

(19) DANMARK



(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT

(11) 163231 B

Patentdirektoratet

TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 2516/85

(22) Indleveringsdag: 04 jun 1985

(24) Løbedag: 02 okt 1984

(41) Alm. tilgængelig: 04 jun 1985

(44) Fremlagt: 10 feb 1992

(86) International ansøgning nr.: PCT/SE84/00327

(86) International indleveringsdag: 02 okt 1984

(85) Videreførelsesdag: 04 jun 1985

(30) Prioritet: 05 okt 1983 SE 8305474

(51) Int.Cl.5

C 04 B 28/00

C 04 B 16/04

C 04 B 24/00

(71) Ansøger: BENGT *HEDBERG; Dr. Heymans Gata 5; S-413 22 Goeteborg, SE, LEIF *BERTSSON; Tågmaestaregatan 10; S-416 52 Goeteborg, SE

(72) Opfinder: SAMME

(74) Fuldmægtig: Internationalt Patent-Bureau

(54) Fremgangsmåde til fremstilling af separationsstabil letbeton

(56) Fremdragne publikationer

(57) Sammendrag

og at luftporer erstatter et tilsvarende volumen sandpartikler ud over de, som kræves til luftporedannelsen.

Virkningerne tilvejebringes med multifunktionelle polymære mikropartikler, hvorpå der er adsorberet forskellige tensidsystemer. Såvel luftporerne med de fortykkede vægge som de letteste fyldstoffpartikler reducerer densitetsforskellen mellem det kontinuerlige medium og luftporer-fyldstoffkorn.

2516-85

Opfindelsen vedrører en fremgangsmåde til fremstilling af en monolitisk, hovedsagelig cementbunden beton i densitetsområdet 650-1300 kg/m³, fortrinsvis 800-1200 kg/m³, med gode støbeegenskaber til såvel støbning in situ som fabriksfremstilling. Betonen består af cementmørtel med et luftporeindhold på 7-18 volumenprocent af det totale betonvolumen, og fyldstof bestående af lette organiske eller uorganiske materialer. De mindre kornstørrelser i fyldstoffet skal vælges sfæriske, ekseptionelt lette, hydrofobe og deformationsmodstandsdygtige for, at vandindholdet skal kunne reduceres, uden at konsistensen forandres.

Betonens fremstilling er baseret på, at fyldstoffet skal have en kontinuerlig kornstørrelsesfordeling, inden for hvilken korndensiteten aftager med faldende kornstørrelse, at der ved blandingen skabes såvel små som store stabile luftporer med forstærkede og fortykkede porevægge, at cementpastaens tixotropi forstærkes,

DK 163231 B

Opfindelsen beskriver en fremgangsmåde til at fremstille en separationsstabil beton med ekstremt lav densitet og monolitisk struktur, hvilket sker ved i blandingen at skabe et stabilt luftporesystem af såvel
5 små som store luftporer, hvis vægge er fortykket ved hjælp af cementkornsflokkulering samt ved, at en mellemfraktion af fyldstoffet er erstattet med korn, der har ekseptionelt lav korndensitet. Med en passende sammensætning af fyldstoffet, hvad angår kornstørrelsesforde-
10 ling og korndensitetsfordeling samt luftporesystemets egenskaber, tilvejebringes en støbemasse med gode støbeegenskaber, såsom god flydeevne, homogenitet og separationsstabilitet. Med en passende sammensætning af fyldstof forstås også valg af en mellemfraktion med sfæ-
15 riske, ekseptionelt lette, hydrofobe og deformationsmodstandsdygtige korn, som resulterer i en vandreduktion uden en konsistensændring. I den hærdede tilstand har betonen egenskaber, der karakteriserer beton med særlig god bestandighed mod klimatisk nedbrydning.

20 Inden for betontechnologien kendes mange forskellige måder at fremstille beton med lavere densitet end almindelig beton på. En reduktion af densiteten kan tilvejebringes dels ved at øge mørtelens porøsitet, dvs. øge luftvolumenet på bekostning af faststof ved tilsæt-
25 ning af luft eller gas, dels ved at udskifte faste materialekomponenter med emner, der har mindre densitet. Eksempler på det første princip er gasbeton, hulrumsbeton og skumbeton og eksempler på det andet princip monolitisk letbeton. Endvidere kendes og udnyttes kombina-
30 tioner af begge disse metoder.

At erstatte det tunge fyldstof i normalbeton med fyldstof, der har mindre densitet, medfører flere problemer. På grund af densitetsforskellen mellem lette korn, partikelfasen og omgivende mørtel eller cementpas-
35 ta, den kontinuerte fase, indtræder der separation under håndtering og støbning. Problemet er løst i 3L-beton

ved tilsætning af en lille mængde luftporedannere i form af polymere mikropartikler. Med 3L-beton menes den beton, der er beskrevet i de svenske patentskrifter nr. 7614519-2, 7614518-4 og 8100489-7. Hulrumsbeton med let
5 fyldstof, skumbeton og gasbeton har hovedsagelig densiteter i området mellem 300 og 700 kg/m³.

