(19) DANMARK

(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT (11) 165711 B

Patentdirektoratet
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 4283/87

(22) Indleveringsdag: 17 aug 1987

(41) Alm. tilgængelig: 01 mar 1988

(44) Fremlagt: 04 jan 1993

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: 29 aug 1986 CH 3472/86

(51) Int.Cl.5 G 01 N 17/00
G 01 N 27/52

(71) Ansøger: John B. *Miller; Bergtunveien 9b; 1084 Oslo 10, NO

(72) Opfinder: SAMME

(74) Fuldmægtig: Plougmann & Vingtoft A/S

# (54) Fremgangsmåde til overvågning af virkningen af reparationer på zoner af forstærkede betonkonstruktioner

(56) Fremdragne publikationer

NO fremlskrift nr. 157033

(57) Sammendrag:

4283-87

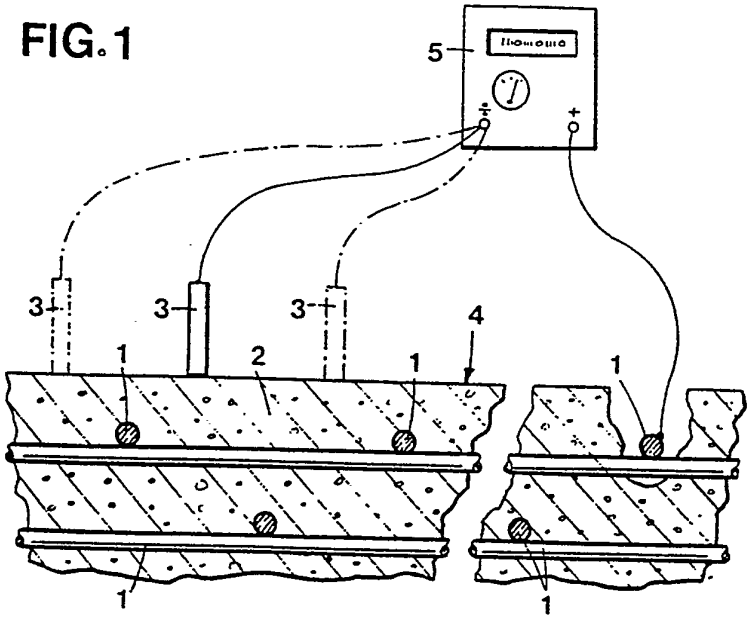
I overensstemmelse med fremgangsmåden bliver det muligt fra overfladen at lokalisere de områder af en forstærket betonkonstruktion (2), som er beskadiget eller sandsynligvis vil blive beskadiget ved korrosion af metalforstærkningselementer (1), som er indlejret i betonen med henblik på reparation af disse zoner. Det er ligeledes muligt kontinuerligt eller intermitterende at overvåge virkningen af reparationer udført på forstærkede betonkonstruktioner eller -strukturer.

DK 165711 B

fortsættes

4283-87

FIG.1



Opfindelsen vedrører en fremgangsmåde, der gør det muligt på overfladen at lokalisere de zoner på forstærkede betonkonstruktioner, som er blevet beskadiget eller sandsynligvis vil blive beskadiget ved korrosion af forstærkningselementer af metal indlejret i betonen, med henblik på reparation af disse zoner.

Opfindelsen vedrører også en fremgangsmåde, der gør det muligt kontinuerligt eller intermitterende at overvåge virkningen af reparationer udført på forstærkede betonkonstruktioner beskadiget ved korrosion af forstærkningselementerne af metal.

Korrosion af forstærkningselementerne af metal, som benyttes ved bygning af forstærkede betonkonstruktioner, medfører gradvis ødelæggelse af betonen i varierende grader. I sit slutstadium optræder denne ødelæggelse i form af revner i betonens overflader eller endog deling af betonmassen. Vanskeligheden ligger i det forhold, at det i mange tilfælde er utilrådeligt at vente indtil dette stadie, før der træffes foranstaltninger, men uden et eventuelt synligt fænomen bliver identifikation af beskadigede zoner i beton et spørgsmål om held. I dag findes der faktisk ikke nogen ikke-destruktive teknikker, som gør det muligt at lokalisere de zoner, som er beskadiget ved korrosion af forstærkningselementerne af metal, og endnu mindre de zoner, som sandsynligvis vil blive beskadiget på denne måde og på steder, hvor korrosionen af metalelementerne stadig er begrænset.

