

ANVÄNDNING AV PLATSGJUTEN LÄTTBETONG
SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL I PLATTA
PÅ MARK

EN FÖRSTUDIE

av Gunnar Fredriksson, BPA-koncernen

Denna rapport har tagits fram
med ekonomiskt stöd från
Svenska byggbranschens utveck-
lingsfond (SBUF)

SBUF

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. BAKGRUND
2. OLIKA MEDEL OCH METODER ATT ÅSTADKOMMA SKUMBETONG
3. LÄTTBETONG SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL I PLATTA PÅ MARK
 - 3.1 HÅLLFASTHETSEGENSKAPER
 - 3.2 EXEMPEL PÅ MÖJLIGA KONSTRUKTIONER
 - 3.3 SPRICKBILDNING
 - 3.4 VÄRMEISOLERINGSEGENSKAPER
 - 3.5 EGENSKAPER UR FUKTSYNPUNKT
 - 3.6 LJUDISOLERINGSEGENSKAPER
 - 3.7 BOENDEHYGIENISKA ASPEKTER
4. ARBETSMETODER
5. ÖVRIG ANVÄNDNING
6. EKONOMI
7. SAMMANFATTNING

LITTERATURFÖRTECKNING

1. BAKGRUND

Metoden att genom skumning av cementpasta eller cementbruk erhålla betong med cellstruktur är relativt gammal.

Metoden har två olika varianter

- a) då man tillför ett tillsatsmedel i blandningsvattnet och genom särskilda blandare erhåller en massa med hög lufthalt
- b) då man först blandar sand, cement och vatten och i separat maskin tillverkar ett skum, vilket sedan satsas i blandningen av cement, sand och vatten (i vissa fall enbart cement och vatten). En massa blandad på detta sätt blir homogen och stabil i större utsträckning än vad som gäller för a).

På senare år har metoden fått en renässans i Europa. Nya effektiva tillsatsmedel har framtagits och den maskinella utrustningen har förfinats.

Metoden har använts dels för tillverkning av block av olika typer, dels för platsgjutning i kulvertar som isolering, som bärlager på dålig mark, vilken inte tål hög belastning. För husbyggnad har den använts endast i begränsad omfattning.

Vissa av de tillsatsmedel, som användes, innehåller proteiner, vilket kan utgöra ett problem i samband med husbyggnad, dock ej vid användning i samband med markarbeten.

I denna utredning skall möjligheterna att använda metoden i husbyggnadssammanhang undersökas. Tankegången är att materialet skall kunan tjänstgöra både som värmeisolering och sålunda ge ett visst fuktskydd och som konstruktionsmaterial.

Om utredningen pekar i positiv riktning är avsikten att genomföra en fältundersökning i form av byggande av småhus med platta på mark av skummad lättbetong.

2 OLIKA MEDEL OCH METODER ATT ÅSTADKOMMA SKUMBETONG

Två olika huvudprinciper förekommer

- a) Tillsatsmedlet tillföres tillsammans med blandningsvattnet och skumning erhålles genom användning av särskilda blandare, som är gynnsamma för skumgenerering.
- b) Tillsatsmedlet användes för att tillverka ett stabilt skum, vilket sedan tillsättes cementpastan eller bruksblandningen och blandas in i denna. Framställningen av skummet kan ske antingen i en så kallad skumgenerator eller i en skumpistol.

Med avseende på tillsatsmedel kan man särskilja två huvudtyper, dels sådana som är baserade på protein, dels de som är rent syntetiska, ej biologiskt nedbrytbara eller i varje fall svårnedbrytbara. Ofta är det svårt att få deklARATIONER av tillverkarna.



Fig 1. Skumpistol i användning

Bland kommersiellt tillgängliga tillsatsmedel för tillverkning av skumbetong kan nämnas SKW Skumbildare 1, Do 2, Nair foaming agent m fl.

En systematisk sammanställning av olika typer av skumbildare framgår av tabell 1 nedan.

Skumbildare	Vanligt användningsområde	Baserad på	Densitet g/cm ³	Färg	Lämplig koncentration i skumlösning %	Densitet hos skummet g/dm ³
A	Skumbildare för lättbetong	Protein	1,17-1,19	svartbrun	2-3	60-100
B	Skum för eldsläckning	Protein	1,14	svartbrun	3	75-100
C	Skumbildare för betong o keramiska massor	Syntetiskt mtrl.	1,03	ljusgul, genomskinlig	2	25-50
D	Skumbildare för betong och bruk	Alkaryl-sulfonat	1,09	guld-gul	2	20-60
E	Skum för eldsläckning	Syntetiskt, nonjon-aktivt	1,05	Inte känt då materialet var missfärgat av rost	2	40
F	Skumbildare för betong och bruk	Syntetiskt mtrl	1,03	ljusgul genomskinlig	2	25
G	Luftporbildare	Syntetiskt mtrl	-	-	-	-
H	Skumbildare för lättbetong	Protein	1,14	svartbrun	2-3	60-100

Tabell 1. Olika typer av skumbildare (2)

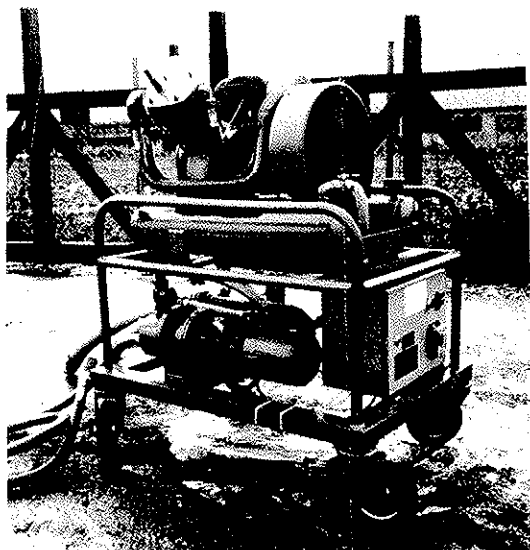


Fig 2. Skumgenerator (SKW) för kontinuerlig skumframställning.(2)

