

AANTASTING VAN BETONPALEN IN POTENTIËLE KATTEKLEI¹⁾

Corrosion of concrete foundations in (potential) acid sulphate soils and subsoils

A. F. van Holst en G. J. W. Westerveld²⁾

1. INLEIDING

De grote stadsuitbreidingen in westelijk Nederland geschieden veelal in gebieden met een weinig draagkrachtige ondergrond. Op bouwterreinen in dergelijke gebieden moet – ook na ophoging met zand – voor grote bouwwerken steeds een paalfundering worden toegepast. Meestal worden betonpalen gebruikt, hetzij geprefabriceerd, hetzij ter plaatse in de grond gestort. Bij de toepassing van laatstgenoemde categorie betonpalen, z.g. Franki-palen, in een gebied met een voor beton agressief milieu, doet zich het probleem van betonaantasting voor.

2. DE FABRICAGE VAN IN DE GROND GEMAAKTE BETONPALEN

De werkwijze die toegepast wordt bij een in de grond gemaakte betonpaal, verloopt als volgt (Dicke en Krekel, 1968): Ter plaatse waar de betonpaal moet komen, wordt een stalen, holle mantelbuis die onderin gevuld is met grind of beton, de grond in gedreven tot in de draagkrachtige laag. Door middel van een zwaar blok wordt het in de buis aanwezige beton uitgeheid tot een prop onderaan de buis. Vervolgens wordt een wapening in de buis aangebracht en de paal wordt verder opgebouwd door achtereenvolgens vochtig beton in de buis te storten, de mantelbuis over een korte afstand omhoog te trekken en het beton met het blok aan te stampen. Deze handelingen worden herhaald tot de paal de vereiste lengte heeft bereikt.

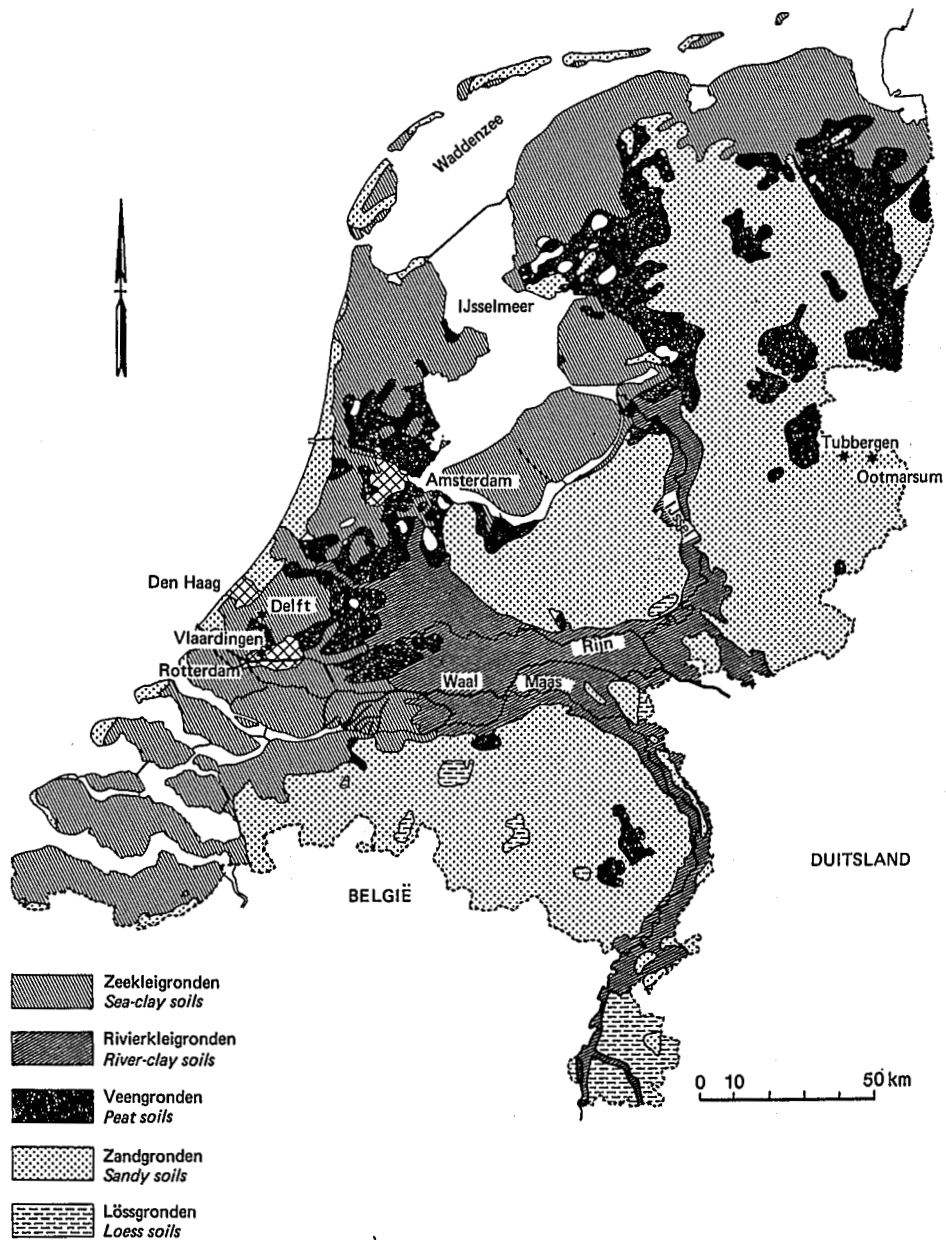
Bij deze werkmethode is in de kern van de paal de betonsterkte groter en de porositeit geringer dan aan de buitenkant van de paal.

