

## SCHUIMBETON

*'Evenwichtig construeren,  
leidt tot samenhangende oplossingen.'*

## **SCHUIMBETON**

*'Evenwichtig construeren,  
leidt tot samenhangende oplossingen.'*

*Cursus: Grondconstructies op sterk samendrukbare ondergrond [PAO]*

*Auteur: Ir. S. van Dijk namens de Stichting Schuimbeton Nederland*

*Datum: September 1994*

*Herdruk: januari 2001*

BIJ HERDRUK JANUARI 2001

Na de vervaardiging van deze technische brochure zijn verschenen:

- CUR 181 (okt 1995)  
Werken met schuimbeton - eigenschappen en toepassingen
- CROW 101 (mei 1996)  
Wegen en terreinen op schuimbeton
- CUR aanbeveling 59 (jan 1998)  
Vervaardiging en beproeving van schuimbeton

Tabel 1 in deze herdruk is aangepast aan deze publicaties

De Stichting Schuimbeton Nederland is van mening dat ondanks genoemde rapporten en aanbeveling, deze technische brochure nog steeds bijdraagt aan de kennisoverdracht van het product schuimbeton.

## **1 INLEIDING**

## **2 SCHUIMBETON**

2.1. AARD EN SAMENSTELLING

2.2. VERVAARDIGING

2.3. EIGENSCHAPPEN

2.4. UITVOERING

## **3 HET TOEPASSEN VAN SCHUIMBETON**

3.1. PLAATFUNDATIE-WEGEN

3.2. PLAATFUNDATIE-GEBOUWEN

3.3. VULLICHAAM-KADE

3.4. VULLICHAAM-OPHOGING

3.5. VULLICHAAM-OVERIG

## **4 VOORBEELDEN VAN TOEPASSINGEN**

4.1. VOORBEELD PLAATFUNDATIE-WEGCONSTRUCTIE

4.2. VOORBEELD PLAATFUNDATIE-GEBOUW

4.3. KADE CONSTRUCTIE

4.4. VOORBEELD VULLICHAAM-OPHOGING



## 1 INLEIDING

Bij het construeren op sterk samendrukbare ondergrond kiezen we doorgaans voor twee oplossingen:

- ▶ het overbruggen van de samendrukbare laag door het aanbrengen van funderingselementen [palen etc.] door deze laag heen tot in de onderliggende weinig samendrukbare laag;
- ▶ het samendrukken en 'uitpersen' van de samendrukbare laag door het aanbrengen van belastingen op, en drainage in die laag;

Maar er is ook een derde oplossing voor handen:

- ▶ substitutie van een deel van de bovenste grondlaag door [samenhangende] lichte materialen, zodanig dat door substituuft en permanente belasting geen korrelspanningsverhoging optreedt in de samendrukbare grondlaag.

Constructies volgens de derde oplossing worden ook wel aangeduid met evenwichtsconstructies. Schuimbeton is één van die substituten, waarbij de gewenste eigenschap wordt gecombineerd met een aantrekkelijke tweede eigenschap: samenhang.

## 2 SCHUIMBETON

### 2.1. AARD EN SAMENSTELLING

Schuimbeton bestaat in zijn meest elementaire vorm uit vier componenten: cement, water, schuimmiddel en lucht. Van cement en water wordt een cementlijm gemaakt, terwijl van schuimmiddel, water en lucht, het schuim wordt vervaardigd. Dit schuim is visueel vergelijkbaar met scheerschuim. Schuimbetonspecie is tenslotte het homogene mengsel van cementlijm en schuim en is visueel vergelijkbaar met grijze mousse. Naast cement worden o.a. vulstoffen als poederkoolvliegass, [kalk]steenmeel en zand aan de cementlijm toegevoegd.

Schuimbeton is geen variant op gewoon beton, ondanks de naam, de overeenkomende grijze kleur en de aanwezigheid van cementlijm in beide materialen. Beton bestaat uit een door cementlijm bijeengehouden compact zand/grind-skelet, waarbij de belastingafdracht vooral via dit skelet plaatsvindt.

Schuimbeton bestaat uit een door cementlijm bijeengehouden luchtbel-skelet, waarbij belastingafdracht juist via de cementmatrix plaatsvindt.

Er is wel één belangrijke overeenkomst tussen beide materialen: na verharding ontstaat een monoliet, samenhangend geheel.

### 2.2. VERVAARDIGING

Vervaardiging van schuimbeton vindt plaats op de bouwlocatie zelf door een mobiele menginstallatie. In hoofdzaak bestaan er twee vervaardigingstechnieken, waarbij bij beide het schuim op de bouwlocatie wordt vervaardigd om vervolgens gemengd te worden met de cementlijm:

- ▶ natte methode: de cementlijm wordt elders vervaardigd en aangevoerd in een truckmixer;
- ▶ droge methode: de cementlijm wordt eveneens op de bouwplaats vervaardigd. Laatstgenoemde methode wordt in toenemende mate gehanteerd vanwege voor-

delen als materiaalkwaliteit, minimaal aanvoergewicht en logistieke eenvoud. Na vervaardiging wordt de schuimbetonspacie door flexibele leidingen [slangen] naar het applicatiepunt vervoerd.

### 2.3. EIGENSCHAPPEN

Schuimbeton kenmerkt zich met name door vier eigenschappen: de vloeibaarheid van de schuimbetonspacie [yoghurt-dun], de volumieke massa [400 - 1600 kg/m<sup>3</sup>; regelbaar via volumefractie schuim], de structuur en de samenhang van het verharde materiaal.

Een combinatie van deze eigenschappen zorgt voor een goede vorst-dooi weerstand en brandwerendheid, een lage warmtegeleiding en een hoge absorptie capaciteit van bewegingsenergie. In tabel 1 worden enkele eigenschappen van drie typen schuimbeton [gekenmerkt door hun volumieke massa] weergegeven.

Volumieke massa	500	900	1200	[kg/m <sup>3</sup> ]
Kubusdruksterkte, 28 dagen	1,0	3,5	6,0	[MPa]
E-modulus, druk, 28 dagen	650	2900	5800	[MPa]
Hygrische krimp	5,5	4,0	2,5	[mm/m]
Kruipfactor _	3,7	2,0	-	[--]
Warmtegeleidingscoëff. _	0,11	0,26	0,40	[W/m.K]
Waterdampdiff.w.getal _	3,5	6,0	9,0	[--]
Wateropname <small>(1m waterkolom gedurende 10 jaar)</small>	50	10	5	[kg/m <sup>2</sup> ]

Tabel 1 – Eigenschappen van drie typen schuimbeton

Uit tabel 1 blijkt de invloed van materiaal ouderdom; één en ander is het gevolg van de voortgaande hydratatie van het cement en de aanwezigheid van vlieg-as in het mengsel.

