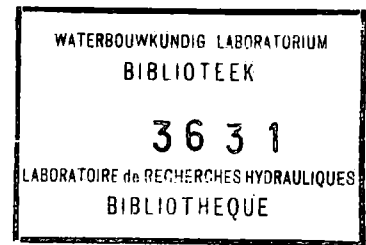


148537



BRUG OVER HET NETEKANAAL TE PULLE

MOD. 264

# ENKELE CONTROLEBEREKENINGEN VAN DE PALEN ONDER DE PIJLERS

---

## VAN DE BRUG.

### 1. INLEIDING.

De brug in de autosnelweg over het Netekanaal te Pulle werd voltooid in 1958. Op 13 november 1966 is deze brug ingestort. Volgens het rapport van vier deskundigen door de Minister aangesteld, is "de oorzaak van de instorting de ontgroning van de kanaaloever kant Luik op een plaats waar de funderingspalen zeer dicht bij het kanaalprofiel zitten met hun punt een paar meters boven de bodem van het kanaal.

De brug zou niet ingestort zijn indien :

- 1) ofwel de paalpunten enkele meters onder de kanaalbodem gezeten hadden;
- 2) ofwel de kanaaloevers onder de brug en aan weerszijden van de brug voor ontgroning gevrijwaard waren door een deugdelijke en duurzame taludverdediging."

Het Waterbouwkundig Laboratorium werd, tijdens een vergadering op 3 juli 1967, door de Heer Directeur-Generaal der Waterwegen belast met de berekening van de invloed van de helling der oevers van het Netekanaal op de stabiliteit van de brug te Pulle.

In het onderhavige rapport wordt aangetoond dat, vanaf de bouw, de brug zich in een labiele toestand bevond te wijten aan de te korte palen onder de pijlers, en dat bijgevolg de ontgroning van de kanaaloever alleen het bezwijken van deze labiele toestand kon verhaasten.

## 2. GEGEVENS.

Langs- en dwarsdoorsneden van de brug zijn gegeven op fig. 1.

Op fig. 2 is een planzicht gegeven van het Netekanaal met de assen van autosnelweg en van de pijlers en de landhoofden van de brug.

Fig. 3 geeft een doorsnede over het zuidelijk uiteinde van de pijler kant Luik in de veronderstelling dat het normale kanaalprofiel aanwezig is. Daar de funderingszool ingewerkt werd in de kanaaloever, heeft men dus over een zekere lengte de kanaaloever een steiler beloop gegeven. De hoek welke het bovenwatertalud van het normale kanaalprofiel maakt met de horizontale is dus volgens fig. 3 als volgt te bepalen :

$$\operatorname{tg} \Psi_t = \frac{1,80}{2,72}$$

Dit geeft  $\Psi_t \approx 33^\circ 30'$ . Aan het zuidelijk uiteinde van de beschouwde pijler was deze hoek merkkelijk groter.

Fig. 4 geeft de plaatsen van de uitgevoerde diepsonderingen en handboringen. Figuren 5 en 6 geven de resultaten van de diepsonderingen in de punten I en III. Hiervan is punt III het interessantste omdat het juist (zie fig. 4) gelegen is in de as van de brug en in de kruin van de kanaaloever.

De figuren 1, 2 en 3 zijn ontleend aan het rapport van de deskundigen van 14.1.67; de figuren 4, 5 en 6 aan het rapport van het Rijksinstituut voor Grondmechanica van 18.1.56.

De gemiddelde belasting van iedere paal onder de pijlers is volgens het rapport der deskundigen 55,5 ton, samengesteld uit 38,1 ton eigengewicht en 17,4 ton verkeersbelasting.

De grondwaterstand is ons alleen bekend voor de datum waarop de diepsonderingen uitgevoerd werden. Dit gebeurde voor punt III op 27.9.55. Het grondwaterpeil in dit punt lag op + 4,11 m en het peil in het Nete-kanaal op + 4,25 m. De zomer van 1955 is meteorologisch gekenmerkt

als een zeer droge periode.

In september 1958 werd de proefbelasting van de brug uitgevoerd; dit jaar is gekenmerkt door een gemiddelde neerslag. Het jaar 1965, voorafgaand aan de instorting van de brug, is gekenmerkt geweest door een zeer grote neerslag vooral gedurende de lente- en zomermaanden. Het jaar 1966, de brug is ingestort op 13 november 1966, is gekenmerkt door een zeer hoge neerslag het ganse jaar. Volgende tabel geeft voor de Kempen de neerslag over de 4 seizoenen en over het jaar, in procent van de normale neerslag.

|        | <u>1955</u> | <u>1958</u> | <u>1965</u> | <u>1966</u> |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| winter | 111         | 121         | 113         | 155         |
| lente  | 84          | 90          | 136         | 125         |
| zomer  | 59          | 117         | 153         | 152         |
| herfst | 88          | 86          | 84          | 120         |
| jaar   | 84          | 104         | 122         | 138         |

Deze gegevens werden ontleend aan publicaties serie B nr. 21, 26, 49 en 51 van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.

### 3. BEREKENINGEN.

De berekening van het draagvermogen van een paal onder het zuidelijk uiteinde van de pijler kant Luik, werd uitgevoerd volgens de formules welke voorkomen in het verslag "Draagvermogen van palen", hierbij-gevoegd. Volgende formules werden gebruikt :

voor een paal in een horizontaal maaiveld : formules 26 en 32  
(respectievelijk blz. 31 en 33 van het verslag)

voor een paal in de kruin van een talud : formules 67 en 68  
(blz. 109 van het verslag).