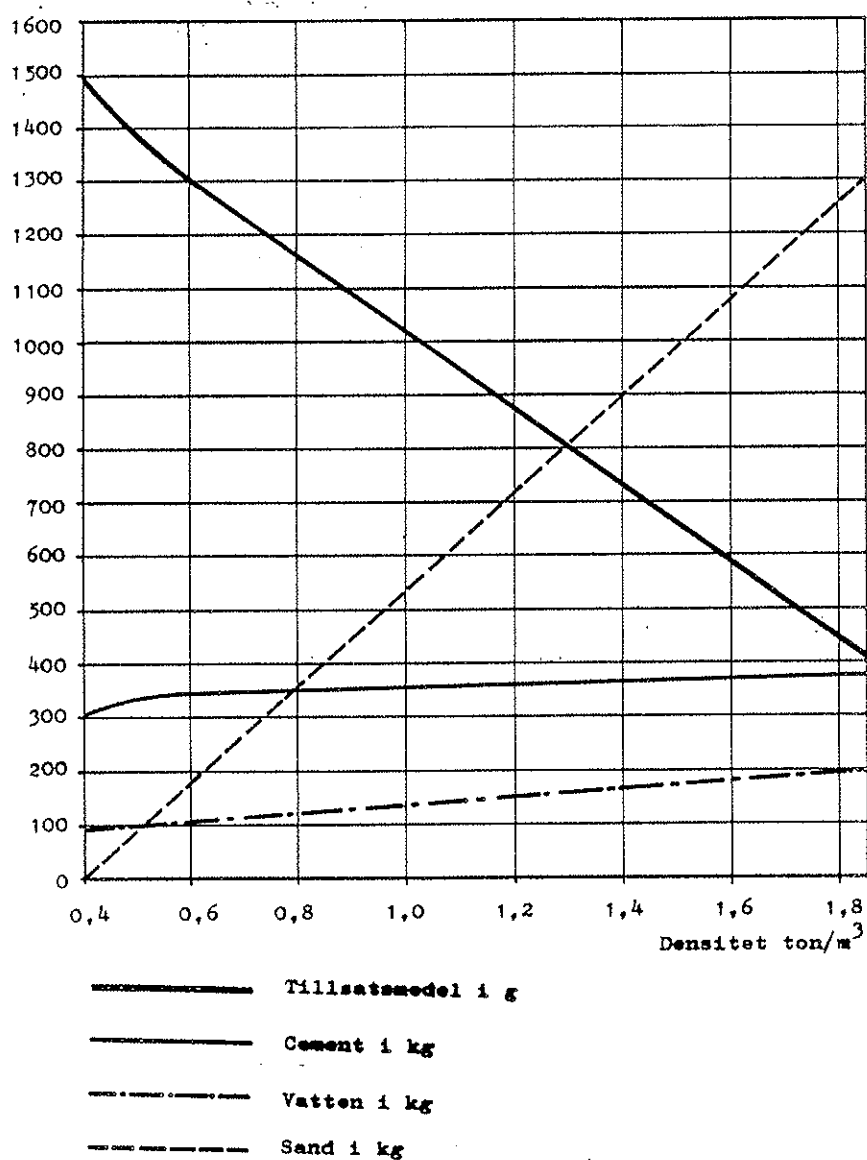


Fig 3. Materialåtgång för 1 m³ skumbetong vid varierande skrymdensiteter. Som synes är cementåtgången relativt oberoende av skrymdensiteten. (3)

3. LÄTTBETONG SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL I PLATTA PÅ MARK

3.1 HÅLLFASTHETSEGENSKAPER

Hållfastheten är en funktion av materialets skrymdensitet. Nedan visas tryckhållfasthet och E-modul som funktion av skrymdensiteten. Kurvan förskjutes något åt vänster genom inblandning av kiselstoft.

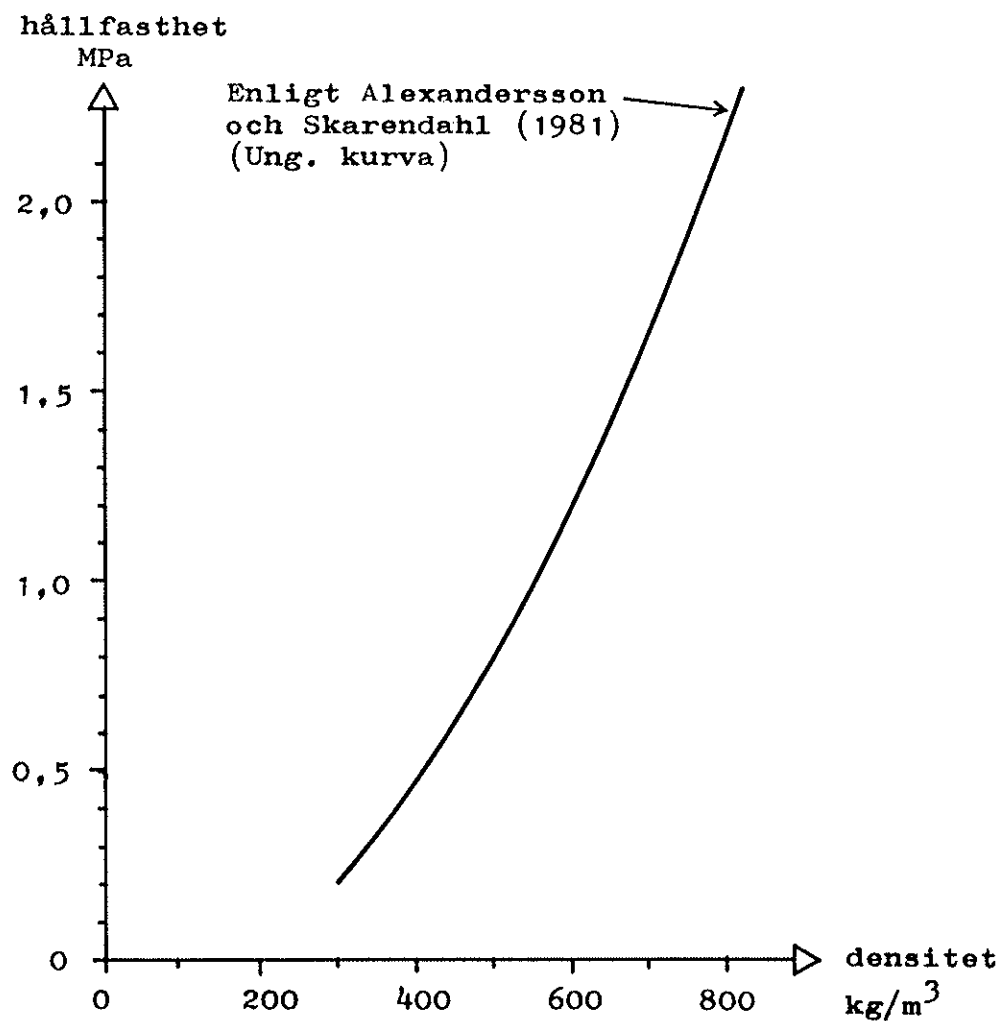


Fig 4. Tryckhållfastheten hos skumbetong som funktion av densiteten vid provningstillfället. (1)