Det er velkendt, at jernholdige metaller, fx stål har en tilbøjelighed til at korrodere. Dette fænomen involverer en elektrokemisk proces, som afhænger specielt af oxygenkoncentrationen, fugtindholdet og surhedsgraden i det omgivende medium, og som kan karakteriseres ved sit elektriske potential. Det er i virkeligheden kendt at kunne måle korrosionspotentialet i stålstænger indlejret i beton ved benyttelse af en referenceelektrode, såsom en calomel-

elektrode eller en elektrode af Ag/AgCl eller $Cu/CuSO_4$-typen.

Det har overraskende vist sig, at disse målinger af korrosionspotentialet i stål med fordel kan udnyttes til lokalisering, på afstand og uden først at ødelægge massen, af de zoner i forstærkede betonkonstruktioner, som er blevet beskadiget eller sandsynligvis vil blive beskadiget ved korrosion af metalelementerne, og dermed de zoner, som har behov for reparation eller forebyggende behandling. Dette opnås ved udøvelse af den i krav 1 angivne fremgangsmåde.

Det har også vist sig, at disse målinger af korrosionspotentialer kan udnyttes til kontinuerlig eller intermitterende at overvåge virkningen af reparationer udført på forstærkede betonkonstruktioner og nærmere betegnet ved udøvelse af den i krav 1 angivne fremgangsmåde.

Opfindelsen vil i det følgende blive nærmere forklaret under henvisning til tegningen, på hvilken
fig. 1 skematisk viser en første udførelsesform for opfindelsen,
fig. 2 viser et snit gennem en indretning, som benyttes til udøvelse af fremgangsmåden ifølge opfindelsen,
fig. 3 viser en matrix over elektriske potentialer målt i overensstemmelse med opfindelsen og
fig. 4 skematisk viser en anden udførelsesform for opfindelsen.

I overensstemmelse med opfindelsen består det første trin i at foretage en række punktmålinger af det elektriske potential i metallet i forstærkningselementer 1 indlejret i beton 2 ved bevægelse af en referenceelektrode 3, fx en elektrode af $Cu/CuSO_4$-typen, med regelmæssige intervaller langs en overflade 4 med pågældende struktur eller konstruktion. I overensstemmelse med arbejdsbetingelserne vil den overflade, som er lettest tilgængelig, blive valgt til

dette formål, fx siden af en væg eller en grøft, periferien af en betonpille eller oversiden eller bundfladen af dækket på en bro.

Målingerne udføres i kontakt med den pågældende overflade, fx for hver meter, hver 50 cm eller mindre i overensstemmelse med den aktuelle situation, men som generel regel skal disse målinger foretages med regelmæssige intervaller langs to ortogonale akser (fx en x- og en y-akse). Disse målinger udføres med et konventionelt voltmeter 5, fortrinsvis et voltmeter med stor indre modstand, idet den ene af dette voltmeter 5's klemmer er forbundet til et af metalelementerne 1 i strukturen eller konstruktionen, hvilket metalelement er blotlagt eller er direkte tilgængeligt, medens voltmeterets anden klemme er forbundet til referenceelektroden 3. Elektroden 3 kan flyttes eller bevæges ved hjælp af et vilkårligt passende organ eller ganske enkelt ved hjælp af hånden. Dette vil blive mere detaljeret beskrevet nedenfor. Den foretrukne referenceelektrode er en elektrode af $Cu/CuSO_4$-typen, men det er også muligt at benytte en calomelelektrode eller en elektrode af Ag/AgCl-typen.

I overensstemmelse med opfindelsen udskrives resultaterne af de foretagne målinger på et vilkårligt egnet medium, fx tegnepapir for at opstille en todimensional matrix, såsom den i fig. 3 viste. Denne matrixtype indeholder rækker af værdier, der i placering er mere eller mindre homogene, ligesåvel som zoner, i hvilke måleværdierne varierer meget fra punkt til punkt.

