

**laboratorium voor
grondmechanica**

delft

S-76.036





Vergelijkend Onderzoek
Cel- en Triaxiaalproeven
Rapport: 230640 - I

laboratorium voor grondmechanica

delft



stieltjesweg 2
postbus 69
telefoon: (015)-56 92 23*
telex: solab nl 33326
postgiro: 234342
bank: mees en hope nv delft

*Vergelijkend Onderzoek
Cel- en Triaxiaalproeven

Rapport: 230640 - I

Het onderzoek dat betrekking heeft op de vergelijking van de resultaten van celproeven en triaxiaalproeven die volgens normale procedures zijn uitgevoerd, is opgedragen door het Centrum Onderzoek Waterkeringen.

Dit eerste rapport bevat de resultaten van de proeven op kunstmatig gemaakte kleimonsters.

De proefnemingen stonden onder verantwoordelijkheid van ing. H. Pieters.

Het rapport is samengesteld door ir. W.J. Heijnen.



1. Inleiding

Beide beproevingsmethoden dienen voor de bepaling van de schuifweerstandseigenschappen van grond.

Kennis van deze schuifweerstandseigenschappen is essentieel voor de beoordeling van de standzekerheid van grondlichamen, zoals bijvoorbeeld dijken.

In verband hiermee dienen de uitkomsten van de bepalingen dus éénduidig en in voldoende mate betrouwbaar te zijn. Ze vormen de grondslag voor het doen van de beste schatting van de representatieve schuifweerstandseigenschappen van de aanwezige grondlagen en de erbij behorende spreiding.

Een manco van elke beproevingsmethode, hoe geraffineerd ook uitgevoerd, is dat het werkelijk in de grond optredende mechanisme slechts op betrekkelijk gebrekkige wijze in een proef kan worden nagebootst. Bovendien is elke beproevingsmethode noodzakelijkerwijze behept met fouten die het beproevingsresultaat in bepaalde gevallen in belangrijke mate kunnen beïnvloeden. Voor de bepaling van zeer elementaire grondeigenschappen speelt de eerstgenoemde factor van de gebrekkige nabootsing van de werkelijkheid niet zo'n grote rol en zijn de resultaten alleen afhankelijk van de proeffouten. Deze kunnen door een zorgvuldige uitvoering van de proef over het algemeen binnen aanvaardbare grenzen worden gehouden.

Met betrekking tot de schuifweerstand van grond wordt over het algemeen gewerkt met een eenvoudig rekenmodel waarin slechts de elementaire eigenschappen van de grond als de hoek van inwendige wrijving ϕ' en de cohesie c' , voorkomen.

Dit rekenmodel wordt weergegeven door de vergelijking van Coulomb:

$$s = c' + \sigma'_n \tan \phi' \quad (1)$$



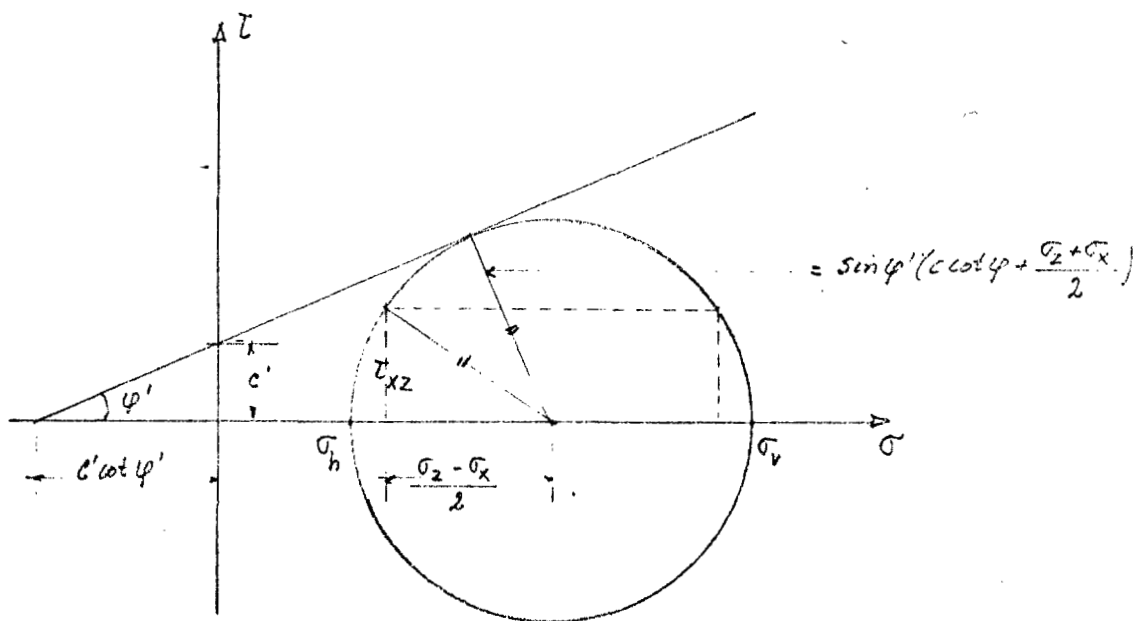
waarin:

s = schuifweerstand van een bepaald elementair vlakje in de grond

c' = de cohesie of nulwrijving

σ'_n = de zogenaamde korrelspanning loodrecht op het vlakje

$\tan \phi'$ = de wrijvingscoëfficiënt bij verschuiving van de grond ten opzichte van het vlakje



In de bovenstaande figuur is een grafische afbeelding van de Wet van Coulomb weergegeven.

Hieruit kan eenvoudig de meer algemene vorm van vergelijking (1) worden afgeleid:

$$\sqrt{(\sigma'_z - \sigma'_x)^2 + 4\tau_{xz}^2} = \sin \phi (2c' \cot \phi' + \sigma'_z + \sigma'_x) \quad (2)$$

De spanningen σ'_x en σ'_z in deze formule zijn eveneens korrelspanningen. In het geval dat met totaalspanningen (= korrelspanning + waterspanning) σ_x en σ_z wordt gewerkt, gaat formule (2)



over in:

$$\sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2} = \sin \phi' (2c' \cot \phi' + \sigma_z + \sigma_x - 2u) \quad (3)$$

waarin u de op het betreffende punt in de grond heersende waterspanning is.

Uitgedrukt in de hoofdspanningen σ_V en σ_H gaat (3) over in

$$(\sigma_V - \sigma_H) = \sin \phi' \{ 2c' \cot \phi' + (\sigma_V + \sigma_H - 2u) \} \quad (4)$$

ofwel als:

$$p = \frac{\sigma_V + \sigma_H - 2u}{2} \text{ en } q = \frac{\sigma_V - \sigma_H}{2}$$

$$q = p \sin \phi' + c' \cos \phi' \quad (5)$$

Bij zowel de celproef als de triaxiaalproef wordt een "ongerod" cilindrisch monster (meestal met een hoogte van 150 mm en een diameter van 65 mm) in een cel aan een combinatie van een verticale en horizontale belasting onderworpen, waarbij het monster bezwijkt. Dit betekent vanzelfsprekend dat bij deze kritische uitwendige belastingscombinatie in het inwendige van het monster een spanningstoestand moet heersen, die door formule (5) wordt gekarakteriseerd. Op een horizontaal vlak in het monster is de totaalspanning σ_V gelijk aan de aangebrachte verticale uitwendige belasting gedeeld door het oppervlak van het betreffende vlak. Op een vertikaal vlak in het monster is de totaalspanning σ_H gelijk aan de druk in de celvloeistof, waarmee de horizontale belasting op het monster wordt aangebracht. Schuifspanningen worden op deze vlakken niet aanwezig verondersteld.