Hygrische krimp is hoog vergeleken met beton, maar feitelijk treden waarden van 1 tot 1,5 mm/m op bij toepassing van schuimbeton in de grond.

### 2.4. UITVOERING

Bij het uitvoeren van schuimbetonconstructies dienen enkele zaken in het oog te worden gehouden. Door de grote vloeibaarheid van de specie, wordt bij de te maken constructie elke toegankelijke holte gevuld en zal het oppervlak van de schuimbetonconstructie praktisch horizontaal zijn. Ook dienen bekistingen en andere grensvlakken vloeistofdicht te zijn en op een volle hydrostatische druk berekend te zijn van de schuimbetonspacie [na verharding is deze druk in horizontale zin uiteraard nul].

Afhankelijk van stortomvang en omstandigheden [temperatuur en vochtigheid] bestaat een schuimbetonconstructie uit één of meerdere stortlagen. Normaal zal een stortlaagdikte van 0,5 m tot maximaal 1 m toegepast worden. Bij toepassing van een grote stortlaagdikte en een lage volumieke massa, bijvoorbeeld 500 kg/m<sup>3</sup>, is verdrinkingsgevaar reëel; dit gevaar blijft tot enkele uren na het aanbrengen aanwezig. Methoden voor stortvoorbereiding en nabehandeling zijn vergelijkbaar met die voor beton. Het schuimbeton zal doorgaans beloopbaar zijn de dag volgend op de stortdag.

Schuimbetonstorts dienen 'in den droge' plaats te vinden: onderwater-schuimbeton is helaas nog niet beschikbaar of fysisch onmogelijk [volumieke massa < 1000 kg/m<sup>3</sup>]. Wel is er een variant, waarbij een vloeistofdichte folie [bijvoorbeeld in de vorm van een zak] de scheiding vormt tussen het [grond]water en de aangebrachte schuimbetonspecie; eventueel wordt het [grond]water gedurende het aanbrengen van de schuimbetonspecie weggepompt.

### 3 HET TOEPASSEN VAN SCHUIMBETON

In het kader van deze cursus beperkt het vervolg zich vooral tot schuimbeton met een volumieke massa van 500 kg/m<sup>3</sup> [dit wordt ook het meest toegepast; zie tabel 1 voor eigenschappen]. Bij een dergelijke volumieke massa dient men zich het volgende te realiseren:

- ▶ de volumieke massa van de schuimbetonspecie bedraagt 500 kg/m<sup>3</sup>; na verharding kan dit dalen tot 450 kg/m<sup>3</sup> door uitdroging; bij 105 °C blijft gedroogd 350 kg/m<sup>3</sup> over;
- ▶ na wateropname resteert een volumieke massa van minder dan 550 kg/m<sup>3</sup>; [dus effectieve volumieke massa onder water is tenminste -450 kg/m<sup>3</sup>, ofwel opdrijving!]

De specifieke kenmerken van het schuimbeton voor toepassingen in/op samendrukbare gronden zijn:

- ▶ lage volumieke massa/geringe belasting boven [grond]water;
- ▶ negatieve effectieve volumieke massa/ontlasting beneden [grond]water;
- ▶ monoliet, samenhangend materiaal met druk-, trek- en schuifsterkte.

#### 3.1. PLAATFUNDATIE-WEGEN

De gedachte is bij het construeren van wegen [en railbanen] op samendrukbare gronden, het minimaliseren van zettingen. Via een evenwichtsberekening wordt bepaald wat de benodigde ontgravingsdiepte is; rekening houdend met de grondwaterstand[variatie] en het ontwerppeil van bovenkant verharding, om vervolgens een schuimbetonfundering in het cunet te vervaardigen.

Toetsing vindt plaats voor:

- ▶ toename korrelspanning onder schuimbetonfundering bij laagste grondwaterstand;
- ▶ opdrijving gehele constructie bij hoogste grondwaterstand;
- ▶ eventueel benodigde grondwaterstandsverlaging tijdens uitvoeringfasen;
- ▶ spanningen/vervormingen t.g.v. [mobiele] belasting tijdens uitvoering en in gebruiksfase;
- ▶ effect vervormingsverschillen tussen fundering en verharding [krimp: scheurreflectie];
- ▶ temperatuurgedrag constructie i.v.m. thermische isolatie van het schuimbeton [o.a. spoorvorming in asfalt door verweking].



De grootste ontlasting wordt bereikt als op het terrein bijvoorbeeld een oude ophooglaag van zand aanwezig is. Vervanging door schuimbeton geeft per m<sup>1</sup> een verlaging van de korrelspanning van 12 tot 14,5 kPa. Bestaat het terrein uit veengrond, dan is deze ontlasting slechts 4,5 tot 6,5 kPa. Gelet op de orde grootte van deze ontlastingen is een zettingsvrije wegconstructie 'in ophoging' op samendrukbare gronden niet mogelijk; slechts bij een beperkt peilverschil tussen weg en maaiveld is een zettingsvrije oplossing realiseerbaar.

Voor de wegconstructie kunnen een aantal systemen gekozen worden die elk één of meer eigenschappen van het schuimbeton [naast volumieke massa] uitnutten:

- ▶ gekoppelde platen; asfaltbeton of gewapend beton vast aan schuimbetonfundering; dimensionering met lineair elastisch meerlagen model [Bisar/Vencon]; plaatwerking fundering wordt redelijk meegenomen; grootste problemen zijn mogelijke scheurdoorgroei vanuit fundering [krimp!] naar verharding [asfalt] en thermische isolatie van de schuimbetonfundering [verweking asfalt];
- ▶ losse platen; identiek aan vorig systeem, alleen nu geen koppeling tussen lagen; dikte van verhardingslaag neemt toe; dimensionering is identiek, doch schuimbeton wordt niet volledig uitgenut;
- ▶ los drielagen systeem; tussen schuimbeton en verharding [asfalt, beton of elementen als BKK/Stelcon] wordt een dunne tussenlaag [zand, puingranulaat, niet hydraulisch] aangebracht; bij dimensionering wordt schuimbeton slechts opgevat als een grondlaag met goede beddingsconstante; een fundering met granulaire materialen met identieke eigenschappen zou dan dus gelijkwaardig zijn; speciale aandacht is vereist voor de drainage van de tussenlaag;
- ▶ gekoppeld drielagen systeem: sandwich; samengestelde plaat van schuimbeton met een onder- en bovenflens van gewapend beton, waarbij de flenzen via tralieliggers met de schuimbetonkern verbonden kunnen worden; dimensioneren bij voorkeur met E.E.M. [Diana, KOLA, CAPA]; deze constructie is bijzonder stijf en heeft een grote plaatwerking; praktisch alle schuimbetoneigenschappen spelen hier een rol.

