

TNO-rapport

2002-CVB-R06411

Beproeversrapport oude "Benelux" betonplaat

Datum	november 2002
Auteur(s)	Ir. A.J. Breunese P.W.M. Kortekaas
Aantal pagina's	17
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Bouwdienst Rijkswaterstaat T.a.v. D.W. Hemelop Postbus 20000 3502 LA UTRECHT
Projectnaam	Brandproef "Benelux" betonplaat
Projectnummer	006.25182/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding — 3
1.1	Proefstuk — 3
1.2	Doel van het onderzoek — 3
1.3	Opdrachtgever — 3
2	Meetresultaten boorkernen — 4
2.1	Vochtgehalte — 4
2.2	Chlorideprofiel — 4
2.3	Carbonatatiediepte — 5
2.4	Hechtsterkte — 6
3	Dikte van de spuitmortel — 7
4	Brandproef — 8
4.1	Inboren van thermokoppels — 8
4.2	Verhittingscondities — 8
4.3	Metingen tijdens de brandproef — 8
4.4	Waarnemingen brandproef — 8
5	Vergelijking met oude resultaten — 9
	Bijlagen
A.	Grafiek temperatuurmeting thermokoppels oven
B.	Grafiek temperatuurmeting thermokoppels betonplaat
C.	Tabel temperatuurmeting thermokoppels betonplaat
D.	Foto's

1 Inleiding

1.1 Proefstuk

Het proefstuk voor dit onderzoek is de oude betonplaat (kwaliteit B35), oorspronkelijk vervaardigd (rond 1986) voor proeven voor de Beneluxtunnel in opdracht van Rijkswaterstaat, met afmetingen 1,2 x 1,2 meter, dikte 0,15 meter, beschermd met een laag brandwerend materiaal van het type Pyrocoat.

Over de betonsamenstelling is niets bekend, want ook in de rapporten uit 1986/1987 is hierover geen informatie opgenomen.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het onderzoek is de bepaling van de bijdrage van het passief beschermingssysteem (spuitmortel) aan de brandwerendheid van betonnen tunnels na veroudering van het materiaal.

1.3 Opdrachtgever

Bouwdienst Rijkswaterstaat
D.W. Hemelop
Postbus 20000
3502 LA UTRECHT

2 Meetresultaten boorkernen

Uit de betonplaat zijn 13 kernen geboord met een diameter van 60 mm. De hierdoor ontstane boorgaten zijn voor de beproeving van de plaat opgevuld. Met 11 van deze boorkernen zijn verschillende bepalingen verricht, waarvan de resultaten hieronder worden gegeven. 2 boorkernen zijn bewaard voor eventueel aanvullend onderzoek. De kernen zijn nat geboord, en na droging van het betonoppervlak bij kamertemperatuur direct beproefd.

2.1 Vochtgehalte

Direct na het boren van de kernen is van twee cilinders het gewicht bepaald. Op de dag van de proef zijn de cilinders gedroogd en daarna nogmaals gewogen.

Cilinder nr.	Gewicht na boren (gram)	Gewicht na drogen (gram)	Afname (% m/m)
8	704.54	682.43	3.14%
12	807.72	783.96	2.94%

Tabel 1: Gewichtsafname door droging

Het vochtgehalte van betonplaat met spuitmortel was gemiddeld dus 3.04% (m/m).

2.2 Chlorideprofiel

De uitvoering van dit deel van het onderzoek omvat de volgende stappen:

Nadat de te onderzoeken 2 kernen zijn ontdaan van de brandwerende laag aan hun bovenzijde, zijn de kernen verzaagd in 8 deelmonsters, waarbij de betreffende zaagsneden op 10, 30, 50, 70, 90, 110 en 130 mm van de bovenzijde van de kernen (brandwerende zijde) zijn aangebracht. De resulterende 8 deelmonsters per kern zijn vervolgens gebroken en vernalen. De verpoederde monsters zijn ontsloten met behulp van salpeterzuur (2,9 M), door de betreffende oplossingen twee minuten te koken (conform BSW 96-01, § 5.2.1). Na filtratie van de destrukaten zijn de filtraten gebruikt voor de chloride-analyses volgens Volhard (conform BSW 96-01, § 5.3.1) en de afgefilterde residuen voor de cementmassabepalingen.