Ved benyttelse af en referenceelektrode 3 af $Cu/CuSO_4$-typen viste stålstænger 1, som var indlejret i beton 2, sig at være fri for korrosion, hvis det målte elektriske potential var større end ca. -200 mV, medens der optrådte korrosion af metal ved et potential mellem -200 og ca. -300 mV. Der forekommer reel korrosion ved et potential under -300 mV. Det er således muligt ved hjælp af den ovennævnte todimen-

sionale matrix at afgrænse én eller flere overfladezoner 6, 6a, 6b, 6c..., hvor det målte elektronegative potential ligger under en grænseværdi, som i dette tilfælde er -200 mV.

I overensstemmelse med opfindelsen foretages der under overfladen og i den ovenfor angivne zone, når først overfladezonerne 6, 6a, 6b... er blevet afgrænset, én eller flere punktmålinger af det relative fugtindhold i betonmassen, idet fugtindholdet i omgivelsesluften tages som referenceværdien. Disse målinger kan udføres ved hjælp af vilkårlige konventionelle organer, fx ved brug af en elektronisk sonde, som anbringes i et forseglet hul udformet i betonmassen. Det viste sig, at et relativt fugtindhold på mere end 45% i betonen skabte et medium, som fremmer udviklingen af stålkorrosion. Disse målinger kan naturligvis foretages i vilkårlig dybde i overensstemmelse med den aktuelle situation.

I overensstemmelse med opfindelsen bestemmes de zoner af betonen, som kræver behandling, således på følgende måde:

Zoner, som sandsynligvis vil blive beskadiget ved korrosion af forstærkende metalelementer: målt elektronegativt potential med mellem ca. -200 og ca. -300 mV og et relativt fugtindhold på mere end ca. 45% (6, 6a, 6b...), og zoner, som er beskadiget ved korrosion af forstærkende metalelementer: målt elektronegativt potential under ca. -300 mV og et relativt fugtindhold større end ca. 45% (7, 7a, 7b...).

De på denne måde lokaliserede zoner kan behandles ved hjælp af konventionelle teknikker tilpasset de aktuelle forhold, specielt i overensstemmelse med den fundne grad af metalkorrosion og betonbeskadigelse. Afhængigt af det pågældende tilfælde vil denne behandling være rent forebyggende, eller en zone vil blive repareret i større eller mindre grad. Behandlingstyper, som kan nævnes, er katodisk beskyttelse,

coating eller forsegling af en del af betonen eller endog erstatning af en del af beskadiget beton med ny mørtel, eventuelt kombineret med en antikorrosionsbehandling af de pågældende metalelementer.

En behandling, som både er forebyggende (zoner, der er udsat for beskadigelse) og genopbyggende (zoner, som faktisk er beskadiget), og som er egnet til talrige situationer, består i coating af den del af overfladen, som er afgrænset i overensstemmelse med fremgangsmåden ifølge den foreliggende opfindelse eller af en større del med et polymeriseret syntetisk materiale, som fortrinsvis er uigennemtrængeligt for vand og luft, fx en epoxyharpiks eller en polyurethanharpiks.

Den til udøvelse af den ovenfor beskrevne fremgangsmåde benyttede referenceelektrode 3 er af $Cu/CuSO_4$-typen. Den omfatter en central elektrode 8, som er fremstillet af kobbermetal, og som er nedsænket i en mættet vandig opløsning 9 af $CuSO_4$, et fyldbart kammer 11, som er placeret ved elektrodens øverste ende 10, og som er nedsænket i opløsningen 9, samt en porøs prop 13, der er placeret ved elektrodens nederste ende 12, og som er i kontakt med $CuSO_4$-opløsningen 9.

Elektroden 3 omfatter også en lækagetæt prop 14 placeret ved elektrodens øverste ende og naturligvis et kabel 15 til at forbinde elektroden til voltmeteret 5. Som følge af denne nye konstruktion forbliver den porøse prop 13 permanent imprægneret med $CuSO_4$-opløsningen, og elektroden 3 kan anbringes i vilkårlig position, uden ødelæggelse af målenøjagtigheden. En vilkårlig zone af overfladen, som skal inspiceres, kan således nås på simpel måde.