Bovendien werd het draagvermogen ook berekend met formule 71 van prof. E. De Beer (blz. 114 van het verslag).

Betreffende de grondwaterstand werden twee veronderstellingen aangenomen :

- volledige droge grond over de beschouwde paallengte;
- volledige met water verzadigde grond over de beschouwde paallengte.

In het eerste geval werd als volumegewicht ( $\Delta$ )  $1,6 \text{ ton/m}^3$  genomen, in het tweede geval  $1 \text{ ton/m}^3$ .

De eerste veronderstelling geeft draagvermogens welke te groot zijn daar de grondwaterstand in normale perioden rond het kanaalpeil zal gelegen zijn (+4,70 m). Bij de diepsondering lag het grondwaterpeil op +4,11 m, dit is ongeveer 1 m boven de punt van de uitgevoerde palen. De tweede veronderstelling (volledig met water verzadigd terrein) beantwoordt zeer dicht aan de toestand welke zich voorgedaan heeft onmiddellijk vóór de instorting van de brug (13.11.66). In de voorafgaande periode was, zoals reeds vermeld, de regenval uitzonderlijk hoog geweest.

Voor de berekening werd naast de twee waarden voor het volumegewicht van de grond, nog gerekend met verschillende paallengten (L) en verschillende taludhellingen  $\Psi_t$ .

Met de gevonden konusweerstand  $C_{kd}$  (zie fig. 6) bij de diepsondering in punt III kan de inwendige wrijvingshoek  $\phi$  bepaald worden. Hiertoe volstaat het formule 67 toe te passen, waarin nu het linkerlid de gekende grootheid is.

Daar het onderwatertalud van het kanaal flauwer is dan het bovenwatertalud ( $33^\circ 30'$ ) werd als hoek van het talud met de horizontale ( $\Psi_t$ ) de ronde waarde van  $30^\circ$  genomen. De inwendige wrijvingshoek werd eveneens bepaald met behulp van formule 71. De resultaten van beide berekeningen zijn uitgezet in fig. 7. Evenals de konusweerstand varieert de hoek  $\phi$  met de diepte. Het verschil tussen de twee berekende waarden is van de grootte-orde van  $1^\circ$  (de formule 71 geeft nagenoeg  $1^\circ$  meer dan de formule 67).

De waarde van  $\varphi$  welke in de berekening van het draagvermogen moet ingebracht worden is de gemiddelde waarde over de hoogte, over de welke de grond door de paalbelasting beroerd wordt. Voor korte palen ( $\frac{L}{b} < \frac{L_k}{b}$ , zie het bijgevoegd verslag) is dit over de ganse paallengte, terwijl voor zeer lange palen ( $\frac{L}{b} \gg \frac{L_k}{b}$ ) de grond slechts over een geringe hoogte, in de omgeving van de paalbasis, beroerd wordt.

De  $\varphi$  waarde varieert dus in feite met de beschouwde paallengte.

Uit fig. 7 zien we dat  $\varphi$  toeneemt met de diepte : voor palen reikend tot peil - 1,00 m zou  $\varphi$ , in het geval van formule 71, op  $34^\circ$  mogen genomen worden, terwijl voor palen reikend tot + 3,00 m de  $\varphi$  waarde, volgens formule 71, slechts ongeveer  $32^\circ$  bedraagt. Daar de palen in de natuur reikten tot cota + 3,00 m wordt dan ook in de berekening van het draagvermogen als inwendige wrijvingshoek  $32^\circ$  genomen.

Voor dieper reikende palen wordt deze waarde behouden, zodat de berekende draagvermogens voor deze grotere paallengten in feite te klein zijn. Voor palen reikend tot + 3,00 m is de waarde van  $\varphi = 32^\circ$ , eerder als een maximale waarde te beschouwen.

Indien daarenboven voor het berekenen van het draagvermogen gebruik gemaakt wordt van formule 67, dienen de  $\varphi$  waarden met ongeveer  $1^\circ$  verminderd te worden. We houden evenwel de waarde  $\varphi = 32^\circ$  aan en bekomen aldus maximale waarden voor het draagvermogen.

De vierkante paaldoorsnede ( $0,33 \times 0,33 \text{ m}^2$ ) werd vervangen door een ronde paaldoorsnede ( $\varnothing b = 0,37 \text{ m}$ ) met dezelfde oppervlakte.

#### 4. RESULTATEN.

In de bijgevoegde tabel zijn de resultaten van de berekening van het draagvermogen van één paal samengevat.

Uit de beschouwing van de tabel blijkt dat :

- het draagvermogen in sterke mate toeneemt met de paallengte;
- het draagvermogen afneemt bij toenemende  $\Psi_t$ , en dit vooral bij kleine waarden van  $\frac{L}{b}$ . Deze afname is echter minder uitgesproken dan de toename van het draagvermogen als gevolg van een grotere paallengte;

- het draagvermogen sterk verkleint wanneer de grond met water verzadigd is.

Men bemerkt een belangrijke afwijking tussen het draagvermogen volgens de formule van prof. De Beer en het draagvermogen volgens formules 26 en 32 voor  $\frac{L}{b} = 6,2$  en  $\frac{L}{b} = 8,9$ . Voor grotere waarden van  $\frac{L}{b}$  is deze afwijking verwaarloosbaar. De formule van prof. De Beer geeft te grote draagvermogens voor korte palen (paallengte niet belangrijk groter dan de paaldiameter). In het besluit van het genoemde verslag (blz. 113) wordt hierop uitvoerig ingegaan.