US patentskrift nr. 4 157 998 beskriver en fremgangsmåde ved fremstilling af en cementmørtel indeholdende cement, faste partikler og vand, og med fint for-
10 delt gas i mørtelen i en tilstrækkelig mængde til at give mørtelen en densitet på 1200-2000 kg/m³, hvilken fremgangsmåde omfatter tilsætning til mørtelen af et partikelformet hydrofilt/hydrofobt balanceret produkt, som er kemisk inert i forhold til resten af mørtelen og
15 består af i det væsentlige sfæriske hydrofobe partikler på 0,1-1,0 µm, i en mængde på 0,2-5,0 vægt% i forhold til cementmængden. På overfladen af de sfæriske hydrofobe partikler er adsorberet en hydrofil ikke-ionisk tensid i en mængde på 0,1-5 vægt%.

20 US patentskrift nr. 4 142 910 beskriver en let strukturel betonsammensætning omfattende vand, cement og lette fyldstoffer af uorganiske, opskummede eller opblæste tilslag, som er forenelige med beton og har egenskaber svarende til en speciel størrelseskarakteristik,
25 hvor de lette fyldstoffer har korndensiteter og styrke, som øges kontinuerligt eller i mange trin med stigende korndiameter, medens kornadsorptionen samtidigt aftager kontinuerligt eller i mere end to trin. Ifølge dette skrift kan forskellen mellem densiteten af de små og de
30 større fyldstofpartikler reduceres ved hjælp af stor vandabsorption, navnlig for de små partikler.

Det er endvidere kendt at fremstille beton med lav densitet ved iblanding af fyldstof med korndensiteter under 100 kg/m³ og med kornstørrelser i området
35 0-3 mm med tungere fyldstofkorn med størrelser over 3 mm. I samtlige disse løsninger med iblanding af fyld-

stofkorn med ekseptionel lav korndensitet fås stabilitetsproblemer i den ikke-hærdede betonmasse. Dette har man forsøgt at løse på mange forskellige måder ved til-
sætning af fortykningsmiddel, luftporedannere, plasti-
ficerende og luftporedannende midler eller epoxyemul-
sioner for at tilvejebringe en klæbende overflade på de
5 lette fyldstofkorn.

I densitetsområde mellem 650 og 1050 kg/m³ mangler man i dag cementbundne betonmasser, der har gode
10 støbeegenskaber, for at kunne fremstille beton med monolitisk struktur (af det græske monos = en og lithos = sten). Frem for alt savnes betontyper, som egner sig til støbning in situ.

Formindskelse af betonens densitet gennem ud-
15 skiftning af fyldstof med høj korndensitet med fyldstof med lav korndensitet er mulig, hvad angår såvel små korn, såsom sand, som store korn, såsom sten. Den mest anvendte fremgangsmåde indebærer udskiftning af fyldstof med kornstørrelser i det grovere fyldstofområde. I det
20 finere fyldstofområde kan erstatningspartiklerne være luftporer. Med hensyn til at der i en mørtelblanding skal findes sandpartikler af størrelsen 0,2-0,6 mm for dannelse af luftporer, kan sandpartikler uden for dette område, dvs. <0,2 mm, henholdsvis >0,6 mm, erstattes med
25 luftporer. Porernes volumen styres af typen og mængden af luftporedannere, medens størrelsesfordelingen reguleres af fyldstofkompositionen og den anvendte type luftporedanner. Problemet består i en stabilisering af luftporerne, hvilket løses med opfindelsen.

30 På markedet for byggematerialer tillægges materialets bestandighed stedse større betydning. Dette gør det magtpåliggende, at man samtidig med, at man stræber efter at opnå lette materialer, skal kunne minimere den normalt uundgåelige forringelse af de tekniske egenskaber og bestandigheden. Med til den her foreliggende opfindelse hører løsningen af betonens bestandighed, såsom

evnen til at modstå klimatisk nedbrydning, som svarer til en højkvalitets normalbetons betstandighed og til og med på visse områder overgår denne.

For at opnå en monolitisk beton, hvor hulrums-
 5 volumenerne mellem fyldstofkornene er fuldstændig udfyldt, kræves et mindste volumen af bindemiddelfasen, hvori også kan indgå luftporer. Betonmassens flydeevne fordrer et vist overskud af denne kontinuerlige bindefase i forhold til, hvad der er teoretisk nødvendigt.
 10 Under hensyn til den hærdede betons egenskaber skal overskudsvolumenet dog være minimalt. En beton, der er god at støbe, dvs. har gode flydeegenskaber og er stabil, forudsætter, at fyldstoffraktionernes kornstørrelsesfordeling har en volumenmæssig kontinuert fordeling
 15 uden spring i partikelstørrelsen. Endvidere skal kornene have en omtrent sfærisk form. Teorier og modeller for kontinuerlig kornfordeling af fyldstoffet findes forskellige steder i litteraturen. Man benytter ofte den såkaldte Fuller-kurve som en rettesnor for den ønskede
 20 partikelfordeling. Af denne fremgår, at spillerummet for de forskellige delmaterialers volumenandele er temmelig begrænset.

En velkomponeret monolitisk letbeton har følgende omtrentlige sammensætning.

25	Cement	10	volumenprocent,
	vand	20	" ,
	luftporer	10	" ,
	fint fyldstof	10	" ,
	groft fyldstof	50	" .

30 Ud fra et bestandigheds synspunkt er det ikke ønskeligt at overdrive luftporevolumenet med henblik på at mindske betonens densitet. Poresystemer, der er åbne for vand, øger angrebsfladen med deraf hurtigere nedbrydning til følge. Betonens densitet bliver da, hvilket ses i
 35 den ovenstående tabel 1, hovedsagelig afhængig af fyldstoffets korndensitet. Endvidere kan det anses som

almindeligt vedtaget, at luftporesystemet gives bestemte karakteristika, såsom porevolumen, porestørrelse og fordeling for at opnå en god frostbestandighed af betonen. Oftest stiller man krav til den største afstandsfaktor, som bl.a. kræves for at beregne det mindst kritiske luftporevolumen.

