

BETON

MAANDBLAD, GEWIJD AAN WETENSCHAP EN PRACTIJK VAN HET
GEWAPEND BETON • ORGAAN VAN DE BETONVEREENIGING

BIJDRAGEN EN BRIEVEN BESTEMD VOOR BETON, TE ZENDEN AAN IR. A. H. SWEYS, DE CONSTANT REBECQUESTRAAT 96, 's-GRAVENHAGE.

Prof. F. CAMPUS (Luik).

Proeven betreffende de ontbinding van mortels en beton in zeewater sinds 1934 uitgevoerd in de voorhaven van Oostende¹⁾.

Een eerste publicatie betreffende de op initiatief van de Directie der „Bruggen en Wegen” verrichte proeven is verschenen in het Juni-nummer 1945 der *Annales des Travaux Publics de Belgique* ²⁾. Hierin werden de resultaten van de proeven van 1934 tot 1938 vermeld. In het kort moge de inhoud dezer mededelingen hier vermeld worden.

Op 20 September 1934 heeft men in de Noordzee in het toegangskanaal naar de vissershaven te Oostende, ter hoogte van halftij, 840 proefstukken van mortel $4 \times 4 \times 16$ cm en 189 betonkuben van 16 cm ondergedompeld. De volgende dag werden dezelfde aantallen proefkuben en staven in het Laboratorium van de Luikse Universiteit resp. in leidingwater en een oplossing van magnesiumsulfaat van 15 g per l geplaatst.

Deze proefstukken waren samengesteld met tien verschillende cementsoorten, door de zorgen van „Bruggen en Wegen” of het Laboratorium, genomen uit zendingen bestemd voor publieke werken. Deze cementen behoorden alle tot verschillende categorieën, volgens de normen vastgesteld door de „Commission des liants hydrauliques de l'Association belge pour l'essai des matériaux” (A.B.E.M.). Dit zijn, in volgorde van de aangegeven kenmerkende nummering:

- I. Cement P.A.D.R. (snelverhardend cement);
- II. Cement P.A.N. (normaal-cement);
- III. Trascement ($\frac{2}{3}$ P.A.N. en $\frac{1}{3}$ tras in gewichtsdelen);
- IV. Cement H.F.H.R. (hoogovencement met hoge vastheid);
- V. Cement H.F.N. (normaal hoogovencement);
- VI. Cement Permet.N. (normaal metallurgisch cement);
- VII. „Ciment sursulfate”;
- VIII. Smeltcement Lafarge;
- IX. „Ciment marin” (speciaal hoogoven cement);
- X. Trascement 50/50.

De mortels werden samengesteld uit 1.500 kg droog Rijnzand met resp. 300, 450 en 600 kg cement. De hoeveelheid mengwater bedroeg 11% van het gewicht van het droge mengsel, behalve voor cement X (trascement), waarvoor 13,1% water nodig was om dezelfde consistentie te bereiken.

Alle proefstukken van mortel betrekking hebbende op hetzelfde bindmiddel en dezelfde dosering zijn op één dag gemaakt in 4 bedden en met behulp van 100 vormen, in groe-

pen van 10 stuks. De wijze van bereiding was conform de Zwitserse normen voor de beproeving van cementen.

Het proces heeft 30 dagen geduurd. Alle cementen werden onderworpen aan normale beproevingen zoals in België gebruikelijk (trek en druk). Bovendien zijn de mortels op buiging en samendrukking na 28 dagen en op de dag van onderdompeling beproefd. Het totale aantal te onderzoeken proefstukken in mortel was minstens 2.760, overeenkomende met $4 \times 3 \times 10 (7 \times 3 + 2)$, geproduceerd, waarin:

- 4 = aantal proefstukken per proef;
- 3 = aantal doseringen;
- 10 = aantal bindmiddelen;
- 7 = aantal termijnen waarin onderzoek verloopt;
- 3 = aantal der verschillende vloeistoffen, waarin de proefstukken waren gedompeld;
- 2 = proef na 28 dagen en aanvangsproef.

In werkelijkheid zijn 3.000 proefstukken gemaakt, ten einde reserve met het oog op breuk te hebben. Een paar proefstukken van mortels met 300 kg betrekkelijk langzaam verhardend cement, zijn gebroken bij de ontkisting, maar de reserve is steeds voldoende gebleken. De proefstukken, die na 24 uur uit de vormen werden genomen, werden tot de 28e dag na de aanmaak van de laatste serie in vochtig zand bewaard.

De proefstukken in beton waren a.v. samengesteld:

Maasgrind 5/20	1.250 kg
Rijnzand 0,2	630 kg
cement	350 kg
water	158 kg

Men heeft alle cementen gebruikt met uitzondering van „X”. Rekening houdende met de drukproeven na 28 dagen en op de dag na de „tewaterlating”, moesten minstens gemaakt worden:

$$3 \times 9 (3 \times 7 + 2) = 621 \text{ proefstukken.}$$

In werkelijkheid zijn er 648 gemaakt en de aanvangsbeproeving is op 6 proefstukken uitgevoerd.

De 72 kube-vormige proefstukken voor elke cementsoort werden per 24 per dag gemaakt. Voor de 9 cementsoorten heeft de aanmaak 27 dagen geduurd.

Tegelijkertijd met de kuben heeft men voor elke cement 6 cilindervormige proefstukken volgens de Amerikaanse normen (diameter 6'', hoogte 12'') in gewapend beton aangemaakt. Wapening 4 staven ϕ 10 mm, betondekking resp. 1, 2, 3 en 5 cm.

De proefstukken van mortel, beton en gewapend beton zijn in stevige, zijdelings geopende kisten geplaatst en tezamen in de zee gedompeld, ongeveer ter hoogte van halftij, met uitzondering van een kist met gewapend beton, die bij de sluis, die toegang geeft tot de Marine-haven, onder laag water is aangebracht en een kist met gewapend beton, die alleen aan de zeelucht boven hoogwater is blootgesteld.

De verdeling van de proefstukken over de kisten was zodanig, dat alle cementen aan geheel overeenkomstige omstandigheden waren geëxposeerd, waar elke kist een com-

¹⁾ Verslag van de voordracht op 15 April 1947 voor de Betonvereniging gehouden.

²⁾ F. CAMPUS, R. DANTINNE, E. VERSCHOORE, J. DOOMS et J. VERSCHAVE: „Constatations récentes et précautions nouvelles à l'égard de la décomposition des mortiers et bétons dans l'eau de mer.” De tekst van deze publicatie was in 1939 vastgesteld om als rapport te dienen voor het Internationale Scheepvaartcongres, dat in 1940 in Berlijn zou gehouden worden. Waar dit congres niet heeft plaats gevonden, werd de publicatie tot 1945 uitgesteld.

pleet stel proefstukken van alle cementen bevatte (behalve voor IX en X, die later aan het oorspronkelijk programma werden toegevoegd en in afzonderlijke kisten waren ondergebracht). Voor elk onderzoek was het dus voldoende een bepaald aantal kisten los te maken en steeds hetzelfde aantal. Wat de mortels betreft, was de verdeling in de kisten zodanig, dat de mortels met 300 kg cement zich het meest in het midden van de kist bevonden, dus zoveel mogelijk beschermd, daarna kwamen de mortels met 450 kg, terwijl die met 600 kg cement het meest naar buiten lagen en dus het meest blootgesteld waren.