Wordt de proef zodanig uitgevoerd dat er in het monster geen wateroverspanning u optreedt, of wordt deze waterspanning gemeten, dan resteren er in vergelijking (5) dus als onbekenden alleen de schuifweerstandseigenschappen c en ϕ .



Er zijn dus tenminste 2 proeven op identieke monsters nodig om deze c en ϕ te bepalen.

Bij dit vereenvoudigd mechanisch model van Coulomb is, zoals gezegd, verondersteld dat c en ϕ elementaire eigenschappen zijn. Verschillende beproevingsmethoden zouden dus, vanzelfsprekend onder de aanname dat de nauwkeurigheid goed is en proeffouten klein zijn, dezelfde c - en ϕ -waarden moeten opleveren.

Bij zand en andere loskorrelige gronden of materialen is dit ook het geval.

Bij cohesieve gronden, zoals bijvoorbeeld klei, worden de schuifweerstand c en ϕ weliswaar voor de karakterisering gebruikt, maar alleen omdat over de werkelijke fysische parameters, die vooral in het microscopische gebied liggen van de bindingen en krachtswerkingen tussen de zeer kleine plaatachtige korrels, in kwantitatieve zin nauwelijks iets bekend is. Ten gevolge van de tijdens een proef optredende vervormingen kunnen relatief grote structuurveranderingen in de oriëntatie van de "korrels" optreden, die vanzelfsprekend wijziging inhouden van de schuifweerstandparameters. De procedure van de proef voor de bepaling van de schuifweerstandseigenschappen kan dus in belangrijke mate van invloed zijn op de uitkomst. Dit is de reden geweest van het hier te bespreken onderzoek, waarbij de uitkomsten worden vergeleken van zogenaamde celproeven en triaxiaalproeven op een cohesieve grond. Beide proeven dienen, zoals reeds gezegd, voor de bepaling van de schuifweerstandparameters.

De celproef is een typisch Nederlandse proef die reeds in de dertiger jaren door Keverling Buisman werd toegepast voor de bepaling van de c - en ϕ -waarde van grondmonsters. Het LGM gebruikt deze beproevingsmethode nog steeds.

Internationaal gezien wordt vooral de triaxiaalproef toegepast. Ook in ons land wordt deze beproevingsmethode gebruikt.

Bij beide proeven wordt een cilindrisch monster, dat in een af-



gesloten, met vloeistof gevulde, cel wordt geplaatst aan belastingscombinaties σ_V , σ_H onderworpen. In beide gevallen wordt gezocht naar die combinatie van σ_V en σ_H , waarbij het monster bezwijkt.

Tussen beide beproevingstechnieken zijn echter een aantal typische verschillen aanwezig.

Bij de celproef wordt de verticale belasting σ_V op het monster geprogrammeerd aangebracht; bij de triaxiaalproef de vervorming in verticale richting. Bij de celproef wordt verder gezocht naar de minimum horizontale druk (d.i. de celdruk), waarbij het monster begint te bezwijken bij een aangebrachte verticale druk; bij de triaxiaalproef wordt de horizontale druk constant gehouden.

Bij de celproef worden tijdens de uitvoering van de proef geen belemmeringen opgelegd aan de drainage van het poriënwater uit het grondmonster.

De triaxiaalproef wordt zowel gedraineerd als ongedraineerd uitgevoerd. De verticale vervormingssnelheid kan worden gevarieerd.

Het zal duidelijk zijn dat tussen beide beproevingsmethoden grote verschillen kunnen optreden met betrekking tot het verloop van de effectieve spanningstoestand op een vlakke-elementje in het monster gedurende de beproeving.

Overigens zijn er ook verschillen tussen de apparatuur van de celproef en de triaxiaalproef, die ook nog van invloed kunnen zijn op de resultaten.



2. Monsterfabricage

De vergelijkende celproeven en triaxiaalproeven zijn in de eerste plaats uitgevoerd op in het laboratorium vervaardigde kleicylinders.

De reden hiervan was de noodzakelijkheid om voor de proeven te beschikken over een groot aantal monsters van nagenoeg dezelfde samenstelling en kwaliteit.

De monsters werden met behulp van een vacuum-strengpers gemaakt uit een mengsel van droog kleipoeder met water. De samenstelling van dit mengsel was zodanig dat goed met water verzadigde monsters werden verkregen met een natte volumieke massa van ca 18 kN/m^3 .

Op deze wijze werden staven grond gemaakt met een lengte van 1 m. Deze zijn in buizen van 1 m lengte opgeborgen.

Na 4 dagen werden op een monster uit het middelste deel van elke staaf onderkenningsproeven uitgevoerd. Een overzicht van deze proeven, alsmede van de monsternummering is in de volgende tabel 2.1 gegeven.



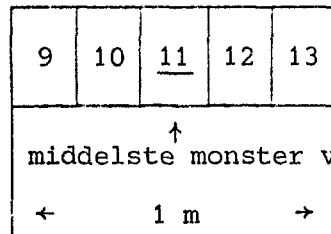
TABEL 2.1: Overzicht van de resultaten van onderkenningsproeven, die uitgevoerd werden op 50 mm van het middelste monster van 0,2 m uit elke meter van de streng uit de vacuumpers.

V o o r b e e l d :

← richting, waarin de streng uit de pers is gekomen

buis 1

kleimaaksel I



Tabel 1

Klei- maaksel	Buis no.	No. middel- ste monster	Vane test		Torvane C in kN/m ²	γ _{nat} kN/m ³	w %	S _r %	γ _{nat} S _r = 100% kN/m ³
			ω	C kN/m ²					
I	1	11	8	8,5	9,8	18,34	35,7	99,0	18,48
	2	16	8	9,0	9,4	18,41	35,4	98,7	18,51
	3	21	8	9,2	10,0	18,28	35,9	98,3	18,45
	4	26	7	8,6	10,1	18,41	35,7	98,1	18,47
	5	31	9	9,1	10,2	18,41	35,5	98,9	18,50
	6	36	9	8,4	9,6	18,39	35,5	98,9	18,50
	7	41	9	7,9	8,9	18,22	37,9	98,5	18,34
	8	46	8	7,2	9,0	18,16	37,9	98,5	18,33
	9	51	9	8,4	9,4	18,25	35,9	98,3	18,46
	10	56	8	8,2	9,6	18,32	37,8	98,2	18,47
	11	61	8	7,2	8,4	18,25	37,2	99,9	18,30
	12	66	7	6,7	8,4	18,16	37,6	98,2	18,27
III	18	91	8	9,0	9,4	18,66	34,0	99,7	18,68
	19	96	9	7,0	9,0	18,54	35,9	101,0	18,46
	20	101	8	8,5	9,8	18,62	35,4	101,2	18,51
	21	106	8	8,5	9,0	18,54	36,7	102,0	18,36
	22	111	8	8,3	8,6	18,57	36,8	102,4	18,35
	23	116	8	8,3	8,8	18,69	36,2	103,1	18,42

Voor legenda: zie volgende bladzijde.