I en anden udførelsesform for opfindelsen kan virkningen af de ovenfor beskrevne behandlinger overvåges kontinuerligt eller intermitterende ved følgende fremgangsmåde:

Én eller flere referenceelektroder 16 implanteres i betonmassen 2, og hver af disse elektroder er forbundet til et instrument 5 til måling af det elektriske potential, hvilket instrument i sig selv er forbundet til et forstærkende metalelement 1 indlejret i betonen 2. Som ovenfor benyttes der fortrinsvis et voltmeter 5 med stor indre modstand til måling af det elektriske potential. Som referenceelektrode 16 er det muligt at benytte en vilkårlig egnet referenceelektrode, specielt en elektrode af $Cu/CuSO_4$-typen beskrevet ovenfor. En anden fordelagtig mulighed består i at benytte en blyelektrode, som er indlejret i betonmassen på det ønskede sted. I fig. 3 angiver de med en stjerne (*) angivne steder placeringen af en blyelektrode 16. Denne elektrode er normalt forseglet i betonmassen med frisk mørtel, idet kun elektrodens ende 17 er i kontakt med betonen, medens den resterende del beskyttes af et isolerende materiale 18, fx en plastcoating.

For så vidt angår stålkorrosion viste de målte elektriske potentialer sig at være følgende:

| $Cu/CuSO_4$ | Pb |
|---|---|
| >-200 mV | >+515 mV: ingen korrosion |
| -200 til -300 mV | +515 til +415 mV: begyndende korrosion |
| <-300 mV | <+415 mV: kraftig korrosion |

Virkningen af den behandling, som er blevet benyttet i forbindelse med den beskadigede beton eller den beton, som sandsynligvis vil blive beskadiget, vil derfor være relateret til målingen af korrosionspotentialet; en sådan fremgangsmåde kan fx benyttes til at følge regressionen af korrosion i metalelementer som funktion af tid. Behovet for behandling af beton kan ligeledes detekteres i tide ved hjælp af målinger udført med regelmæssige intervaller, når først visse grænseværdier er overskredet.

Et faktisk eksempel vil i det følgende blive givet til illustration af én blandt talrige anvendelser af opfindelsen.

EKSEMPEL

Der blev foretaget elektriske potentialmålinger på bundpladen af dækket eller gulvet i en forstærket betonbro ved benyttelse af en $Cu/CuSO_4$-referenceelektrode, således som vist i fig. 2. Potentialet blev målt for hver 50 cm langs to ortogonale akser, og måleresultaterne blev optegnet på et papirmedium. Den i fig. 3 viste matrix blev således frembragt visende fordelingen af de registrerede elektronegative potentialværdier (mV).

De skraverede zoner 6a, 6b, 6c... er de zoner, i hvilke det på overfladen målte potential er mindre end -200 mV, medens den indrammede zone 7a er en zone, i hvilken det målte potential er mindre end -300 mV. Målingen af det relative fugtindhold foretaget ved hjælp af en sonde i zonen 6a, angav et relativt fugtindhold på 90%. Overfladen af den indrammede zone 7a viste sig endvidere at fremvise kraftig ødelæggelse i form af revner som følge af korrosion af metallet i forstærkningsstænger.

Til behandling af betonen blev der implanteret fire blyelektroder i betonen, i zonen 6a, idet den ene af elektroderne blev placeret i den indrammede zone 7a. Placeringen af disse elektroder er angivet med en stjerne (*), og det målte elektriske potential lå mellem +380 mV og +423 mV før behandling.

Zonen 6a (potentialet mindre end -200 mV) blev coated med en polyurethanharpiks, og efter nogle få dage steg de registrerede elektriske potentialer til ca. +560 mV. Efter at et område af betonen uden for zonen 6a også var blevet coated, nåede det målte potential efter nogle få dage +650

mV, hvilket understreger virkningen af den udførte behandling.