Voor de bepaling van de cementmassa wordt het onder deze analyse-omstandigheden oplosbare deel van het monster aangemerkt als zijnde het cementbestanddeel, waarbij een correctie wordt toegepast voor een gemiddelde hydratatiegraad van het cement van 20 % (m/m) (conform BSW 96-01, § 5.2.3).

In bijgaande tabel zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven.

Naast de opgegeven monstercodering is het geanalyseerde chloridegehalte vermeld in massapercentages ten opzichte van de monster(beton)massa (Cl_B) en ten opzichte van de globale cementmassa (Cl_C).

De globale cementmassa is bepaald aan de hand van de oplosbare fractie van het monster in verdund salpeterzuur.

De meetonzekerheid, uitgedrukt in de uitgebreide meetonzekerheid (U), voor deze monsteranalyses bedraagt voor: $Cl_B \pm 0,02$ % (m/m) en voor $Cl_C \pm 0,1$ % (m/m). Zij is verkregen door de gecombineerde standaardonzekerheid u_c te vermenigvuldigen met een dekkingsfactor k gelijk aan 2. Dit komt overeen met een 95% betrouwbaarheidsinterval met ongeveer 95% dekking.

Cilinder nr.	Kerndiepte	Massapercentage chloride % (m/m) t.o.v.	
		Monstermassa Cl _B	Cementmassa Cl _C
7	0 – 10 mm	0,04	0,3
7	10 – 30 mm	0,02	0,2
7	30 – 50 mm	0,00	0,0
7	50 – 70 mm	0,00	0,0
7	70 – 90 mm	0,00	0,0
7	90 – 110 mm	0,00	0,0
7	110 – 130 mm	0,01	0,1
7	130 – 150 mm	0,06	0,6
11	0 – 10 mm	0,12	1,5
11	10 – 30 mm	0,15	1,6
11	30 – 50 mm	0,01	0,1
11	50 – 70 mm	0,01	0,1
11	70 – 90 mm	0,01	0,1
11	90 – 110 mm	0,01	0,1
11	110 – 130 mm	0,09	0,9
11	130 – 150 mm	0,13	1,0

Tabel 2: *Bepaling chlorideprofiel*

2.3 Carbonatatiediepte

Aan de hand van 2 boorkernen is de carbonatatiediepte bepaald. Dit is gedaan door de cilinders te splijten, en de carbonatatiediepte vanaf de interface spuitmateriaal-beton op acht verschillende plaatsen te meten. Ook is bij cilinder nr. 1 de carbonatatiediepte gemeten vanaf de achterzijde van de betonplaat.

Cilinder nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem.
1	13.3	16.4	12.6	13.2	15.4	11.6	15.9	13.5	14.0
2	10.7	9.3	12.7	13.4	14.2	15.7	12.8	15.0	13.0

Tabel 3: *Bepaling carbonatatiediepte vanaf interface spuitmortel - beton*

Cilinder nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	Gem.
1	15.5	19.6	19.2	19.7	19.5	20.2	17.6	15.7	18.4

Tabel 4: *Bepaling carbonatatiediepte vanaf achterzijde beton*

Uit deze waarden blijkt dat de carbonatatiediepte aan de direct aan de omgeving blootgestelde zijde groter is dan aan de met spuitmortel beklede zijde.

2.4 Hechtsterkte

De hechtsterkte van de spuitmortel aan het betonoppervlak is bepaald aan de hand van 5 boorkernen. Bij deze proeven bleek de breuk altijd in de spuitmortel op te treden, en niet op het scheidingsvlak tussen spuitmortel en beton (zie ook bijlage D foto 6). Dit feit geeft aan dat de hechting tussen spuitmortel en beton zeer goed is.

De meetresultaten zijn hieronder in tabelvorm weergegeven.