Luftporene dannes under blandingen. Sandpartikler i størrelsesområdet 0,2-0,6 mm har vist sig at have en afgørende betydning for dannelsen af luftporer. Mekanismen til dannelse af luftporer er baseret på samvirkning mellem luftporedannerne, cementkornene, vandet og den nævnte sandfraktion. Sandkornene vil i blotlagte yderflader mod luft give ujævnheder. Hvor to flader ligger an mod hinanden, indkapsles luft. Sandpartikler vil så findes i nærheden af luftporerne og udgøre et geometrisk og mekanisk værn mod kollaps. Forsøg udført på teoretisk grundlag har vist, at korndensiteterne af de indgående forskellige kornstørrelser har stor betydning for betonmassens stabilitet. Det er således ønskeligt, at kornenes densitet mindskes med mindskende korn diameter. Som støtte for dette argument kan det anføres, at forholdet mellem korndensiteten af den omgivende kontinuerlige fase, cementmørtelen eller cementpastaen, partikeldiameteren og bevægelseshastigheden af kornene kan udtrykkes gennem Stokes'formel. Det normale forhold for porøse fyldstofmaterialer er, at korndensiteterne øger med faldende partikelstørrelse. Dette er særlig udpræget, når der anvendes syntetiske mineralfyldstoffer, som ved fremstillingen er sintret i roterovne til partikler, eksempelvis lette klinker. De fleste lette fyldstofmaterialer vil derfor være behæftet med en ufordelagtig korndensitetsfordeling.

Ved tilsætning af en særlig sammensat komposition af polymere mikropartikler, hvori indgår partikler med særlige egenskaber og virkningsmåder, har separationen kunne forhindres ved forstærkning af cementpastaens

tixotropi og ved en fortykkelse af cementpastaskallen omkring luftporerne.

I den hærdede beton opnås efter tørring hydrofobe egenskaber, der er jævnt fordelt i strukturen. For at
5 forhindre separation af delkomponenterne i den ikke-hærdede beton skal der tages hensyn til følgende punkter.

1. Balancering af den dynamiske og gravimetriske separation.

Den dynamiske effekt opnås eksempelvis ved vibre-
10 ring, hvorved cementpastaens viskositet falder, og hvorved fyldstofpartikler af forskellig størrelse og densitet kan bevæge sig i forhold til hinanden.

2. Forstærkning af cementpastaens tixotropi.

15 Tixotropi ytrer sig som forskel i viskositet mellem cementpastaen i hvile og under vibrering. Massen er alene tilstrækkelig letflydelig og formbar under pakningsforløbet.

3. Øgning af vedhæftningen mellem fyldstofkornene og
20 bindemiddel gennem forbedring af fugteevnen.

Dette er meget vigtigt, da fyldstofkornenes flader har lille affinitet til vand, dvs. er hydrofobe.

4. Låsningseffekten mellem fyldstofkornene.

25 For at få låsning kræves et vist minimalt volumen af grove fyldstofpartikler og en vis fordeling i forhold til de øvrige mindre partikler.

5. Stabilt luftporesystem.

Luftporerne skabes under blandingen ved mindsk-
30 ning af vandets overfladespænding eller adsorption af hydrofobe-hydrofile partikler i grænsezonen mellem luft og vand. Stabiliteten beror på styrken, deformerbarheden og diffusionstæthed af den væg, som omgiver luftporen. Luftporerne
35 øger sammen med sine vægge betonens flydeevne samtidig med, at de hindrer enkelte fyldstofpartikler i frit at bevæge sig.

Risikoen for separation er særlig stor, når fyldstofkornenes densitet adskiller sig væsentligt fra densiteten af den omgivende kontinuerte fase, når dennes viskositet er lav, som f.eks. under vibrering, og når
 5 fyldstofkornenes volumen er for lille. Den klassiske teori for betons stabilitet er baseret på tyndekraftens indvirkning på de enkelte diskrete delkomponenter og på betonens tidsmæssige forandringer under indvirkning af overlejrrede kræfter.

10 Bird, Stewart og Lightfoot har angivet en matematisk sammenhæng for partiklers bevægelse i forskellige medier, og Stokes' formel kan betragtes som et specielt tilfælde heraf. Partikelhastigheden bestemmes ifølge Stoke ved hjælp af det følgende udtryk:

15

$$v = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g}{18 \cdot \eta} \quad (1)$$

hvor d er partikeldiameteren, $\Delta\rho$ er densitetsforskellen mellem partiklerne og det kontinuerte medium og η
 20 er dettes viskositet.

Stokes' lov anvendes sædvanligvis ved betragtninger af betonsammensætningers stabilitet. Med hensyn til luftporer skal cementpastaen betragtes som matrix og med hensyn til fyldstofkornene som hele matricen, der inde-
 25 holder partikler med mindre kornstørrelse end den aktuelt studerede. Ren cementpasta har mindst viskositet, og jo flere luftporer og partikler denne tilføres, desto mere stiger viskositeten. Slutresultatet bliver, at når partikeldiameteren stiger (kvadratisk proportionalt),
 30 skal forskellene mellem partiklernes korndensitet og matricens densitet samtidig mindskes samt viskositeten øges. For letbeton opfyldes dette, hvis korndensiteterne falder med faldende kornstørrelse. De største fyldstofkorns bevægelse skal nedbringes til et minimum. Attraktionskræfterne (uens ladninger) mellem de forskellige
 35 cementkorn er forklaringen på den flokkulerede tilstand,

som almindelig cementpasta befinder sig i. Ved tilførsel af energi, eksempelvis vibrationer, nedbrydes disse attraktionskræfter, og viskositeten falder.