Legenda:

ω = hoekverdraaiing in graden

c = cohesie kN/m^2

γ_{nat} = volumegewicht van het natte monster kN/m^3

w = watergehalte gewichtsprocenten ten opzichte van de droge stof

S_r = verzadigingsgraad het volumepercentage van de poriën dat gevuld is met water



3. Overzicht van de soort beproeving en de volgorde van beproeving van de kunstmatige kleimonsters

De met de strengpers gefabriceerde monsters werden in lengten van 1 m opgeborgen in buizen. Er zijn 2 kleimaaksels gemaakt volgens hetzelfde recept maar op verschillende data, gemerkt als I en III.

Per buis zijn 5 monsters van 0,20 m op verschillende wijzen beproefd. In de tabellen 3.1, 3.2 en 3.3 is een overzicht gegeven van de soort proef die op elk monster werd uitgevoerd. De volgorde in de bovenste rij van de tabellen komt overeen met de volgorde van beproeving van de buizen.

De proeven zijn als volgt gecodeerd:

CL4: Langzame celproef met 4 belastingtrappen. Als einde van de consolidatie werd een vervormingssnelheid aangehouden van $\dot{\Delta z} \leq 250 \mu\text{m}$ per 24 uur (type C). De trappen zijn 90, 200, 350 en 500 N.

CL1: Langzame celproef met 1 belastingtrap. Als einde van de consolidatie werd een vervormingssnelheid aangehouden van $\dot{\Delta z} \leq 250 \mu\text{m}$ per 24 uur (type C). De trap is 200 of 350 N.

TSO: Snelle ongedraineerde triaxiaalproef met een vervormingssnelheid van $\dot{\Delta z} = 90 \text{ mm/uur}$. De 4 steundrukken zijn 15 of 30 of 40 of 50 kN/m^2 .

TLO: Langzame ongedraineerde triaxiaalproef met een vervormingssnelheid van $\dot{\Delta z} = 9 \text{ mm/uur}$. De 2 steundrukken zijn 30 of 50 kN/m^2 .

TLD: Langzame gedraineerde triaxiaalproef met een vervormingssnelheid van $\dot{\Delta z} = 800 \mu\text{m}$ per 24 uur. De 2 steundrukken zijn 30 of 50 kN/m^2 .

Alle monsters werden voorgeconsolideerd op een spanning van 30 kN/m^2 of meer. Er werd een tijd van 3 nachten voor het consolideren gebruikt.



Tabel 3.1

Buis no.	1	7	14	18	20	2
no. monster	<u>9</u>	<u>39</u>	<u>64</u>	<u>89</u>	<u>99</u>	<u>14</u>
soort proef	TSO	CL4	CL1	TSO	CL1	TLD
belasting kN/m ² N	50		500	40	350	
idem	<u>10</u> TLO 30	<u>40</u> CL1 200	<u>65</u> TSO 50	<u>90</u> TSO 15	<u>100</u> TLO 30	<u>15</u> TSO 40
idem	<u>11</u> CL4	<u>41</u> TLO 50	<u>66</u> TSO 40	<u>91</u> CL1 350	<u>101</u> TLD	<u>16</u> TSO 30
idem	<u>12</u> TSO 30	<u>42</u> TLO 30	<u>67</u> TSO 15	<u>92</u> TLD 50	<u>102</u> CL4	<u>17</u> TLO 50
idem	<u>13</u> TLD 30	<u>43</u> TSO 40	<u>68</u> CL1 200	<u>93</u> TLO 50	<u>103</u> TSO 15	<u>18</u> CL1 200

Tabel 3.2

Buis no.	6	21	5	19	4	10
no. monster	<u>34</u>	<u>104</u>	<u>29</u>	<u>94</u>	<u>24</u>	<u>54</u>
soort proef	TLO	TSO	TLO	TLD	TSO	CL1
belasting kN/m ² N	50	30	30		15	200
idem	<u>35</u> CL1 350	<u>105</u> TSO 40	<u>30</u> TSO 30	<u>95</u> CL4	<u>25</u> TLO 50	<u>55</u> TLD
idem	<u>36</u> TSO 50	<u>106</u> TLD	<u>31</u> TLD 45	<u>96</u> TSO 15	<u>26</u> CL1 350	<u>56</u> TLD
idem	<u>37</u> TLD	<u>107</u> TSO 50	<u>32</u> TSO 40	<u>97</u> TLO 50	<u>27</u> TLO 50	<u>57</u> TSO 30
idem	<u>38</u> TSO	<u>108</u> CL1	<u>33</u> CL4	<u>98</u> TSO	<u>28</u> TSO	<u>58</u> TLO



Tabel 3.3

Buis no.	9	3	8	11	22	23
no. monster	<u>49</u>	<u>19</u>	<u>44</u>	<u>59</u>	<u>109</u>	<u>114</u>
soort proef	TSO					
belasting kN/m ² N	50					
idem	<u>50</u> CL1 350	<u>20</u>	<u>45</u>	<u>60</u>	<u>110</u>	<u>115</u>
idem	<u>51</u> TLO 30	<u>21</u>	<u>46</u>	<u>61</u>	<u>111</u>	<u>116</u>
idem	<u>52</u> CL1 200	<u>22</u>	<u>47</u>	<u>62</u>	<u>112</u>	<u>117</u>
idem	<u>53</u>	<u>23</u>	<u>48</u>	<u>63</u>	<u>113</u>	<u>118</u>



4. Beschrijving van de triaxiaalproeven

De triaxiaalproef is in 4 fasen onder te verdelen:

1. voorbereiding
2. consolidatie
3. aanbrengen van de verticale deformatie (eigenlijke triaxiaalproef)
4. nabewerking

In figuur 4.1. is de opstelling van de triaxiaalproef geschetst.

4.1. Vorbewerking

De kleistrengen zijn vanuit de strengpers in stukken gesneden van 0,2 m en vervolgens in plastic folie gerold, waarna de monsters per 5 stuks in plastic kokers gegaan zijn. Deze kokers zijn gedurende ruim 3 maanden horizontaal opgeslagen in een ruimte die konstant op 20°C gehouden wordt. Na deze periode is begonnen met de triaxiaal- en celproeven.

Het triaxiaalmonster wordt op nummer uit de koker gehaald en overgebracht naar de beproevingsruimte, welke ook constant op 20°C gehouden wordt.