### 3.2. PLAATFUNDATIE-GEBOUWEN

De gedachte bij gebouwen op een plaatfundering van schuimbeton is identiek aan die bij wegen. Bijkomend voordeel is de geringe hinder [geen trillingen e.d.] bij applicatie, hetgeen prettig is bij applicatie tussen bestaande belendingen. Het dimensioneren is relatief eenvoudig, omdat de rustende belasting maatgevend en eenvoudig van vorm is [lijn of vlak]; de eigenschappen van het schuimbeton worden ten volle benut. Op de plaats van grote lijnlasten [muren] wordt de dikte van de schuimbetonfundering dikwijls vergroot [diepere ontgraving] terwijl een gewapende betonvloer kan fungeren als trekband aan de bovenzijde van de fundering.

Aandachtspunten zijn:

- ▶ draagkrachtvariatie van de ondergrond i.v.m. ongelijkmatige vervormingen;
- ▶ thermische isolatie van de fundering [Bouwbesluit];
- ▶ belastingen tijdens de uitvoering.

Ook voor funderingsherstel wordt schuimbeton toegepast. In veel gebieden met samendrukbare grondlagen is in het verleden een ophoging van zand toegepast [A'dam, Almere]. Vervanging van ~ een deel van ~ dit ophoogzand door schuimbeton geeft zowel een reductie van de negatieve kleef als voldoende laterale steun aan bestaande paalfunderingen. Een variant is het aanbrengen van een tussen de funderingsmuren voorgespannen plaat schuimbeton, ter gedeeltelijke ontlasting van doorponsende funderingspaaltjes.

### 3.3. VULLICHAAM-KADE

Bij toepassing van schuimbeton als vullichaam bij een kade worden twee eigenschappen in het bijzonder gebruikt: gering volume gewicht en samenhangende structuur.

Bij een traditionele kade met bijvoorbeeld een damwandscherm als voorwand, wordt zand gebruikt als vulling achter de voorwand. Deze vulling geeft een [actieve] horizontale belasting op de voorwand en een grote verticale belasting op de ondergrond. Gevolg is ~ doorgaans ~ de noodzaak voor horizontale verankering en het optreden van grote zettingen bij samendrukbare gronden; het laatste maakt een gesloten, continue verharding [asfalt] doorgaans niet mogelijk.

Wordt schuimbeton als vullichaam gebruikt, dan ontstaan er vele voordelen:

- ▶ de toename van de korrelspanning in de ondergrond kan geminimaliseerd worden, dus geringe zettingen; tevens kortere deuvelling van grond nodig i.v.m. glijvlakken;
- ▶ de voorwand ondervindt geen horizontale belasting vanuit het schuimbeton, daar het vullichaam ~ na verharding ~ één stabiel, samenhangend blok vormt [mits correct gedimensioneerd];
- ▶ laterale gronddruk op de voorwand t.p.v. onderzijde schuimbeton is lager. De consequentie hiervan is dat de ankerkrachten afnemen [feitelijk alleen nog bolderkrachten] en momenten in de voorwand reduceren. Bij grote afmetingen van het vullichaam zal een combinatie van schuimbeton en zand gekozen worden, zodat de kosten aanvaardbaar blijven.

Hoewel deze toepassing eenvoudig lijkt, zijn er zeker enkele punten die gecompliceerd liggen; dit geldt vooral voor kade constructies, waarbij het vullichaam van schuimbeton op een bestaand talud ligt:

- ▶ scheurvorming: bij verticaal doorscheuren [evenwijdig aan de voorwand] van het ongewapende schuimbetonblok kan de stabiliteit van de constructie in gevaar komen;
- ▶ ankerschot: de ankerschotten mogen hun passieve weerstand niet aan het schuimbeton ontfenen, daar anders de voorwand opgedrukt wordt c.q. de stabiliteit van de constructie niet langer gewaarborgd is;
- ▶ ankerstang: ankerstangen door schuimbeton heen opnemen in mantelbuizen, zodat voldoende zettingsruimte aanwezig is [voorkomen van momenten in ankerstangen];
- ▶ [grond]waterstroming: schuimbeton is als waterondoorlatend te beschouwen; bij slecht doorlatende grondlagen en grondwaterstandvariaties kunnen onder het schuimbeton drukvariaties optreden [dus meer of minder netto gewicht van de constructie]; het grondwater wordt gedwongen om onder en langs het schuimbeton te stromen, hetgeen een punt van aandacht is bij het stoppen van een bemaling bij uitvoering in den droge [macrostabiliteit constructie en microstabiliteit van onderliggende zandlagen]; risico van 'badkuip' bovenop schuimbeton;
- ▶ stabiliteit: zodanig dimensioneren dat de constructie altijd een netto neerwaartse druk op de ondergrond [talud] uitoefent [orde grootte 10 kPa]; letten op mogelijke waterstandvariaties en controle voor afmeerkrachten van schepen;
- ▶ zetting: bij langdurig ongelijkmatige belasting van kade [denk aan goederen opslag] letten op mogelijkheid van scheefzakken [en daardoor belasten van voorwand] van schuimbetonlichaam.

### 3.4. VULLICHAAM-OPHOGING

Het maken van een ophoging [taludverbreding] in schuimbeton op samendrukbare gronden is vrijwel identiek aan de kade toepassing, echter nu bevindt het schuimbeton zich geheel boven het grondwater. De voordelen bij toepassing van schuimbeton voor taludverbreding zullen evident zijn:

- ▶ geringe zettingen;
- ▶ geringe beïnvloeding van reeds bestaande, naastliggende constructie [bijvoorbeeld een weg];
- ▶ massief, samenhangend lichaam [geen uitspoeling];
- ▶ waarborging stabiliteit oude talud.