Det er kendt, at man kan forstærke kohæsionen og tixotropien ved at indføre små partikler med specifikke egenskaber, eksempelvis Al_2O_3 og SiO_2 .

Et af de store aktuelle problemer inden for betonteknologien er at kunne tilvejebringe stabile luftporesystemer. Konventionelle løsninger går ud på at til- sætte visse såkaldte luftporedannere, som virker i molekylær skala ved adsorption af vand og luft til fasegrænserne ved delvis hydrofobering af cementkornene eller ved udfældning og dannelse af delvis hydrofobe fnug. I samtlige tilfælde sker der en adsorption i fasegrænsen mellem vand og luft.

Formålet med opfindelsen er at tilvejebringe en fremgangsmåde ved fremstilling af letbeton med en densitet i området $650\text{--}1300\text{ kg/m}^3$, ved hvilken luftbobler kan stabiliseres ordentligt, separation kan forhindres og betonens tixotropi kan styrkes, således at der kan opnås en beton med god bestandighed.

Opfindelsen omfatter en fremgangsmåde ved fremstilling af letbeton med en densitet i området $650\text{--}1300\text{ kg/m}^3$, ved blanding af mørtel indeholdende hydraulisk cement, sand, vand, luft og fyldstof, og tilsætning af en blanding af lette organiske og/eller uorganiske materialer, omfattende polymere mikropartikler i en samlet mængde tørt materiale, svarende til $0,1\text{--}5\%$ af cementvægten, hvor den grovere del af fyldstoffet har højere korndensitet end den finere del af fyldstoffet, og er særegen ved at de polymere mikropartikler omfatter to forskellige typer,

den ene type omfatter syntetiserede polymere partikler med en diameter på $0,1\text{--}1,0\text{ }\mu\text{m}$, på hvis overflade en anionisk eller en kombination af anioniske - ikke-ioniske, kalciumstabile tensider er adsorberet i en

mængde på 0,1-5,0 vægt% i forhold til den syntetiserede polymer, og

den anden type omfatter naturlige eller syntetiserede polymere mikropartikler med en diameter på 0,5-10 μm , på hvis overflade en anioniske eller en kombination af anioniske -ikke-ioniske, ikke-kalciumstabile tensider er adsorberet i en mængde på 0,1-5,0 vægt% i forhold til den naturlige eller syntetiserede polymer.

Ifølge en foretrukket udførelsesform udgøres den finere del af fyldstoffet ekspanderede polymerer af typen polystyren, polyethen, polyurethan eller lignende med en korndensitet mellem 10 og 50 kg/m^3 og med en korndiameter mellem 0,5 og 8 mm, fortrinsvis mellem 1 og 4 mm, eller er en kraftigt ekspanderet uorganisk fin fraktion med en korndensitet mellem 40 og 200 kg/m^3 og med en tilsvarende størrelse.

Bevægeligheden i massen med fyldstof og porer ligger ved skæringsfladerne mellem partiklerne og luftporerne. Derved dannes et skallignende stærkt område omkring luftporerne, hvilket modvirker rekombineringen af luftporerne og sinker luftdiffusionen. Opbygningen af forstærkede luftporevægge under betonens blanding og den øvrige behandling i ikke-hærdet tilstand under aktiv indvirkning af multifunktionelle polymerpartikler, hvorpå der er adsorberet forskellige tensidsystemer, fremgår af den følgende beskrivelse.

Til grund for luftporesystemets forstærkning ligger udnyttelsen af forskellige polymerpartikler frem for alt stabiliseret med forskellige tensider. Polymerpartiklerne bør være indbyrdes stabile, og de kan blandes og lagres i form af én enkelt dispersion med en partikkelkoncentration mellem 10 og 50%. Den ene type består af små polymerpartikler med en diameter fra 0,1-1,0 μm og stabiliseret med en anionisk - ikke-ionisk - tensid i hovedsagen stabil over for calciumioner (divalente kationer) og høje pH-værdier (>12). De små partikler bør

være i det væsentlige sfæriske og kemiske inerte sammenlignet med de øvrige komponenter i mørtelen.

Polymerpartiklerne kan bestå af homopolymere eller copolymere med såvel hydrofobe som hydrofile grupper, fortrinsvis hydrofobe. Deres fordeling afpasses efter bl.a. tensidsystemet. Selve materialet i partiklerne kan være filmdannende eller ikke-filmdannende ved normal rumtemperatur. I den hærdede betons luftpore- og kapillarvægge dannes semipermeable polymerlag, som i kraft af deres hydrofobitet og begrænsede gennemtrængelighed påvirker betonens bestandighed i positiv retning.