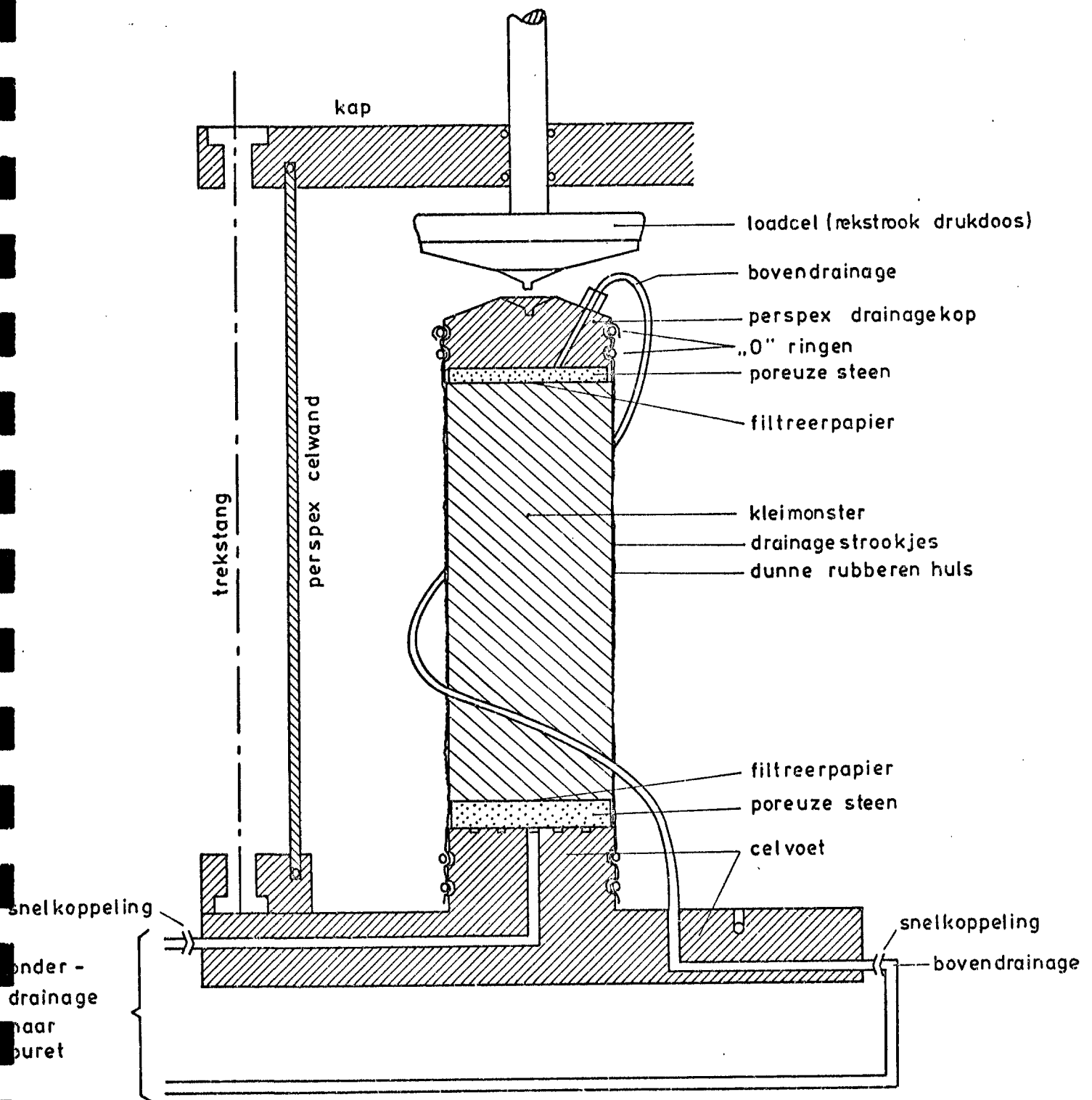
Hier wordt het monster op 150 mm hoogte afgesneden.

Op het overige materiaal is een laboratorium-vane test en handtorvane test uitgevoerd met daarbij een watergehalte.

Het monster werd daarna gewogen. Het volume werd bepaald door meting van de omtrek met bandjes.

Uit deze gegevens is het volumegewicht vastgesteld.

Om het overspannen poriënwater tijdens de consolidatieperiode gemakkelijk af te voeren, is gebruik gemaakt van 10 mm brede draineerstrookjes, die om de 10 mm naast elkaar aan de omtrek van het monster zijn aangebracht. De strookjes werden met water tegen het monster geplakt.



Figuur 4.1: Opstelling triaxiaalproef



Het monster is daarna omhuld door een dunne rubberen huls. De boven- en onderkant van het monster is afgedekt met een rond filtreerpapiertje. Vervolgens werd, nadat eerst een nat verzadigde poreuze steen op de celvoet was aangebracht, het monster op deze celvoet geplaatst (zie figuur 4.1).

Om zo min mogelijk luchtinsluiting te krijgen, wordt via de onderdrainage langzaam water toegevoerd, terwijl de rubber huls met "O"-ringen op de celvoet wordt afgedicht. Eventuele luchtbellens tussen huls en monster worden door voorzichtig strijken in opwaartse richting, verwijderd.

Alvorens de bovenste drainagekop werd geplaatst, werd ervoor zorg gedragen dat het hele leidingsysteem en de kop goed ont-lucht zijn.

Tijdens het plaatsen van de draineerkop werd een kleine hoeveelheid water op het monster gespoten, om zo weinig mogelijk luchtinsluiting te krijgen. Ook hier wordt de rubber huls op de drainekop afgedicht met twee "O"-ringen.

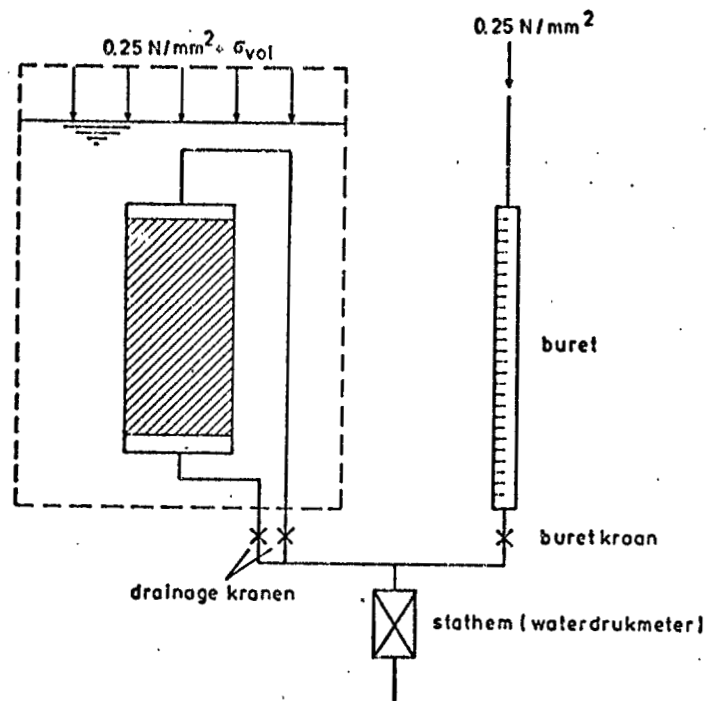
Daarna werd door middel van een onderdruk in de buret een drukverschil over het monster van ± 10 cm ingesteld, waardoor het overtollige water direkt werd afgevoerd.

Het monster krijgt daardoor praktisch geen gelegenheid water op te nemen.

Vervolgens werd de celkap over het monster geplaatst en werd de cel gevuld met water. De buretkraan werd daarna gesloten.

Dan werd de gewenste steundruk σ_{vol} aangebracht. Deze steundruk werd verhoogd met een zogenaamde backpressure van $0,25 \text{ N/mm}^2$.

Deze backpressure werd daarna via de buret ook in het monster aangebracht (zie figuur 4.2).



Figuur 4.2: Schema triaxiaalproeven

Opmerking: Voor de langzame gedraineerde triaxiaalproeven zijn in plaats van de ronde filterpapiertjes, ondoorlatende gladde ronde teflonplaatjes gebruikt. Het doel hiervan was de wrijving op de eindvlakken zoveel mogelijk op te heffen om daarmee een betere uniforme vervorming van de monsters te verkrijgen.

4.2. Consolidatie

Ten behoeve van het consolideren van het monster is het drainage-systeem naar de buret geopend.

