av träbjälklaget



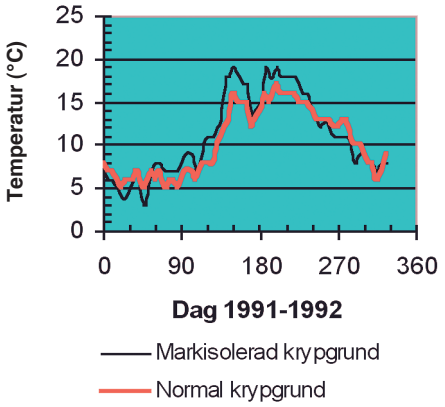
Figur 6: RF i krypgrunder 1991–1992 [4].



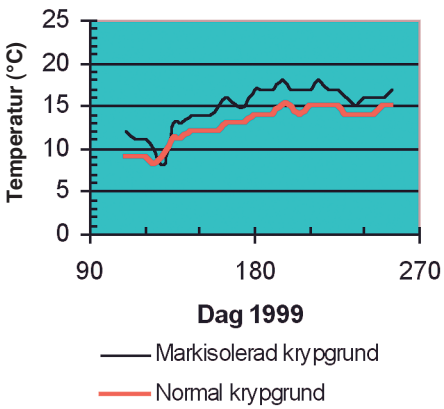
Figur 7: RF i krypgrunder 1999 [5].



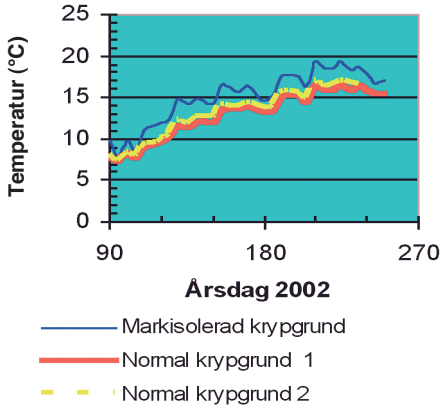
Figur 8 RF i krypgrund 2002.



Figur 9: Femdygnsmedelvärden av temperatur i krypgrunder 1991–1992 [4].



Figur 10: Femdygnsmedelvärden av temperatur i krypgrunder 1999 [5].



Figur 11: Femdygnsmedelvärden av temperatur i krypgrunder 2002.

4. Mitt i huset mittemellan fiberduken och träbjälklaget
5. Mitt i huset i överkanten av lättklinkern
6. Mitt i huset i underkanten av lättklinkern
7. Mitt i huset under fiberduken
8. Vid väster gavel i huset i överkanten av lättklinkern
9. Vid väster gavel i huset i underkanten av lättklinkern

Läget för provpunkterna överensstämde med de som användes 1991–1992 [4]. En sammanställning ges i *tabell 1 på föregående sida*. Mätningen utfördes under under en sextimmasperiod (mätnoggrannhet ges ovan). Prover togs av hård träfiberskiva som på de normala grunderna.

Resultat

Femdygnsmedelvärden av mätresultat för RF och temperatur ges i *figurerna 6-11* [4, 5]. *Tabellerna 2–3* visar resultat från mykologiska prov av mögelpåväxt på träfiberskiva uttagen i samma krypgrunder [6, 7].

Risk för mögelpåväxt och mögellukt

Mögelrisken, uttryckt i procent, beräknades enligt figur 1 med ekvationen (1) här intill:

Figurerna 12–14 visar mögelrisken beräknad enligt ekvation (1). Som mätpunkter för RF och temperatur nyttjades underkanten av bjälklaget mitt i husen. Skillnaden i mögelrisk varierade kraftig, år från år, och var störst 2002. Mögelrisken var störst år 2002 till följd av rekordhög temperatur med ett ökat innehåll av vattenånga i luften som följd. Om denna temperaturökning är bestående, år från år, kan detta ytterligare öka risken för mögelpåväxt i normala krygrunder. Hög beräknad mögelrisk i samma krypgrund gav också måttlig – riklig frekvens av mögelsporer och mögelsvamphyfer [2,6,7].

Det fanns således enligt fältförsöket 1991–2002 även i praktiken ett direkt

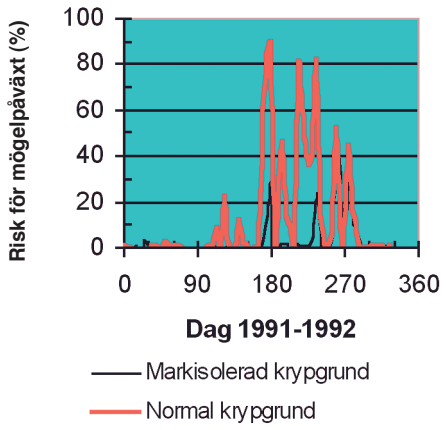
Tabell 2: Frekvens av mögelsvamphyfer efter elva år på träfiberplatta i krypgrund [6, 7].