De werkelijk uitgevoerde paallengte bedroeg 2,30 m : van peil + 5,50 m tot peil + 3,20 m. (De funderingszool verdeelt de puntlast van de slingerstijlen over de verschillende palen en zijn dikte mag dus niet in de paallengte begrepen worden). Men bemerkt dus dat het draagvermogen van de werkelijk uitgevoerde palen in droge grond ( $\Delta = 1,6 \text{ t/m}^3$ ) en zonder de aanwezigheid van een talud slechts weinig groter was dan de gemiddelde belasting per paal (draagvermogen 66 ton, gemiddelde belasting 55 ton). Het draagvermogen van een paal onder het zuidelijk pijleruiteinde en het dichtst bij de oever gelegen, in het geval van droge grond en met een natuurlijk talud ( $\Psi_t = 30^\circ$ ) blijkt slechts 40 ton te bedragen, dus slechts weinig groter dan de belasting veroorzaakt door het eigengewicht van de brug.

Bij een paallengte van 3,30 m zijn de draagvermogens t. o. v. van een paal met lengte 2,30 m belangrijk groter. Zelfs met een talud van  $30^\circ$  en in met water verzadigde grond bekomt men nog een draagvermogen van 50 ton.

Pas vanaf nog grotere paallengte (bv. 5,55 m) bekomt men een draagvermogen dat een voldoende veiligheidscoëfficiënt bezit ten opzichte van de gemiddelde belasting.

## 5. BESLUIT.

Uit het voorgaande mag besloten worden dat het bezwijken van het zuidelijk uiteinde van de pijler kant Luik van de brug over het Nete-kanaal te Pulle te wijten is aan de te kleine paallengte, daar reeds zonder de nadelige invloed van de aangrenzende kanaaloever, het draagvermogen van een paal in een met water verzadigd terrein nauwelijks

groter is dan de paalbelasting veroorzaakt door het eigengewicht. De brug bevond zich dus, al de jaren vóór de instorting, in een toestand van labiel evenwicht : het draagvermogen van de meest ongunstig gelegen palen (deze waarvan het draagvermogen beïnvloed werd door het aangrenzend talud) was nauwelijks groter dan de voorziene belasting veroorzaakt door het eigengewicht. Het tekort aan draagvermogen van de palen onder het zuidelijk uiteinde van de pijler werd tijdelijk goed gemaakt door de aangrenzende palen waarvan het draagvermogen niet beïnvloed werd door de kanaaloever. Een deel van de brugbelasting werd door wringing van de zool en door buiging van zool en slingerzuil overgebracht naar de andere palen. Voor het noordelijk uiteinde van de pijler kant Antwerpen heeft zich een analoog verschijnsel voorgedaan. Er waren dus twee zwakke punten in de fundering van de brug, nl. daar waar de pijlers in de kanaaloever drongen.

Dat de brug de proefbelasting goed doorstaan heeft is te verklaren doordat deze plaats vond in een droge periode. Bovendien worden bij een proefbelasting de steunpunten nooit volledig belast (d. i. 55 ton per paal). Het was niet te voorspellen wanneer een dergelijke labiele toestand zou begeven. Zoals uit de tabel blijkt is in zeer natte perioden (met water verzadigde grond) het draagvermogen van de palen nog belangrijk kleiner. Dit geval heeft zich zeker voorgedaan in de herfst van 1966. De stabiliteit van de brug was dus in deze periode zeer labiel. De uitschuring veroorzaakt door de scheepsbeweging aan het zuidelijk uiteinde van de pijler kant Luik is de oorzaak geweest van het verval der oevers en heeft de instorting van de brug verhaast, maar is niet als dusdanig de oorzaak van de instorting van de brug.

Bij het bovenstaande passen nog volgende bedenkingen :

- 1) het werkelijk talud aan het zuidelijk uiteinde van de pijler was steiler dan  $33^{\circ}30'$  en dus reeds labiel als talud;
- 2) de palen waren excentrisch geheid waardoor deze langs de kanaalzijde meer belast werden dan langs de landzijde (zie rapport van de vier deskundigen);



- 3) er werd geen rekening gehouden met de onderlinge beïnvloeding der palen waardoor het draagvermogen kon verminderen.

Borgerhout, juni 1968.

e. a. Ingenieur van Bruggen  
en Wegen,  
Hoofd van Dienst,

De Hoofdingenieur-Directeur, De Hoofdingenieur-Directeur  
van Bruggen en Wegen,  
Directeur van het Waterbouw-  
kundig Laboratorium,

J. THEUNS.

O. D'HEYGERS.

A. STERLING.

DRAAGVERMOGEN VAN EEN PAAL.