3. DE BODEMGESTELDHEID VAN HET BOUWTERREIN

In de gemeente Vlaardingen ligt een bouwterrein waar deze Franki-palen zijn toegepast ter fundering van huizenblokken. Tot grote diepte komen

¹⁾ Dit is een aan Boor en Spade aangepaste Nederlandse versie van een bijdrage aan het International Symposium on Acid Sulphate Soils dat van 13 tot 20 augustus 1972 in Wageningen werd gehouden. De Engelse versie is opgenomen in: *Dost, H. (editor), 1973: Acid Sulphate Soils. Proceedings of the International Symposium 13-20 August 1972 Wageningen. ILRI publ. 18, vol. II.*

²⁾ Stichting voor Bodemkartering, afd. Opdrachten
N.B. Aan de heren Dr. Ir. A. Breeuwsma en Dr. Ir. H. W. van der Marel wordt dank gebracht voor hun aanwijzingen en opmerkingen.



* Plaats van de detailkarteringen besproken in dit artikel en in het artikel van Westerveld en Van Holst
Location of the detailed soil surveys discussed in this article and in the article of Westerveld and Van Holst

Fig. 1. Globale bodemkaart van Nederland
Fig. 1. Generalized soil map of The Netherlands

TABLE 1. Analyseresultaten van de besproken profielen
TABLE 1. Analytical data of the discussed profiles