De proefstukken zijn in verband met de duur van hun aanmaak, niet even oud geweest toen zij te water werden gelaten. Hun volgorde van aanmaak is die, overeenkomende met de nummering I tot VIII, welke werd aangenomen in de vooronderstelling, dat deze overeenkwam met de resp. weerstanden tegen de aantasting door zeewater. De cementen, waarvan verondersteld werd, dat zij de minste weerstand zouden hebben, waren dus bevooroordeeld. Het meest ongunstig waren de omstandigheden voor de cementen IV, V, VI en VII met betrekkelijk lange verhardingstijd, waarvan de aanvangsvastheden getuigen, die de dag na de onderdompeling werden gevonden. De cementen IX en X zijn aan de serie toegevoegd en eerst 5 October 1934 in zee gelaten. Het oorspronkelijk programma had gerekend op beproevingen na 5 maanden in zeewater (1935), na 11 maanden (1935), na 25 maanden (1936), na 47 maanden (1938) en na 71 maanden (1940). Twee extra series proefstukken waren gereserveerd om onderzocht te worden op data nader vast te stellen, nadat de resultaten der voorafgaande proeven bekend zouden zijn. De beproevingen van 1940 konden door de oorlog geen doorgang vinden en zijn uitgesteld tot October 1945, dus tot elf jaar na de tewaterlating. De kisten zijn in goede staat aangetroffen, ondanks de belangrijke verwoestingen in de havens van Oostende. Zij zijn in 1945 onderzocht en de twee overblijvende series kunnen nog lange jaren onder water blijven. De proefstukken, die in het laboratorium in leiding- en sulfaat-houdend water werden bewaard zijn ook intact, hoewel de laboratoria door luchtbombardementen zwaar zijn beschadigd. De proeven kunnen dus doorgaan en de oorlog, die de duur daarvan heeft verlengd, zal tot resultaat hebben, dat het belang en de doeltreffendheid nog vergroot werden. De volgende tabellen vertonen de resultaten der beproevingen van 1945, evenals die der voorafgaande, volgens programma verlopen. Het is hierbij opmerkelijk, dat de nieuwe resultaten veel meer karakteristiek zijn dan de voorafgaande.

Conform het programma worden bij elke beproeving buig- en drukproeven op de cementmortels en drukproeven op de betonkuben verricht. De betoncilinders worden niet beproefd, doch alleen op het oog gekeurd. Soortgelijke cilinders worden in het laboratorium in zand, bevochtigd met leiding- en sulfaathoudend water bewaard, evenals een serie, welke alleen aan de lucht is blootgesteld.

De verschillende cementen zijn in 1934 en 1935 onderworpen aan een tamelijk uitgebreid programma proeven met het oog op hun gedrag in zeewater: chemische analyse; de proef van ANSTETT betreffende de weerstand tegen calciumsulfaat; de indringing van diverse soorten water, met name sulfaathoudende; krimp; warmteontwikkeling bij verharding etc. Bovendien vonden de gebruikelijke keuringen bij ontvangst plaats.

Wij geloven goed te doen hier de tabel betreffende de chemische analyse, voorkomende in de vroeger vermelde publicatie te vertonen.

Resultaten der mechanische beproevingen.

De Tabellen II, III, IV, V, VI en VII vatten de resultaten der buig- en drukproeven op mortels tot 11 jaar oud samen;

Tabel VIII bevat de resultaten der drukproeven op de diverse betonsamenstellingen. Zij verschillen van de overeenkomstige tabellen in de vroeger genoemde publicatie in zoverre, dat men als punt van vergelijking de aanvangs-

TABEL I.
Chemische analyse.

Ciments	Perte au feu	% CaO	% SiO ₂	% R ₂ O ₃	% MgO	% SO ₃	% S
I. P.A.D.R.	2,53	65,10	21,05	8,16	1,08	2,16	—
II. P.A.N.	5,2	61,10	19,55	12,2	0,44	1,78	—
III. $\frac{2}{3}$ P.A.N. + $\frac{1}{3}$ Trass	6,8	41,40	30,62	17,88	0,55	1,2	—
IV. H.F.H.R.	3,92	51,90	22,40	16,25	1,39	2,35	1,60
V. H.F.N.	2,50	41,70	23,80	25,20	2,11	2,38	1,85
VI. Permét. N. . . .	3,42	46,30	23,95	18,10	2,81	2,93	1,95
VII. Sursulfaté . . .	8,80	38,90	24,10	16,50	2,94	6,67	2,12
VIII. C. fondu Lafar- ge	0,6	40,15	6,08	51,70	0,20	1,30	—
IX. C. Marin	4,68	40,50	25,50	20,40	2,10	2,95	2,19
X. Trasscement 50/50	9,37	38,60	32,10	16,38	1,12	2,37	—
Trass.	10,06	2,01	52,68	29,99	0,8	—	—
Trass.	3,2	—	—	—	—	—	—

beproevingen, dus die daags na de eerste onderdompeling verricht, heeft aangenomen, derhalve na resp.:

van 52 tot 50 dagen voor mortels en beton van cement I

.. 49 .. 47	II
.. 46 .. 44	III
.. 43 .. 41	IV
.. 40 .. 38	V
.. 37 .. 35	VI
.. 34 .. 32	VII
.. 31 .. 29	VIII
.. 34 .. 32	IX
.. 31 .. 29	X

Tabel IX geeft de waarden van de quotiënten der weerstanden der proefstukken in zeewater en in leidingwater na 11 jaar voor de verschillende cementen aan.

Samenvatting der waarnemingen op de proefstukken na 11 jaar.

De proefbalkjes van mortel met 300 kg per m³ zand zijn over het algemeen uit de kisten in uiteengevallen toestand gekomen. Van de proefstukken 11 en 31 (cementen I en III) was het zelfs niet meer mogelijk brokken te verzamelen, die voor de chemische analyse bruikbaar waren. In alle andere gevallen heeft men de uiteinden der proefstukken, verpakt in de cellen der kisten, vrijwel intact aangetroffen, hetgeen wel wijst op de mechanische inwerking van het zeewater en van weer en wind. Andere proefstukken (51, cement V) waren verworden tot in het midden zeer „vermagerde” staven, soms ook in het midden gebroken (101, cement X en andere). De proefstukken 41 (cement IV) waren minder verweerd, deze behielden nog een zekere weerstand. Maar hun vorm was zodanig gewijzigd, dat de weerstand tegen buiging en vooral tegen druk daarvan niet veel betekenis meer hadden.

De proefstukken 81 (cement VIII) waren op het oog nog intact, maar hun breuk wees een zeer matige weerstand aan, terwijl de breukvlakken duidelijk degeneratieverschijnselen vertoonden.

De mortels met 450 kg cement per m³ zand hadden zich over het algemeen beter gehouden, maar het merendeel was toch nogal aangetast. De proefstukken 12 (cement I), 32 (cement III), 102 (cement X) en 22 (cement II) waren gebroken of hadden een weerstand 0 of bijna 0. Het meest aangetast waren vervolgens 42 (cement IV), 62 (cement VI) en 72 (cement VII), waarvan de ribben afgestompt en zelfs de zijvlakken licht aangetast waren, vooral dat zijvlak, hetwelk niet bekist was geweest. De buigproeven op deze proefstukken hebben nog wel enige betekenis; de drukproeven