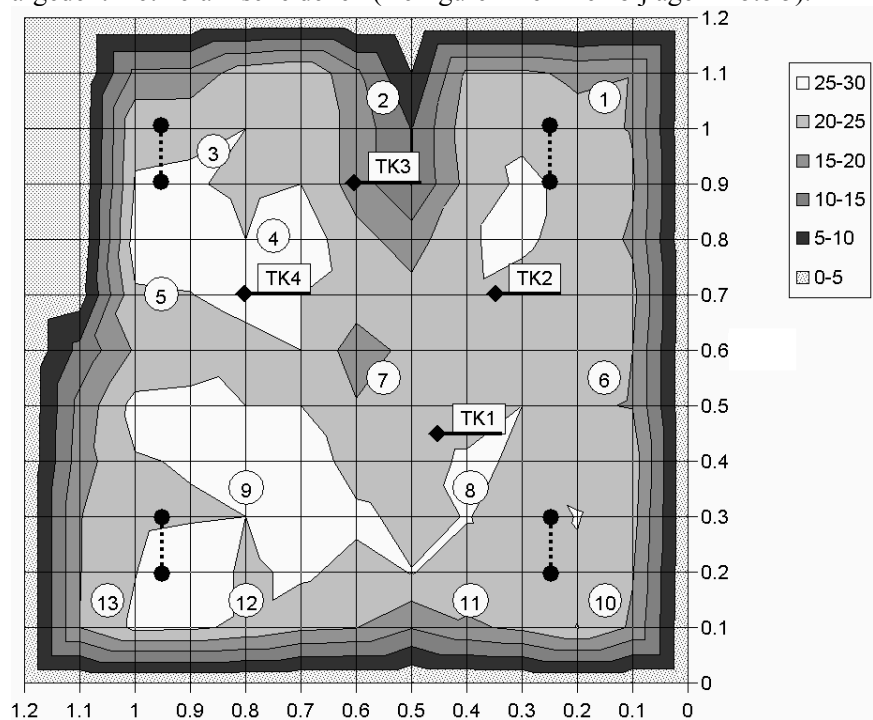
Cilinder nr.	Breuk [N]	diameter [mm]	Breuk	Sterkte [N/mm ²]
3	510	56.2	Door de laag	0.21
6	1160	56.4	Door de laag	0.46
9	810	56.2	Door de laag	0.33
10	590	56.4	Door de laag	0.24
13	775	56.1	Door de laag	0.31
Gem.				0.31

Tabel 5: Hechtsterkte bepaling

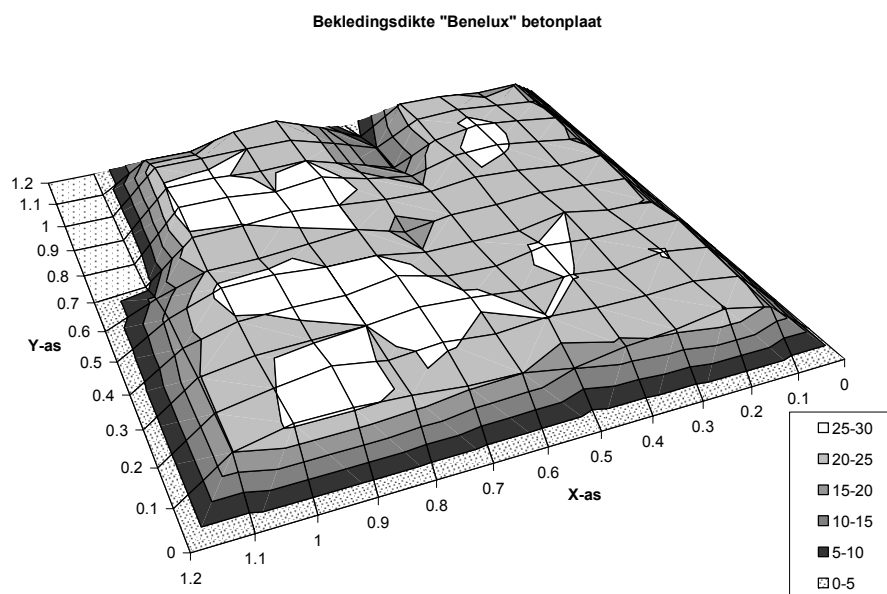
3 Dikte van de spuitmortel

Tevens zal over een stramien met tussenafstanden van 100x100 mm de dikte van de spuitmortel op de betonplaat worden gemeten en vastgelegd.

In één hoek bleek de laag beschadigd te zijn. Deze hoek is tijdens de brandproef afgedekt met keramische deken (zie figuren 1 en 2 en bijlage D foto 5).