De eerste 5 minuten werd veelvuldig waargenomen ter bepaling van het vrije water met behulp van $\Delta V - \sqrt{t}$ grafiek.

De consolidatieperiode was 3 dagen. Deze periode was tevoren bepaald met behulp van een proefmonster.

Voor de monsters die op $0,05 \text{ N/mm}^2$ korrelspanning werden geconsolideerd, was de consolidatieperiode 1 nacht langer.



De monsters voor de langzame gedraineerde triaxiaalproeven werden één volle week geconsolideerd.

Het praktische einde van de consolidatie werd vastgesteld uit de waarnemingen van de volumeverkleining ΔV met de tijd. Als maatstaf is aangehouden $\Delta V < 200 \text{ mm}^3/17 \text{ uur}$.

Na de consolidatieperiode zijn de kranen naar de buret gesloten en werd de buret losgekoppeld. Daarna werd de celdruk afgelaten en werd het water uit de cel afgevoerd. De cel werd daarna ontmanteld. Celvoet en monster zijn vervolgens in de triaxiaalpers geplaatst voor de uitvoering van de triaxiaalproef.

Opmerking: De monsters met $\sigma_{\text{vol}} = 0,015 \text{ N/mm}^2$ zijn op $0,03 \text{ N/mm}^2$ geconsolideerd. Na het overzetten onder de soiltestpers is nogmaals één nacht onder $\sigma_{\text{vol}} = 0,015 \text{ N/mm}^2$ nageconsolideerd.

Deze monsters waren dus overgeconsolideerd.

4.3. Uitvoering van de triaxiaalproef

Hierbij is te onderscheiden:

- a. de voorbehandeling
- b. de uitvoering van de eigenlijke proef
- c. de registratie van de gegevens
- d. nazorg

a. Voorbehandeling:

Het voorgeconsolideerde monster werd onder de triaxiaalcelkap geplaatst die voorzien is van een nauwkeurige elektrische kracht-opnemer (de zogenaamde "load-cell"), die zich in de celruimte bevindt.

De cel werd daarna met water gevuld en onder druk gebracht tot de gewenste waarde van σ_{vol} vermeerderd met de "back-pressure" van $0,25 \text{ N/mm}^2$.



De "back-pressure" werd ook op de nog afgesloten buret aangebracht. Daarna werden de kranen geopend en werd het monster gedurende ca 5 minuten gelegenheid gegeven zich weer aan te passen aan de uitgevoerde effectieve druk σ_{vol} .

Om vast te stellen hoe zich de waterspanning in het monster daarbij ontwikkelt, werden na de periode van 5 minuten de kranen weer gesloten. De overblijvende waterspanning in het monster zou nu zeer klein moeten zijn. Dit bleek in het algemeen niet het geval te zijn.

Hiervoor zijn in principe 2 oorzaken aan te wijzen:

1. het monster was tijdens de voorconsolidatie nog niet geheel aangepast aan de aangebrachte σ_{vol} ;
2. de σ_{vol} tijdens de voorconsolidatie was niet gelijk aan de σ_{vol} in het triaxiaalapparaat. Dit kan verband houden met verschillen in nauwkeurigheid en gevoeligheid tussen de betreffende opnemers van beide opstellingen.

De gemeten waterspanning gaf een indruk van de afwijking van de effectieve spanning in het monster t.o.v. de gewenste waarde.

Door bijregeling van de druk in de triaxiaalcel werd een toestand ingesteld, waarbij de effectieve spanning in het monster gelijk was aan de celdruk. Deze was dan vanzelfsprekend niet meer geheel gelijk aan de gewenste waarde.

b. Uitvoering van de eigenlijke proef:

Bij de triaxiaalproef wordt het monster bij constant gehouden celdruk met een constante snelheid in verticale zin gedefformeerd. Deze deformatsiesnelheid werd bij deze proeven gevarieerd. Tijdens de deformatie ontwikkelt zich de verticale belasting op het monster. Deze kracht wordt met de zich in de cel bevindende kracht-opnemer opgenomen en op een afleesapparaat geregistreerd.

Bij twee series proeven werden de drainage-kanalen van het monster afgesloten. Deze proeven werden dus ongedraineerd uitgevoerd. De zich tijdens de proeven ontwikkelende wateroverspanning in het monster werd opgenomen op een nauwkeurige waterdrukmeter (zie figuur 4.2 "Statham"-waterdrukmeter).



Een serie proeven werd gedraineerd uitgevoerd bij een zeer lage deformatiesnelheid van ca 0,9 mm per 24 uur. Bij deze proeven waren de drainagekanalen geopend. Er konden zich geen waterspanningen ontwikkelen bij de aangehouden deformatiesnelheid, die werd vastgesteld uit de resultaten van samendrukkingsproeven (zie Appendix A).

De triaxiaalproeven werden beëindigd even nadat de krachtopnemer de maximum verticale druk aanwees.

c. Registratie van de gegevens:

Op een zogenaamde "xy₁y₂" recorder werden de volgende gegevens geregistreerd:

- op de x-as - de verticale deformatie in %
- op de y₁-as - de waterspanning in het monster
- op de y₂-as - de op het monster uitgeoefende verticale druk

Deze gegevens zijn daarnaast ook afgelezen en in tabellen genoteerd.

Voor de berekening van de verticale druk op het monster uit de aflezing van de krachtopnemer werden correcties aangebracht in verband met de vormverandering van het monster gedurende de proef.

Bij de langzame gedraineerde triaxiaalproeven werden de gegevens niet op de xy₁y₂-recorder geregistreerd. Bij deze proeven werden de volgende waarnemingen verricht:

- celdruk
- back-pressure
- verticale deformatie van het monster
- verticale druk op het monster
- volumeverandering van het monster (met behulp van de buret)

d. Nazorg:

Na beëindiging van de proef werd na ontmanteling van de triaxiaalcel, de rubber huls van het monster verwijderd. Vervolgens werd over de gehele hoogte van het monster een reep grond uitgesneden, waarvan het watergehalte werd vastgesteld.

Alle beproefde monsters zijn bewaard.



5. Beschrijving van de celproeven

Evenals voor de triaxiaalproeven zijn de monsters voor de celproeven voorgeconsolideerd in een triaxiaalcel bij een effectieve alzijdige druk van ca 30 kN/m^2 . In principe is hiervoor dezelfde procedure gebruikt als bij de voorconsolidatie van het monster voor de triaxiaalproeven. Er werd een zogenaamde "back-pressure" toegepast van 250 kN/m^2 .

Voor de beschrijving van de celproef wordt verwezen naar rapport SE-2AJ-II van het LGM "Geconsolideerde Celproeven" door F.J. van Duren.

5.1. Uitvoering van de celproeven

Na de voorconsolidatieperiode zijn de monsters ontlast. Daarna zijn de afmetingen van het monster vastgesteld door middel van opmeting van de omtrek op 3 plaatsen en de hoogte op 4 plaatsen. Ook werd het gewicht bepaald.

Vervolgens werd in de cel een initiële steundruk aangebracht van ca 2 kN/m^2 en werd water toegelaten tussen het monster en de rubberzak.

De verticale belasting werd daarna snel opgevoerd tot de waarde, waarbij de schuifweerstand zou worden bepaald.

Bij deze waarde kreeg het monster gelegenheid aan te passen.