TABEL IV.
Buigproeven op plastische mortel met 600 kg cement per m³ zand.
1 = Zee-water.
Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.
3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²						
			Na een onderdempeling gedurende						
			bij aanvang	5 maanden	11 maanden	23 maanden	41 maanden	11 jaar	
I.	1	1	64,4	72,8	76,2	80,1	81,5	0	
	2	2		80,0	87,0	75,5	74,8	72,8	
	3	3		72,8	70,3	83,7	89,3	91,9	
II.	1	1	64,4	71,0	71,5	72,9	85,1	36,9	
	2	2		71,8	84,0	92,3	93,8	79,5	
	3	3		70,6	75,1	80,5	90,1	92,3	
III.	1	1	61,5	70,8	80,3	83,1	66,7	0	
	2	2		66,4	77,4	86,1	81,6	103,0	
	3	3		67,0	62,3	71,9	72,9	78,9	
IV.	1	1	64,0	80,8	80,0	89,9	89,6	82,3	
	2	2		75,3	78,2	83,4	98,8	100,5	
	3	3		67,1	69,4	74,3	83,1	85,6	
V.	1	1	63,6	70,8	81,1	90,5	105,7	91,5	
	2	2		80,0	84,5	94,0	109,2	108,8	
	3	3		72,9	66,1	79,4	82,8	88,5	
VI.	1	1	62,5	73,9	82,6	93,3	106,1	75,0	
	2	2		75,2	79,3	90,2	95,0	106,0	
	3	3		64,4	67,3	68,5	73,7	79,5	
VII.	1	1	79,1	88,0	102,6	121,0	112,7	107,1	
	2	2		90,2	96,4	118,0	116,8	127,3	
	3	3		86,0	88,8	92,4	97,5	104,1	
VIII.	1	1	81,0	65,1	67,9	69,6	67,0	56,0	
	2	2		67,8	66,8	76,2	87,8	84,5	
	3	3		67,4	74,3	75,8	89,2	93,0	
IX.	1	1	57,4	70,4	78,6	85,7	103,7	106,8	
	2	2		88,7	82,3	90,7	108,2	105,0	
	3	3		75,9	72,8	75,5	86,5	93,0	
X.	1	1	48,0	68,6	78,5	92,9	95,3	0	
	2	2		70,0	71,4	85,2	86,6	107,5	
	3	3		59,0	61,1	74,4	78,1	86,0	

TABEL III.
Buigproeven op plastische mortel met 450 kg cement per m³ zand.
1 = Zee-water.
Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.
3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²						
			Na een onderdempeling gedurende						
			bij aanvang	5 maanden	11 maanden	23 maanden	47 maanden	11 jaar	
I.	1	1	50,4	54,9	52,1	51,8	51,9	0	
	2	2		55,5	38,1	0	0	0	
	3	3		58,5	59,6	60,3	62,9	66,9	
II.	1	1	52,5	52,7	51,0	53,3	61,0	5,6	
	2	2		57,6	62,4	32,4	17,9	17,0	
	3	3		53,2	54,6	62,6	64,6	70,3	
III.	1	1	47,6	51,2	52,2	59,2	57,0	0	
	2	2		53,4	45,0	46,0	40,7	52,6	
	3	3		49,2	50,6	55,6	62,5	64,0	
IV.	1	1	54,4	62,4	66,5	71,5	76,3	36,4	
	2	2		57,9	45,5	39,5	26,7	41,0	
	3	3		54,9	57,3	61,9	69,0	70,3	
V.	1	1	56,6	66,3	67,3	78,4	86,9	77,0	
	2	2		76,9	68,3	78,3	89,4	91,7	
	3	3		62,4	64,1	69,0	70,7	84,0	
VI.	1	1	46,3	59,4	67,2	74,3	77,0	57,3	
	2	2		60,2	59,3	71,2	74,2	90,5	
	3	3		51,0	52,9	58,6	58,6	70,0	
VII.	1	1	68,4	77,6	86,8	94,9	104,9	79,8	
	2	2		80,3	82,6	98,5	102,0	107,5	
	3	3		76,5	81,8	84,9	85,0	92,1	
VIII.	1	1	69,5	48,0	46,6	58,1	58,5	56,3	
	2	2		56,7	59,5	62,2	73,3	70,5	
	3	3		55,0	58,2	64,1	71,8	68,0	
IX.	1	1	46,8	69,0	74,3	83,9	89,0	84,1	
	2	2		65,8	68,4	75,7	82,6	84,0	
	3	3		61,5	55,6	67,8	71,2	74,0	
X.	1	1	42,5	61,9	70,0	80,5	78,4	0	
	2	2		58,8	64,9	79,6	82,9	102,0	
	3	3		50,7	54,2	62,5	73,4	78,5	

TABEL II.
Buigproeven op plastische mortel met 300 kg cement per m³ zand.
1 = Zee-water.
Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.
3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²						
			Na een onderdempeling gedurende						
			bij aanvang	5 maanden	11 maanden	23 maanden	47 maanden	11 jaar	
I.	1	1	32,0	34,0	30,1	28,4	28,1	0	
	2	2		12,6	4,78	0	0	0	
	3	3		34,6	39,9	42,2	41,3	40,7	
II.	1	1	36,7	34,0	35,9	31,2	32,8	0	
	2	2		21,5	10,9	0	0	0	
	3	3		36,3	38,2	41,2	45,6	46,3	
III.	1	1	30,2	37,6	44,7	39,8	22,9	0	
	2	2		28,4	20,2	32,8	20,7	33,8	
	3	3		37,1	37,0	47,2	46,4	51,9	
IV.	1	1	36,4	42,2	43,5	49,6	54,0	15,2	
	2	2		35,4	5,77	0	0	0	
	3	3		36,1	39,5	45,1	47,2	46,2	
V.	1	1	34,7	53,7	53,0	54,5	64,1	0	
	2	2		45,5	50,5	61,4	63,1	79,0	
	3	3		37,7	42,8	49,3	51,1	63,2	
VI.	1	1	29,0	41,5	43,4	51,1	60,2	0	
	2	2		43,3	49,1	54,9	57,0	61,3	
	3	3		34,0	38,1	42,5	45,4	5,5	
VII.	1	1	44,4	52,5	66,1	70,0	79,7	0	
	2	2		61,1	65,5	73,5	78,7	85,8	
	3	3		52,5	60,9	64,7	70,0	73,2	
VIII.	1	1	48,8	38,9	45,9	50,6	51,8	39,1	
	2	2		41,3	40,0	46,8	56,0	50,4	
	3	3		39,3	38,5	47,6	52,9	45,6	
IX.	1	1	36,7	53,4	61,1	69,2	74,5	0	
	2	2		51,6	51,6	57,5	63,6	72,8	
	3	3		43,0	44,4	46,1	55,2	70,0	
X.	1	1	25,8	43,3	49,6	53,2	47,7	0	
	2	2		39,3	47,5	58,2	48,7	72,8	
	3	3		34,6	39,7	51,1	49,1	65,3	

TABEL V.

Drukproeven op plastische mortel met 300 kg cement per m³ zand.

1 = Zeewater.

Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.

3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²									
			bij aan- vang	Na een onderdempeling gedurende								
				5 maan- den	11 maan- den	23 maan- den	47 maan- den	11 jaar				
I.	11	1	189	186	184	120	0	0	0	0	0	
		2	164	43,7	0	0	0	0	0	0	0	
		3	228	246	265	263	299	299	299	299	299	
II.	21	1	179	191	186	116	0	0	0	0	0	
		2	199	139	0	0	0	0	0	0	0	
		3	199	247	273	270	286	286	286	286	286	
III.	31	1	172	184	160	130	0	0	0	0	0	
		2	167	152	220	126	221	221	221	221	221	
		3	208	202	227	227	256	256	256	256	256	
IV.	41	1	189	197	208	220	95	95	95	95	95	
		2	194	107	0	0	0	0	0	0	0	
		3	196	193	244	245	247	247	247	247	247	
V.	51	1	228	179	234	229	0	0	0	0	0	
		2	202	192	241	241	254	254	254	254	254	
		3	165	191	229	230	247	247	247	247	247	
VI.	61	1	148	155	191	192	0	0	0	0	0	
		2	176	195	224	240	270	270	270	270	270	
		3	166	174	220	222	272	272	272	272	272	
VII.	71	1	234	293	284	322	0	0	0	0	0	
		2	273	306	404	540	546	546	546	546	546	
		3	246	305	392	437	502	502	502	502	502	
VIII.	81	1	369	436	408	389	310	310	310	310	310	
		2	334	340	445	469	424	424	424	424	424	
		3	371	348	455	452	368	368	368	368	368	
IX.	91	1	236	263	262	319	0	0	0	0	0	
		2	220	247	252	259	330	330	330	330	330	
		3	238	225	225	225	365	365	365	365	365	
X.	101	1	143	185	175	159	0	0	0	0	0	
		2	144	178	206	174	225	225	225	225	225	
		3	157	183	191	203	256,7	256,7	256,7	256,7	256,7	

TABEL VI.