Aandachtspunten bij deze constructies zijn:

- ▶ stabiliteit: voorkomen dat verbreding langs oude talud afglijdt [eventueel deuzelen schuimbeton in oude talud];
- ▶ grondwaterstroming: ook hier vraagt het vlak tussen oude talud en schuimbetonlichaam weer extra aandacht; grondwaterstroming kan hier alleen parallel aan het grensvlak plaatsvinden; ontstaan van onder-/overdruk achter schuimbeton voorkomen, evenals uitspoeling van gronddelen;
- ▶ zetting: voorkomen dat vullichaam scheef zakt o.i.v. ongelijkmatige belasting.

### 3.5. VULLICHAAM-OVERIG

Enkele andere toepassingen van schuimbeton als vullichaam in/op samendrukbare gronden zijn:

- ▶ vulling van buiten gebruik gestelde leidingen in de grond [riolen etc.]; voorkomen wordt dat de oude leiding instort, terwijl slechts een geringe belasting wordt toegevoegd;
- ▶ overkluizingen; bij kruising van een leidingstraat met een weg worden de leidingen beschermd door een overkluizing van schuimbeton, zodat zettingen van de weg t.p.v. de kruising worden voorkomen;
- ▶ overgangslichaam; bij een stijve constructie [paalfundering] in een gebied met samendrukbare gronden vormt de overgang van de stijve constructie naar de slappe omgeving vaak een probleem [denk aan kunstwerken als viaducten met stootplaat problematiek]; schuimbeton wordt juist in deze overgangszone toegepast om zettingsverschillen te beperken;
- ▶ versneld integraal bouwrijp maken van terreinen.

## 4 VOORBEEDEN VAN TOEPASSINGEN

### 4.1. VOORBEELD PLAATFUNDATIE-WEGCONSTRUCTIE

Het eerste voorbeeld betreft een kraanbaanrail voor een betonfabriek in Amsterdam-N.O., die oorspronkelijk op palen gefundeerd zou worden; figuur 1 geeft een verticale doorsnede loodrecht op de rail. Dit voorbeeld laat vooral goed de functionaliteit van een sandwich constructie zien. De belasting door de sandwichconstructie [inclusief gronddekking] op de bodem van het cunet bedraagt 6,5 kPa; eerdere ontgraving van het cunet gaf een ontlasting van 7 kPa, zodat geen aanleiding voor zetting bestaat. De portaalkraan vertegenwoordigt een maximale mobiele belasting van 480 kN [excl. stootcoëfficiënt]; per loopwielstel [totaal 4] is dit 120 kN en per loopwiel [3 per stel, h.o.h. 750 mm] 40 kN.

Het tweede voorbeeld betreft een reconstructie van het fietspad Amsterdam-Halfweg, parallel aan de N5. De oude constructie bestond uit een zandfundering op een oude dijk [veenplaggen] met een asfaltbeton verharding [diverse dikten door herhaaldelijke overlaging].

De reconstructie bestond uit het uitbreken van het asfalt en het ontgraven van de zandfundering tot een totale diepte van 0,6 m. Figuur 2 geeft een doorsnede van de uiteindelijke evenwichtsconstructie. Het schuimbetonpakket zelf was hierbij gedimensioneerd op een maximale aslast van 40 kN [dubbellucht] en een maximale bodemdruk van 0,8 MPa.

Voor de gebruiksfase gold een maximale aslast van 60 kN [N = 73.000; 20 jaar].

De constructie is zodanig uitgevoerd dat asfaltbeton en schuimbetonfundering gekoppeld zijn; voor het realiseren van voldoende sterkte en draagkracht tijdens de uitvoering [asfaltspreidmachine] is het bovenste deel van de schuimbetonfundering uitgevoerd in een zwaarder [= sterker] type.

#### 4.2. VOORBEELD PLAATFUNDATIE-GEBOUW

Van dit type toepassing zijn vele voorbeelden te geven. Voor een meer algemene indruk zijn in figuur 3 een drietal veel gebruikte oplossingen geschetst voor de woningbouw op de plaats van dragende wanden [verticale doorsneden].

De dikte van het schuimbeton wordt bepaald door twee criteria:

- ▶ benodigde ontlasting van de ondergrond [zettingsbeperking];
- ▶ benodigde sterkte/stijfheid voor opnemen van lijnlasten.

Het eerste criterium is praktisch altijd maatgevend; indien nodig wordt op kritische plaatsen nog wapening in/om het schuimbeton toegepast.

#### 4.3. KADE CONSTRUCTIE

Het eerste voorbeeld betreft een laad- en loskade in Wormerveer; lengte 205 m; breedte 10 m; schepen tot 1000 ton BRT; bolders h.o.h. 33 m, 50 kN; voorliggende waterdiepte 3 m; verkeersklasse 45. Figuur 4 geeft het dwarsprofiel weer van de bestaande situatie met intekening van voorwand en schuimbeton vullichaam. In figuur 5 is een sondering met grondboring weergegeven, waaruit blijkt dat tot NAP -5 m zeer slappe grondlagen voorkomen; reden voor de oplossing met schuimbeton in plaats van zand. In tabel 2 is weergegeven waarin dit geresulteerd heeft [GWS = NAP -0,7 m].

	Zand	Schuimbeton
Eindzetting bij voorwand [m]	0,52	0,03
Veldmoment [kNm]	89	20
Inklemmingsmoment [kNm]	34	23
Ankerkracht [kN/m <sup>1</sup> ]	56	9

Tabel 2 – Effect van zandvulling versus schuimbetonvulling

De in tabel 2 gegeven waarden zijn exclusief troskrachten en inclusief bovenbelasting [permanent deel verkeersbelasting, 2 kPa]. Figuur 6 geeft een verticale doorsnede van de gerealiseerde constructie. Toegepast is een Larssen PU 6, lang 9,25 m voor de voorwand en een Larssen PU 8, lang 8 m voor de ankerwand. Ankers h.o.h. 6 m [3 planken PU 8]; t.p.v. bolders dubbel anker [5 planken PU 8, 2 dubbel en 1 enkel]. De verharding bestaat hier uit een staalvezelbetondek met een dunne asfaltbetonlaag.