Forsøg har vist, at sådanne potentialmålinger er pålidelige under normale forhold indtil en dybde på mindst ca. 20 cm.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåde til overvågning, kontinuerlig eller intermitterende, af virkningen af reparationer udført på zoner af forstærkede betonstrukturer eller -konstruktioner, som er blevet beskadiget eller er udsat for beskadigelse ved korrosion af forstærkende metalelementer (1) indlejret i betonen (2)
k e n d e t e g n e t ved, at fremgangsmåden omfatter følgende trin:

a) der frembringes en række punktmålinger af det elektriske potential af metallet i de forstærkende elementer (1) ved at flytte en første referenceelektrode (3) langs betonens overflade (4) og i kontakt med overfladen, hvilke målinger frembringes ved hjælp af et instrument (5) til måling af et elektrisk potential, hvilket instrument er forbundet på den ene side til den første referenceelektrode (3) og på den anden side til et forstærkende metalelement (1),
b) der opstilles en todimensional matrix over punktmålingerne udført på denne måde,
c) matrixen bruges til at afgrænse en zone (6a) af betonoverfladen, i hvilken zone det målte elektriske potential er mindre end en given grænseværdi,
d) én eller flere andre referenceelektroder (16), der er fremstillet af bly, nedfældes i betonmassen (2), der er lokaliseret under overfladezonen (6a), idet hver af disse elektroder (16) er forbundet til et instrument (5) til måling af et elektrisk potential,

hvilket instrument i sig selv er forbundet til et forstærkende metalelement (1),

e) der udføres en reparation ved at behandle denne overfladezone (6a), og

f) ændringen i de elektriske potentialer, der måles ved hjælp af de andre blyelektroder (16), observeres for at kunne vurdere effektiviteten af den udførte behandling.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1,
k e n d e t e g n e t ved, at punktmålingerne af potentialet, der foretages med den første referenceelektrode (3), foretages med regelmæssige mellemrum langs to ortogonale akser.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2,
k e n d e t e g n e t ved, at den første referenceelektrode (3) er en elektrode af $CuSO_4$-typen, og at den afgrænsede zone (6, 6a, 6b ...) er den zone, i hvilken det målte elektronegative potential ligger under -200 mV.

4. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-3,
k e n d e t e g n e t ved, at der, efter at overfladezonen (6a) er blevet afgrænset, også foretages mindst én punktmåling af det relative fugtindhold i betonmassen, hvor den omgivende lufts fugtighed tages som referenceværdi.

5. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-4,
k e n d e t e g n e t ved, at overfladen af de zoner, som er repareret ved, at betonen er blevet retableret, coates med et syntetisk materiale efter betonens retablering.

6. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-5,
k e n d e t e g n e t ved, at en overflade, som er større

end overfladen af de reparerede zoner, coates efter retablering af betonen.