paaldiameter  $b = 0,37 \text{ m}$

inwendige wrijvingshoek =  $32^\circ$

| Draagvermogen in ton                                    |                                |                              |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                                                         | $\Delta = 1,6 \text{ ton/m}^3$ | $\Delta = 1 \text{ ton/m}^3$ |
| Paallengte $L = 2,30 \text{ m}$ ( $\frac{L}{b} = 6,2$ ) |                                |                              |
| 1                                                       | 84                             | 53                           |
| 2                                                       | 66                             | 41                           |
| 3                                                       | 47                             | 29                           |
| 4                                                       | 43                             | 27                           |
| 5                                                       | 40                             | 25                           |
| Paallengte $L = 3,30 \text{ m}$ ( $\frac{L}{b} = 8,9$ ) |                                |                              |
| 1                                                       | 121                            | 76                           |
| 2                                                       | 107                            | 67                           |
| 3                                                       | 92                             | 57                           |
| 4                                                       | 87                             | 54                           |
| 5                                                       | 80                             | 50                           |
| Paallengte $L = 5,55 \text{ m}$ ( $\frac{L}{b} = 15$ )  |                                |                              |
| 1                                                       | 204                            | 128                          |
| 2                                                       | 206                            | 129                          |
| 3                                                       | 193                            | 121                          |
| 4                                                       | 188                            | 118                          |
| 5                                                       | 182                            | 113                          |
| Paallengte $L = 6,65 \text{ m}$ ( $\frac{L}{b} = 18$ )  |                                |                              |
| 1                                                       | 245                            | 153                          |
| 2                                                       | 252                            | 158                          |
| 3                                                       | 244                            | 152                          |
| 4                                                       | 239                            | 149                          |
| 5                                                       | 233                            | 146                          |

- 1 draagvermogen volgens formule 71
- 2 " " " 26 of 32
- 3 " " " 67 of 68 met  $\Psi_t = 20^\circ$
- 4 " " " " " " " " " =  $25^\circ$
- 5 " " " " " " " " " =  $30^\circ$