Den anden indgående type udgøres af polymerpartikler, naturlige eller syntetiserede, med diametre på 0,5-10 μm , fortrinsvis 1-5 μm svarende til cementkornenes middeldiameter og stabiliseret med en eller flere anioniske, ikke-calciumstabile tensider eller over for høje pH-værdier instabile tensider. På partiklernes overflade skal der i overvejende grad forekomme hydrofobe grupper. Med disse to beskrevne polymerpartikler opnås det ønskede, nemlig at der under blandingen dannes og stabiliseres luftporer i mørtelen og betonen. Visse overfladeaktive midler, tensider, har alt efter deres opbygning evnen til at adsorberes på en overflade. Tensidernes hydrofobe ende adsorberes på flader med hydrofob karakter, såsom på hydrofobe polymerpartikler. Til sætning af cement- og fyldstofpartikler til polymerdispersionen indebærer, at der tilføres nye overflader, hvorved tensiderne via vandfasen kan flyttes fra polymeroverflader i betonen til de nye overflader, selv om den overvejende del har hydrofil karakter. Ved en sådan omfordeling af tensiderne på de nye overflader vil polymerpartiklernes hydrofobe flade øges og derved selv være i stand til at adsorberes til grænsezonen mellem vand og luft i luftporernes overflader. Afklædningseffekten kan forstærkes ved at tilføre nye hydrofobe flader til betonen, såsom polymerpartikler med ikke tidligere tensidbe-

klædte overflader. Polymerpartiklerne kan have samme størrelse som fyldstofpartiklerne eller være mindre. Overføringen og adsorptionen vokser i styrke med øget hydrofobitet, og mængden af omfordelte tensider er proportional med det hydrofobe areal. Det her beskrevne fænomen er i almindelighed knyttet til de calciumstabile tesider.

Den anden type af polymerpartikler med destabiliserbare tensider forandres hurtigt eller forvandles i kontakt med blandingsvandet, så de polymere mikropartikler ikke længere er dispergerbare. Ved at fladerne taber deres ladning eller afklædes ved udfældning af tensiden, kan de flokkulere eller på anden måde fæstnes til cement eller fyldstofkornene. Cementpastaens tixotropi vil så forstærkes.

I mørtel og beton dannes luftporesystemer med polymere mikropartikler adsorberede på luftporeoverfladerne efter samme mekanisme som ved luftporedannelsen i 3L-beton. Den yderligere effekt består af de destabiliserede polymerpartiklers indvirkning på opbygningen af forstærkede lag omkring luftporerne. Af Stokes' formel fremgår, at det er de større luftporer, eksempelvis fra 100-500 μm , som er mest påvirkelige af tyngkraften og dermed de mest separationsvillige. Under blandingen vil bevægelsen i forskydningsfladerne ske nær luftporeoverfladerne, men dog ikke gennem selve luftporerne. Som tidligere nævnt findes der allerede polymerpartikler adsorberet på disse flader. På grund af bevægelsen i nærheden af disse vil de øvrige destabiliserede polymerpartikler fæstne sig på de på overfladen adsorberede partikler og også indbyrdes, jvf. sneboldseffekten. På denne måde koncentrerer polymerpartikler på porevæggene og forstærker disse. Luftporerne skal kunne betragtes som en del af en hul partikel med polymerpartikelstabiliserede vægge af cementpasta.

Det beskrevne forhold er blevet konstateret ved studier gennem mikroskoper, og der er foretaget sammen-

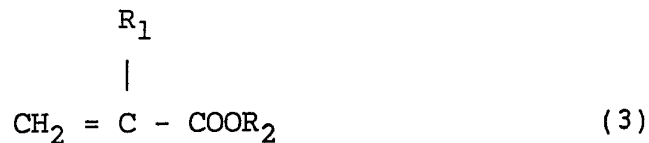
ligninger mellem flere forskellige typer luftporedannere. Der er en tydelig forskel mellem vægopbygningen ved anvendelse af konventionelle luftporedannere og alene ved anvendelsen af luftporestabiliserende polymerpartikler, hvilken forskel viser sig gennem højere eller lavere rekombinerbarhed. De såkaldte luftporepartiklers densitet eller porernes tilsyneladende densitet kan bestemmes ud fra udtrykket:

$$10 \quad \rho_{\text{por}} = \gamma_{\text{væg}} \cdot (D + 2t)^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{D+2t} \right)^3 \right] \quad (2)$$

hvor t er vægtykkelsen og D er luftvolumenets diameter. Ved tykkelsen $1/10$ af diameteren kommer luftporens øjensynlige densitet til at ligge i området 15 $600-800 \text{ kg/m}^3$, dvs. den densitet, som er normal ved anvendelse af let fyldstof.

Den centrale del af opfindelsen er de komplekst virkende polymere mikropartikler, der har til opgave at stabilisere luftporerne og betonmassen med lette fyldstofkorn. Mikropartiklerne har to forskellige størrelser og er stabiliseret med forskellige tensidsystemer. De små partikler bør være hovedsagelig sfæriske, have en partikeldiameter på $0,1-1,0 \mu\text{m}$, være kemisk inaktive over for cementmørtelens øvrige komponenter samt være 25 kendetegnet ved, at deres overflade som sådan er hydrofob, og at der på denne hydrofobe partikeloverflade er adsorberet en anionisk eller svagt anionisk (anionisk - ikke-ionisk) tensid i en mængde svarende til $0,1-5,0$ vægtprocent regnet på partiklens overflade. Tensiden 30 skal være stabil eller delvis stabil med hensyn til calciumioner og høje pH-værdier.