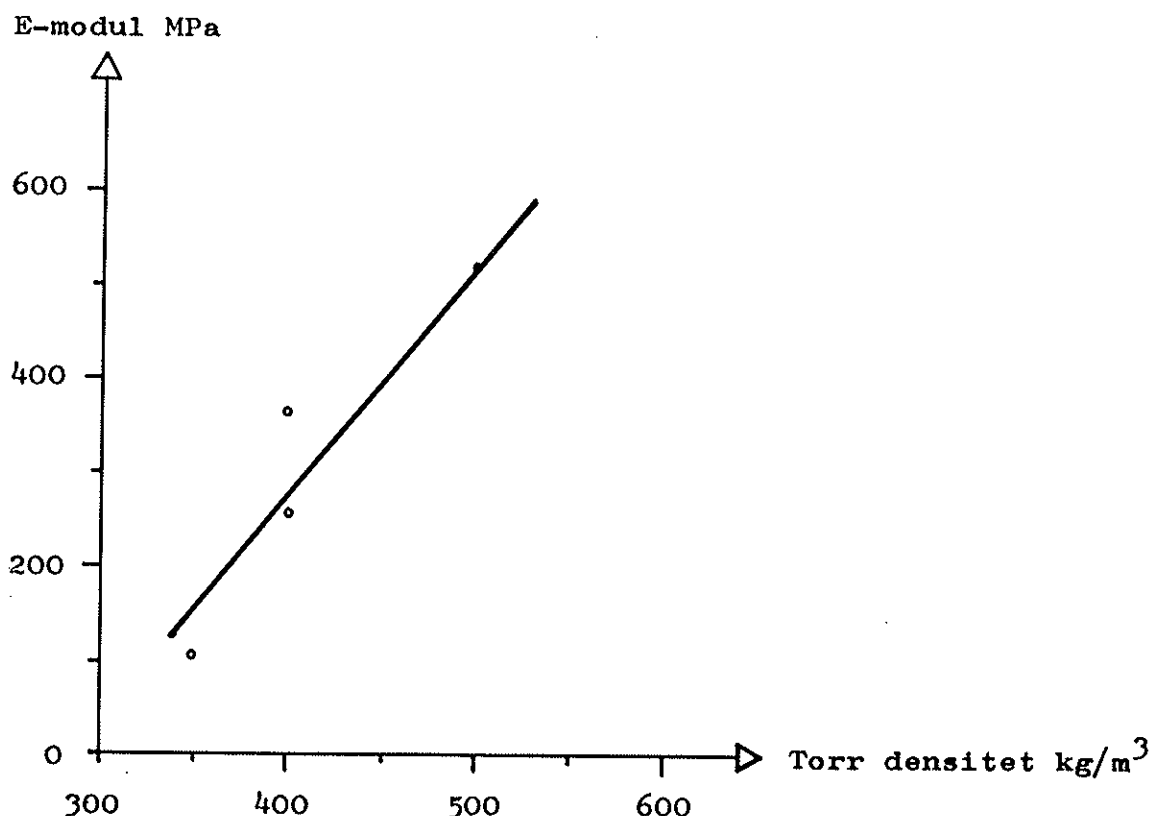


Fig 5. E-modul för skumbetong som funktion av skrymdensiteten.
(1)

Frågan är hur långt ner i densitet och därmed i hållfasthet som det är praktiskt möjligt att gå. Materialet måste ju klara viss belastning på ett tidigt stadium utan att skadas och dessutom förses med ett hårdare ytskikt (slitskikt). Detta kan lämpligen bestå av flytspackel, varvid det är viktigt att spacklet inte ger så stor krympspänning att skumbetongen dras sönder.

För att få god ekonomi borde densiteten på skumbetongen vara 300-400 kg/m³. Vid studier i utlandet har vi iakttagit att man ofta har 600 kg/m³ som lägsta skrymdensitet. Det är möjligt att den praktiska gränsen ligger där, men detta borde utvärderas vid fältförsök, då laboratorieprovningar är otillräckliga för att göra en säker bedömning.

Vid $\gamma = 400$ kg/m³ är tryckhållfastheten ca 0,4 MPa, eventuellt något högre vid tillsats av kiselstoft, under det att $\gamma = 600$ kg/m³ ger en tryckhållfasthet av ca 1,0 MPa.

På grund av skumbetongens låga hållfasthet, har risken för genomstansning bedömts som relativt stor. För att utröna detta gjordes följande försök: ett par skumbetongplattor belades med s k flytspackel (BEPAGOLV) i två olika skiktjocklekar, 10 resp. 30 mm. Belastningar utfördes, varvid belastningsytan varierades

från 100 mm² till 1600 mm². Det visade sig då, att vid små belastningsytor erhöles en genomstansning, dock vid stora belastningar (ex vid 10 mm spackeltjocklek ca 20 MPa och vid 30 mm spackeltjocklek > 80 MPa). Då belastningsytorna ökades erhöles inte längre ren genomstansning utan även sprickor i skumbetongen. Det är att märka att även här låg brottgränsen relativt högt, för spackeltjockleken 10 mm ca 4 MPa då belastningsytan var 1600 mm² och ca 9 MPa vid spackeltjockleken 30 mm med samma belastningsyta. Det spackel som användes får inte ge för stora krympspänningar. Några problem i detta hänseende kunde ej iakttas i samband med försöken. Den underliggande skumbetongens tryckhållfasthet bestämdes till 1,4 MPa.

De utförda försöken ger vid handen att en platta av skumbetong kan skyddas effektivt mot punktlaster genom anbringande av ett spackelskikt av god kvalitet.

3.2 EXEMPEL PÅ MÖJLIGA KONSTRUKTIONER

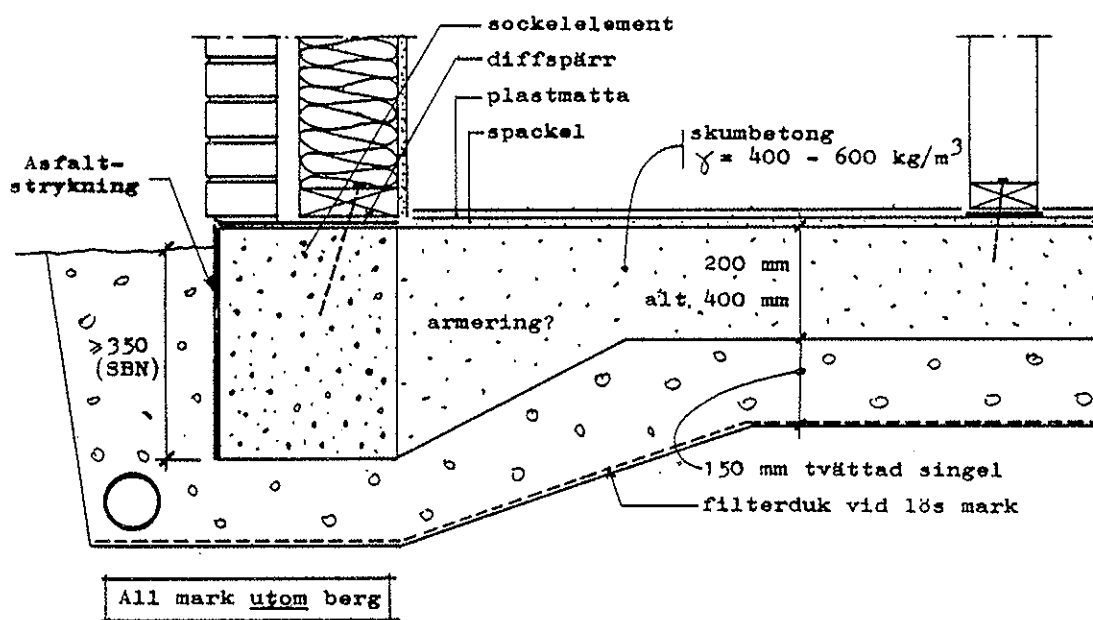


Fig 6. Bärande markplatta av skumbetong. Då materialet är kapillärsugande måste kapillärbrytning anordnas under plattan. Plattans tjocklek bestämmes av isoleringskravet (ur såväl energinorm som fuktsynpunkt).

Vid kompensationsgrundläggning är villkoret att trycket mot nivån under plattan skall vara detsamma efter det att marken har belastats av byggnaden som före.