Drukproeven op plastische mortel met 450 kg cement per m³ zand.

1 = Zeewater.

Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.

3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bij aan- vang	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²								
				5 maan- den	11 maan- den	23 maan- den	47 maan- den	11 jaar				
									Na een onderdempeling gedurende			
I.	12	1	399	427	397	291	0	0	0	0		
		2	345	264	0	0	0	0	0	0		
		3	440	479	542	552	576	576	576	576		
II.	22	1	435	434	423	364	117	117	117	117		
		2	434	408	377	273	274	274	274	274		
		3	430	454	525	543	570	570	570	570		
III.	32	1	273	287	307	247	0	0	0	0		
		2	336	301	377	379	332	332	332	332		
		3	356	350	417	410	435	435	435	435		
IV.	42	1	402	437	416	403	360	360	360	360		
		2	405	367	407	272	438	438	438	438		
		3	404	424	453	456	525	525	525	525		
V.	52	1	420	344	388	380	468	468	468	468		
		2	472	338	383	445	418	418	418	418		
		3	383	520	497	499	517	517	517	517		
VI.	62	1	298	307	330	360	280	280	280	280		
		2	300	314	437	423	423	423	423	423		
		3	314	357	438	427	498	498	498	498		
VII.	72	1	496	481	495	498	344	344	344	344		
		2	517	508	675	671	671	671	671	671		
		3	458	540	607	695	710	710	710	710		
VIII.	82	1	539	550	520	586	661	661	661	661		
		2	551	608	724	696	585	585	585	585		
		3	579	683	712	711	606	606	606	606		
IX.	92	1	461	425	427	469	413	413	413	413		
		2	352	411	467	509	538	538	538	538		
		3	419	367	493	508	526	526	526	526		
X.	102	1	272	340	319	337	0	0	0	0		
		2	307	301	373	312	424	424	424	424		
		3	304	273	393	390	467	467	467	467		

TABEL VII.

Drukproeven op plastische mortel met 600 kg cement per m³ zand.

1 = Zeewater.

Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.

3 = Zoet water.

Cement	N ^o van de mortel	Bij aan- vang	Bewaard in	Weerstand in kg/cm ²								
				5 maan- den	11 maan- den	23 maan- den	47 maan- den	11 jaar				
									Na een onderdempeling gedurende			
I.	13	1	540	576	623	549	0	0	0	0		
		2	590	490	597	421	472	472	472	472		
		3	670	593	724	733	733	733	733	733		
II.	23	1	535	551	626	540	405	405	405	405		
		2	524	660	650	520	661	661	661	661		
		3	552	652	665	740	745	745	745	745		
III.	33	1	465	453	462	345	0	0	0	0		
		2	501	508	619	595	602	602	602	602		
		3	535	525	601	605	630	630	630	630		
IV.	43	1	548	522	553	517	454	454	454	454		
		2	562	576	643	641	602	602	602	602		
		3	554	561	636	651	728	728	728	728		
V.	53	1	522	499	514	546	591	591	591	591		
		2	521	463	616	604	600	600	600	600		
		3	469	533	603	609	685	685	685	685		
VI.	63	1	465	410	489	503	433	433	433	433		
		2	489	454	556	579	562	562	562	562		
		3	457	570	588	581	622	622	622	622		
VII.	73	1	616	410	489	503	433	433	433	433		
		2	700	454	556	579	562	562	562	562		
		3	605	570	588	581	622	622	622	622		
VIII.	83	1	747	776	750	756	828	828	828	828		
		2	742	693	908	898	850	850	850	850		
		3	787	774	921	911	948	948	948	948		
IX.	93	1	519	512	528	578	623	623	623	623		
		2	536	549	683	655	663	663	663	663		
		3	566	545	641	623	744	744	744	744		
X.	103	1	344	350	369	410	0	0	0	0		
		2	383	406	435	435	459	459	459	459		
		3	390	391	391	391	489	489	489	489		

TABEL VIII.

Drukproeven op betonkuben.

1 = Zoetwater.

Bewaard in: 2 = Sulfaatoplossing.

3 = Zoet water.

Cement	Bewaard in	Bij aanvang (versch. leeftijd) kg/cm ²	Weerstand in kg/cm ²				
			Na een onderdompeling gedurende				
			5 maanden	11 maanden	23 maanden	47 maanden	11 jaar
I.	1	467	493	519	516	473	287
	2		538	535	563	534	535
	3		535	532	571	611	536
II.	1	470	503	505	517	491	339
	2		547	527	541	622	585
	3		540	523	581	674	605
III.	1	358	368	420	402	430	298
	2		422	428	432	462	478
	3		425	430	470	515	478
IV.	1	396	443	472	453	538	524
	2		474	488	468	538	576
	3		482	468	534	590	587
V.	1	334	400	466	462	531	588
	2		435	445	449	511	539
	3		423	432	466	508	557
VI.	1	286	360	428	433	499	548
	2		354	388	432	463	513
	3		382	410	460	493	517
VII.	1	402	568	594	614	716	812
	2		550	594	613	666	612
	3		562	579	642	621	639
VIII.	1	551	609	659	622	769	702
	2		608	623	611	659	291
	3		580	599	622	671	316
IX.	1	341	441	491	527	580	580
	2		427	459	487	561	418
	3		442	459	505	533	469

veel minder met het oog op de onregelmatige vorm. 52 (cement V) is licht aangetast aan de ribben; 82 (cement VIII) en 92 (cement IX) bleken intact, toch was een zeker verlies aan weerstand tegen buiging en druk te constateren.

De mortels met 600 kg cement per m³ zand geven de beste resultaten. Hoewel de proefstukken 13, 33 en 103 (cementen I, III en X) er nog goed uitzagen, sloot dit niet uit dat de weerstand praktisch nul was, terwijl de mortel aangetast was. 23, sterk aangetast aan de ribben, heeft een verminderde weerstand; 43 op het oog intact, is reeds aangetast, maar heeft een weliswaar gereduceerde maar toch nog niet onbelangrijke weerstand; 83 ziet er ook nog goed uit, maar vertoont op het breukvlak degeneratieverschijnselen; de weerstanden zijn nog vrij belangrijk. 53, 63, 73 en 93 zijn intact en vertonen grote weerstand. De verminderde drukweerstand ten opzichte van bewaring in leidingwater wijzen waarschijnlijk op een lichte afwijking in vorm, terwijl de vermeerdering in buigweerstand de vorming van harde korsten aan de oppervlakte doet vermoeden, die ook door H. LE CHATELIER is opgemerkt ³⁾.

De betonkuben zijn over het algemeen intact, behalve die van de cementen I, II en III, die verweerd zijn aan het niet bekiste bovenvlak. De gewichtsverliezen zijn vastgesteld op 3,65% voor cement I, 2,70% voor cement II en 2,90% voor cement III.

De gewapend betoncilinders vertoonden voor bepaalde cementen achteruitgang, voornamelijk op het cilindervlak en vooral voor de cementen I, II en III, waarbij de verweering tot een diepte van 5 à 8 mm plaats vond. De verweeringen zijn het meest opmerkelijk aan de buitenzijde der kisten, dat zijn dus die gedeelten, die het meest aan de inwerking der golven bloot staan.

Het grind komt aan de oppervlakte, de mortel wordt brokkelig. Niettemin treden geen scheuren op, ook niet bij de wapening en geen staaf is bloot gekomen, ook niet die met slechts 1 cm betondekking.

Bij cement IV, is de mortel aan de oppervlakte enigszins brokkelig tot 1 à 2 mm diepte.