Figuur 1: Overzicht betonplaat met locaties boorkernen, thermokoppels en hijsbeugels



Figuur 2: Dikte van de brandwerende laag

4 Brandproef

4.1 Inboren van thermokoppels

Er zijn vier thermokoppels ingeboord in de betonplaat. Deze thermokoppels zijn vanaf de onverhitte zijde ingebracht en bevinden zich ter plaatse van de interface tussen beton en spuitmortel. Dit is gebeurd op vier plaatsen met verschillende laagdiktes (voor thermokoppels 1 tot en met 4 respectievelijk 22, 24, 18 en 27 mm). De gaten, geboord voor het inbrengen van de thermokoppels, zijn opgevuld. De locaties van deze thermokoppels, genummerd 1 tot en met 4, zijn aangegeven in figuur 1.

4.2 Verhittingscondities

Het proefstuk is aan de beklede zijde verhit gedurende twee uur volgens de Rijkswaterstaat tijd-temperatuur curve, op de oriënterende oven van het Centrum voor Brandveiligheid, TNO.

4.3 Metingen tijdens de brandproef

Op het scheidingsvlak tussen bekledingsmateriaal en beton zijn gedurende twee uur verhitting volgens de Rijkswaterstaat tijd-temperatuur curve de temperaturen gemeten met behulp van thermokoppels 1 tot en met 4. Tevens zijn de gastemperaturen in de oven gemeten op 3 posities.

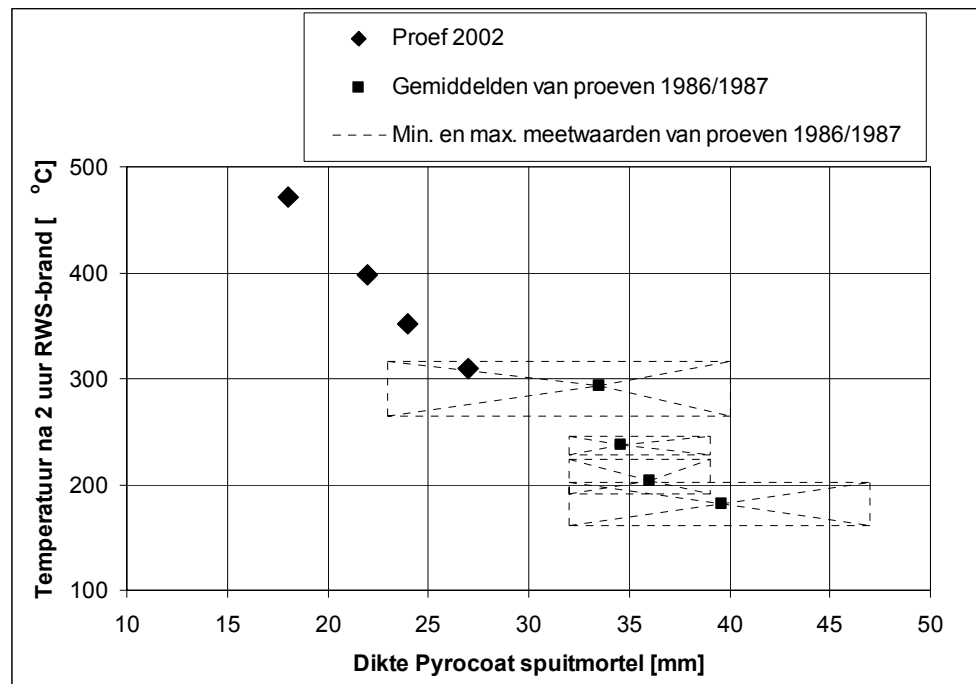
4.4 Waarnemingen brandproef

Tijdens de brandproef hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan. De gemeten temperaturen bij de verschillende thermokoppels op de interface beton-spuitmortel zijn lager naarmate de laagdikte groter is (zie ook bijlage B).

Na de proef is de brandwerende laag volledig intact (zie ook bijlage D foto 5). Wel is het oppervlak gebarsten.

5 Vergelijking met oude resultaten

In 1986 en 1987 zijn door TNO brandproeven uitgevoerd op betonplaten, beschermd met “vers” aangebrachte Pyrocoat spuitmortel (TNO-rapporten B-86-521, oktober 1986 en B-87-710, november 1987).