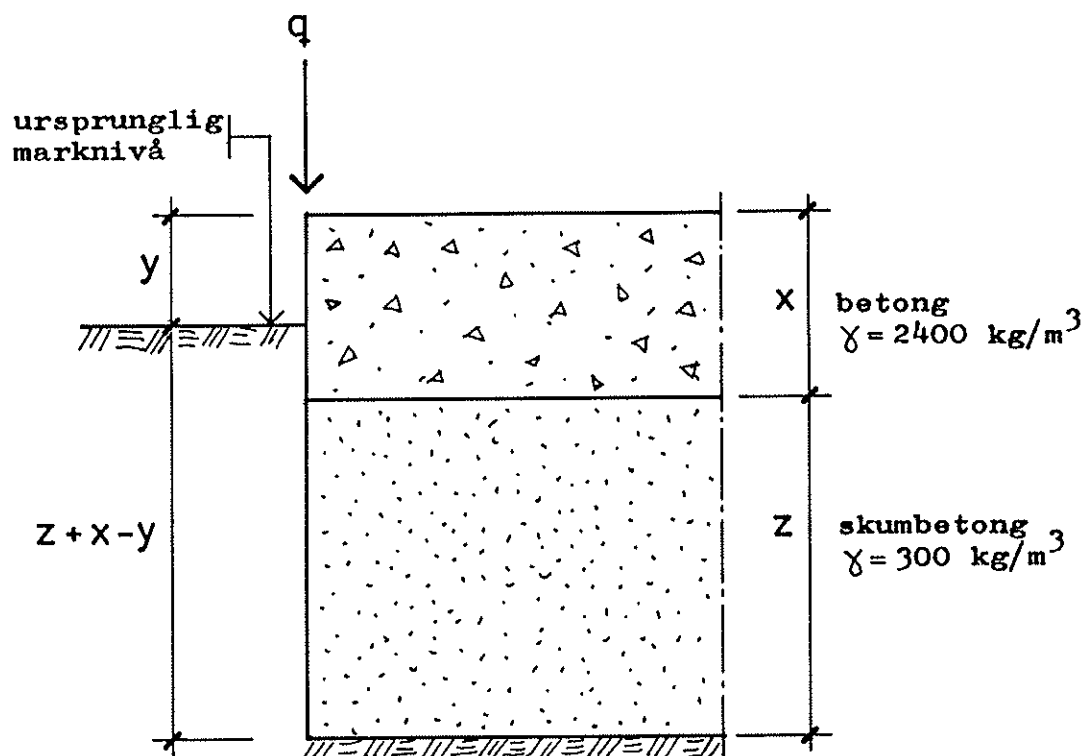


Fig 7. Principer för kompensationsgrundläggning.

$$\text{Formel: } 1,8 z + 1,8 (x - y) = 0,3 z + q + 2,4 x$$

Skumbetong kan även användas för kompensationsgrundläggning, varvid förutom de nämnda kraven på isolering enligt energinorm samt fuktsäkerhet, marktrycket på schaktbotten skall vara detsamma som före byggandet.

För $y = x = 15 \text{ cm}$ erhålles:

$$1,8 z = 0,3 z + 2,4 x + q$$

$$1,5 z = 0,36 + q$$

$$z = \frac{0,36 + q}{1,5}$$

konstanten 0,36 bytes ut i den mån betongen har annan densitet än normalbetongs

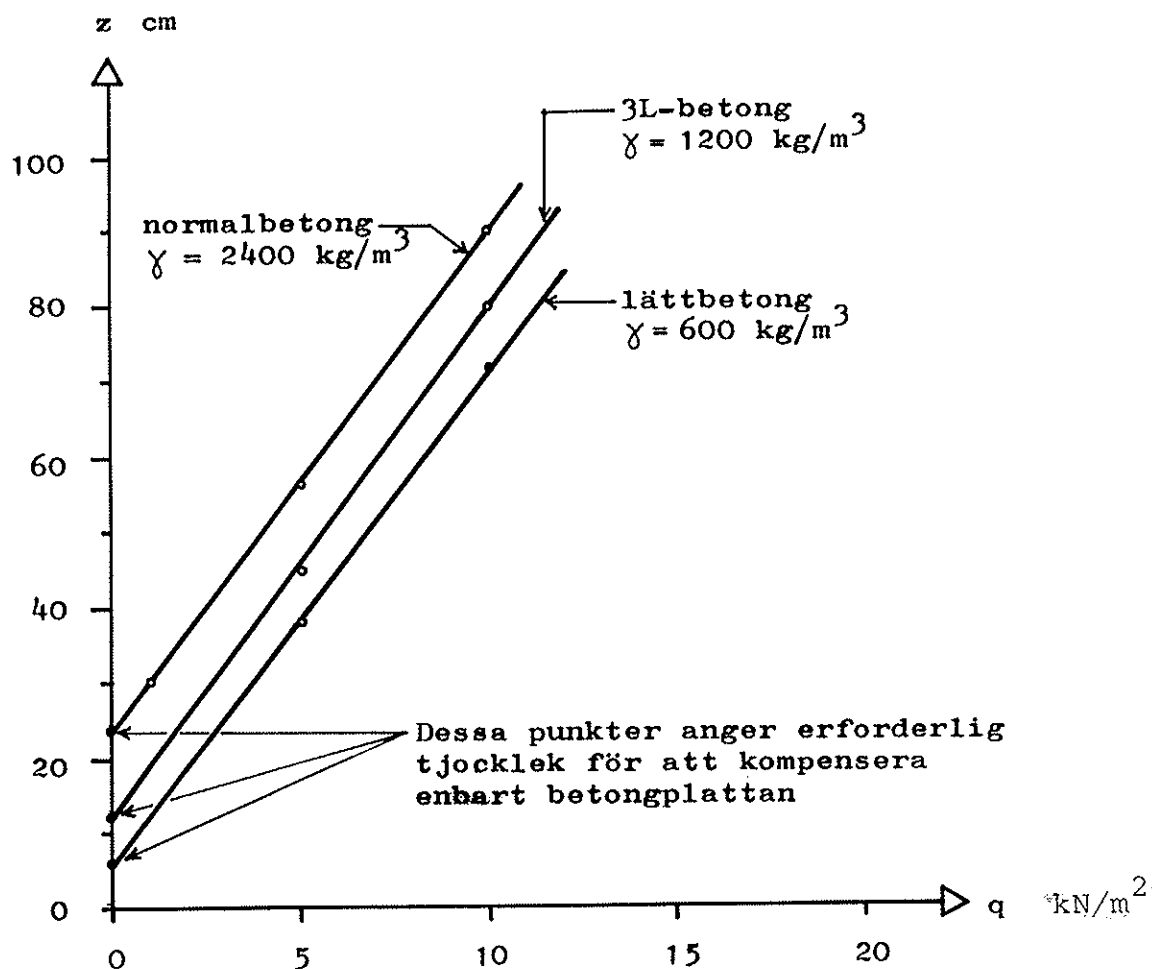


Fig 8. Erforderlig tjocklek hos ett lager skumbetong med $\gamma = 300 \text{ kg/m}^3$ under en betongplatta med 15 cm tjocklek för att viktkompensera husets tyngd. Betongens densitet varierar mellan 600 och 2 400 kg/m^3 .