Diepte in cm Depth in cm	Beschrijving Description	Diepte bemon- sterde laag in cm Depth of sample in cm	Lutum % Estimated percentage fraction < 2 µm	Orga- nische stof % Organic matter %	pH-H ₂ O		Totale hoeveelheid sulfiden + sulfaten uitgedrukt als SO ₄ ²⁻ - in % van de droge grond Total amount of sulphides and sulphates expressed as SO ₄ ²⁻ in % of dry soil
					voor oxydatie before oxidation	na oxydatie after oxidation (30%) vochtig gedroogd monster moist after drying	
0-60	oophoogzand fill sand	-	-	-	-	-	-
60-80	kalkloze zware klei noncalcareous marine deposit	65-75	40	4,1	6,4	6,5	4,8
80-100	kalkloze, humeuze zware klei noncalcareous marine deposit	85-100	44	4,9	7,4	6,7	4,9
100-150	kalkrijke lichte klei (stevig) calcareous marine deposit	110-130	32	2,7	8,0	8,0	8,1
150-215	kalkrijke lichte klei (slap) calcareous marine deposit	170-200	30	5,7	7,8	8,0	7,9
215-240	fijn verslagen veen detritius	220-230	-	26,3	7,7	7,5	4,1
240-250	rietzeggeveen	240-250	-	60,5	6,6	6,2	3,1
250-265	reed-zeggeveen sedge peat	255-265	-	57,2	7,3	6,7	3,8
265-285	verslagen veen detritius	270-280	-	68,8	6,4	5,3	3,6
285-290	kleiig rietveen clay with remnants of reed	285-290	-	16,8	6,6	5,7	4,1
290-310	kalkloze zware klei noncalcareous marine deposit	290-305	38	5,2	7,5	6,1	2,2
310-400	kalkrijke zware zavel calcareous marine deposit	310-320	23	2,1	7,8	7,8	6,2
400-450	kalkrijke zware zavel calcareous marine deposit	350-370	23	3,3	8,0	7,7	7,4
450-550	kalkrijke lichte klei calcareous marine deposit	410-420	30	4,6	7,7	7,5	7,6
	kalkrijke lichte zavel calcareous marine deposit	-	15	-	-	-	-
							spoor trace 12
							0,02
							2,98
							10,55
							11,67
							6,03
							10,45
							3,85
							5,75
							3,10
							3,25
							3,96

Profiel II											
Profile II											
0-100	ophoogzand <i>fill sand</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100-110	kalkloze, humeuze lichte klei <i>noncalcareous marine deposit</i>	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
110-130	kalkloze, zware klei <i>noncalcareous marine deposit</i>	110-130	36	2,9	6,5	6,3	4,8	0,11			
130-150	veraard veen <i>moulded peat</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150-190	rietzegeveen <i>reed-sedge peat</i>	150-190	-	71,8	5,2	4,8	2,0	8,44			
190-200	venige klei <i>peaty clay</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200-240	rietzegeveen <i>reed-sedge peat</i>	200-240	-	-	6,1	5,9	2,0	-	-	-	-
240-280	zegeveen <i>sedge peat</i>	240-280	-	78,2	6,6	5,9	2,2	5,42			
280-330	rietveen <i>reed peat</i>	280-330	-	79,1	6,6	6,0	2,2	6,87			
330-370	zegeveen <i>sedge peat</i>	330-370	-	72,1	6,5	5,8	2,1	8,89			
370-420	kleinig rietveen <i>clay with remnants of reed</i>	370-420	-	27,8	5,1	4,3	2,0	7,75			
420-430	kalkloze lichte klei (slap) <i>noncalcareous marine deposit</i>	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-
430-520	kalkrijke lichte klei tot zavel <i>calcareous marine deposit</i>	440-500	18	1,6	7,5	7,5	6,7	2,47			

holocene mariene zavel- en kleiafzettingen voor die vooral aan de bovenzijde van het pakket onderbroken zijn door dikke veenlagen. Afgezien van het ophoogzand dat voor de bouwwerkzaamheden is opgebracht, bestaat de oorspronkelijke bodem uit een kalkloos kleidek op veen. Het veenpakket ligt op overwegend kalkrijke mariene afzettingen die aangeduid worden als oude zeeklei of Afzettingen van Calais (art. Van Wallenburg in deze Boor en Spade). De top van deze afzettingen bestaat uit kalkloze, potentiële katteklei.

Kenmerkend voor het landschap waarin het bouwterrein ligt, is het voorkomen van kreekruigen afgewisseld door kommen. In afwijking van bovenstaande beschrijving van een grond in de komsituatie (profiel II, tabel 1), is profiel I (tabel 1), afkomstig van een kreekrug met een dikke, kalkrijke kleilaag boven het veen.

De ondergrond is in beide profielen gelijk (Van Holst, 1968).