FIG. 1

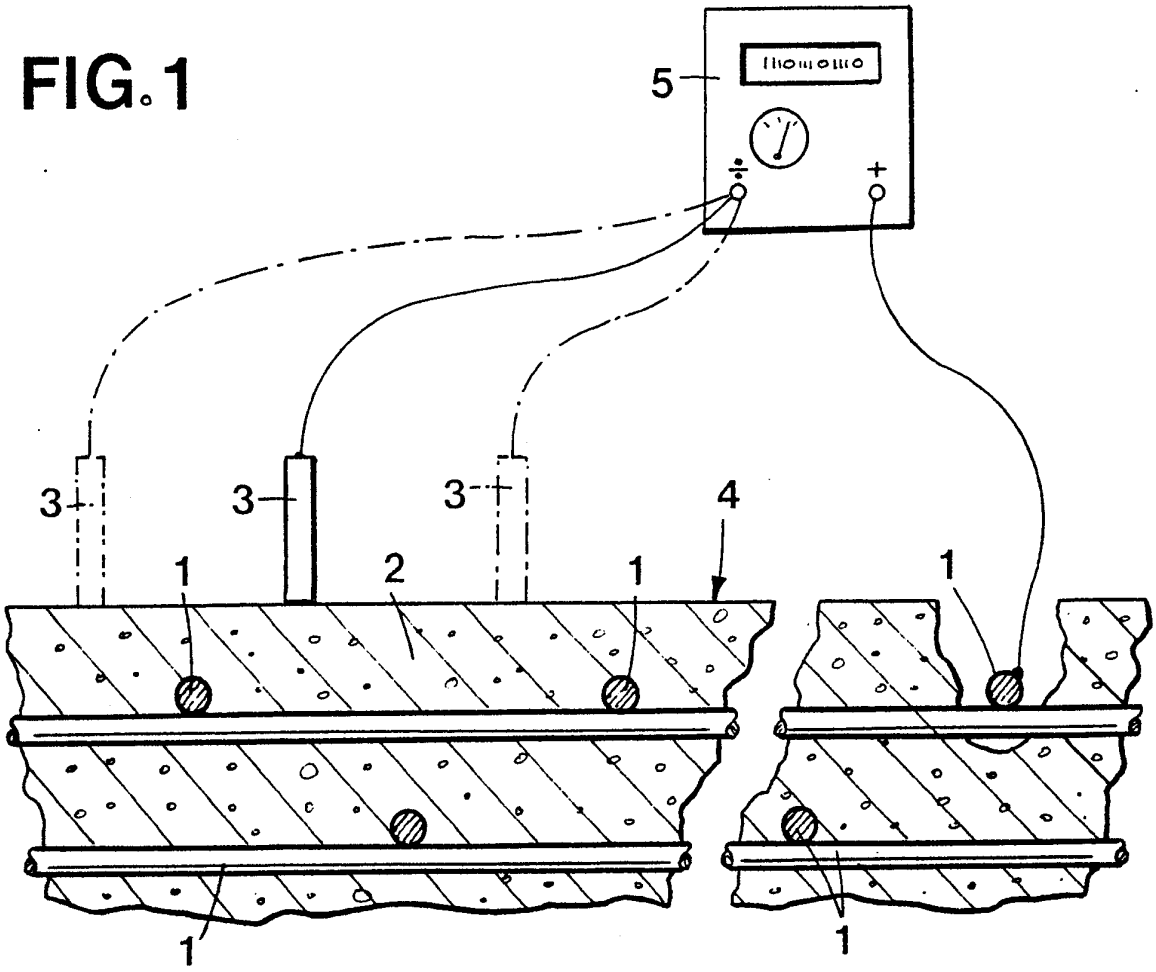



FIG. 4

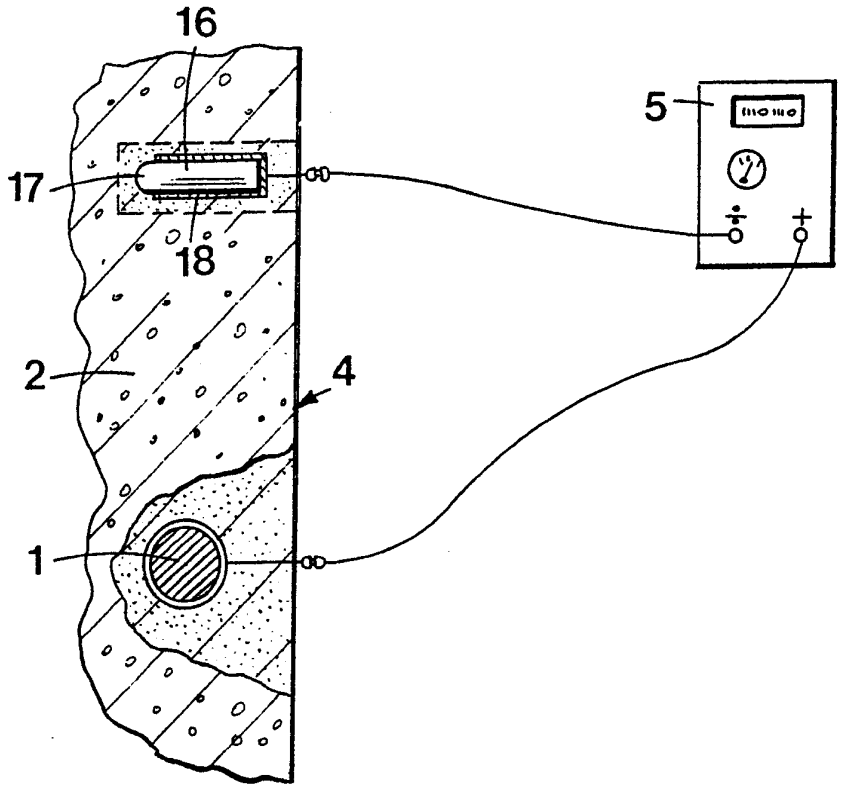