3.3 SPRICKBILDNING

Sprickbildningen beror huvudsakligen på krympning eller sättningar. Om sprickvidden inte är för stor, torde dock en viss sprickbildning kunna tolereras. I platta på mark, där RH-förhållande är relativt högt torde dock sprickrisken minska.

En belgisk tillverkare av skumbetong har vid samtal uppgett att han inte ansåg sprickbildningen i plattor vara något större problem.

För att slutgiltigt kunna bedöma sprickproblemet fordras fältstudier.

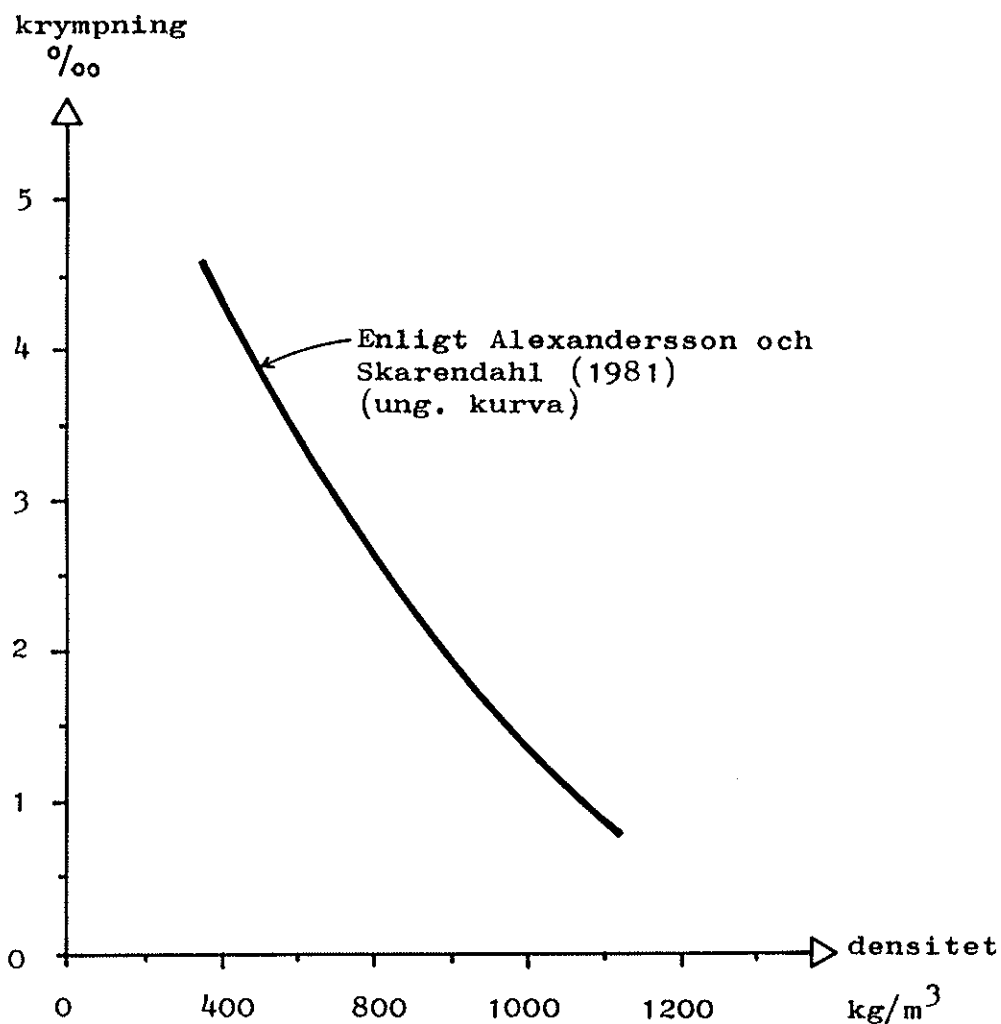


Fig 9. Krympning hos skumbetong

Längdutvidningskoefficienten för skumbetong ligger mycket nära den för cementpasta; i vissa fall, då materialet innehåller ingen eller obetydlig sandandel kan den överensstämma helt med cementpasta.

$$\alpha_t = 15 \cdot 10^{-6} - 20 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

Böjdraghållfastheten hos materialet har bestämts till 0,15 - 0,30 MPa inom densitetsområdet 200 - 600 kg/m³.

Om vi antar samma värde för ren dragning innebär detta att brott sker vid en förlängning motsvarande

$$\epsilon = \frac{0,2}{400} = 5 \cdot 10^{-4} \quad \text{respektive}$$

$$\epsilon = \frac{0,3}{600} = 5 \cdot 10^{-4}$$

Detta motsvarar en temperaturskillnad av ca

$$20 \cdot 10^{-6} \Delta T_{\text{brott}} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta T_{\text{brott}} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^{-4}}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,25 \cdot 10^2 = 25^{\circ}\text{C}$$

eller i det andra alternativet

$$15 \cdot 10^{-6} \Delta T_{\text{brott}} = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta T_{\text{brott}} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{15 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^{-4}}{3 \cdot 10^{-6}} = 0,3 \cdot 10^2 = 30^{\circ}\text{C}$$

Detta betyder alltså att 25 - 30^o temperaturdifferens ger en förlängning av 0,5 mm per m, varvid risk för brott föreligger.

Detta är givetvis en sak att beakta vid användning av skumbetong. Som material i platta på mark blir emellertid temperaturskillnaderna icke av denna storleksordning.

Temperaturskillnader kan naturligtvis orsaka sprickor. Skumbetongen är dock relativt värmetrög, beroende på sin isoleringsförmåga.

3.4 VÄRMEISOLERINGSEGENSKAPER

Ett sätt att använda skumbetong är att utnyttja materialet som underliggande isolering och konstruktionsmaterial vid platta på mark. Materialet måste dock läggas på kapillärbrytande underlag.

Ur värmeisoleringssynpunkt är det gynnsamt med så låg densitet som möjligt. Ur hållfasthets- och konstruktionssynpunkt eftersträvas en inte alltför låg densitet.