Nadat de verticale deformatiesnelheid was afgenomen tot $250 \mu\text{m}/24$ uur of minder werd, door middel van het zogenaamde Mohren, de steundruk in de cel verlaagd met ca 3 kN/m^2 . Als de druk na het sluiten van het Mohr-kraantje, weer wat toeneemt, wordt de druk bij deze belastingstrap in de cel niet verder verlaagd.

Neemt de druk na het "Mohren" niet toe, dan wordt de druk in de cel nogeens met 2 kN/m^2 verlaagd.

Deze toestand wordt gehandhaafd totdat de verticale zakkingsnelheid weer $250 \mu\text{m}/24$ uur of minder is geworden.

Bij de ééntraps (CL-1)-proeven werd deze Mohr-procedure uitgevoerd bij de verticale belastingstrappen van 200 kN of 350 kN.



Bij de viertraps (CL-4)-proeven werd bij elke proef de Mohr-procedure uitgevoerd bij 90 kN, 200 kN, 350 kN en 500 kN.

Na de proeven werden de monsters uit de cel genomen en werden de afmetingen (omtrek en hoogte) opnieuw vastgesteld, evenals het gewicht.

Tijdens de gehele proef werd de verticale zakking van het monster gemeten. Hieruit is de rek in verticale richting te berekenen. De opgetreden volumerek wordt bepaald uit de opmetingen van het volume vóór en ná de proef. Bij de tussentijdse belastingstrappen moet de volumerek worden geschat.



6. Resultaten van de triaxiaalproeven

De volgende typen triaxiaalproeven werden uitgevoerd:

TSO-proeven (Triaxiaal, Snel, Ongedraineerd)	- deformatie-snelheid 1,5 mm/min
TLO-proeven (Triaxiaal, Langzaam, Ongedraineerd)	- deformatie-snelheid 0,15 mm/min
TLD-proeven (Triaxiaal, Langzaam, gedraineerd)	- deformatie-snelheid 0,9 mm/24 u

6.1. TSO-proeven

Deze ongedraineerde snelle triaxiaalproeven werden uitgevoerd bij de volgende alzijdige spanningen vol:

ca 15 kN/m² - voorgeconsolideerd bij 30 kN/m²

ca 30 kN/m² - voorgeconsolideerd bij 30 kN/m²

ca 40 kN/m² - voorgeconsolideerd bij 40 kN/m²

ca 50 kN/m² - voorgeconsolideerd bij 50 kN/m²

De resultaten van deze proeven zijn uitgezet in de grafieken van de bijlagen 1 t/m 25. De van belang zijnde gegevens zijn op de betreffende bijlage aangegeven.

Voor de verdere verwerking van de gegevens zal gebruik worden gemaakt van de in hoofdstuk 1 gegeven vergelijking (5)

$$q = p \sin \phi' + c' \cos \phi' \quad (5)$$

waarin:

$$p = \frac{\sigma_V + \sigma_H - 2u}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_V - \sigma_H}{2}$$

σ_H is de aangebrachte alzijdige druk in de triaxiaalcel.

σ_V is de verticale druk op het monster, die is samengesteld uit de alzijdige druk in de triaxiaalcel en de via de kracht-opnemer aangebrachte druk.



Uit de bijlagen 1 t/m 25 kunnen p en q als volgt worden gevonden:

$$\begin{cases} q = \tau \\ p = \sigma_H + q - u \end{cases}$$

In de tabel 6.1 zijn de op deze wijze bepaalde waarden voor p en q verzameld bij de maximaal gemeten waarde voor de vervorming, waarbij meestal ook de maximale waterspanning optrad. De normale uitwerking voor $\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \max.$ en $\sigma_1 - \sigma_3 = \max.$ is opgenomen in Appendix B.

Bij een groot aantal van de uitgevoerde ongedraineerde triaxiaalproeven bleek de waterspanning in het monster gedurende de proef aanzienlijk meer toe te nemen dan op grond van de verandering van de uitwendige isotrope spanning zou worden verwacht. Vanzelfsprekend kan dit verband houden met de meting van de waterspanning in het monster op de eindvlakken. Bij dergelijke ondoorlatende gronden als in dit geval beproefd kan een in het midden van het monster opgewekte waterspanningsverhoging vertraagd naar de eindvlakken worden doorgegeven.

Dit komt omdat de onderzochte klei ten gevolge van het fabricageproces in de strengpers, een sterk gerichte structuur zal bezitten, waardoor er ten gevolge van de optredende hoekverdraaiingen (schuifspanningen) in het monster tijdens de triaxiaalproef een extra tensiedens tot volumeverkleining van het korrelskelet optreedt. Bij een ongedraineerde proef betekent dit een extra toename van de waterspanning in het midden van het monster.

De waterspanningsverandering in het monster bij een ongedraineerde triaxiaalproef wordt wel beschreven door de volgende vergelijking (6):

$$\Delta u = B\Delta\sigma_H + BA(\Delta\sigma_V - \Delta\sigma_H) \quad (6)$$

waarin:

B = de poriënwaterdruk-coëfficiënt ten gevolge van de verandering van de hydrostatische of isotrope spanningstoestand van het monster



A = de poriënwaterdruk-coëfficiënt ten gevolge van de verandering van de schuifspanningen in het monster (zogenaamde dilatantie-coëfficiënt).

Uit proeven op de kleimonsters van dit onderzoek is gebleken dat de coëfficiënt $B = 1$ is.

Voor het geval dat schuifspanningen geen tendens tot volumeveranderingen van de grond geven, is $A = 0,33$. Immers is in dat geval bij een triaxiaalproef ($\Delta\sigma_H = 0$):

$$\Delta u = \frac{\Delta\sigma_V + 2\Delta\sigma_H}{3} = 0,33 \Delta\sigma_V \quad (7)$$

en volgens vergelijking (6):

$$\begin{aligned} \Delta u &= \Delta\sigma_H + A(\Delta\sigma_V - \Delta\sigma_H) \\ \Delta u &= A\Delta\sigma_V \end{aligned} \quad (8)$$

waaruit volgt dat $A = 0,33$

Uit de ongedraineerde triaxiaalproeven ($B = 1$ en $\Delta\sigma_H = 0$) kan de coëfficiënt A op de volgende wijze worden afgeleid:

$$\begin{aligned} \Delta u &= A \cdot \Delta\sigma_V \\ q &= \frac{\sigma_V - \sigma_H}{2} \\ \text{ofwel: } q &= \frac{\Delta\sigma_V}{2} \end{aligned}$$

Dus is: $\Delta u = 2qA$

$$A = \frac{\Delta u}{2q}$$

In tabel 6.1 is de aldus gevonden waarde van A voor de normaal voorgeconsolideerde proeven opgenomen.