Cement VI schijnt een lichte uitspoeling van het bindmiddel te vertonen, waardoor het grind bloot komt; de

³⁾ „Observations préliminaires au sujet de la décomposition des ciments à la mer” (Dunod ed. Paris, 1904). H. LE CHATELIER beziet deze korsten in het geval van door zeewater aangetaste cementen en schrijft deze korstvorming een rol toe bij de ontbinding der cementen. In ons geval daarentegen vermoeden wij, dat deze korsten voor wat betreft cementen, die tegen de inwerking van het zeewater weerstand bieden, beschuttend werken. Een belangrijk verschil!

TABEL IX.

Verhouding der weerstanden na 11 jaar onderdompeling in zee-, resp. stilstaand, zoet water.

Aard van het proefstuk	Wijze van beproeving	Hoeveelheid cement per m ³	Cement										
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Mortel	Buiging	300	0	0	0	0,33	0	0	0	0	0,856	0	0
		450	0	0,08	0	0,52	0,92	0,82	0,87	0,83	1,14	0	0
		600	0	0,4	0	0,96	1,03	0,95	1,03	0,60	1,15	0	0
	Samendrukking	300	0	0	0	0,385	0	0	0	0,843	0	0	0
		450	0	0,21	0	0,69	0,91	0,56	0,49	1,09	0,79	0	0
		600	0	0,55	0	0,63	0,87	0,70	0,82	0,88	0,84	0	0
Beton	Samendrukking	350	0,54	0,56	0,63	0,90	1,06	1,06	1,27	2,22	1,24	—	



Fig. 1.

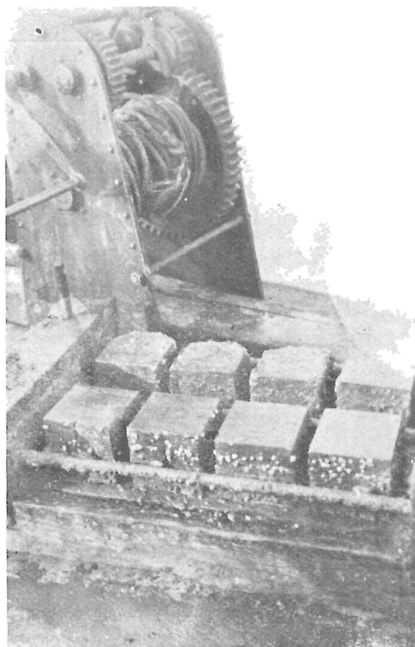


Fig. 2.

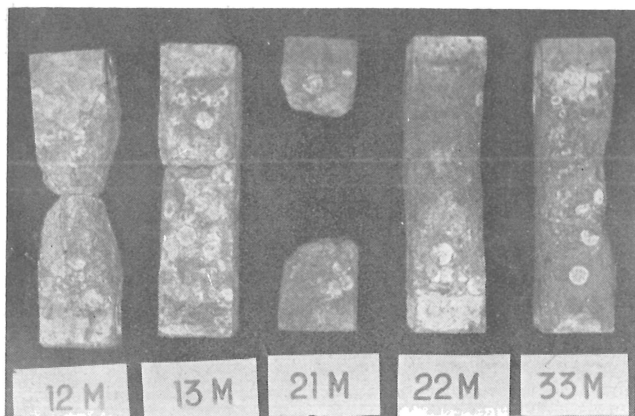


Fig. 3.

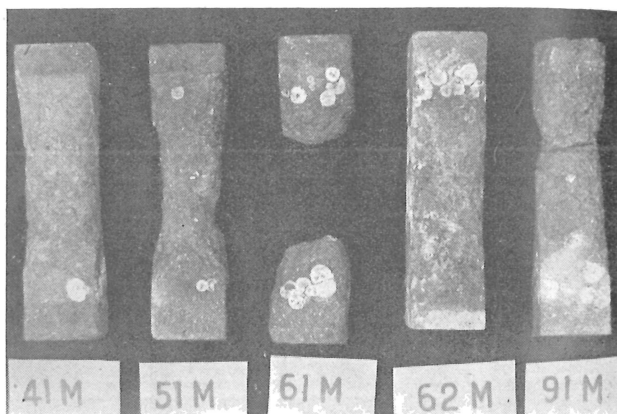


Fig. 4.

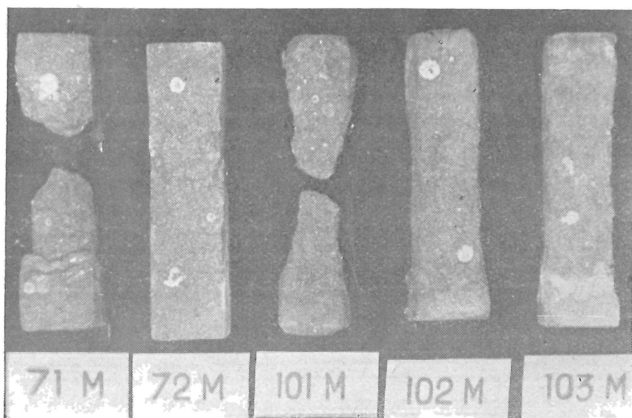


Fig. 5.

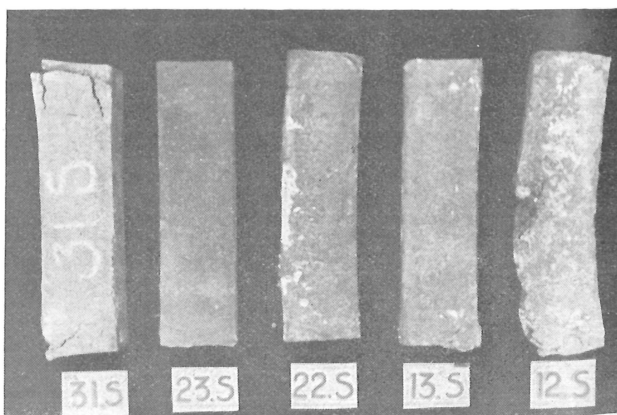


Fig. 6.

cylinderoppervlakken van VII en IX zijn iet of wat ruw geworden, die van V en VIII zijn glad gebleven. Voor al deze cementen zijn de oppervlakken hard.

De cylinders zijn sterk aangegroeid, behalve VII, VIII en IX, die het minst met schelpen enz. zijn bedekt. I, II en III vertonen de sterkste aangroeiing, IV, V en VI wat

minder. De uiteinden der staven, die buitenstaken, zijn zo goed als weggeroest; deze sterke roestvorming was reeds in 1938 waargenomen; zij houdt bij het betonoppervlak op, zonder het inwendige aan te tasten.

Bij het voorafgaande onderzoek van 1938 hadden de mortels reeds beschadigingen vertoond, maar veel minder

sterk dan in 1945, zoals blijkt uit de Tabellen II tot VII.

De drukweerstand gaven slechts aanleiding een begin van aantasting te vermoeden bij beton I, II en III, wat minder bij IV. De gewapende betoncylinders toonden generlei beschadiging. De extra-periode van 7 jaar heeft duidelijk de ontwikkeling bevestigd, welke in de publicatie van 1945, gebaseerd op de resultaten tot 1938, nog nauwelijks was aangeduid. De proefstukken in gewapend beton, die permanent in het zeewater waren ondergedompeld, en die, welke aan de zeelucht waren blootgesteld, waren onaangetast.

De proefstukken in mortel, bewaard in leidingwater, zijn intact.

Die, welke in sulfaathoudend water werden bewaard, zijn zwaar beschadigd voor wat betreft de cementen I, II, III en IV, in deze volgorde. Maar ze zien er geheel anders uit dan die, welke door het zeewater zijn aangetast: er treedt deformatie door zwelling met eventueel scheurvorming op. De overige proefstukken in mortel zijn intact, evenals de betonkuben en de betoncylinders, met uitzondering van de betonkuben 10, gemaakt met cement II en waarin 25% Rijnzand is vervangen door fijn duinzand. Deze betons zijn sterk door het sulfaathoudend water aangetast, wat alleen kan toegeschreven worden aan de vervanging van het grofkorrelige zand door fijn zand. De resultaten dezer serie zijn als volgt:

Weerstand na 28 dagen: 350 kg/cm².