Typ av mark	$RH_{KR} 85 \%$		$RH_{KR} 90 \%$		λ -värde	
	$\gamma = 300$	$\gamma = 600$	$\gamma = 300$	$\gamma = 600$	$\gamma = 300$	$\gamma = 600$
Berg	273 mm	441 mm	273 mm	441 mm	0,13	0,21
Morän	208 mm	336 mm	208 mm	336 mm	0,13	0,21
Lera	200 mm	403 mm	169 mm	273 mm	0,13	0,21

Tabell 2. Erforderlig tjocklek hos en platta av skumbetong med hänsyn till energikrav i SBN och olika krav på fukttillstånd.

praktiskt tillämpbart
värmegenomgångstal

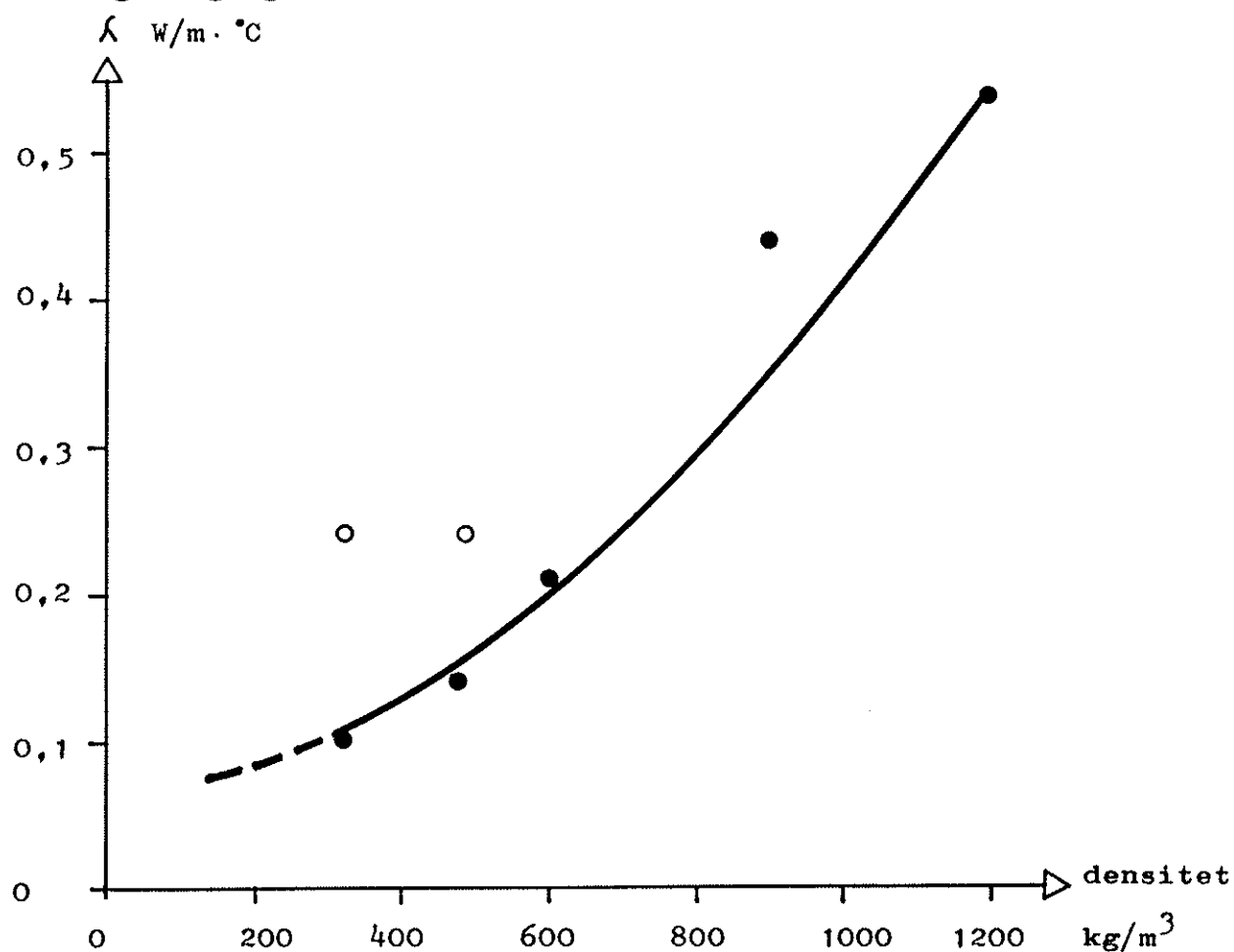


Fig 10. λ -värdet som funktion av den torra densiteten. Värdena tagna ur svenska och belgiska undersökningar.

Då det i Sverige inte existerar någon nämnvärd produktion av skumbetong har priserna på betongen beräknats med utgångspunkt från utländska erfarenheter, dock med beaktande av svenska förhållanden.

Det framgår av kalkylen att det finns goda möjligheter att få ekonomi vid användning av skumbetong i stället för normalbetong. Om man använder skumbetong som konstruktionsmaterial måste dispens sökas då BBK 79 inte omfattar skumbetong eller gasbetong.

Det är tveksamt om det är praktiskt möjligt att använda så låg densitet som 300 kg/m³; att döma av utländska erfarenheter är ca 600 kg/m³ en lämplig densitet. De vinster, som kan göras genom att utnyttja skumbetong som isolering och konstruktionsmaterial blir i så fall inte så stora, som om densiteten 300 kg/m³ kunde användas.

Försök har gjorts att kalkylera kostnaden för en betongplatta på mark, dels i normalbetong med underliggande isolering av mineralull (s k markplatta 40 mm), dels med skumbetong i olika densiteter, varvid den skummade lättbetongen tjänstgör som underliggande isolering och konstruktionsmaterial. Resultaten redovisas i kalkylen nedan.

Material	Plattans tjocklek	Isoleringens tjocklek	Kostnad totalt
Mark			
Normalbetong K25	120 mm	40 mm	22.000:-
Lera			
Skumbetong $\gamma = 600$	340 mm	-	18.000:-
Lera			
Skumbetong $\gamma = 300$	210 mm	-	12.000:-
Lera			
Skumbetong $\gamma = 600$	400 mm	-	22.000:-
Lera			
Skumbetong $\gamma = 300$	200 mm	-	12.000:-
Lera			

Tabell 3. Kostnader beräknade för en grundplatta 135 m².

3.5 EGENSKAPER UR FUKTSYNPUNKT

Skumbetong har avsevärd kapillärsugning, men har samtidigt på grund av sin permeabilitet en snabb uttorkning.

Kapilläritetsstalet k har bestämts bl a av Cementsa. Resultaten framgår av nedanstående diagram.