Tabel 6.1: resultaten T.S.O.-proeven

Mon-ster nr.	σ_H kN/m ²	τ kN/m ²	u kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²	A	Opmerking
24	14,8	12,0	2,0	24,8	12,0		voorgeconsolideerd op 30 kN/m ²
38	15,4	11,1	1,0	27,5	11,1		" "
67	15,0	9,2	4,6	19,6	9,2		" "
90	15,0	9,7	3,0	21,7	9,7		" "
96	13,6	9,6	2,0	21,2	9,6		" "
103	15,0	10,9	0,9	25,0	10,9		" "
12	30,0	12,5	13,2	29,3	12,5	0,53	voorgeconsolideerd op 30 kN/m ²
16	23,8	11,4	6,7	28,5	11,4	0,29	" "
30	29,6	13,2	6,4	36,4	13,2	0,24	" "
98	23,4	12,0	7,4	28,0	12,0	0,30	" "
104	28,6	10,3	9,5	29,4	10,3	0,46	" "
15	37,8	11,4	15,4	33,7	11,4	0,67	voorgeconsolideerd op 40 kN/m ²
32	34,4	14,7	12,6	36,5	14,7	0,43	" "
43	40,0	12,6	17,0	35,6	12,6	0,67	" "
66	40,0	12,8	13,5	39,3	12,8	0,52	" "
89	40,0	12,3	15,7	36,6	12,3	0,64	" "
105	39,0	14,6	14,4	39,2	14,6	0,49	" "
9	50,0	17,6	17,9	49,7	17,6	0,51	voorgeconsolideerd op 50 kN/m ²
28	48,0	16,5	17,6	46,9	16,5	0,53	" "
36	50,6	16,7	22,4	44,9	16,7	0,67	" "
49	49,8	17,5	17,5	49,8	17,5	0,50	" "
57	46,0	16,0	17,0	45,0	16,0	0,53	" "
65	50,0	15,8	23,4	42,4	15,8	0,74	" "
107	44,8	14,9	18,2	41,5	14,9	0,61	" "



Uit de lineaire regressie van q op p van de gevonden p en q waarden met formule (5):

$$q = p \sin \phi' + c' \cos \phi'$$

wordt gevonden:

$$\phi' = 17,5^\circ$$

$$c' = 2,67 \text{ kN/m}^2$$

Bij deze regressie zijn de overgeconsolideerde monsters 24 t/m 103 buiten beschouwing gelaten. De correlatiecoëfficiënt $r = 0,92$. De gemiddelde waarde van de dilatatiecoëfficiënt A is:

$$A = 0,54$$

In figuur 6.2 zijn de gevonden waarden van p en q , alsmede de berekende regressielijn, uitgezet.

6.2. TLO-proeven

De langzame ongedraineerde triaxiaalproeven werden uitgevoerd bij de volgende alzijdige spanningen σ_{vol} :

ca 30 kN/m^2 - vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m^2

ca 50 kN/m^2 - vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m^2

De deformatiesnelheid tijdens de proeven was $0,15 \text{ mm/min}$, overeenkomend met $0,1\%$ per minuut.

In tabel 6.3 zijn de resultaten van deze proeven verzameld. Ook in dit geval zijn de waarden genomen bij de maximale gemeten waterspanningen.

De resultaten zijn uitgezet op de bijlagen 26 t/m 37.

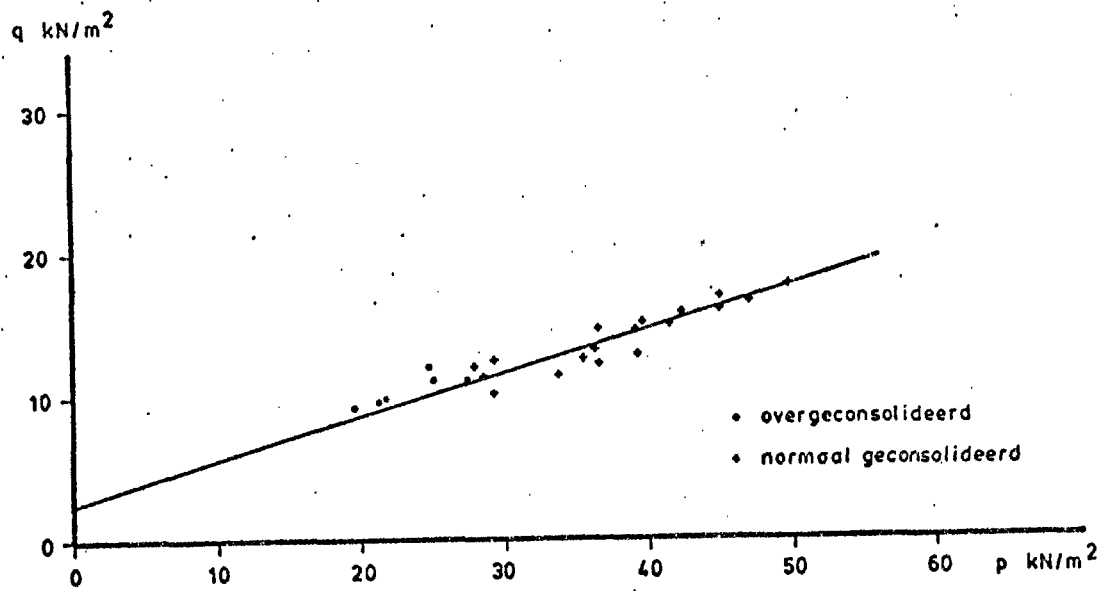


Fig. 6.2 Resultaten TSO-proeven



Tabel 6.3: resultaten TLO-proeven

monster nr.	σ_H kN/m ²	τ kN/m ²	u kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²	A	Opmerkingen
10	30,0	12,2	14,0	28,2	12,2	0,57	vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
29	28,6	12,9	12,4	29,1	12,9	0,48	" "
42	30,0	10,8	16,0	24,8	10,8	0,74	" "
51	34,4	12,5	13,8	33,1	12,5	0,55	" "
58	27,8	12,4	12,2	28,0	12,4	0,49	" "
100	30,0	9,8	15,2	24,6	9,8	0,77	" "
17	46,6	15,4	25,4	36,6	15,4	0,82	vóórgeconsolideerd bij 50 kN/m ²
23	46,8	16,3	22,2	40,9	16,3	0,68	" "
25	41,6	14,7	21,8	34,5	14,7	0,74	" "
41	50,0	15,0	25,4	39,6	15,0	0,85	" "
93	47,6	15,7	25,2	38,1	15,7	0,81	" "
97	47,8	15,4	25,8	37,4	15,4	0,84	" "
34	117,8	32,5	60,0	90,3	32,5	0,92	vóórgeconsolideerd bij 120 kN/m ²

Uit de regressie-analyse van q op p van deze resultaten, waarbij het resultaat van de proef op monster 34 buiten beschouwing is gelaten, volgt:

$$\phi' = 21,6^\circ$$
$$c' = 1,7 \text{ kN/m}^2$$

De correlatie-coëfficiënt bedraagt $r = 0,96$.

De gemiddelde waarde van de dilatantie-coëfficiënt A is:

$$A = 0,68$$

In figuur 6.4 zijn de p - en q -waarden uitgezet alsmede de berekende regressielijn.