4. DE MOEILIKHEDEN MET DE VERVAARDIGDE PALEN

Na de fabricage van de betonpalen in de grond werd geconstateerd dat het bovenste gedeelte van een aantal bijeenliggende palen, in hoofdzaak gelegen op de kreekrug (profiel I), na de vereiste afhardingsperiode van 28 dagen niet voldoende verhard was. Behalve uit de plaatselijke aanwezigheid van een witte neerslag op de buitenzijde van de palen, bleek dit vooral uit het voorkomen van zachte en poreuze plekken tot ca. 2 m vanaf de bovenkant van de palen. Deze afwijkende kwaliteit was voldoende reden om alle palen van het gehele huizenblok af te keuren en een onderzoek naar de oorzaken in te stellen.

Het onderzoek betrof zowel de fabricage van de palen, de kwaliteit en de onderlinge verhouding van de gebruikte grondstoffen (cement, grint enz.) alsmede de bodemgesteldheid van het bouwterrein. Daarbij kwam vast te staan dat geen fouten bij de fabricage waren gemaakt (Dicke en Krekel, 1968).

Zonder dat de juiste oorzaak van de onvoldoende afharding bekend was, werden 320 nieuwe palen van ca. 20 m lengte gestort. Inmiddels was uit het uitgevoerde bodemkundig onderzoek gebleken dat de bodem grote hoeveelheden sulfiden en water-oplosbaar sulfaat bevatte en daardoor zuur kon worden na oxydatie. Daarom werd de betondekking van de bewapening vergroot van 4,7 tot 7,2 cm. Verder werd om de betonsterkte in het hart van de palen op te voeren, het beton sterker verdicht. Na de afhardingsperiode vertoonden zich dezelfde verschijnselen op de buitenkant van de palen als bij de eerste serie: plaatselijk een geringe verharding en een poreuze structuur alsmede een witte neerslag op de z.g. toeslagstoffen (grint enz.) in het beton.

5. ENKELE CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE ONDERGROND

Uit het chemische onderzoek aan grondmonsters afkomstig van plekken binnen het palenveld, blijkt duidelijk dat de betonpalen niet in een zuur, maar wel in een potentieel sterk zuur milieu staan (tabel 1). Behalve in de kalkrijke monsters vertoont de pH na oxydatie met waterstofperoxyde (H_2O_2 -30%) een sterke tot zeer sterke daling. Bij gebrek aan voldoende bufferende bestanddelen zoals koolzure kalk, wordt deze pH-daling in belangrijke mate veroorzaakt door het bij de oxydatie van sulfiden (o.a. pyriet) gevormde sulfaat (SO_4^{2-}). De onvolledige oxydatie van de organische stof draagt eveneens bij tot de zuurvorming. Behalve deze pH-daling, is vooral het hoge totaal-sulfaatgehalte – gravimetrisch bepaald na oxydatie met $HCl-HNO_3$ – een zeer goede aanwijzing voor een grote hoeveelheid sulfiden in de verschillende afzettingen, met name in het riet(zegge)veen, het verslagen veen en de potentiële kateklei.

Het totaal-sulfaatgehalte bestaat uit de som van het gehalte aan wateroplosbaar sulfaat (indien aanwezig), en de hoeveelheid sulfaat die gevormd wordt bij de oxydatie van sulfiden. In het totaal-sulfaatgehalte is tevens dat van de organische stof begrepen (0.9–3%). Zelfs na aftrek hiervan blijft het totaal-sulfaatgehalte nog hoog.

De grondwaterstanden binnen het bouwterrein zijn hoog. Behoudens een zeer geringe fluctuatie aan de bovenzijde, staan de betonpalen in stilstaand water. Bij gebrek aan analysegegevens van het grondwater (watermonsters) is de actuele sulfaattoestand, d.i. de hoeveelheid wateroplosbaar sulfaat, niet bekend. Men mag aannemen dat het in dit volledig gereduceerde milieu met stilstaand grondwater laag zal zijn.

6. SULFATEN ALS BETONAANTASTENDE STOFFEN

Uit de literatuur (Locher, 1967) is bekend dat sulfaten tot de sterk betonaantastende stoffen behoren. Het gaat hierbij om reeds verhard beton dat bloot staat aan een voortdurende aanvoer van sulfaten door water. De aangenomen grenswaarde voor niet betonaantastend water varieert (van land tot land). Het bedraagt voor stromend water gemiddeld 200 à 300 mg SO_4 /liter en voor stilstaand water 500 à 600 mg SO_4 /liter; water met meer dan 1000 mg SO_4 /l is steeds agressief (Werner, 1961; Locher en Pisters, 1964).