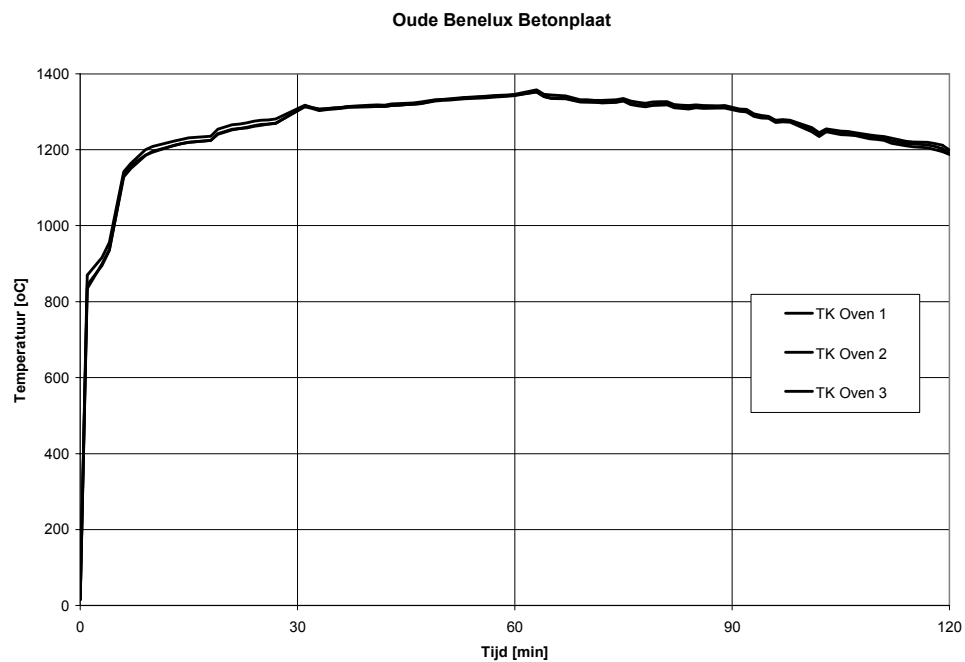
Figuur 3: Vergelijking isolatiewaarden oude en nieuwe platen

In de oude rapporten wordt vermeld dat de dikte van de spuitmortel varieert. Er worden minimale, maximale en gemiddelde diktes gegeven. Op de interface beton-spuitmortel waren telkens drie thermokoppels aangebracht. De temperaturen die daarmee gemeten zijn leveren dus ook telkens een minimale, maximale en gemiddelde waarde op. In de bovenstaande figuur is deze spreiding tot uitdrukking gebracht door gestippelde blokken rondom de gemiddelde waarde per proefstuk.

In de figuur is te zien dat de isolatiewaarde van de spuitmortel nagenoeg gelijk is gebleven, aangezien de meetpunten ongeveer op één lijn liggen.

Bijlagen

- A. Grafiek temperatuurmeting thermokoppels oven
- B. Grafiek temperatuurmeting thermokoppels betonplaat
- C. Tabel temperatuurmeting thermokoppels betonplaat
- D. Foto's

A: Grafiek temperatuurmeting thermokoppels oven**B: Grafiek temperatuurmeting thermokoppels betonplaat**