Som syntetiserede, polymere partikler kan anvendes en homopolymer eller en copolymer af styren og/eller en eller flere estre af acryl- eller metacrylsyre med 35 den almene formel:



hvor $R_1 = H$ eller CH_3 og $R_2 =$ et alkoholradikal med
 5 1-18 carbonatomer, såsom methylacrylat, ethylacrylat,
 propylacrylat, butylacrylat, hexylacrylat eller 2-ethyl-
 hexylacrylat, methylmetacrylat, ethylmetacrylat, butyl-
 metacrylat, hexylmetacrylat eller 2-ethylhexylmetacry-
 lat, og at der på disse polymerpartiklers overflade er
 10 adsorberet 0,1-3,0 vægtprocent regnet i forhold til par-
 tiklernes samlede masse af en anionisk eller svagt anio-
 nisk tensid eller en kombination af anionisk og ikke-
 ionisk tensid. Varianter kan være partikler, hvis hydro-
 fobe del udgøres af styren eller acrylater. I en anden
 15 variant kan partiklerne bestå af en copolymer af typen
 acryl-vinyliden-chlorid eller ren vinyliden-chlorid, på
 hvis overflade, der er adsorberet 0,1-3,0 vægtprocent af
 en anionisk tensid eller en anionisk - ikke-ionisk ten-
 sidkombination. En tredje variant af det partikelformede
 20 materiale kan udgøres af partikler af en copolymer af
 styren-butadien, på hvis overflade der er adsorberet
 0,1-5,0 vægtprocent anionisk eller anionisk - ikke-
 ionisk tensid. Endvidere kan partikelmaterialet bestå af
 polyethen, på hvis overflade der er adsorberet en anio-
 25 nisk eller anionisk - ikke-ionisk tensidkombination i en
 mængde på 0,1-5,0 vægtprocent.

Den anden del af partiklerne udgøres af den
 større type med en partikeldiameter på 0,5-10 μm , for-
 trinsvis 1-5 μm , af en syntetiseret type eller af et
 30 ikke-syntetiseret hydrofobt naturprodukt, såsom asfalt,
 på hvis flade der er adsorberet en anionisk ikke-cal-
 ciumstabil tensid. Som tensid kan eksempelvis anvendes
 forskellige former for sæbe.

De partikelformede materialer af de syntetiserede
 35 typer fremstilles lettest ved emulsionspolykerisation på
 i og for sig kendt måde, men den hydrofobe-hydrofile ba-

lance, som afspejler sig i den for partiklerne gældende ligevægt mellem hydrofobe partikler og på disse adsorberede mængder anionisk eller anionisk - ikke-ioniske tensidkombinationer af calciumstabil karakter er ikke den samme som den, der opnås ved en helt konventionel emulsionspolymerisation.

Balancen mellem de hydrofobe syntetiserede mindre partikler og de på disse partikler adsorberede mængder anionisk eller anionisk - ikke-ioniske tensidkombinationer, angiver på en relativt enkel måde så nøje som muligt den mængde tensid, der stabilt kan adsorberes på partiklernes overflade. Partikelmaterialet med den større størrelse skal være belagt med en sådan tensid, at destabiliseringen og udfældningen sker så hurtigt og så fuldstændigt, at disse partikler ikke får adsorptionsegenskaber over for fasegrænsen vand-luft. Dette er muligt ved at anvende tensider af sæbetypen. Partiklerne indgår i blandingen cementkorn og vand med en jævn fordeling og er specielt koncentreret på luftporevæggene. Forholdet mellem de små og de store partikler har vist sig at være i området 5-30%, fortrinsvis mellem 15 og 25 vægtprocent. For stor en mængde af de calciumsensitive partikler kan bevirke en øgning af det krævede vandcementtal og dermed forringe den hærdede betons egenskaber. Endvidere kan en for stor andel store polymerpartikler give inhomogeniteter i cementpastaen.

De tensider, som udnyttes til stabilisering af de mindre polymere mikropartikler er også virksomme over for vædning af fyldstofoverfladerne. Dette gælder principielt tensidtyper, der er calciumstabile. Som hydrofobe fyldstofftyper kan nævnes fyldstoffkorn af polystyren, polyethen, polyvinylchlorid m.fl. Jo større hydrofobitet overfladerne har, desto stærkere adsorberes tensiden i almindelighed. Fugtningen er en forudsætning for vandets kombinerbarhed i cementpastaen. De calciumsensitive tensider, som tilhører stabiliseringen af de

store polymerpartikler, forekommer også i fri form, dvs. uadsorberede. Ved binding af calciumioner har de tabt deres tensidvirkning, men kan give deres bidrag i form af et hydrofobt emne i cementpastaen. Det er en kendt
 5 fremgangsmåde at tilsætte sæbe for at tilvejebringe hydrofobering af beton. Det er praktisk at lade den totale mængde tilsatte polymerpartikler være afhængig af mængden af cement. De beskrevne virkninger opnås ved en
 10 tilsætning af 0,2-3,0 vægtprocent regnet på cementvægten af de samtlige indgående, definerede mikropartikelformede materialer, fortrinsvis 0,4-1,2%. På denne måde opnås et luftporevolumen i området 0,06-0,18 m³ pr.m³ total betonvolumen, hovedsagelig i området 0,08-0,12 m³ pr. m³. Det er her forudsat, at cementmængden andrager
 15 300-350 kg/m³, og at der er anvendt ren Portlandcement med en specifik overflade på 300-400 m²/kg.