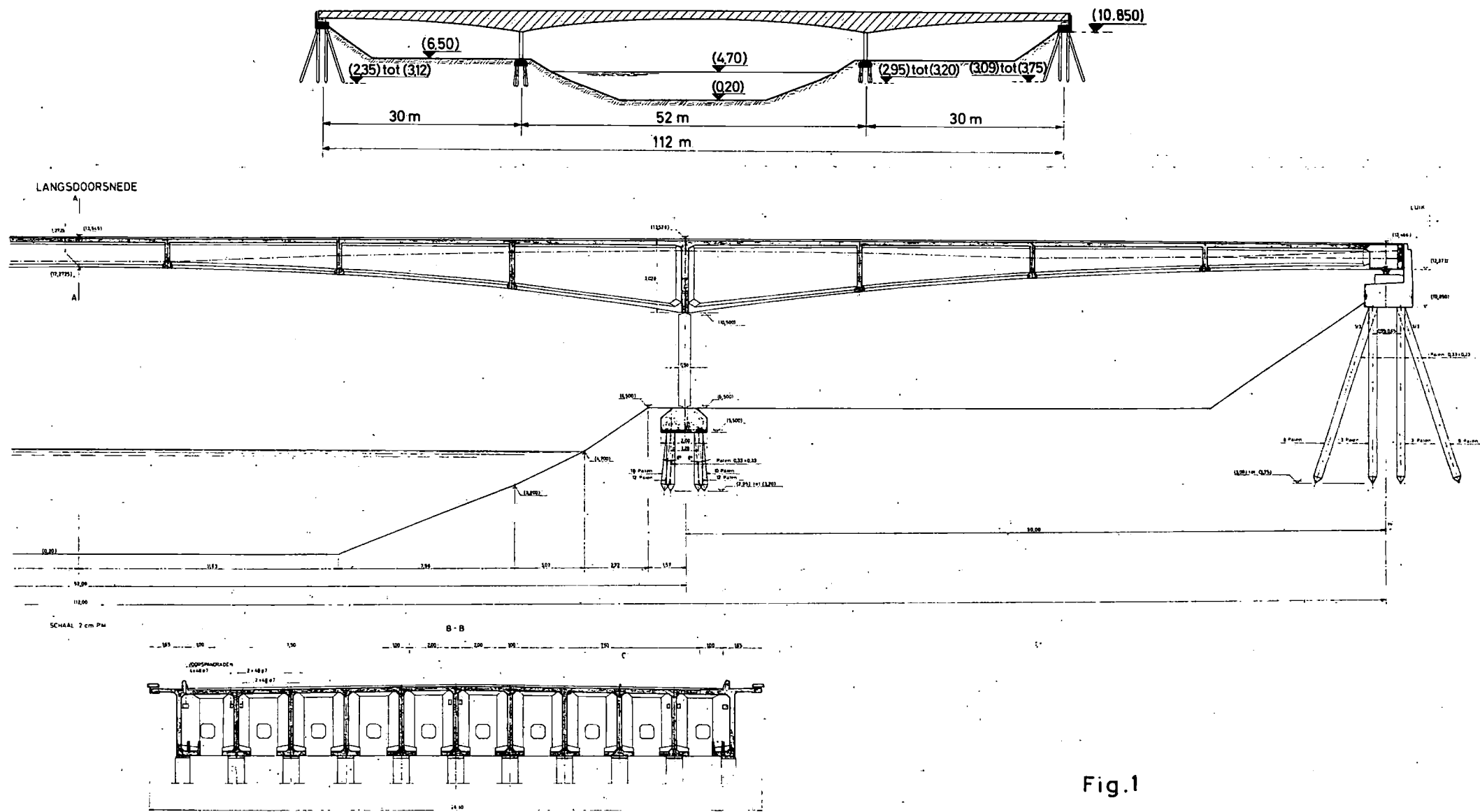


Fig.1

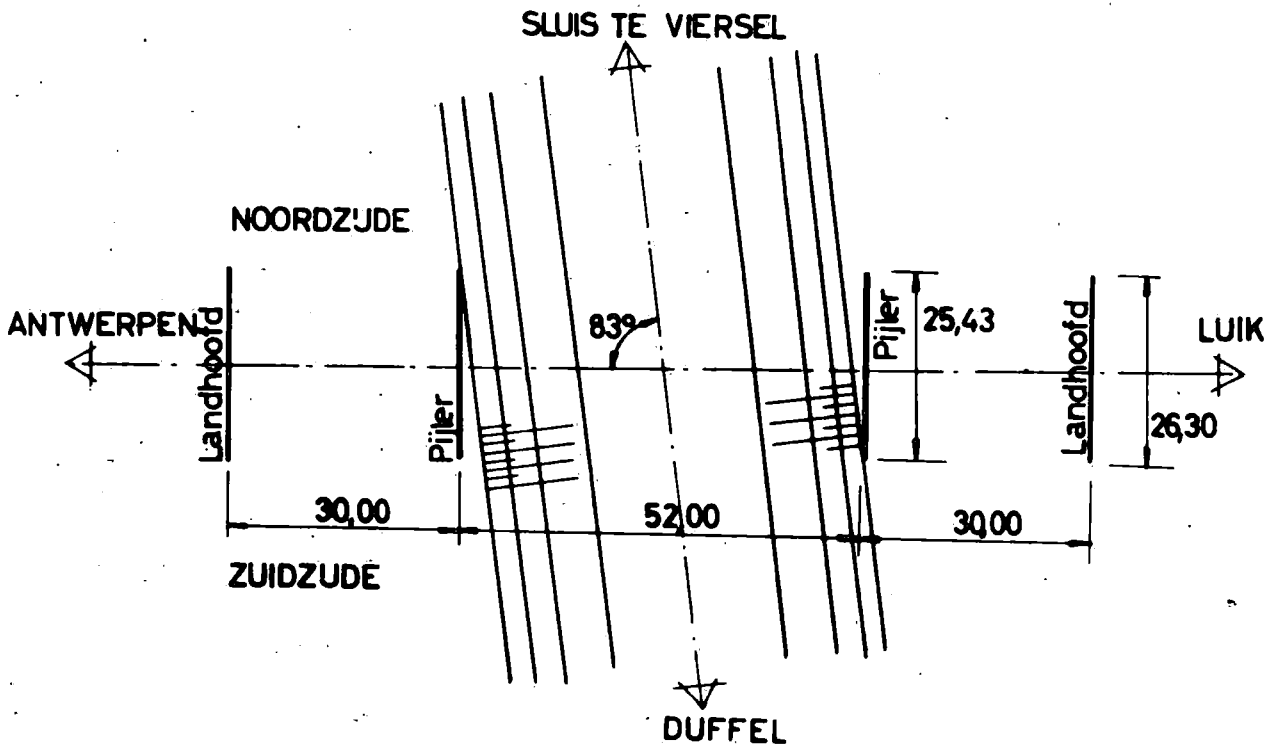


Fig. 2

THEORETISCH BELOOP TER PLAATSE VAN HET ZUIDELIJKE EINDVLAK VAN DE PIJLER KANT LUIK, IN DE ONDERSTELLING DAT HET KANAAL IN ALLE DOORSNEDEN HET PROFIEL HEEFT AANGEGEVEN IN DE "LENGTEDOORSNEDE .. IN DE BESTEKTEKENING X.358.1