C: Tabel temperatuurmeting thermokoppels betonplaat

Tijd [min]	TK Oven 1	TK Oven 2	TK Oven 3	TK Beton 1	TK Beton 2	TK Beton 3	TK Beton 4
0	16	16	16	16	16	16	16
1	844	869	835	16	16	16	16
2	847	870	847	17	16	17	16
3	895	916	899	20	17	19	16
4	934	955	937	29	20	24	17
5	1053	1065	1048	37	25	31	20
6	1134	1142	1128	43	31	40	23
7	1158	1164	1150	47	36	49	27
8	1178	1189	1176	52	40	58	31
9	1186	1200	1185	57	45	67	34
10	1193	1209	1196	63	50	75	37
11	1203	1216	1203	69	55	82	40
12	1207	1221	1207	75	60	87	43
13	1212	1223	1211	80	64	92	47
14	1216	1227	1216	85	69	97	51
15	1220	1231	1219	89	73	99	54
16	1223	1233	1221	92	77	101	58
17	1223	1235	1223	95	80	106	62
18	1225	1236	1224	98	83	112	66
19	1242	1254	1241	100	85	118	69
20	1247	1260	1249	102	87	125	72
21	1254	1266	1253	104	89	131	76
22	1256	1267	1256	107	91	138	79
23	1257	1271	1260	110	92	144	83
24	1262	1275	1263	115	94	150	86
25	1264	1277	1266	120	96	156	90
26	1268	1279	1268	126	97	162	93
27	1269	1280	1270	133	99	167	95
28	1275	1284	1274	139	100	173	96
29	1277	1288	1279	146	100	179	98
30	1304	1306	1300	151	101	184	99
31	1315	1317	1313	157	101	190	99
32	1311	1312	1308	162	107	195	101
33	1306	1307	1303	167	112	200	103
34	1308	1308	1305	172	116	206	107
35	1309	1310	1307	176	120	211	111
36	1311	1312	1309	181	125	216	114
37	1314	1314	1311	185	129	221	117
38	1317	1319	1316	189	133	225	119
39	1314	1318	1314	193	137	229	124
40	1315	1318	1313	197	141	234	127

Tijd [min]	TK Oven 1	TK Oven 2	TK Oven 3	TK Beton 1	TK Beton 2	TK Beton 3	TK Beton 4
41	1315	1318	1314	201	145	238	130
42	1314	1318	1314	205	148	242	133
43	1316	1320	1316	209	152	246	136
44	1318	1321	1318	212	156	249	139
45	1319	1323	1319	216	159	253	142
46	1320	1324	1320	219	162	257	145
47	1321	1325	1321	223	166	262	147
48	1327	1329	1326	226	169	266	150
49	1330	1331	1328	229	172	271	153
50	1332	1333	1330	233	175	275	155
51	1333	1334	1331	236	179	280	158
52	1334	1336	1332	239	182	284	161
53	1336	1338	1335	242	185	288	163
54	1337	1339	1336	245	188	292	166
55	1338	1339	1336	250	191	296	169
56	1339	1341	1337	253	194	300	172
57	1339	1342	1339	256	198	304	174
58	1341	1343	1339	259	201	309	177
59	1342	1344	1341	262	204	313	180
60	1344	1346	1343	265	207	317	182
61	1345	1346	1344	268	211	321	184
62	1347	1349	1346	271	214	325	186
63	1352	1357	1352	274	217	330	188
64	1340	1346	1340	277	221	334	190
65	1335	1344	1337	279	224	338	192
66	1334	1342	1336	282	227	342	194
67	1334	1342	1336	285	231	346	196
68	1330	1335	1330	288	234	350	199
69	1326	1332	1326	291	237	354	201
70	1325	1331	1326	294	241	357	203
71	1326	1330	1325	297	244	361	205
72	1323	1330	1324	300	247	365	207
73	1324	1330	1325	302	251	368	209
74	1325	1332	1325	305	254	372	211
75	1328	1335	1330	308	257	375	213
76	1319	1328	1321	311	260	379	215
77	1316	1325	1318	314	263	382	217
78	1313	1323	1316	317	266	385	219
79	1316	1325	1319	319	269	388	221
80	1317	1327	1320	322	272	391	223