In een milieu waarvan het sulfaatgehalte voldoende hoog is, kan beton aangetast worden. Dit kan geschieden op twee verschillende manieren:

1. Sulfaten kunnen de vorming van ettringiet (cementbacil) veroorzaken (Dicke en Krekel, 1968). Hierbij reageert een van de betoncomponenten, het tricalciumaluminaat ($3 CaO \cdot Al_2O_3$), met gips, ontstaan uit het sulfaat in het grondwater en uit $Ca(OH)_2$ in het beton. Hierbij ontstaat de zeer moeilijk oplosbare stof calcium-sulfo-aluminaathydraat ($3 CaO \cdot$

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$). De grote volumetoename bij deze kristallisatie oefent een sterke druk uit op het omringende beton, waardoor de betonsterkte afneemt.

2. Sulfaten kunnen ook de vorming van gips veroorzaken (Dicke en Krekel, 1968; Locher en Pisters, 1964), hetgeen eveneens met een volumevergroting ('drijvende werking') gepaard gaat, zij het dat die in mindere mate tot uiting komt dan met ettringiet. Het bij de hydratatie van het cement vrijkomende $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reageert met het in het (grond)water aanwezige sulfaat. Indien het sulfaatgehalte hoog genoeg is, resulteert dit in het neerslaan op het beton van gips uit de oververzadigde oplossing. Enerzijds is hier sprake van een uitloggen van het beton onder invloed van het aanwezige sulfaat hetgeen tot een poreuze structuur van het beton kan leiden. Anderzijds ontstaat in het poreuze beton, doordat gips met 2 moleculen kristalwater uitkristalliseert, een volumevergroting hetgeen eveneens bijdraagt tot een vermindering van de betonsterkte.

7. HET ONDERZOEK AAN DE BETONPALEN

Dicke en Krekel (1968) hebben de aantastingsverschijnselen van het beton laten onderzoeken. Dit onderzoek heeft enkele belangrijke en in samenhang met het bodemkundig onderzoek bruikbare resultaten opgeleverd:

- a. Met behulp van röntgendiffractie konden zeer geringe hoeveelheden ettringiet op de buitenkant van de betonpalen aangetoond worden.
- b. Met infra-roodanalyse werd de witte neerslag op de toeslagstoffen en het cement aan de buitenzijde van de palen geïdentificeerd als gips.
- c. Het sulfaatgehalte van het cementbestanddeel in het beton ondergaat geen significante verandering van het hart naar de buitenkant van de palen. Bovendien bleek dat het sulfaatgehalte van het beton aan de buitenkant van de palen hetzelfde was als dat van niet door sulfaat aangeaste paalstukken.

Bij de waardering van deze resultaten dienen tevens de omstandigheden betrokken te worden waaronder dergelijke betonpalen gemaakt worden. Tijdens de fabricage komt nl. het verse, verdichte beton in contact met het grondwater en het sulfiden bevattende bodemmateriaal. Dit kan mogelijk geresulteerd hebben in de vorming van de witte gipsneerslag. De hiermee gepaard gaande volumetoename kan ook de betonsterkte aan de buitenzijde van de palen verminderd hebben. Het ontbreken van een mechanisme dat zorgt voor een continue sulfaataanvoer (stilstaand grondwater) impliceert de vorming van slechts zeer geringe hoeveelheden ettringiet.

Hoewel het niet geheel duidelijk is welk mechanisme in dit geval de onvoldoende verharding van het beton veroorzaakt, is het waarschijnlijk dat sulfaten hier een belangrijke rol hebben gespeeld.