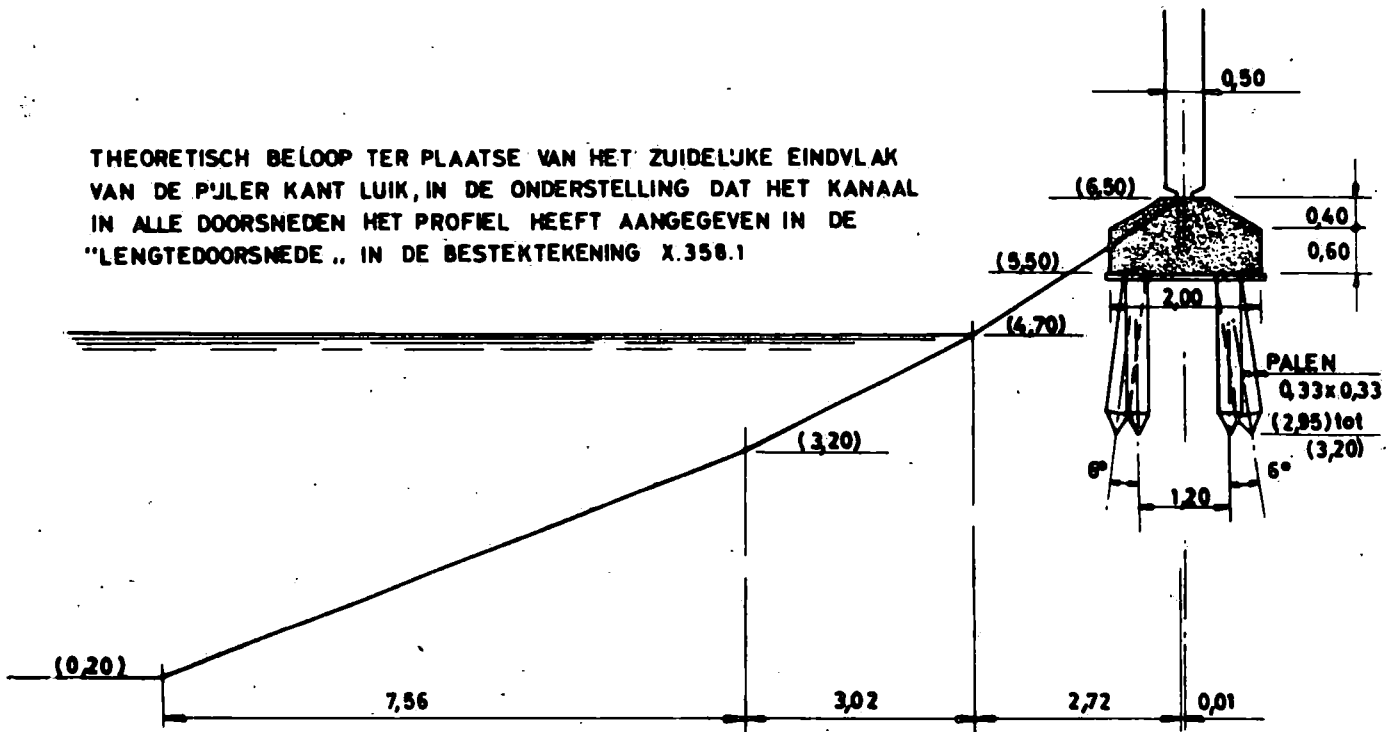


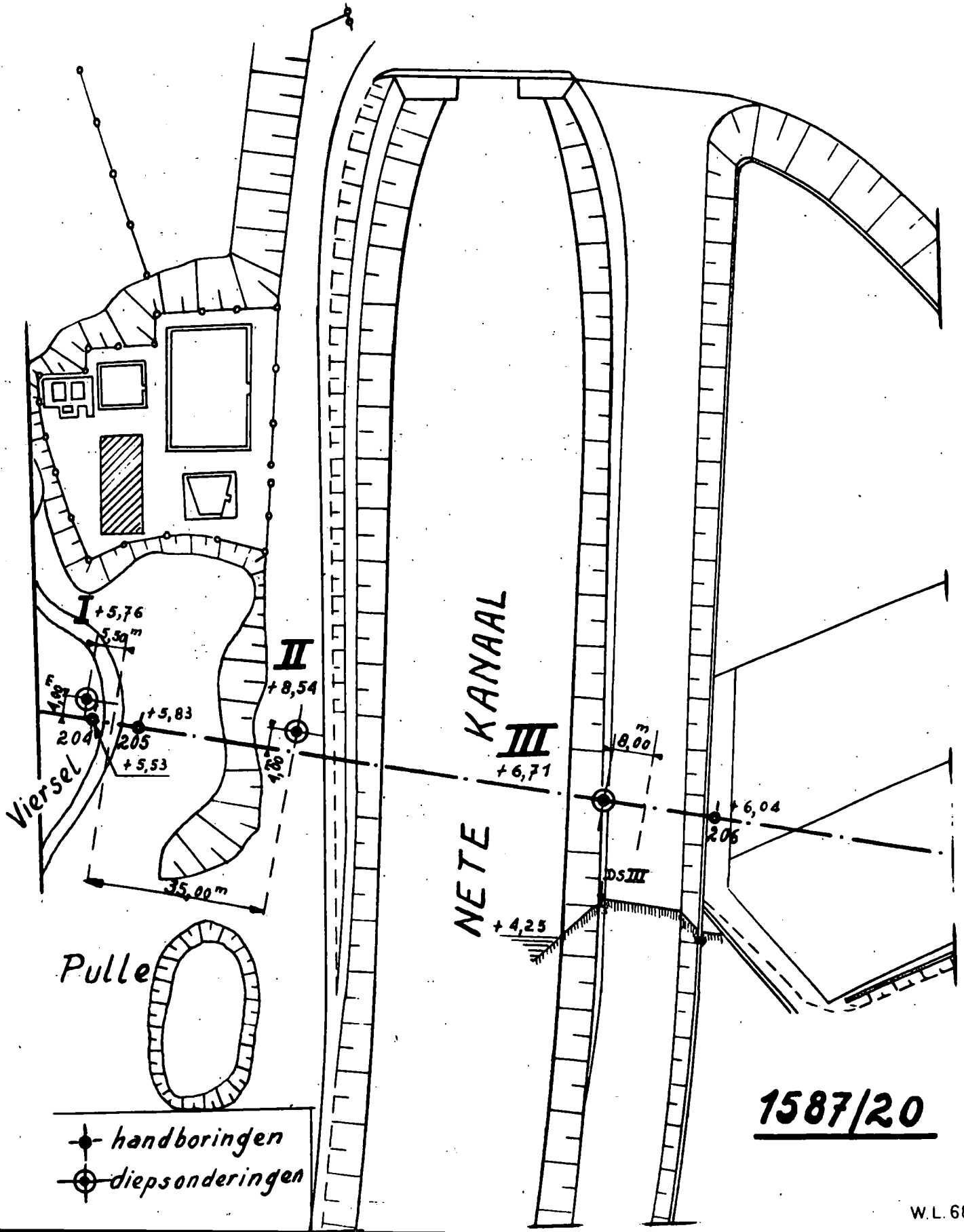
Fig. 3

Autosnelweg Antwerpen - Liège

Fig. 4

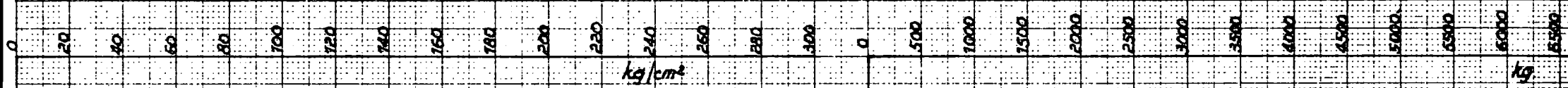
Situatieplan 1<sup>mm</sup> per m.