De følgende forsøg viser indflydelsen af dynamisk separation i forhold til gravimetrisk separation:

1. Let fyldstof med en kornstørrelse på 4-8 mm og en
 20 korndensitet på 700 kg/m³ blandedes med styren-celleplastpartikler med en kornstørrelse på 2-4 mm og en korndensitet på 30 kg/m³ i volumenforholdet 1:1 i et kar med gennemsigtige vægge. Karret placeredes på et vibrationsbord med en
 25 frekvens på 50 Hz, og man iagttog separationsforløbet under vibreringen. Efter ca. 30 s samledes større dele af de lette polystyrenkorn i bunden af karret.
2. Normalt finsand (<2 mm) blev tilsat blandingen af
 30 de lette fyldstoffer ifølge pkt. 1. Under vibreringen kunne iagttages, at det fine sand stabiliserede blandingen, og at separationen gik langsommere.
3. Der blev fremstillet en beton med følgende sammensætning.
 35

Cement	315 kg/m ³
Sand	300 kg/m ³

16

Celleplast 2-4 mm 8 kg/m³Let fyldstof 4-12 mm 200 kg/m³Vand 170 kg/m³

samt luftporedannere i en mængde på

5 0,05% af cementvægten (5% luftindhold).

Betonen fyldtes i en betonform af vægtypen med en højde på mindst 50 cm. Efter et døgn fjernedes elementet fra formen og blev savet igennem i højderetningen. Derved kunne man iagttage en tydelig separation. De lettere polystyrenpartikler havde ved dynamisk separation forskudt sig mod elementets bund.

4. Beton med sammensætning ifølge pkt. 3, hvor den konventionelle luftporedanner var udskiftet med polymerdispersionen, der er beskrevet i de svenske patentskrifter 7614519-2, 7614518-4 og 8100489-7. Betonens indeholder et luftporevolumen svarende til ca. 10 volumenprocent. Under vibrationen vil luftporerne modvirke finstofseparationen, da luftporerne har en tendens til ikke at forlade pastaen men søge mod vibrationskilden. De tilsatte ekseptionelt lette fyldstofpartikler udgjordes i hovedsagen af ekspanderet polystyren med en partikeldiameter på 0,5-4 mm. Den tilsatte mængde polymere mikropartikler var 0,5-3% af cementvægten, fortrinsvis 0,5-1,0%. Det tilsatte volumen ekspanderede polymerpartikler var 5-55% af det lette fyldstofs volumen. Ved den beskrevne multifunktionelle mikropartikelkomposition opnåedes de følgende resultater.

FRISKBLANDET BETON.

Ved fremstillingen af betonmassen ifølge opfindelsen kan de ekspanderede polystyrenpartikler tilsættes, efter at tilsætningen af de to typer mikropartikler delvis har gjort sin tilsigtede indvirkning på de

øvrige delmaterialer. Yderligere luftporer opnås i forbindelse med befugtning af polymeroverfladen af det hydrofobe fyldstof. Konsistensintervallet for beton i densitetsområdet 700-1200 kg/m³ er et spredningsmål på ca. 30-40 cm. Tilsvarende konsistensværdier for 3L-beton er 36-42 cm. Sammenholdsevne og homogenitet kan bedømmes ved bestemmelse af spredningsmålet på samme måde som ved bedømmelse af almindelig beton eller 3L-beton. Komprimering af betonen kræver en noget reduceret og mere fordelt pakningsenergi. Ved pakning med vibrering opnåedes ubetydelig separation af såvel cementpastaens lette som tunge fyldstofpartikler. En vigtig observation er, at man nu har kunnet mindske mængden af tilsat vand i forhold til blandinger uden ekspanderede polystyrenpartikler, og man har uforandret formbarhed og sammenholdsevne. Det er i forbindelse med almindelig beton kendt, at man ved hjælp af luftporer kan mindske vandindholdet uden at ændre konsistensen. Tommelfingerreglen er, at 1% luftindholdsforøgelse reducerer vandmængden med 5 l/m³. Ved tilsætning af ekspanderede polystyrenpartikler eller lignende fyldstoffer kan vandmængden reduceres med omkring 25% regnet på summen af de indgående volumener af luftporer og ekspanderet polystyren, uden at konsistensen forandres. For betonens egenskaber i almindelighed er det vigtigt at stræbe efter at kunne mindske mængden af iblandet vand, uden at konsistensen ændrer sig. Dette har vist sig muligt at opnå ved at erstatte visse fyldstoffraktioner, som tidligere beskrevet. Kornene skal have sfærisk form og må ikke være vandabsorberende, skal endvidere have ekstremt lav korndensitet og stor deformerbarhed. Et materiale, som opfylder disse krav er bl.a. ekspanderede polystyrenpartikler med størrelser fra 0,5 mm op til noget over 8 mm. Partiklerne virker ved at give betonmassen stor mobilitet, den såkaldte kuglelejevirkning. Blandingstiderne kan holdes lave og luftporedannelsen lettes.

HÆRDET BETON

Den hærdede betons styrke følger stort set de forhold, der er angivet i Olav Bergs doktorafhandling "Armerede konstruktioner af letbeton" og kan antages at
5 være en funktion af mørtelen og fyldstoffets ækvivalente styrke og deres volumener. De gennemførte forsøg tyder på, at middelstyrkerne ligger 10-15% over de forventede værdier. Dette kan forklares ved, at de sfæriske ekspanderede polystyrenpartikler danner en stort set sfærisk
10 kavititet med en forstærket skal eller væg af cementpasta. Denne skalvirkning tyder på en positiv indvirkning på styrkeegenskaberne. Skalopbyggelse har en væsentlig lighed med den, der i det foregående er beskrevet for luftporer med de positive konsekvenser, som opnås, selv i
15 den ikke-hærdede tilstand, såsom øgning af korndensiteten. I det prøvede densitetsområde 700-1200 kg/m³ ligger trykstyrkerne i området 4,5-14,0 MPa.