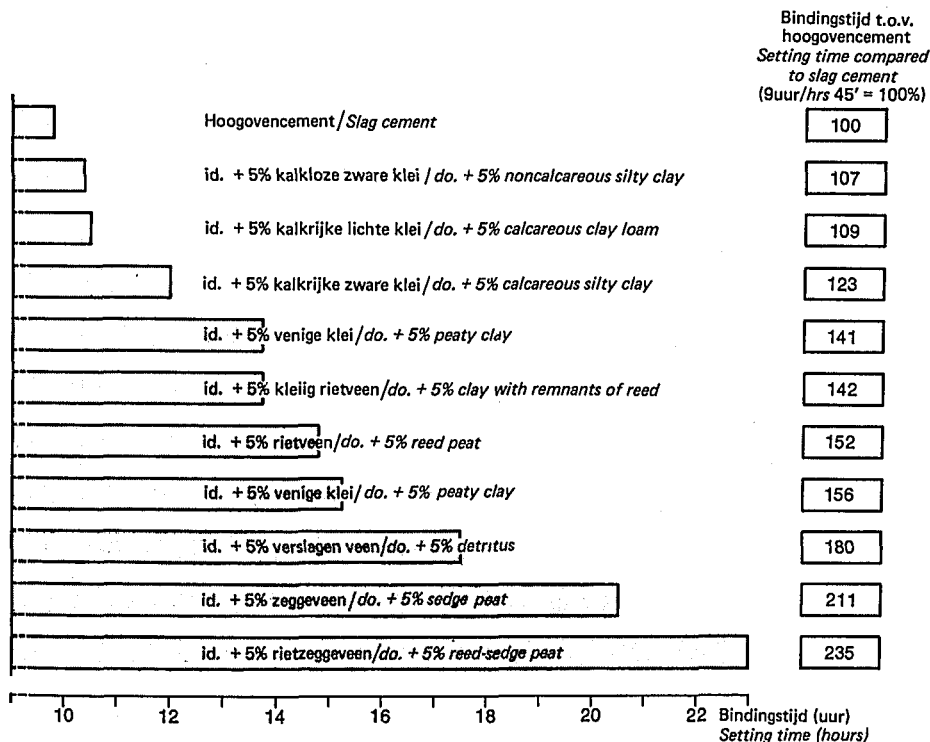


Fig. 2. Bindingstijd van hoogovencement vergeleken met verschillende grond/cementmengsels (Gegevens van Dicke en Krekel, 1968)
 Fig. 2. Setting time of slag cement paste compared with various slag cement-earth mixture pastes (Data from Dicke and Krekel, 1968)

8. ENKELE LABORATORIUMPROEVEN

Verdere aanwijzingen voor de invloed van dit agressieve milieu op de beton-aantasting zijn naar voren gekomen bij proeven met diverse grond/cementmengsels (Dicke en Krekel, 1968). Hierbij is telkens cement gemengd met 5% grond afkomstig van monsters uit verschillende bodemlagen. De hierbij behorende analysecijfers zijn echter niet beschikbaar; ze zijn min of meer vergelijkbaar met die gegeven in tabel 1 voor overeenkomstige lagen. Na menging is vervolgens het tijdsverloop tot volledige binding bepaald. De hierbij optredende vertraging t.o.v. zuiver cement is het grootst voor cement/rietzeggeveenmengsels (fig. 2), m.a.w. in mengsels waar een grote hoeveelheid sulfiden in het bodemmateriaal aanwezig is. Onder deze experimentele omstandigheden is het echter niet uitgesloten dat de sulfiden voor een deel reeds geoxydeerd waren tot sulfaten.

Voorts is bij een andere laboratoriumproef met overeenkomstige cement/grondmengsels na de afhardingsperiode van 28 dagen de druksterkte bepaald (fig. 3). Hieruit bleek dat de aard en hoeveelheid van de bijmenging