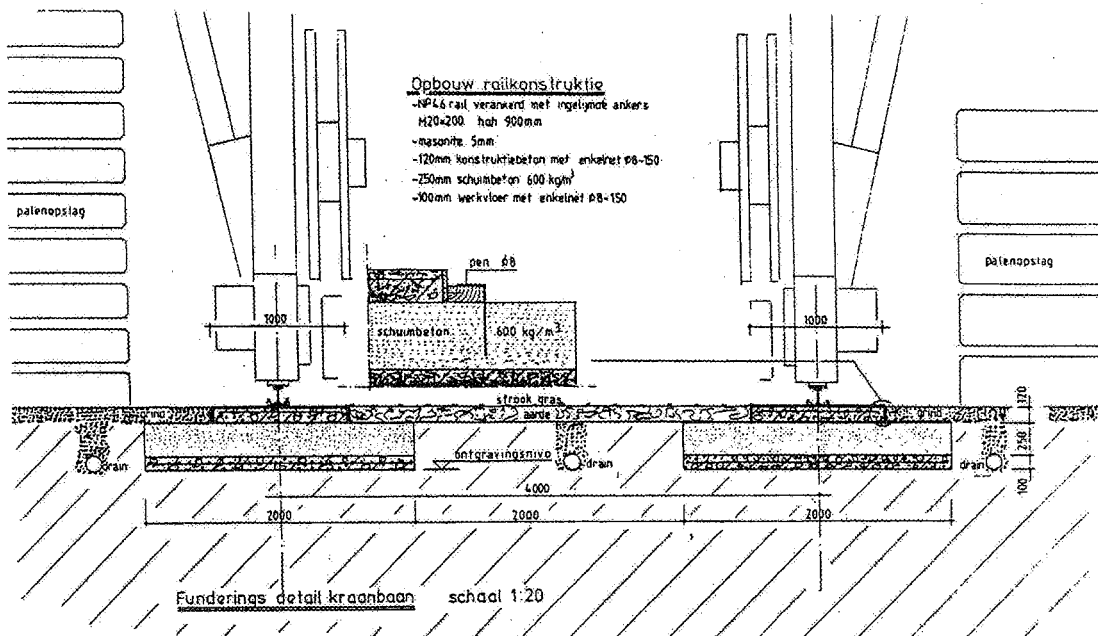
Het tweede voorbeeld betreft een kade in de Sonthaven te Amsterdam; lengte 100 m; breedte 15 m; schepen tot 2600 ton BRT; bolders h.o.h. 15 m, 300 kN; voorliggende waterdiepte 3,35 m; verkeersklasse 60; bovenbelasting over strook van 3,5 m parallel aan voorwand 40 kN/m<sup>2</sup>, rest kadevlak 25 kN/m<sup>2</sup>. Figuur 7 geeft een sondering en grondboring van de locatie weer; met name de grondlagen gelegen tussen NAP -3,5 m en NAP -7 m kunnen aanleiding geven tot zetting. In afwijking van het eerste voorbeeld bevindt deze kade constructie zich op een bestaand talud dat onder 1:3 doorloopt tot NAP -11,5 m [bodemniveau Sonthaven].

De constructie is in den droge gemaakt. Figuur 8 geeft een verticale doorsnede van de uiteindelijk gerealiseerde constructie. Om kosten te besparen is de vulling uit zowel schuimbeton als zand samengesteld, ondanks de consequentie t.a.v. zetting. Boven NAP -0,9 m is achter de voorwand deels stampbeton toegepast om voldoende neerwaartse belasting [1 ton/m<sup>2</sup> i.v.m. stabiliteit] te bewerkstelligen. Ook bij deze kade is het uitgangspunt geweest om de laterale druk op de voorwand ~ en in tweede instantie de zettingen ~ te reduceren; de laterale druk op de voorwand zal nu pas vanaf NAP -2,75 m [i.p.v. NAP +0,75 m] opgebouwd worden en duidelijk minder zijn dan bij een volledige zandvulling. Ankerstangen en ankerschotten zijn alleen toegepast t.p.v. de bolders [span-ankers 2x2"]; overige gegevens zijn vermeld in de figuur.

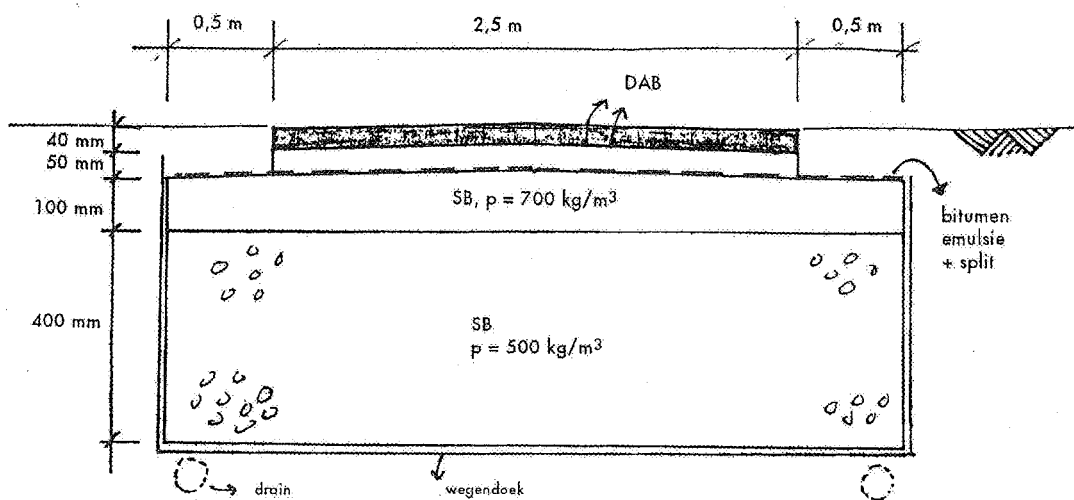
Tijdens de uitvoering en na de oplevering zijn enkele malen de hoogte en positie van de voorwand en het schuimbetonblok bepaald; gedurende 11 maanden na oplevering was de gemiddelde zetting van het schuimbetonblok [op 1 m uit de voorwand] 19 mm en was de voorwand op keshoogte gemiddeld 8 mm richting het water verplaatst, hetgeen volgens verwachting was. Overigens moet hierbij gezegd worden dat zetting van de vulling bij deze constructie altijd leidt tot enige horizontale verplaatsing van de voorwand.