Tijd [min]	TK Oven 1	TK Oven 2	TK Oven 3	TK Beton 1	TK Beton 2	TK Beton 3	TK Beton 4
81	1318	1326	1320	325	275	394	226
82	1311	1319	1313	327	277	398	228
83	1308	1317	1311	330	280	401	231
84	1307	1317	1311	333	283	403	233
85	1311	1318	1312	335	285	407	235
86	1309	1316	1311	338	288	410	237
87	1310	1316	1311	340	290	413	239
88	1310	1315	1311	343	293	416	244
89	1310	1316	1312	345	295	419	249
90	1304	1311	1306	348	298	421	253
91	1301	1307	1303	350	300	424	256
92	1300	1306	1302	353	303	427	259
93	1288	1294	1291	355	305	429	261
94	1284	1290	1287	357	307	432	263
95	1283	1288	1285	359	310	434	266
96	1272	1277	1275	362	312	436	268
97	1273	1279	1276	363	314	438	270
98	1273	1278	1275	365	316	440	272
99	1267	1273	1270	368	318	442	274
100	1265	1272	1268	369	320	444	276
101	1247	1258	1252	371	322	446	278
102	1234	1245	1240	373	324	448	280
103	1248	1255	1251	374	326	450	282
104	1242	1250	1246	376	327	451	284
105	1240	1249	1244	378	329	453	286
106	1239	1248	1243	380	331	454	288
107	1237	1244	1241	381	332	456	289
108	1237	1246	1242	382	334	457	291
109	1229	1239	1234	384	336	458	293
110	1227	1237	1232	386	337	460	294
111	1225	1235	1230	387	339	461	296
112	1217	1230	1223	388	340	463	298
113	1213	1224	1219	390	342	464	299
114	1210	1222	1216	391	343	465	301
115	1208	1221	1215	393	345	466	302
116	1207	1220	1213	393	346	467	304
117	1205	1219	1212	395	348	469	305
118	1201	1217	1208	396	349	470	306
119	1195	1212	1203	397	350	471	308
120	1187	1199	1192	398	352	472	309

D: Foto's



Foto 1: Betonplaat vanaf onverhitte zijde, na kernboringen, tevens locaties thermokoppels aangegeven



Foto 2: Betonplaat vanaf verhitte zijde na kernboringen



Foto 3: Betonplaat vanaf onverhitte zijde, na opvullen gaten en aanbrengen thermokoppels

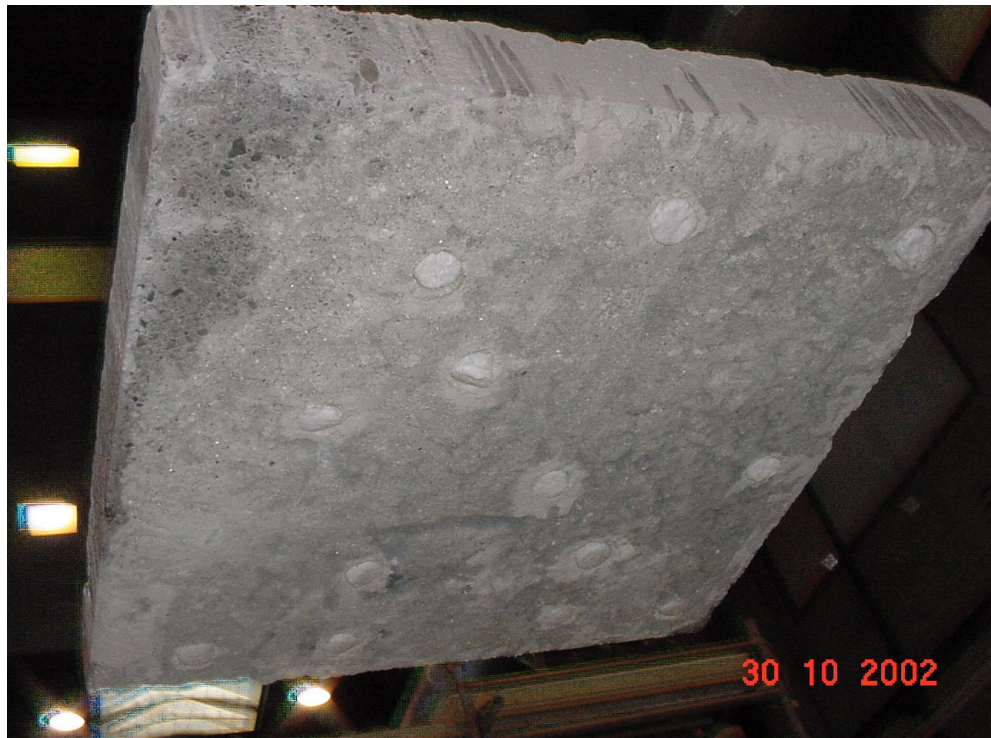


Foto 4: Betonplaat vanaf verhitte zijde na opvullen gaten



Foto 5: Betonplaat vanaf verhitte zijde na de brandproef



Foto 6: Geboorde cilinder nr. 3 na hechtsterkte bepaling