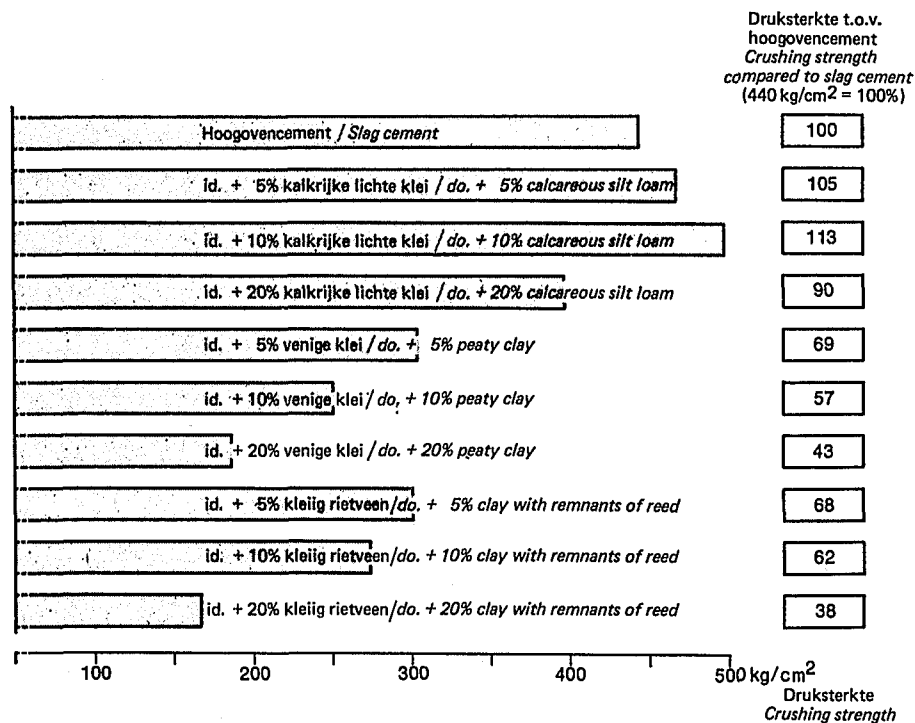


Fig. 3. Druksterkte van betonblokken bestaande uit hoogovencement en verschillende grond/cementmengsels, na volledige harding. (Gegevens van Dicke en Krekel, 1968)
 Fig. 3. Crushing strength of concrete cubes, made of slag cement and different slag cement-earth mixtures after complete hardening (Data from Dicke and Krekel, 1968)

van sulfiden bevattend bodemmateriaal bepalend is voor de uiteindelijke sterkte.

Uit deze proeven kon tevens worden afgeleid dat bepaalde bestanddelen uit de organische stof (humuszuren) ook op beton kunnen inwerken en resulteren in een vertraagde binding en een geringere verharding. Deze verschijnselen treden vooral op bij aanwezigheid van een grote hoeveelheid organische stof (fig. 2 en 3). Van de veenlagen in de nabijheid van de betonpalen zal zeker een schadelijke werking uitgaan (Locher en Pisters, 1964), hoewel die niet te scheiden is van de aantasting door sulfaten.

De uitkomsten van beide proeven kunnen niet zonder meer overgedragen worden op de praktijksituatie, waar het vers gestorte beton in contact komt met de verschillende sulfiden bevattende bodemlagen. Hier blijft immers de inwerking beperkt tot de buitenkant van de palen, terwijl er onder laboratoriumomstandigheden na de menging van beide componenten meer sprake is van een massaproces.

9. CONCLUSIE

Het is een bekend feit dat beton door sulfaten kan worden aangetast. De hier besproken aantasting van ter plaatse gestorte betonpalen, zich uitend in een onvoldoende verharding van het beton, is geschied in een milieu met een potentieel zeer hoog sulfaatgehalte. Het mechanisme is niet geheel bekend, maar sulfaten zullen er waarschijnlijk de oorzaak van zijn. Dit betekent dat deze wijze van betonpalen fabriceren in gebieden waar in de ondergrond veel sulfiden aanwezig zijn, een groot gevaar inhoudt voor schade aan hardend beton.

In gebieden waar potentiële kateklei in de ondergrond verwacht mag worden, moet eigenlijk eerst een bodemkundig onderzoek uitgevoerd worden. Indien het onderzoek de aanwezigheid van dergelijke gronden aantoonst, verdient het aanbeveling geen Franki-palen voor funderingsdoeleinden toe te passen, maar gebruik te maken van een sulfaat-bestendige hoogovencement of van geprefabriceerde betonpalen voorzien van een afdekkende bitumenlaag.