Weerstand bij bewaring in zoet water:

5 maanden	11 maanden	23 maanden	47 maanden	11 jaar
433	455	471	532	312

Weerstand bij bewaring in sulfaathoudend water:

404	443	363	217	250
-----	-----	-----	-----	-----

De resultaten na 11 jaar zijn vrij verrassend en moeilijk te verklaren. Wij menen reeds lang, dat die vervangingen door fijn zand weinig zin hebben ⁴⁾ De Fig. 1 tot 7 laten het een en ander zien omtrent de vroegere waarnemingen.

Verklaring der resultaten.

Na de beproevingen van 1938 kon men op grond der nog weinig duidelijke resultaten moeilijk tot bepaalde conclusies komen; na het bevind van zaken in 1945 heeft men echter de beschikking over veel duidelijker resultaten en een belangrijk verschil van gedrag der verschillende proefstukken. Niettemin moet men voorzichtig zijn met het trekken van al te globale of definitieve conclusies; het is althans gewenst bij deze conclusies het nodige voorbehoud te maken ten aanzien van de aan de resultaten toe te kennen betekenis. Men heeft inderdaad te maken met zeer ingewikkelde verschijnselen en ervaringen, waarbij oorzaak en gevolg vaak moeilijk uit elkaar zijn te houden. De mechanische beproevingen hebben het voordeel objectieve cijfers te geven, maar men kan zich afvragen of deze wel voldoende karakteristiek zijn.

Ten eerste moet herinnerd worden aan het overigens welbekende feit, dat de mechanische beproevingen op mortels en beton, ook wat betreft die, welke met de meeste zorg worden uitgevoerd, belangrijke afwijkingen geven tussen de resultaten.

In een nog recente studie heeft M. M. PROT ⁵⁾ alle oorzaken van afwijkingen bij deze beproevingen geanalyseerd. Naar aanleiding van series druk- en buigproeven, die met zorg werden uitgevoerd om de afwijkingen tot een minimum te beperken, constateert hij maxima afwijkingen van de grootte van 23 en zelfs 32% en gemiddelde afwijkingen van 8, 10 en 12%. Dit kan hen, die met het verrichten van keuringen van cementen bekend zijn, niet verwonderen. Wij

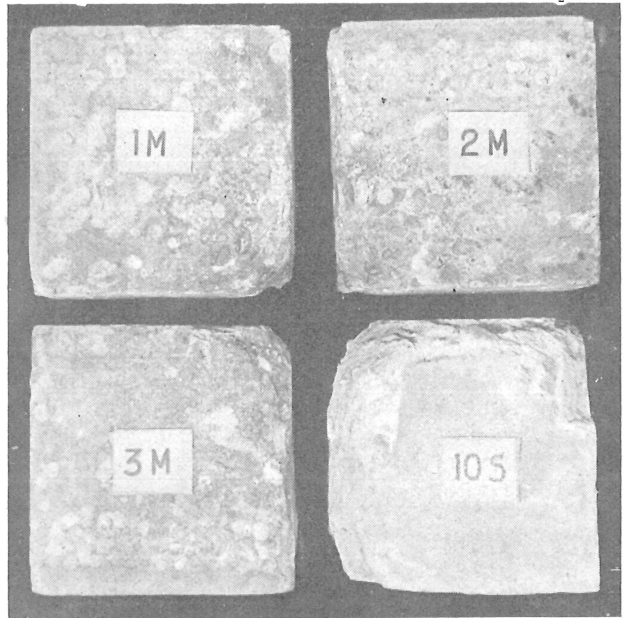


Fig. 7.

mogen niet veronderstellen, dat het zeer grote aantal proefstukken, die in serie werden geproduceerd met een weliswaar gemakkelijk verwerkbaar materiaal, maar speciaal voor deze proeven in zeewater en min of meer „industriëel” vervaardigd, dat wil zeggen geenszins met de uiterste nauwkeurigheid wat de vorm aangaat, minder grote afwijkingen, wat de maxima en gemiddelden betreft, zou geven dan de normale beproevingen in laboratoria. Wat wij wel kunnen vaststellen is dat de afwijkingen tussen de verscheidene proefstukken van elke serie over het algemeen matig zijn geweest. Niettemin bevatten de gemiddelden der Tabellen II tot VIII zekere afwijkingen, die niet meer normaal kunnen genoemd worden.

Het is bekend, dat de resultaten der mechanische beproevingen op mortels en beton vooral afhangen van de regelmatigheid in vorm der proefstukken, vooral van de evenwijdigheid en vlakheid der zijvlakken. Al zou dit met de bekisting bereikt kunnen worden, dan blijft nog de vraag of de vorm in het milieu, waarin de proefstukken bewaard worden, gehandhaafd blijft. Dit is wel het geval in zoet water, maar niet in zee- en gesulfateerd water, waarin de proefstukken aangetast worden. Men kan deze factor op verschillende wijze interpreteren. Men kan de mechanische beproevingen als criterium voor de opgetreden wijzigingen in de samenstelling afwijzen, omdat het niet bewezen is, dat zij niet uitsluitend beïnvloed worden door de vormveranderingen en dat derhalve de werkelijke vermindering in weerstand van het te onderzoeken materiaal niet werd vastgesteld.

Het is redelijker en meer in overeenstemming met de feiten toe te geven, dat de vormverandering een waardevol criterium voor de verwerking is, doch dat de mechanische beproefing een al te gevoelige en min of meer pessimistische maatstaf is. Om deze reden zou men bijvoorbeeld er voor kunnen voelen het gewichtsverlies in procenten als criterium aan te nemen.

Volgens het resultaat van al onze waarnemingen, vooral van die van 1945, is deze echter onvoldoende. Het is duidelijk gebleken, dat de meest gedeformeerde proefstukken ook het sterkst afweken wat de fysisch-chemische samenstelling der overgebleven materie betreft. De uiterlijk waarneembare wijzigingen zijn dus belangrijker dan de volumevermindering en sommige proefstukken zonder merkbare deformatie hebben overigens bij de mechanische beproefing belangrijk verminderde weerstand getoond, wat nog in versterkte mate bevestigd werd door de chemische analyse, waarover hieronder nog meer zal gezegd worden.

⁴⁾ Cfr. R. FÉRET, in: „Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur par Ch. DURAND-CLAYE. Paris, ed. Baudry, 1897.

„Pratique de la construction en béton et mortier de ciment”, par TAYLOR et THOMSON. Traduction française. Paris, ed. Dunod, 1924.

⁵⁾ Recherches sur les essais de ciments. Circulaire série F, n^o. 35 de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. Paris, janvier 1947.

Als slotsom van deze kritische beschouwingen geloven wij te moeten zeggen, hoewel het paradoxaal lijkt met buig- en vooral met drukproeven of gedeformeerde proefstukken de mate van aantasting vast te stellen, waar bij deze proeven een volmaakte vorm der proefstukken wordt voorondersteld, dat het ons toch voorkomt het meest karakteristieke, objectieve, praktische en redelijke hulpmiddel te zijn. Het is echter wel nodig bij de beoordeling de nodige reserve in acht te nemen en aan de resultaten geen absolute maar veeleer betrekkelijke waarde toe te kennen. Natuurlijk moeten deze voorbehouden zich wijzigen naar de mate waarin de proefstukken zijn aangetast. De methode heeft dus in ieder geval waarde in die gevallen, waarin de mortels of betonsoorten de invloed van het zeewater goed hebben weerstaan. Men kan menen, dat zij in bepaalde gevallen een te gevoelige maatstaf is voor de minder weerstand biedende soorten. Dit is een kwestie van appreciatie, die verband houdt met het na te streven doel: indien men grote zekerheid eist, kan men geen te grote gevoeligheid aanvaarden.