Den relative styrketilvækst er større end i 3L-beton og dermed væsentlig større end i normalbeton. Som
20 en retningsværdi kan angives, at styrken efter et døgn overstiger 50% af styrken efter 28 døgn ved normal hærning.

Som særskilt fremhævede positive effekter i den hærdede beton kan nævnes:

25 Frostbestandigheden er meget god, uanset hvilken prøvemethode der anvendes og til og med bedre end den for 3L-beton gældende,

brandbestandigheden har mod forventning vist sig overraskende god. Ved høje temperaturer smelter polystyrenmaterialer og dækker hydrationsprodukterne,
30 hvorved der dannes en polymerfilm i kavitetsvæggen. Ved påsætning af en flamme direkte mod polystyrenpartiklerne i betonens overflade udvikles ikke brandbare gasser i et sådant omfang, som krævet for antænding og vedligeholdelse af en forbrænding.
35

Som retningsværdier for betonens termiske ledningsevne angives følgende værdier:

Densitet (kg/m ³)	Varmeledningstal (W/mK)
700-800	0,14-0,20
900-1000	0,18-0,28
1200-1400	0,40-0,55

5 Tilførslen af polystyrenpartikler i betonmassen medfører en mindsket vandoptagelse. Dette har til følge, at partiklerne i sig selv ikke absorberer vand, hverken i den ikke-hærdede eller hærdede beton. Et lavt vandindhold i betonen indebærer også mindre fugt og kortere
10 hærningstid.

Man kan med hensigt tilvejebringe en udsintring af polymerpartiklerne i betonens yderzoner ved lokal varmebehandling eller ved behandling med egnede opløsningsmidler.

15

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåde til fremstilling af letbeton med en densitet i området 650-1300 kg/m³ ved blanding af mørtel indeholdende hydraulisk cement, sand, vand, luft
20 og fyldstof, og tilsætning af en blanding af lette organiske og/eller uorganiske materialer, omfattende polymere mikropartikler i en samlet mængde tørt materiale svarende til 0,1-5% af cementvægten, hvor den grovere del af fyldstoffet har højere korndensitet end den finere
25 del af fyldstoffet, k e n d e t e g n e t ved, at de polymere mikropartikler omfatter to forskellige typer,

at den ene type omfatter syntetiserede polymere partikler med en diameter på 0,1-1,0 µm, på hvis overflade en anionisk eller en kombination af anioniske -
30 ikke-ioniske, calciumstabile tensider er adsorberet i en mængde på 0,1-5,0 vægt% i forhold til den syntetiserede polymer, og

at den anden type omfatter naturlige eller syntetiserede polymere mikropartikler med en diameter på
35 0,5-10 µm, på hvis overflade en anionisk eller en kombination af anioniske - ikke-ioniske, ikke-calciumstabile

tensider er adsorberet i en mængde på 0,1-5,0 vægt% i forhold til den naturlige eller syntetiserede polymer.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g -
n e t ved, at den finere del af fyldstoffet er ekspan-
5 derede polymerer af typen polystyren, polyethen, poly-
urethan, med en korndensitet mellem 10 og 50 kg/m³ og
med en korndiameter mellem 0,5 og 8 mm, fortrinsvis mel-
lem 1 og 4 mm, eller er en kraftigt ekspanderet uorga-
nisk fin fraktion med en korndensitet mellem 40 og
10 200 kg/m³ og med en tilsvarende størrelse.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n -
d e t e g n e t ved, nævnte mikropartikler med en par-
tikelstørrelse på 0,1-1,0 µm, der skal inkorporeres i
mørtelen og betonen, omfatter en homopolymer eller en
15 copolymer af styren og/eller en eller flere estere af
acryl- eller metacrylsyre med den almene formel:



20 hvor $R_1 = H$ eller CH_3 og $R_2 =$ et alkoholradikal med
fra 1-18 carbonatomer, såsom methylacrylat, ethylacry-
lat, propylacrylat, butylacrylat, hexylacrylat eller
2-ethylhexylacrylat, methylmetacrylat, ethylmetacrylat,
butylmetacrylat, hexylmetacrylat eller 2-ethylhexylme-
25 tacyrat på hvis overflade der er adsorberet calciumsta-
bile tensider.

4. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g -
n e t ved, at nævnte mikropartikler med en partikels-
tørrelse på 0,1-1,0 µm, der skal inkorporeres i mørte-
30 len og betonen, omfatter en copolymer af acryl-vinyl-
idenchlorid eller styren-butadien, på hvis overflade der
er adsorberet calciumstabile tensider.

5. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g -
n e t ved, at nævnte mikropartikler med en partikels-
35 tørrelse på 0,5-10 µm, der skal inkorporeres i mørtelen
og betonen, omfatter en polymerpartikel af asfalt, på

hvis overflade der er adsorberet ikke-calciumstabile tensider.

6. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 5, k e n -
d e t e g n e t ved, at de polymere mikropartikler på
5 hvis overflade ikke-calciumstabile tensider er adsorbe-
ret, har en partikelstørrelse på 1-5 μm .

7. Fremgangsmåde ifølge krav 1, 5 eller 6,
k e n d e t e g n e t ved, at der som ikke-calciumsta-
bile tensider anvendes sæber.