SAMENVATTING

Voor de fundering van bouwwerken op een weinig draagkrachtige ondergrond wordt veelal een betonnen fundering toegepast. Hiervoor worden of geprefabriceerde of in de grond gemaakte betonpalen (z.g. Franki-palen) gebruikt. De toepassing hiervan in een gebied met veel potentiële kateklei in de ondergrond wordt besproken.

Het gebied te Vlaardingen waar deze palen zijn toegepast, is opgebouwd uit een aantal mariene afzettingen (Afzettingen van Calais en Duinkerke) afgewisseld door veenlagen (Hollandveen). Van de potentieel sterk zuur reagerende, kalkloze klei- en veenlagen kan het totaal-sulfaatgehalte oplopen tot meer dan 10%; over het actieve, wateroplosbare sulfaat zijn echter geen analysegegevens beschikbaar. Het sulfaat in het grondwater verbindt zich met enkele betoncomponenten waaruit de vorming van gips en in geringe mate van ettringiet resulteert. Het ontstaan van deze verbindingen gaat gepaard met een volumetoename. Als gevolg hiervan doen zich in de praktijk aantastingsverschijnselen voor aan de buitenzijde van de palen: poreuzere betonstructuur en minder hard beton. Het uiteindelijke gevolg is dat dergelijke betonpalen afgekeurd worden voor funderingsdoeleinden.

Als conclusie kan gelden dat een vroegtijdig uitgevoerd bodemkundig onderzoek hier geleid zou hebben tot een advies om hetzij geprefabriceerde palen te gebruiken, hetzij dezelfde paalconstructie toe te passen doch dan voorzien van een dikkere betondekking van de wapening.

SUMMARY

In The Netherlands foundation piles in subsoils of low bearing capacity are frequently made by pouring concrete into holes, using steel pipes as temporary casing. At a building site in the western part of the country, large amounts of these piles were condemned for showing serious deficiencies in strength.

The flaw was identified as 'cement bacillus', a type of corrosion caused by excess of sulphates in the environment in which the concrete is hardening.

Soil investigations demonstrated sulphidic or potentially acid sulphatic subsoil layers at the building site. Analytical data and experiments with soil-concrete mixtures suggest that the sulphidic soil material is responsible for the damage.

The available data do not allow a direct correlating of damage and actual content of soluble sulphates in the soil material. They do allow the conclusion that, with the construction methods under consideration and for areas with sulphidic subsoil material, there is a high risk of damage to hardening concrete by excess sulphates. Therefore, in situ pouring of concrete piles should be avoided in areas with potential acid sulphate subsoils.

The English version of this article has been published in: *Dost, H. (editor)*, 1973: Acid Sulphate Soils. Proceedings of the International Symposium 13-20 August 1972 Wageningen. ILRI publ. 18, vol. II. Wageningen, the Netherlands.

LITERATUUR

- Dicke, H. A., en H. Krekel*, 1968: Intern Rapport N.V. Nederlandse Franki Maatschappij, Rotterdam.
- Holst, A. F. van*, 1968: Bodemkundig onderzoek van een bouwterrein in de Holiërhoeksche Polder (Gemeente Vlaardingen). Rapport 778. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Holst, A. F. van*, 1968: Bodemkundig onderzoek van een bouwterrein in de Holiërhoeksche Polder (blok G) (Gemeente Vlaardingen). Rapport 778a, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Locher, F. W.*, 1967: Chemischer Angriff auf Beton. Beton 17: H1: 17-19. H2: 47-50. Düsseldorf, Oberkassel.
- Locher, F. W., en H. Pisters*, 1964: Beurteilung betonangreifender Wässer. Zement, Kalk, Gips 4: 129-136. Wiesbaden.
- Werner, R.*, 1961: Hochsulfat beständige Zemente in Berg-, Stollen- und Tunnelbau, Montan Rundschau 4.