De samenstellers van het eerste rapport van 1945 concludeerden reeds op grond van de resultaten van 1938, dat „de methoden aanvaard voor de onderzoekingen als bevredigend konden beschouwd worden en voldoende om de ingewikkeldheid der invloeden, die bij de aantasting van mortels en beton door zeewater een rol spelen, te doen uitkomen”. De resultaten van 1945 en de ontwikkeling van de houding der verschillende cementen, welke zij aantonen, rechtvaardigen deze uitlating wel. Theoretische studies van uitsluitend of voornamelijk chemische aard dragen er toe bij om bij velen de opvatting te doen post vatten, dat de kwestie van de houding van mortels en beton in zeewater in de eerste plaats afhangt van de chemische samenstelling der cementen. De specialisten op het gebied van zeehavenbouw weten, dat dit slechts één aspect is van dit probleem, zeker niet van belang ontbloeit, maar in het geheel niet op zich zelf staand, zelfs in die mate, dat het gevaarlijk zou zijn alleen daaraan aandacht te wijden en de andere factoren te verwaarlozen. Dit wordt wel door de proeven op mortels met 300, 450 en 600 kg cement per m³ zand aangetoond, die daardoor maatgevend blijken.

De mortels met 300 kg cement zijn uiteraard poreus, dus bijzonder kwetsbaar ten aanzien van alle aantastingen, de chemische reacties inbegrepen.

Vergelijking van de uitkomsten bij onderdompeling in zeewater en bewaring in sulfaathoudend water toont aan:

1. dat de cementen, die snel door de sulfaatoplossingen uiteenvielen (I, II en IV) dit in veel mindere mate deden in zeewater, een daarvan (IV) is de enige van alle cementen met VIII (smeltcement), die na 11 jaar nog een aanmerkelijke weerstand heeft;

2. dat de cementen, die ongevoelig zijn voor de inwerking van sulfaatoplossingen, en die zelfs daarin er op vooruit gaan, na 11 jaar in zeewater uiteenvallen. Alleen cement VIII maakt een uitzondering, maar bevestigt de regel in zoverre, dat de weerstanden aanmerkelijk minder zijn dan die der vergelijkingsproefstukken, die in sulfaathoudend water bewaard werden.

De invloed der sulfaten is dus geenszins uitsluitend of zelfs overheersend, zoals men geneigd zou zijn te geloven na lezing der voornaamste publicaties op dit gebied⁹⁾. De hierboven onder 1 en 2 gegeven resultaten kunnen voornamelijk verklaard worden door de mechanische invloeden van de branding, der stromingen, aanslibbingen, dierlijke organismen (aangroeiing) en de weersinvloeden, vooral van de blootstelling aan vorst en zonnehitte.

De mortels met 450 kg cement, minder poreus, en met 600 kg cement, compact, bevestigen de voorgaande waarnemingen. Men constateert over het algemeen, met uitzondering van mortel 12 (450 kg cement I) en een klein aantal abnormale afwijkingen bij de mortels met 450 kg buiten beschouwing latende (die verklaard zouden kunnen

worden door wat hierboven over de mechanische beproevingen is gezegd), dat de ontbinding in zeewater sneller en meer uitgesproken is dan in de stilstaande sulfaatoplossing: dit geldt zowel voor de cementen, die bekend staan als gevoelig voor sulfaat als voor de andere. De dosering met 450 kg, die niet bijzonder vet mag genoemd worden, en nog meer die van 600 kg/m³, die behoorlijk compact is, zijn voldoende geweest om de inwerking van een oplossing van geconcentreerd zwavelzuur te vertragen en in talrijke gevallen na 11 jaar te weerstaan (b.v. de mortels 32, 42, 33). Ondertussen hebben bijna al deze mortels enige schade in het zeewater ondervonden; de meest aantastbare door het zwavelzuur (I, III, X, ook II, in mindere mate IV) zijn volkomen verwoest of grotendeels uiteengevallen. De invloed der factoren „aantasting zeewater” en „chemische aanval door magnesiumsulfaat” zijn hierdoor dus bepaald, evenals de combinatie van beide.

Het gedrag der betons (Tabel VIII) bevestigt deze conclusies op afdoende wijze. De compactheid van deze goed samengestelde betons is voldoende om ze alle, welke cementsoort ook gebruikt is, bijna ongevoelig te maken voor de inwerking van geconcentreerd magnesiumsulfaat-oplossing (het abnormale gedrag van cement VIII na 11 jaar, dat ook te vinden is bij de controle-proefstukken in zoet water, moet toegeschreven worden aan een bekend verschijnsel, bekend als „de smeltcementziekte”). Daarentegen hebben bij de voor sulfaten meest gevoelige cementen (I, II en III, in zwakke mate IV) aantastingen en belangrijke of aanmerkelijke gewichtsverliezen plaats gehad in het zeewater. De combinatie van aanvallen door zuren en zeewater is dus wel goed gekenschetst; eveneens door de aantastingen waargenomen bij de gewapend betonecilinders op halfjaar geplaatst. Het tegenbewijs is geleverd:

1. Door het uitstekende gedrag van de betonkuben en betonecilinders op halfjaar, samengesteld met de aan sulfaten meest weerstandbiedende cementen (V tot IX). De kuben hebben alle meer weerstand dan die, welke in zoetwater bewaard werden; de achteruitgang bij het smeltcement valt nauwelijks op te merken en is weinig zeker naar aanleiding van een lichte verwerking van de vlakken der proefstukken.

2. Door de afwezigheid van aantasting bij alle controlecilinders, die voortdurend onder laagtij bleven en van die, welke aan de zeelucht blootgesteld waren. (De cilinders die voortdurend onder water bleven waren overigens wel blootgesteld aan de invloed van stromingen, aanslibbingen en schelpdieren e.d.)

Ter inleiding van zijn hogervermeld verslag, stelde H. LE CHATELIER voorop:

1. Alle hydraulische bindmiddelen, die in nauw contact met zeewater worden gebracht, worden na korter of langer tijd door de chemische inwerking van magnesiumzouten geheel ontbonden;

2. De mortels vallen langzamer uiteen naar mate zij meer compact zijn;

3. Zij worden des te langzamer aangetast naar mate de hydraulische groter is, hierbij het silicium en het aluminium gecombineerd met de kalk in rekening brengende, 't zij gedurende het branden, 't zij, in het geval dat puzzolane toegevoegd worden, tijdens de verharding.

Onze ervaringen bevestigen punt 1 door de resultaten bij de proefstukken in mortel, waarvan het bindmiddel geacht kan worden min of meer in nauw contact met het zeewater te zijn gekomen in verband met de dosering, maar de vergelijking met de controle-proefstukken in verdund zwavelzuur bewijst, dat in zeewater, de chemische aantasting door de magnesiumzouten noch uitsluitend, noch overheersend is; zij treedt gecombineerd met de andere beïnvloedingen in zeewater op: eb en vloed, stromingen, aanslibbingen, schelpdieren e.d., koude en warmte enz.

Onze beproevingen bevestigen eveneens punt 2 en 3, behalve wat betreft de toevoegingen van tras, die zich zowel voor de mortels als voor de betons niet doeltreffend in zeewater hebben betoond. Wij willen hierbij geen conclusies trekken

⁹⁾ Cfr. W. EITEL. Physikalische Chemie der Silikate (zie ook de vroeger vermelde brochure van H. LE CHATELIER).

BIBLIOTHÈQUE

ten aanzien van verdere puzzolonen, waar deze bij onze proeven niet werden gebruikt.