#### 4.4. VOORBEELD VULLICHAAM-OPHOGING

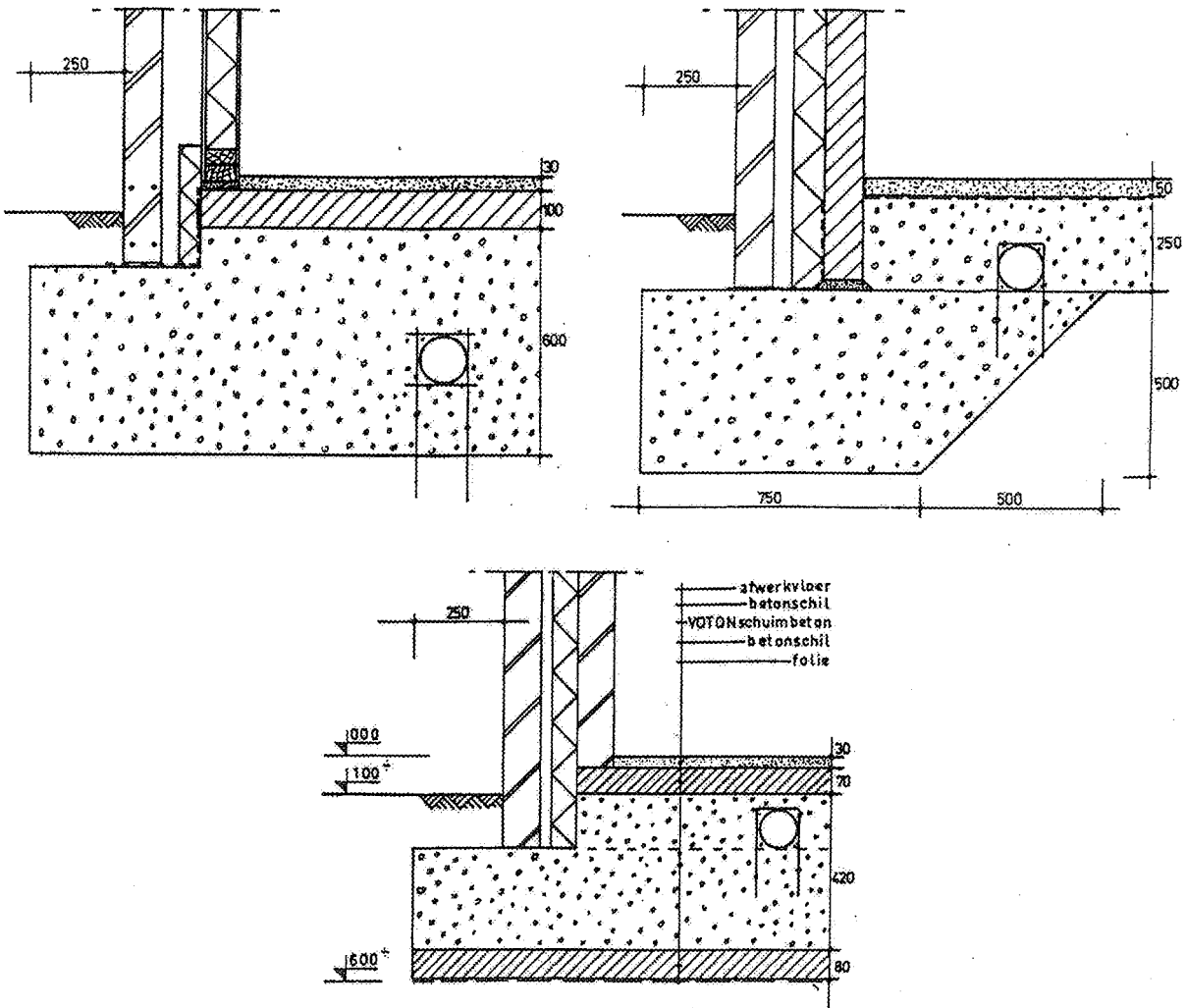
Als laatste voorbeeld een toepassing van schuimbeton in Japan, beschreven door H. Miki in PIARC, 1993, nr. 281, pp. 64-68. Het betrof hier de vervaardiging van een verbreding op een steil talud [gevoelig voor aardverschuivingen] naast de Tokyo-Chiba Highway. Figuur 9 geeft een principe doorsnede van de oplossing. Zoals is te zien, is de schuimbetonvulling met buizen vastgepind aan het oude talud om afschuiving te voorkomen.



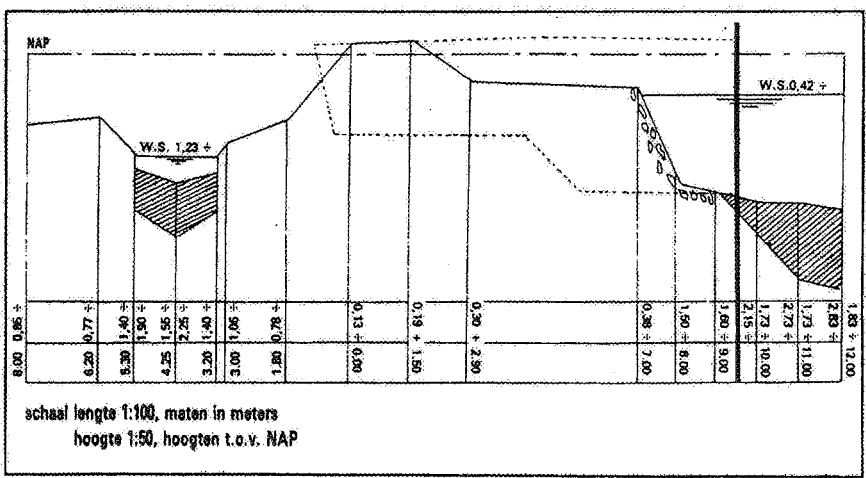
Figuur 1 – Verticale doorsnede van sandwich voor kraanbaanrail [maten in mm]