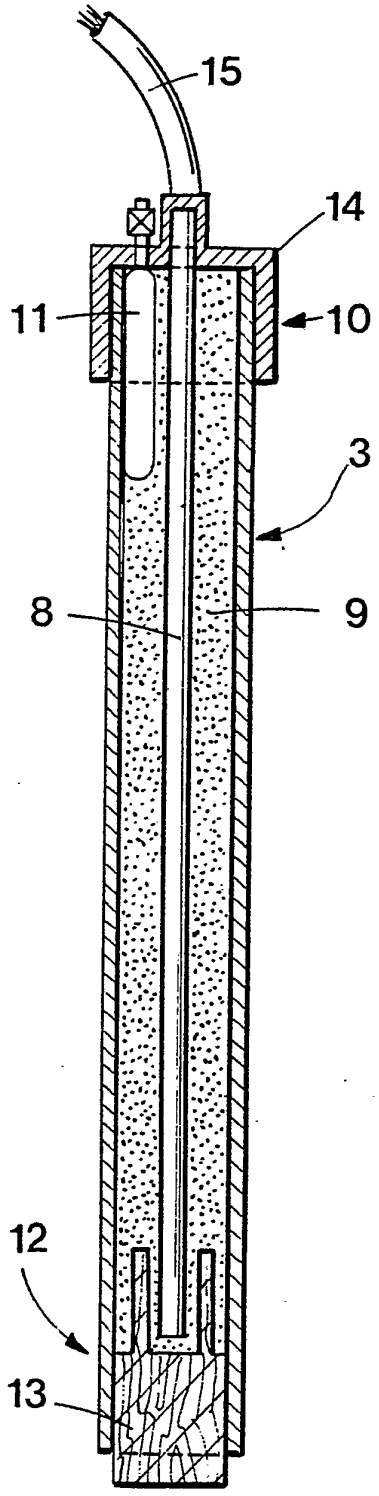
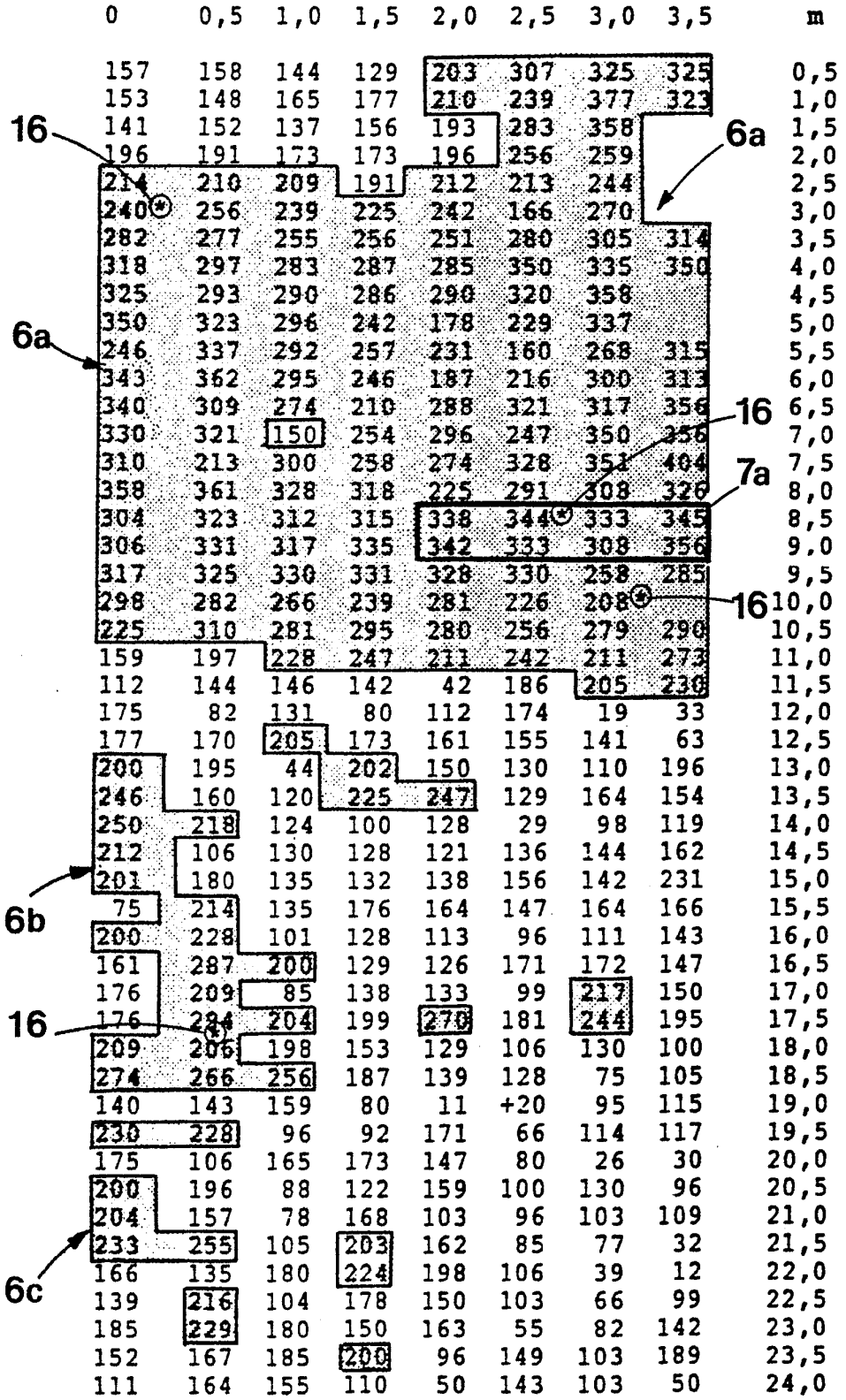