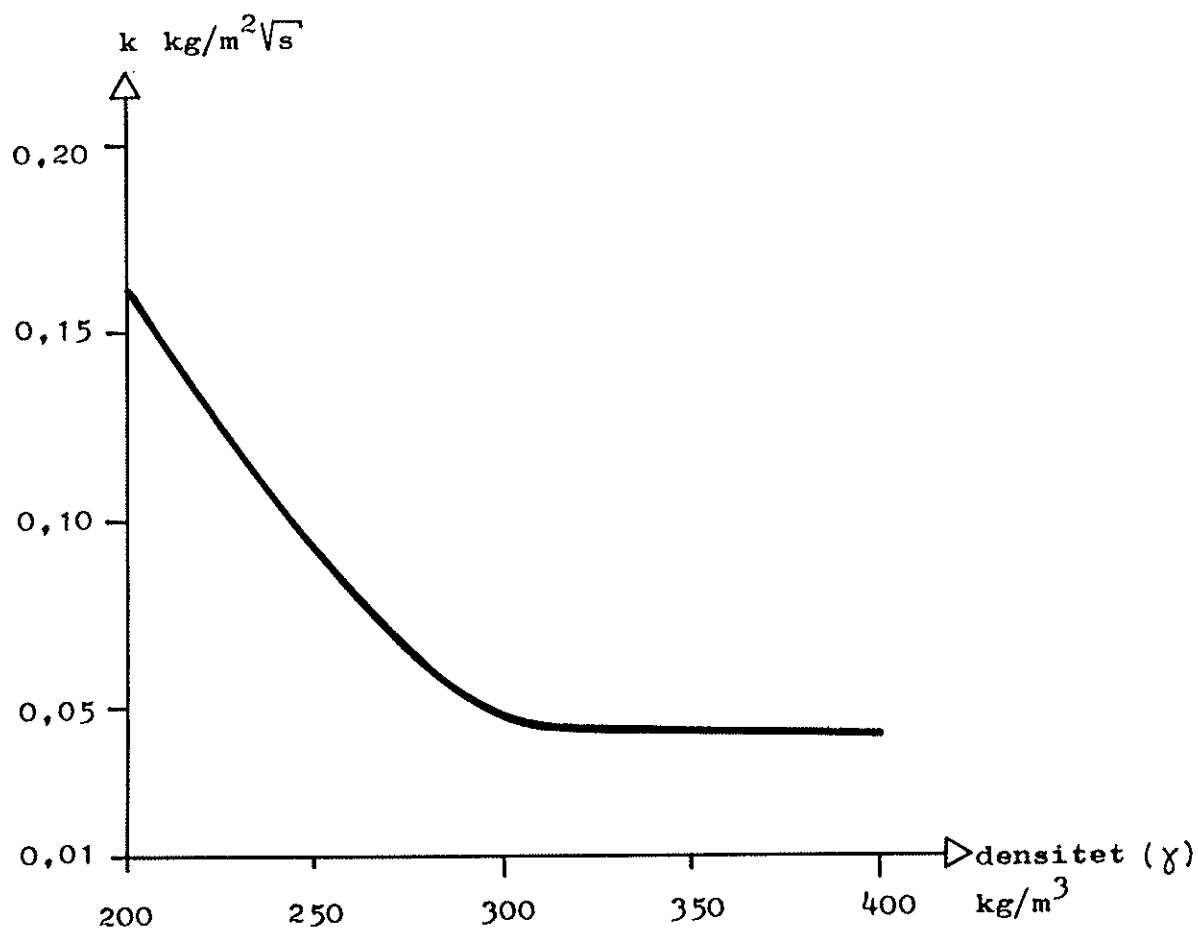


Fig 11. Kapilläritetskonstanten (k) som funktion av densiteten (γ) (1).

Densitet kg/m ³	Viktökning i g		
	2 h	4 h	1 dygn
200	50	65	70
300	45	55	60
600	40	50	60

Tabell 4. Kapillärt vatten som funktion av tiden.
Provkroppar med höjd varierande mellan 270 och 400 mm. (1).

På grund av skumbetongens höga permabilitet och därmed snabba karbonatisering är risken för korrision på armering betydligt större än för normalbetong i den mån betongens omgivande miljö har hög luftfuktighet (t ex vid placering i en husgrund).

Om kapillärsugning kan förhindras genom ett kapillärbrytande skikt, kommer fukttillståndet i skumbetongskiktets varmare del att bli gynnsammare. I en grund blir dock fukttillståndet vanligtvis inte lägre än 85 % RH, vilket även detta är högt i samband med korrosion. Som isolering i ett bjälklag över en kryppgrund torde emellertid fukttillståndet i den översta tredjedelen av isoleringen kunna gå ner till 70 % RH och något därunder.

3.6 LJUDISOLERINGSEGENSKAPER

Eftersom ljudisoleringen mot luftburna ljud huvudsakligen bestäms av materialets massa har skumbetong, på grund av sin låga densitet, dålig ljudisolering.

Egenskaperna ur ljudisoleringssynpunkt kan i övrigt jämföras med gasbetong med motsvarande densitet.

3.7 BOENDEHYGIENISKA ASPEKTER

Vissa av de tillsatsmedel, som användes, däribland de som synes ge det mest stabila skummet, är baserade på proteiner. Med hänsyn till erfarenheterna från flytspackel innehållande kasein, måste därför hänsyn tas till möjliga effekter på boendemiljön. Tillsatsmedlet i skumbetong utgör 0,1 - 0,2 volym % (eller vid densiteter mellan 300 och 600 kg/m³ 0,2 - 0,3 vikt %). Medlet är jämnt fördelat över hela massan. Det är möjligt att detta är orsaken till att inga rapporter har inkommit om problem i form av elakartad lukt och liknande i samband med användning av skumbetong. Saken bör emellertid undersökas noggrant, så att inga boendehygieniska problem uppstår i framtiden.

4. ARBETSMETODER

För de typer av skumbetong, där skummet tillverkas separat och därefter tillföres blandningen av cement, sand och vatten användes i stort följande metoder:

- a) vid mindre arbeten blandas cement, sand och vatten i en blandare varefter skummet tillföres blandningssatsen med hjälp av en s k skumpistol. Skummet blandas in i massan så att denna blir homogen
- b) vid större arbeten levereras betongen i ficka som normalbetong. Från denna ficka pumpas betongen varvid skummet, som framställs i en s k skumgenerator, tillföres blandningen i en punkt strax efter pumpen. Under passagen fram till gjutstället finns en s k statisk blandare (se fig) i vilken slutblandningen av massan sker innan den når gjutstället.

Ytterligare en variant av denna metod är att leverera sand och cement som torrbruk och blanda med vatten samt tillföra skummet på samma sätt som ovan. 10 ton torrbruk, levererat i ficka, ger 17 m³ skumbetong med densitet 600 kg/m³ alternativt 34 m³ skumbetong med densitet 300 kg/m³.

För de typer av skumbetong, där skumbildningen sker i samband med blandningen, tillsättes skumbildaren tillsammans med blandningsvattnet. För att få en homogen blandning med avsedd densitet fordras rätt typ av blandare. Det är också av vikt att blandningstiden blir den rätta. Eftersom den sistnämnda varierar beroende på material, tillsatsmedel och blandartyp måste den fastställas genom förförsök.

Någon speciell bearbetning vid gjutningen, annat än en måttlig avjämning, fordras inte för skumbetong, i varje fall inte inom området 300-800 kg/m³ i densitet.