Indien men (zie Tabel II tot VII) het gedrag na verloop van tijd der mortels 31, 32, 33, 101, 102 en 103, welke tras bevatten, nader beziet, constateert men, dat zij zonder uitzondering in zeewater te gronde gaan, zij varieerden daarentegen in sulfaathoudend water gedurende de eerste 4 jaar, meestal in die zin, dat de weerstand verminderde, om zich na 11 jaar op een opmerkelijke manier te herstellen. Dit bewijst hoe langzaam de chemische inwerking van bepaalde puzzolonen verloopt, zoals van tras, waarop wij reeds de aandacht hebben gevestigd⁷⁾. Wij hebben dikwijls bij corrosieverschijnselen en de ontbinding van mortels en beton een strijd tussen twee tegenstrijdige factoren waargenomen: de verharding toenemende met de tijd enerzijds, de chemische aantasting anderzijds. Een van beide vindt. Tras werkt chemisch uiterst langzaam en verzwakt dus aanvankelijk maar weinig de ontbinding van de kwetsbare cementen; verder vertraagt tras hun verharding aanmerkelijk. Dit verklaart de rampspoedige resultaten bij de proeven in zeewater, waar een continue verharding niet alleen nuttig is om weerstand te kunnen bieden aan de chemische aantasting, maar bovenal aan de andere aanvallen in de zee. In zwavelzuurhoudend water, waar de chemische inwerking op zich zelf staat en meer geconcentreerd werkt, wint de invloed van het tras, hoewel zeer langzaam, het ten slotte na 11 jaar.

De over het algemeen pessimistische stellingen van H. LE CHATELIER, hoewel vrij juist vanuit een zuiver chemisch standpunt gezien, moeten op grond van de resultaten der proefnemingen nader ernstig bekeken en geamendeerd worden. In het kader der beproefde cementen, stellen de proeven in staat de volgende classificatie te maken:

1. De groep cementen I en II, zelfs samen met tras (III) bezitten een zwakke weerstand tegen de aantasting in zeewater, niet alleen wat de mortels betreft, maar ook voor compact beton met 350 kg cement per m³. Dit zijn de cementen met een hoog CaO-gehalte (meer dan 60%). Wij hebben reeds gezezen op het feit, dat tras niet in staat is hen bestand te maken tegen zeewater.

2. Het cement IV, behorende tot een andere categorie, bevat evenwel te veel CaO (meer dan 50%); zijn gedrag is matig wat de mortels en twijfelachtig wat het beton aangaat;

3. De cementen V tot IX met minder dan 50% CaO (het merendeel minder dan 45% en enige niet meer en zelfs minder dan 40%) bevattende, die de meeste weerstand bij mortels — die zelfs goed kan genoemd worden bij de tamelijk compacte mortels en zeer goed bij de compacte betons — vertonen. Het is ten slotte zeer eenvoudig en voldoende om een maximum-limiet voor het CaO-gehalte vast te stellen

$$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO}$$

in plaats van een minimum-hydrauliciteit:

De groep 3 bevat cementen van diverse categorieën, waarvan VIII geheel verschillend is van de 4 andere. Het is een snelverhardend cement, bij de binding waarvan veel warmte vrijkomt; zijn gedrag na 11 jaar is wisselvallig en onzeker blijktens de resultaten samengevat in de Tabellen II tot VIII, hetgeen overeenstemt met de in de praktijk geconstateerde feiten⁸⁾.

De overige cementen van de groep behoren tot de gegranuleerde hoogovencementen. Een dezer (VII) bevat weinig „clinker” en is het armst aan CaO. Deze cementen vertonen zeer bijzondere kenmerken: een langzamer maar

continue verharding, die tot hoge eindweerstand leidt en een zwakke warmteontwikkeling. Gevoegd bij het kleine gehalte aan CaO, die er overigens de oorzaak van is, maken deze eigenschappen deze cementen bijzonder geschikt voor grote waterbouwkundige werken, met name stuwdammen, evenals voor de werken in zeewater. Het goede gedrag in zeewater van de cementen, die veel slak en weinig clinker bevatten, is daaraan toe te schrijven, dat de gegranuleerde slak als een langzaam cement en als een zeer actief puzzolaan werkt (zie bovenvermelde publicaties F. CAMPUS 1931. R. JAQUEMIN 1944). De chemische aantasting van de slak is betrekkelijk langzaam en de snelheid der verharding voldoende om het op den duur te winnen, temeer waar deze continu is.

Overigens bevestigen de resultaten der beproevingen de voorschriften, zoals die in het algemeen voor betonwerken aan de zee tegenwoordig gelden:

1. Noodzakelijkheid van een vette samenstelling en van een goede gradering, teneinde een compact en waterdicht beton te verkrijgen.

Wat de mortels betreft, schijnt het verstandig om niet onder de 600 kg per m³ grof, goed gegradeerd zand te gaan; het fijne zand is te verwerpen. Voor beton wordt gewoonlijk 400 à 450 kg cement per m³ aanbevolen⁹⁾. Op grond der onderzoekingen kan gezegd worden, dat 350 kg in een compact beton voldoende is. Dit betreft weliswaar een laboratorium-beton; de proefstukken waren echter in verband met de kleine afmetingen, het grote aantal zijvlakken en ribben in ongunstige omstandigheden.

2. Noodzaak van een zorgvuldige storting in het werk, zodat een grote compactheid en volledige waterdichtheid wordt bereikt; het nut van vol afgewerkte oppervlakken, compact en waterdicht. Het gebruik van stalen bekistingen, pervibratoren en trilling der bekistingen zijn zeker aan te bevelen.

3. Het is zeker nuttig betonwerken aan zee aan een zorgvuldige betoncontrole en toezicht bij de uitvoering te onderwerpen. Behalve een goede opslag der grondstoffen voor het beton, zal de controle op de kwaliteit daarvan op de gebruikelijke wijze moeten plaats vinden. De Directie van de „Bruggen en Wegen” in België heeft sedert enige jaren voor de waterbouwkundige werken een controle op de compactheid van beton door beproefing op de wateropname in warm water onder druk dikwijls voorgeschreven. Deze proef zou bij werken aan de zee zeker niet minder op zijn plaats zijn. (Wordt vervolgd).

⁹⁾ A. COYNE. *Le Génie Civil*, 4 October 1930.

KORTE TECHNISCHE BERICHTEN.

Verkeersbrug van voorgespannen beton over de Marne bij Luzancy.

Deze door FREYSSINET ontworpen en door de aannemer CAMPENON-BERNARD uitgevoerde brug van 55 m overspanning is met haar 1,3 m constructiehoogte een prachtig voorbeeld van de mogelijkheden die het voorgespannen beton biedt (Fig. 1). Wat de esthetische kant betreft, spreekt de foto voor zichzelf; wij kunnen hier ten volle spreken van een bruggenbouwkunst. Ook constructief is het werk zeer interessant. De 8 m brede brug werd uitgevoerd als drie doosprofielen met tussenliggende staven en verstijvingen en met overkragende trottoirs (Fig. 2). Elk der drie balken werd in 22 delen van 2,44 m lengte in verticale bekistingen (Fig. 3) met voorgespannen beugels op de oever vervaardigd. Vier van deze bekistingen konden 16 maal gebruikt worden. De beugels bestonden uit draden \varnothing 3 mm met een breukspanning van 200 kg/mm², elasticiteitsgrens van 160 kg/mm² en werden met 140 kg/mm² voorgespannen. De vloer van de bekisting werd gevibreerd. De zeer droge beton werd zorgvuldig samengesteld volgens BOLOMEY; ze bevatte 400 kg cement per

⁷⁾ Cfr. F. CAMPUS. Observations au rapport du professeur R. GRÜN (Düsseldorf) concernant les substances pouzzolaniques notamment l'emploi des poudres de trass et de laitiers. Livre du Congrès International d'essais des matériaux, Zürich 1931.

R. JAQUEMIN. Recherches sur l'hydratation des liants hydrauliques. Thèse pour le doctorat en sciences appliquées de l'Université de Liège, 1944.

⁸⁾ R. CAVENEL. Réparation du pont de la Corde sur la Penzé près de Carantec (Finistère). Annales des Ponts et Chaussées. Paris, mars-avril 1944.