FIG. 2



# FIG. 3


0 0,5 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 m
157 158 144 129 203 307 325 325 0,5
153 148 165 177 210 239 377 323 1,0
141 152 137 156 193 283 358 1,5
196 191 173 173 196 256 259 2,0
214 210 209 191 212 213 244 2,5
240 256 239 225 242 166 270 3,0
282 277 255 256 251 280 305 314 3,5
318 297 283 287 285 350 335 350 4,0
325 293 290 286 290 320 358 4,5
350 323 296 242 178 229 337 5,0
246 337 292 257 231 160 268 315 5,5
343 362 295 246 187 216 300 313 6,0
340 309 274 210 288 321 317 356 6,5
330 321 150 254 296 247 350 356 7,0
310 213 300 258 274 328 351 404 7,5
358 361 328 318 225 291 308 326 8,0
304 323 312 315 338 344 333 345 8,5
306 331 317 335 342 333 308 356 9,0
317 325 330 331 328 330 258 285 9,5
298 282 266 239 281 226 208 10,0
225 310 281 295 280 256 279 290 10,5
159 197 228 247 211 242 211 273 11,0
112 144 146 142 42 186 205 230 11,5
175 82 131 80 112 174 19 33 12,0
177 170 205 173 161 155 141 63 12,5
200 195 44 202 150 130 110 196 13,0
246 160 120 225 247 129 164 154 13,5
250 218 124 100 128 29 98 119 14,0
212 106 130 128 121 136 144 162 14,5
201 180 135 132 138 156 142 231 15,0
75 214 135 176 164 147 164 166 15,5
200 228 101 128 113 96 111 143 16,0
161 287 200 129 126 171 172 147 16,5
176 209 85 138 133 99 217 150 17,0
176 284 204 199 270 181 244 195 17,5
209 206 198 153 129 106 130 100 18,0
274 266 256 187 139 128 75 105 18,5
140 143 159 80 11 +20 95 115 19,0
230 228 96 92 171 66 114 117 19,5
175 106 165 173 147 80 26 30 20,0
200 196 88 122 159 100 130 96 20,5
204 157 78 168 103 96 103 109 21,0
233 255 105 203 162 85 77 32 21,5
166 135 180 224 198 106 39 12 22,0
139 216 104 178 150 103 66 99 22,5
185 229 180 150 163 55 82 142 23,0
152 167 185 200 96 149 103 189 23,5
111 164 155 110 50 143 103 50 24,0
16
6a
6a
16
7a
16
6b
16
6c