Brug over Netekanaal



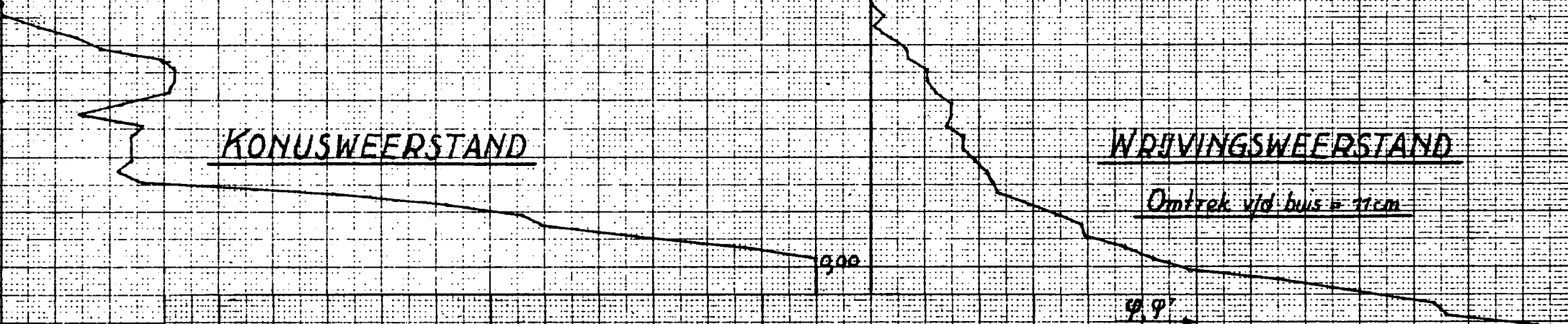
# DIEPSONDERING I

VIERSEL



$\pm 5.15$  Aanvangspeil

$\pm 5.38$  Aanvangspeil

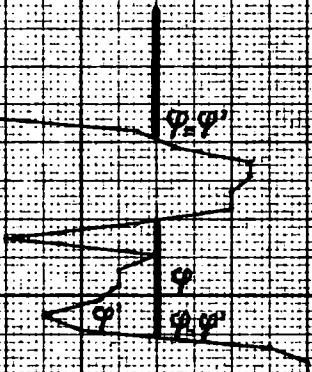


$\pm 5.16$  Aanvangspeil

$\varphi$  en  $\varphi'$  afgeteid uit I

W L 68 340

1587/20



# DIEPSONDERING III

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000 3100 3200 3300 3400 3500 3600 3700 3800 3900 4000 4100 4200 4300 4400 4500 4600 4700 4800 4900 5000 5100 5200 5300 5400 5500 5600 5700 5800 5900 6000 6100 6200 6300 6400 6500 6600 6700 6800 6900 7000 7100 7200 7300 7400 7500 7600 7700 7800 7900 8000 8100 8200 8300 8400 8500 8600 8700 8800 8900 9000 9100 9200 9300 9400 9500 9600 9700 9800 9900 10000