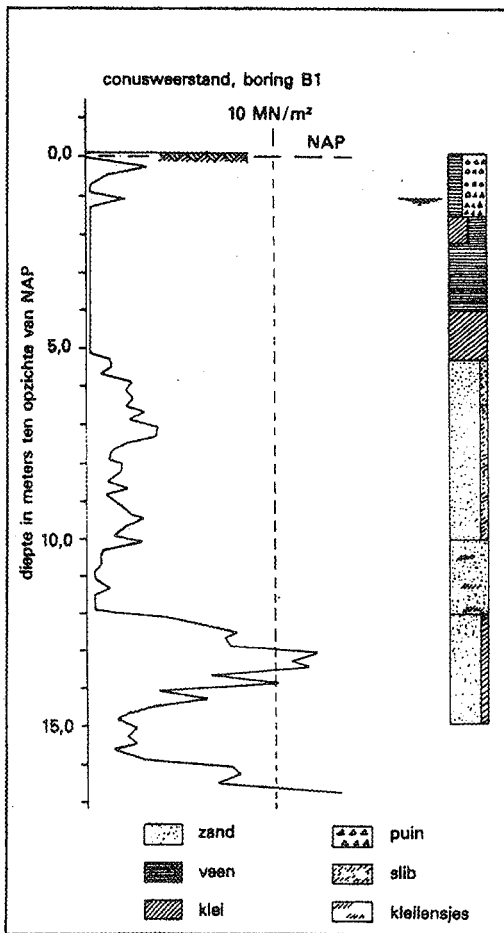
Figuur 2 – Verticale doorsnede wegconstructie voor fietspad



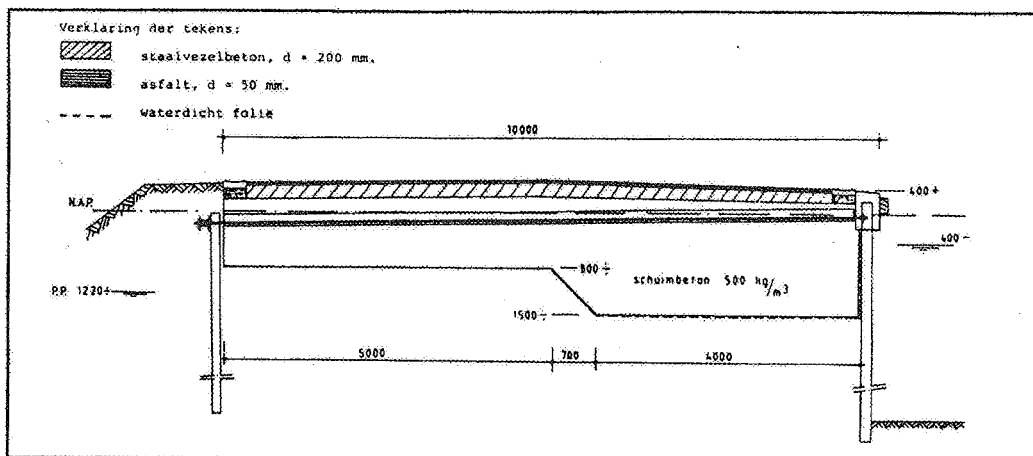
Figuur 3 – Plaatfundaties voor woningen; drie mogelijke oplossingen [maten in mm]



Figuur 4 – Profiel bestaande situatie kade constructie Wormerveer; positie voorwand [dikke lijn] en schuimbeton vullichaam [streeplijn] is tevens aangegeven