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

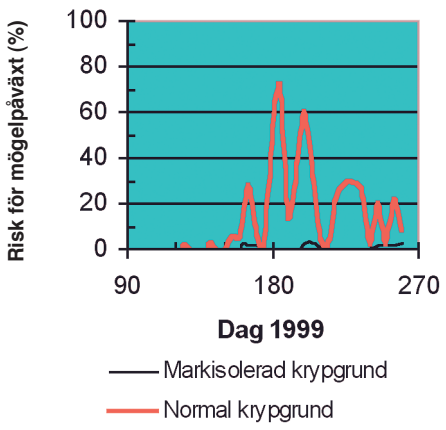
Tabell 3: Frekvens av mögelsporer efter elva år på träfiberplatta i krypgrund [6, 7].

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

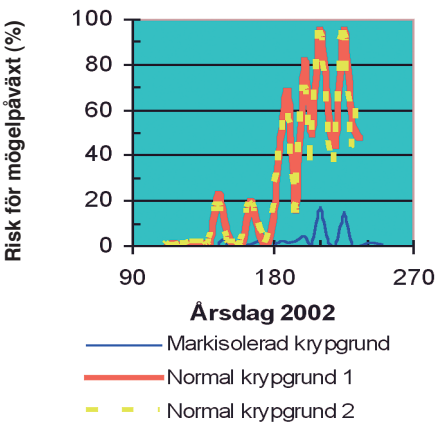
$$- 0{,}0000390847 \cdot ø^5 + 0{,}0148757714 \cdot ø^4 - 2{,}2324717695 \cdot ø^3 + 164{,}9814176024 \cdot ø^2 - 5994{,}2720391383 \cdot ø + 85447{,}7767622303 - (- 0{,}0000390847 \cdot ø^5 + 0{,}0148757714 \cdot ø^4 - 2{,}2324717695 \cdot ø^3 + 164{,}9814176024 \cdot ø^2 - 5994{,}2720391383 \cdot ø + 85447{,}7767622303 - (0{,}01105 \cdot ø^3 - 2{,}62434 \cdot ø^2 + 207{,}1472 \cdot ø - 5435{,}25564)) \cdot (20 - T) / 16 \quad (1)$$



Figur 12: Risk för mögelpåväxt i krypgrunder 1991–1992 [4].

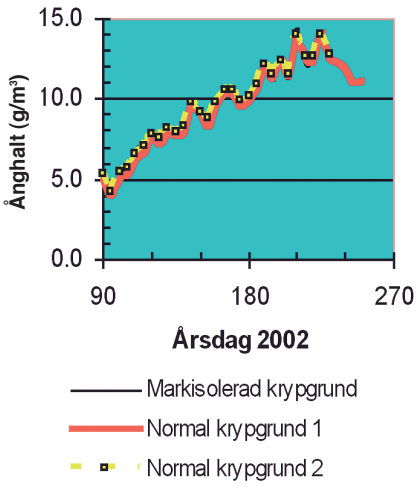


Figur 13: Risk för mögelpåväxt i krypgrunder 1999 [5].



Figur 14: Risk för mögelpåväxt i krypgrunder 2002.

samband mellan hög RF i krypgrunden, temperatur och mögelrisk, figur 1 [2–5]. Risken för mögelpåväxt har minskats avsevärt med 0,30 m lättklinker markisolering.



Figur 15: Ånghalt i krypgrunder 2002.

I en av tre provpunkter i den markisolerade krypgrunden fanns sparsam förekomst av mögelsporer. Mögellukt fanns, subjektivt sett, ej 2002, i den markisolerade krypgrunden. Subjektivt sett luktade det 2002 kraftigt mögel i ena normala krypgrunden. I den andra normala krypgrunden luktade det 2002 svagt mögel.