2.575 Aanvangspol

2.575 Aanvangspol

KONUSWEERSTAND

WRIVINGSWEERSTAND

Omtrek vld buis + trim

4.500

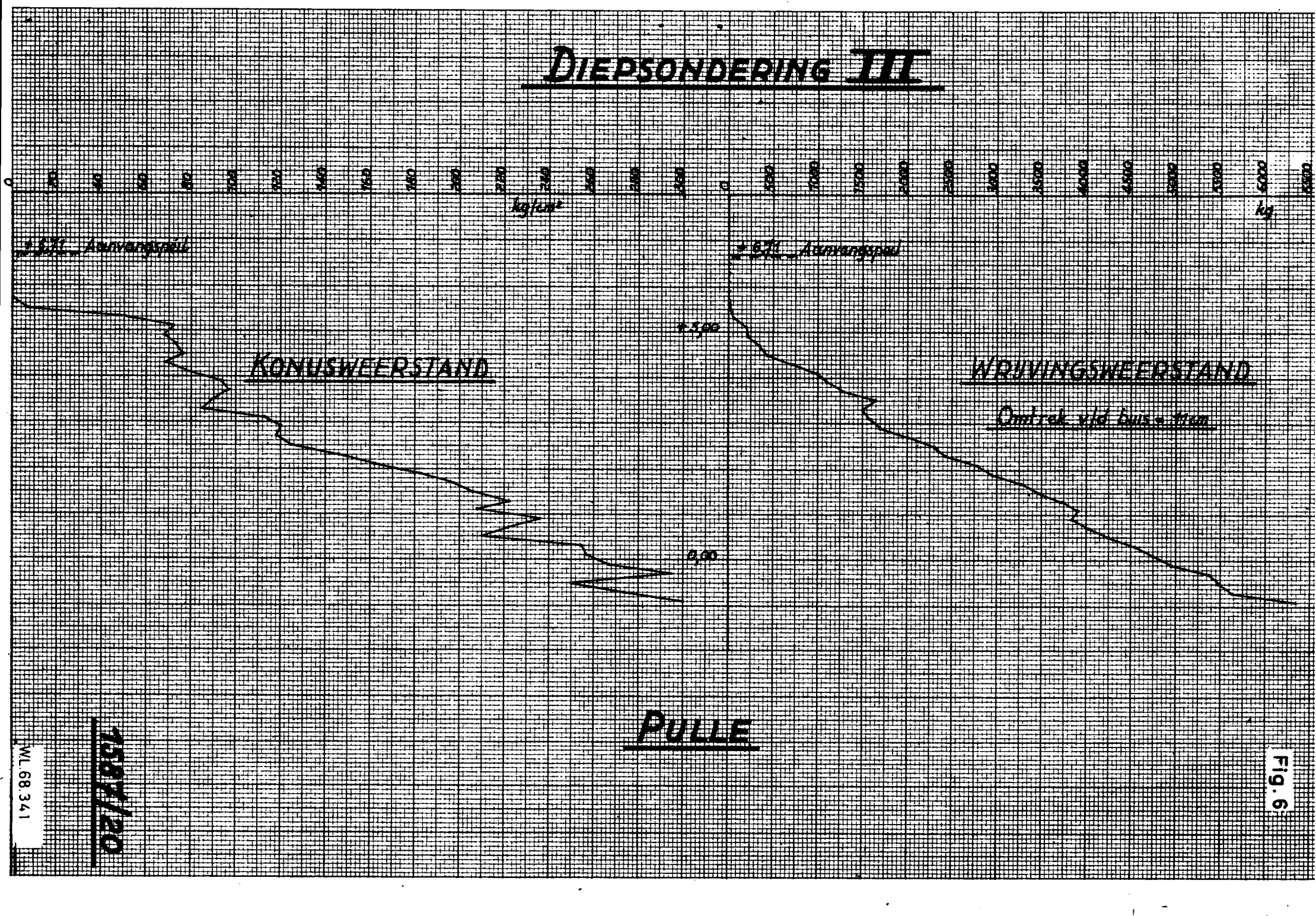
0.00

PULLE

WL 68.341

1007/20

Fig. 6



$\psi'$  Verloop in punt III  
afgeleid uit diepsondering.

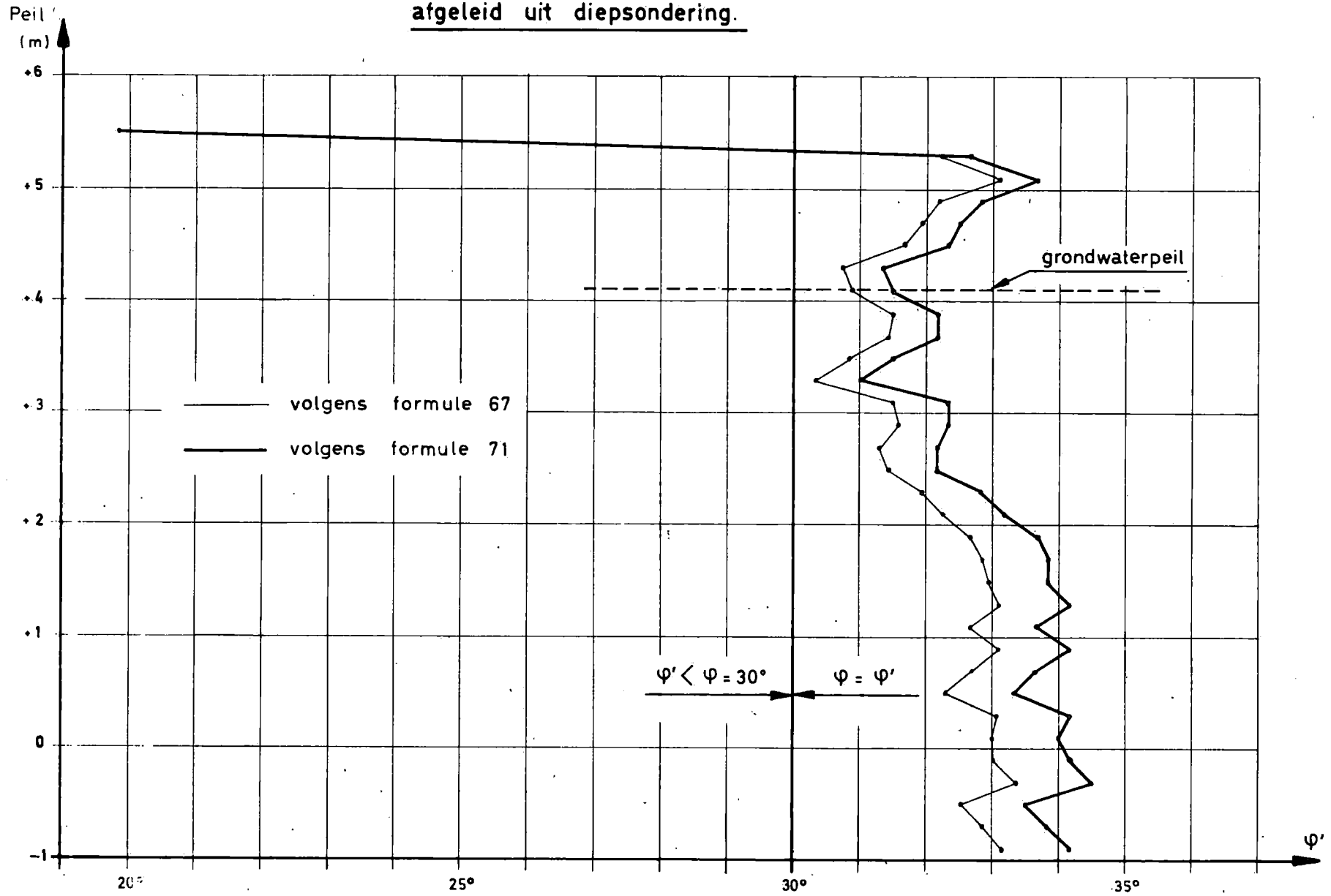


FIG. 7