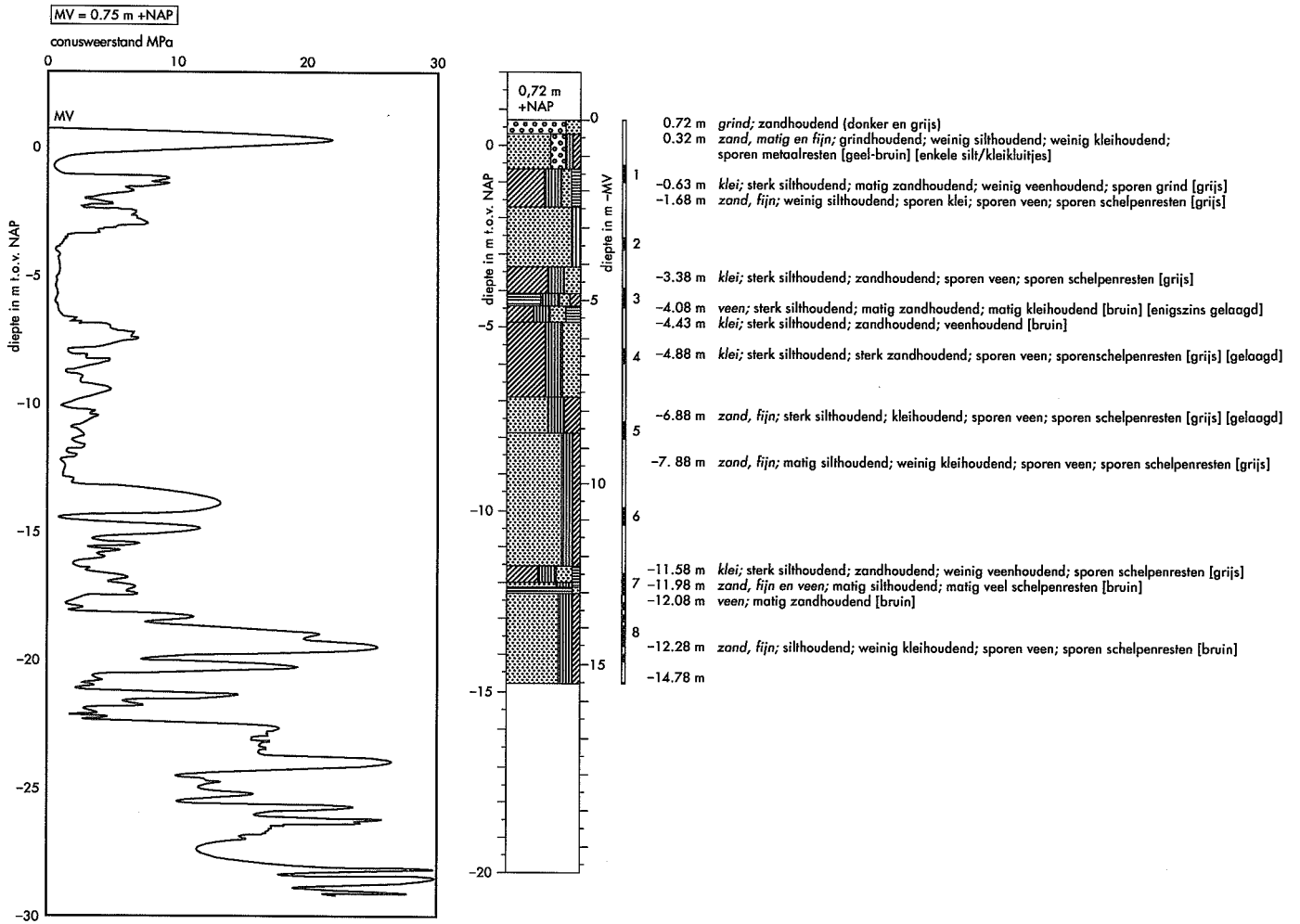


Figuur 5 – Sondering en boring kade Wormerveer

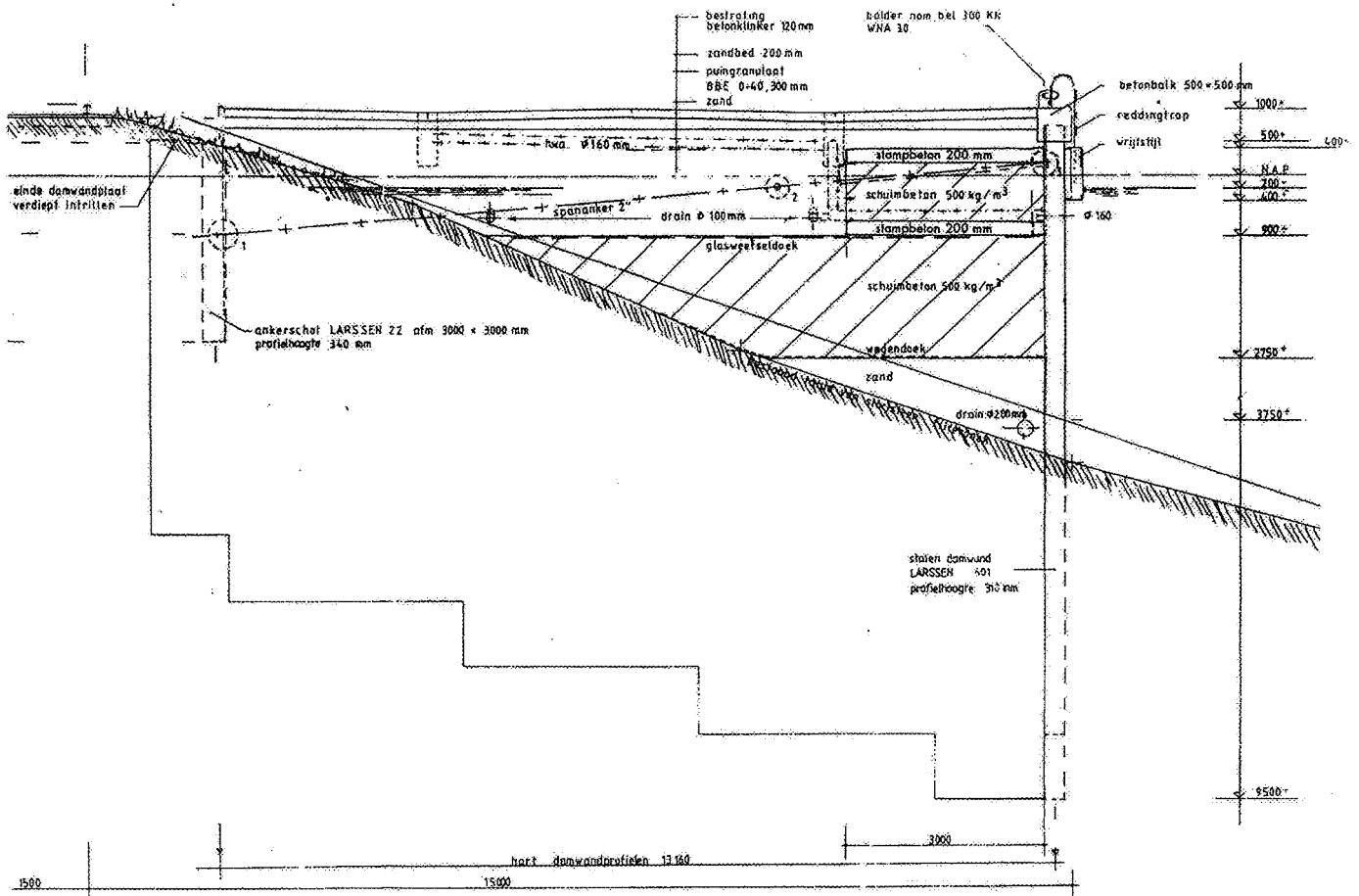


Figuur 6 – Verticale doorsnede gerealiseerde kade Wormerveer [maten en peilen (NAP) in mm]

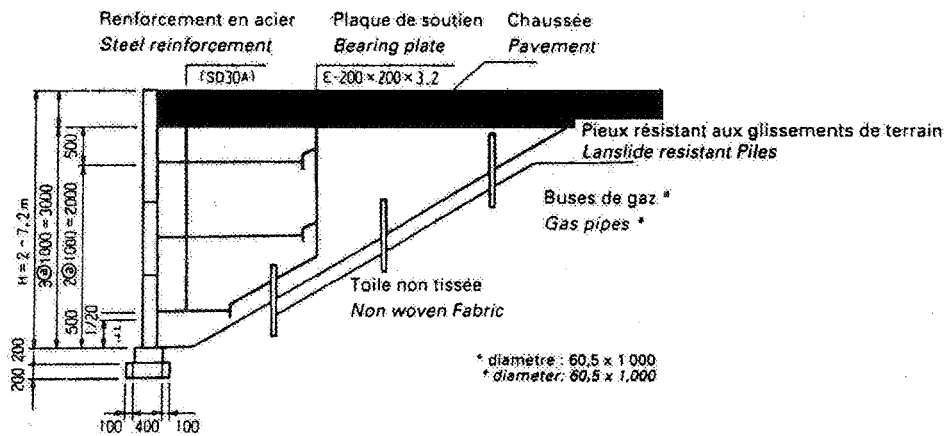




Figuur 7 – Sondering en boring kade Sonthaven



Figuur 8 - Doorsnede gerealiseerde kade Sonthaven [maten en peilen (NAP) in mm]



Figuur 9 - Taludverbreding