FRAMSTÄLLNING OCH PUMPNING AV SKUMBETONG

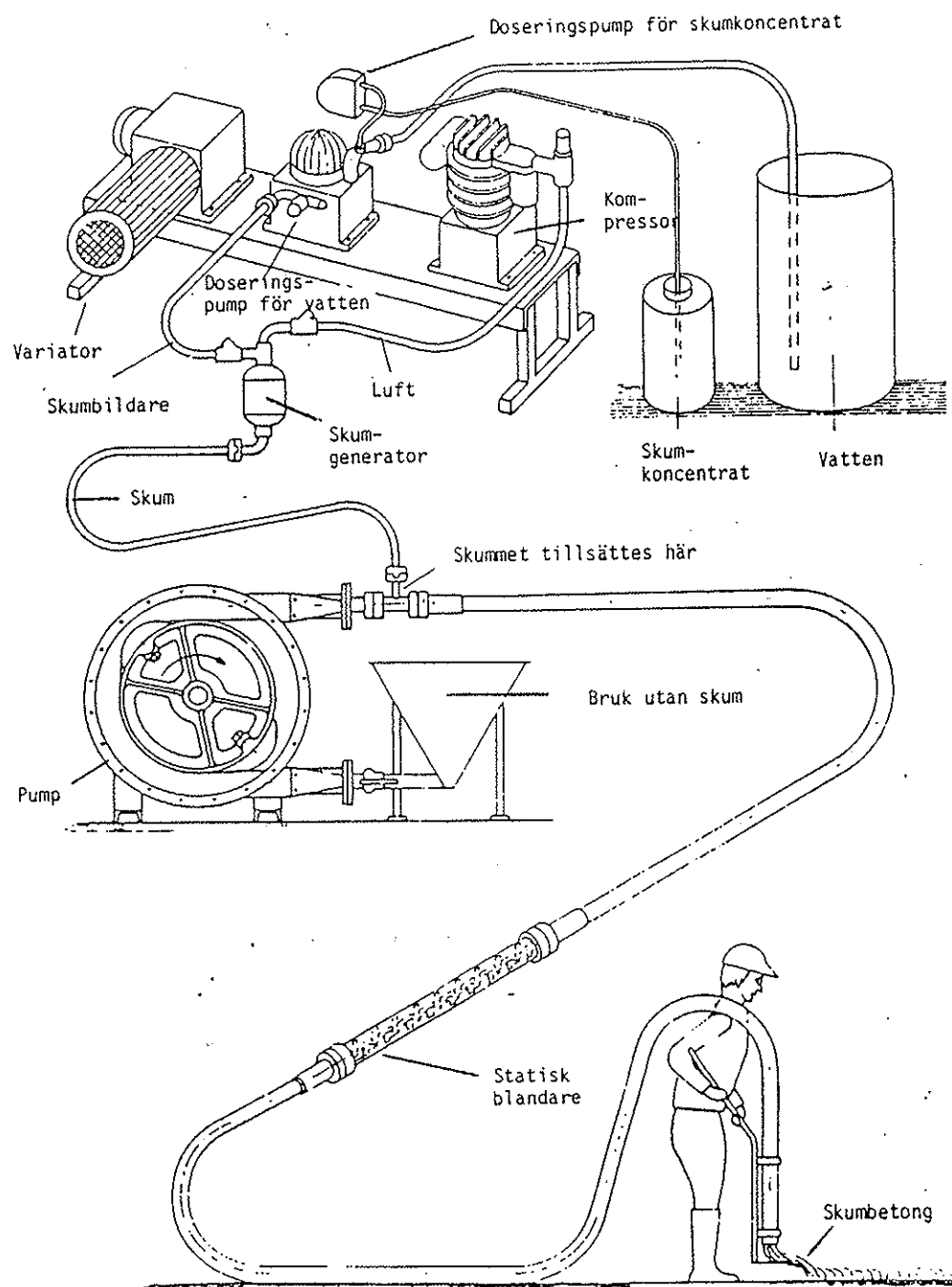


Fig 12. Ett belgiskt system för skumbetong.

5. ÖVRIG ANVÄNDNING

Skumbetong har många användningsområden. Förutom som isoleringsmaterial under grundplattor, kan det användas som isolering i kulvertar, som fyllning i speciella typer av håltegel eller element, som återfyllning vid uppgrävningar för att undvika sättningar, som isoleringsmaterial i vägar m m.

I denna rapport har redovisats användning som konstruktionsmaterial och isolering under småhus samt användning för kompensationsgrundläggning varvid man på köpet erhåller värmeisolering.

På kontinenten använder man skumbetong som motfyllnad, t ex vid brobyggnad, då man behöver lätta och stabila material.

Det finns exempel på användning som bärlager på leror och dy-jordar med låg hållfasthet.

Inom ombyggnadssektorn finns många användningsområden, där materialet har fördelar på grund av sin lätthet.

Det kan även användas som puts med värmeisolerande egenskaper vid tilläggsisolering.

Provkartan på användningsområden kan säkert utökas avsevärt.

6. EKONOMI

Eftersom materialet användes obetydligt i Sverige finns det ännu inget tillförlitligt underlag för att kalkylera kostnaden.

Med utgångspunkt från utländska erfarenheter samt med kännedom om maskinkostnader, arbetslöner och materialkostnader kan dock relativt säkra kalkyler göras.

I nedanstående tabell redovisas materialkostnader för ett antal kompositioner

Densitet kg/m ³	Sand kg/m ³	Cement kg/m ³	Tillsats- medel kg/m ³	Vatten kg/m ³	Material- kostnad kr/m ³
400	20	310	1,5	95	250:-
600	170	330	1,3	122	280:-
800	370	330	1,2	133	300:-
1 000	540	350	1,0	143	330:-

Tabell 5. Materialkostnader för skumbetong.

Kalkylerna är baserade på följande förutsättningar:

Torr sand och cement har blandats i fabrik och levereras till arbetsplatsen i ficka. Arbetsplatsen är belägen inom en radie på högst 100 km från fabrik. Endast material- och transportkostnader har kalkylerats. För anläggningar och personal vid fabrik samt utrustning och personal på arbetsplatsen har inga kostnader beräknats, beroende på att de är svåra att uppskatta. En kvalificerad gissning ger vid handen att alla kostnader inklusive påslag för vinst och risk kommer att vara ungefär dubbelt så stora som enbart materialkostnaden, d v s i storleksordningen 500 - 600:- kr per m³. I detta pris borde utrustning på arbetsplatsen i form av skumgenerator, blandare och pump kunna ingå. Vid stor produktion och hög utnyttjandegrad kommer dessa priser kunna sänkas något.

7. SAMMANFATTNING

Den redovisade utredningen visar på möjligheten att utnyttja skumbetong som isolering och konstruktionsmaterial inom småhusbyggnad.

Dessutom finns många andra användningsområden, t ex vid kompensationsgrundläggning, som isoleringsmaterial i kulvertar, som brandskydd m m.

Sedan arbetet med denna rapport startade har material och maskiner utvecklats ytterligare. Det finns numera en skumbildare på marknaden som inte innehåller de suspekta proteinerna och som enligt tillgängliga uppgifter ger bättre hållfastheter och mera gynnsamma λ -värden än övriga tillsatsmedel. Skummet verkar dessutom ha en god stabilitet. Det har inte funnits tid och medel att utsätta detta material för en kritisk granskning men om det håller vad som utlovats torde det innebära en klar förbättring gentemot tidigare kända tillsatsmedel.

Vi föreslår att som en fortsättning på denna förstudie genomföra följande:

- a) kritiskt granska i marknaden förekommande skumtillsatser, utvälja några av dessa för en laboratorieprovning, därefter starta ett fältarbete med småhus, vilket noggrant följes såväl under byggskedet som efteråt, varvid materialets egenskaper som värmeisolering och fuktskydd studeras praktiskt,
- b) under laboriearbetet beakta de möjligheter till bättre hållfasthetsegenskaper som finns genom användning av kiselstoft och dylika puzzolana material och sedan utnyttja detta under fältarbetet.

LITTERATURFÖRTECKNING

1. Cements. CM Rapport T 83013 m fl
2. S Karl och H Weigler:
Konstruktionsleichtbeton mit abgeminderter
Rohdichte. Betonwerk + Fertigteil-Technik,
Heft 9/1976
3. SKW. Foamed Concrete.
Test Report 1/83