Temperatur och ånghalt

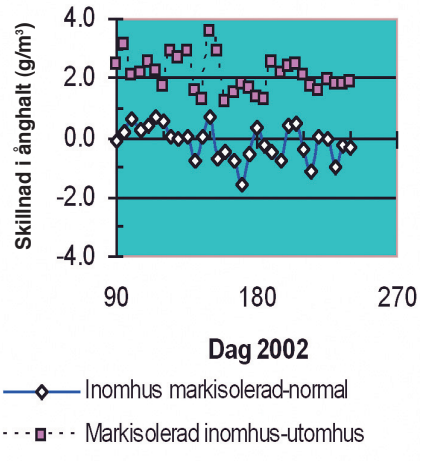
Figur 15 visar att ånghalten var lika i underkant av bjälklaget av de olika krypgrunderna, dvs uteluften styrde. *Figur 16* visar små skillnader i ånghalt mellan husen respektive att ånghalten var högre inomhus än utomhus, vilket är logiskt. *Figur 17* visar små skillnader i ånghalt i markisolering mellan husmitt och gavel. Inledningsvis var skillnaden negativ mellan markisoleringens ånghalt i husmitt och i gavel vilket innebar att ånghalten var högre vid gavel, vilket också är logiskt. Under sommarperioden utjämnades ånghalten efterhand som den till huset omgivande marken värmdes upp, figur 17. *Figur 18* visar skillnad i ånghalt mellan överkant och underkant markisolering. Denna skillnad gick från negativ till positiv, dvs markisoleringen verkade som en buffert för i krypgrunden inkommande vattenånga. Detta är en gynnsam effekt med absorberbar markisolering jämfört med en plastfolie eller en cellplast. Då vattenånga kommer in i krypgrunden sommartid kan plasten eller cellplasten ej absorbera vattenånga vilket markisolering av lättklinker kan göra. Av figur 18 framgår också att det inte förekom någon uppfuktning av lättklinkern under vintern.

Figur 19 på nästa sida visar skillnad i ånghalt mellan markisolerad och normal krypgrund i överkant sand. Sanden under markisoleringen innehöll mindre fukt än sanden i den normala krypgrunden vilket är en temperatureffekt (bägge var fuktmättade men sanden var kallare i den markisolerade krypgrunden).

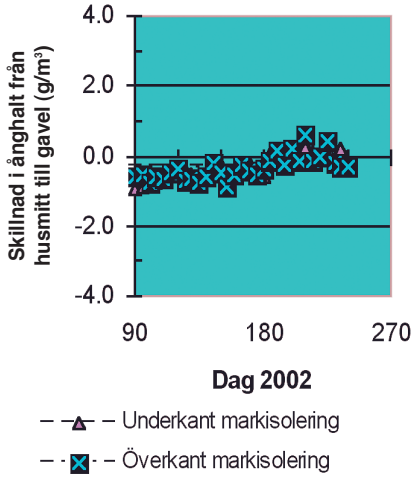
Slutsatser

Följande slutsatser kan dras av elvaårsförsöket [8, 9]:

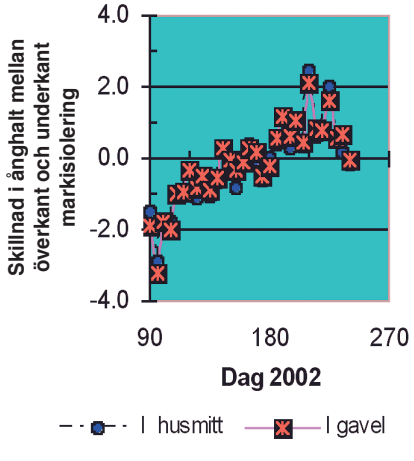
- I en krypgrund med markisolering av lättklinker fanns sparsamt med mögelsvamphyfer på ett av tre prover.
- Sparsam förekomst av mögelsporer fanns på alla tre prover i en krypgrund med markisolering av lättklinker.
- I bägge de normala krypgrunderna



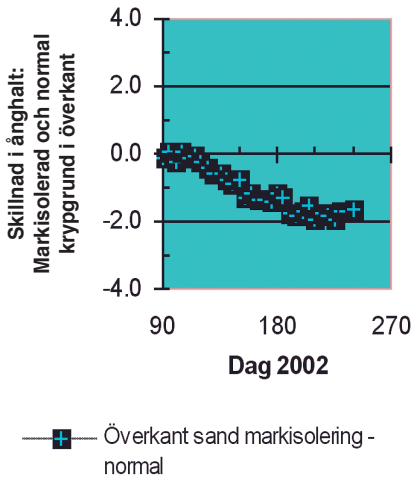
Figur 16: Skillnad i ånghalt (g/m³).



Figur 17: Skillnad i ånghalt mellan husmitt och gavel (g/m³).



Figur 18: Skillnad i ånghalt mellan överkant och underkant markisolering.



Figur 19: Skillnad i ånghalt mellan markisolerad och normal krypgrund i överkant sand.

fanns sparsam till riklig förekomst av både mögelsvamphyfer och mögelsporer på alla nio prover.

- I den med lättklinker markisolerade krypgrunden fanns ingen mögellukt.
- Påtaglig mögellukt fanns i den ena av de normala krypgrunderna.
- I den andra undersökta normala krypgrunden fanns en svag mögellukt.
- Inga tecken finns på att markisoleringen uppfuktats under elva år.
- Sanden under den markisolerade krypgrunden innehöll mindre fukt än sanden under den normal krypgrunden. ■

Referenser

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

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

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

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

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

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

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

[8]. Bertil Persson. *Lättklinkerisolerad krypgrund med minskad mögelpåväxt*. U02.05 LTH Byggnadsmaterial. 2002, 308 sid.

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