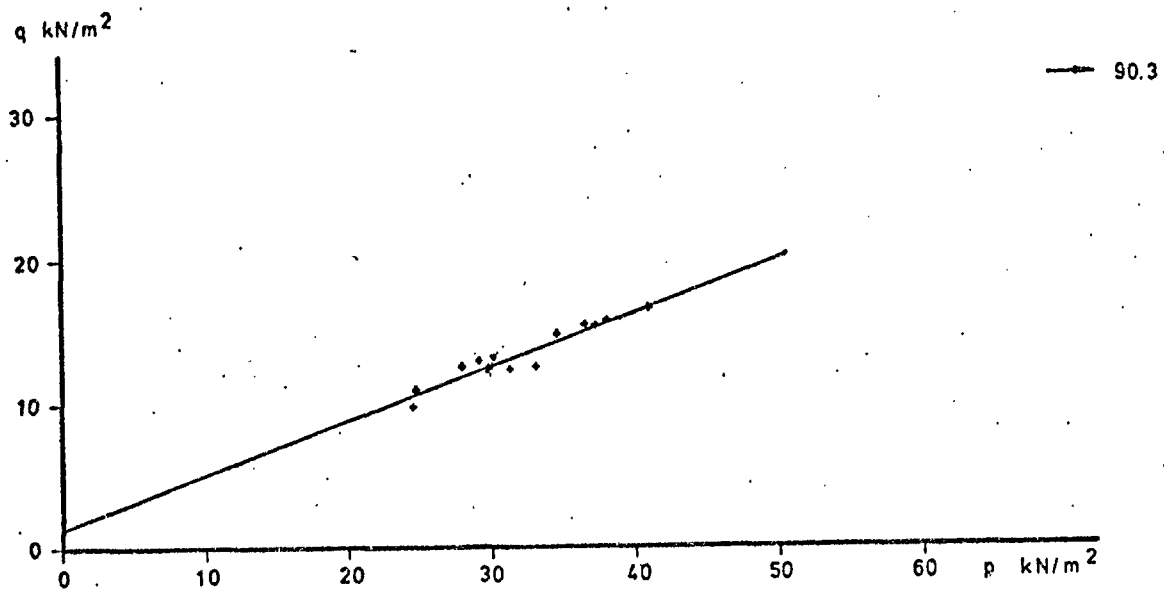


Fig. 6.4 Resultaten TLO-proeven



6.3. TLD-proeven

De langzame gedraineerde triaxiaalproeven werden gedaan bij de volgende alzijdige spanning σ_{vol} :

ca 30 kN/m² - vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m²

ca 50 kN/m² - vóórgeconsolideerd bij 50 kN/m²

De deformatiesnelheid bij de proeven was 0,8 mm per 24 uur.

De resultaten van deze proevenserie zijn samengevat in tabel 6.5.

Tabel 6.5: resultaten TLD-proeven

Mon-ster nr.	σ_H kN/m ²	τ kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²	Opmerkingen
20	30,0	24,5	54,5	24,5	vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
37	30,0	24,8	54,8	24,8	" "
56	30,0	24,6	54,6	24,6	" "
27	50,0	37,5	87,5	37,5	" 50 kN/m ²
31	50,0	40,0	90,0	40,0	" "

Uit de regressie-analyse van q op p van deze resultaten volgt:

$$\phi' = 24,5^\circ$$

$$c' = 2,13 \text{ kN/m}^2$$

De correlatiecoëfficiënt bedraagt $r = 0,99$.

De resultaten zijn met de gevonden regressielijn uitgezet in de grafiek van figuur 6.6.

De beproevingsresultaten zijn uitgezet in de grafieken van de bijlagen 38 t/m 47.

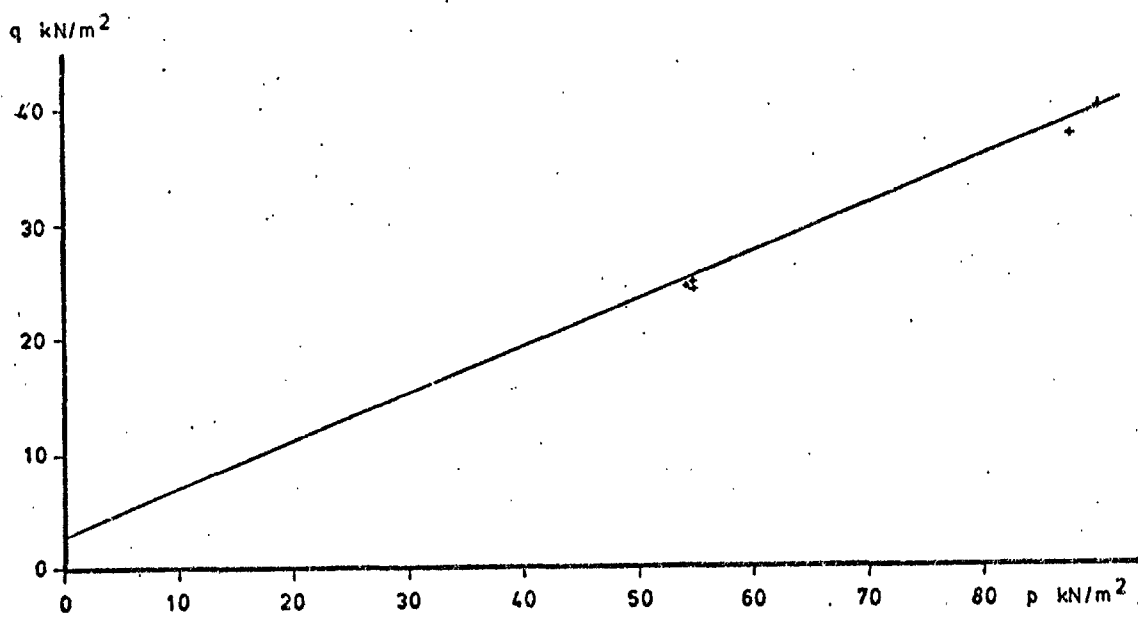


Fig. 6.6. Resultaten T.L.D.-proeven



6.4. Aanvullende triaxiaalproeven

Zeer langzame ongedraineerde triaxiaalproeven/TZLO-proeven werden als aanvulling op het hiervoor gegeven programma uitgevoerd. De deformatiesnelheid bedroeg 0,9 mm per uur, overeenkomende met 0,01% per minuut.

De resultaten van deze proeven zijn uitgezet op de bijlagen 48 t/m 59.

In tabel 6.7 zijn de resultaten samengevat.

Tabel 6.7: resultaten TZLO-proeven

Mon-ster nr.	σ_H kN/m ²	τ kN/m ²	u kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²	A	Opmerkingen
77	15,0	11,8	4,5	22,3	11,8	0,19	vóórgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
109	21,0	10,5	12,0	19,5	10,5	0,57	" "
80	22,0	12,3	10,6	23,7	12,3	0,43	" "
79	23,2	10,2	12,2	21,2	10,2	0,60	" "
69	25,0	14,0	15,0	24,0	14,0	0,54	" "
83	32,0	11,1	13,9	29,2	11,1	0,63	" "
76	36,0	13,3	17,6	31,7	13,3	0,66	" 50 kN/m ²
74	41,0	13,4	23,0	31,4	13,4	0,86	" "
111	41,8	11,7	22,3	31,2	11,7	0,95	" "
48	42,0	11,4	24,8	28,6	11,4	1,09	" "
72	46,0	16,5	26,3	36,2	16,5	0,80	" "
81	46,6	16,0	28,2	34,4	16,0	0,88	" "

Met de methode van de kleinste kwadraten is het beste lineair verband tussen p en q vastgesteld. Gevonden wordt:

$$\phi' = 15,5^\circ$$

$$c' = 5,26 \text{ kN/m}^2$$

De correlatie-coëfficiënt $r \approx 0,72$ wijst erop dat de resultaten van deze proeven een beduidend sterkere variatie vertonen dan die van de voorgaande series, waarbij de correlatie-coëfficiënt boven de 0,9 ligt.

In figuur 6.8 zijn de resultaten van deze serie proeven uitgezet.

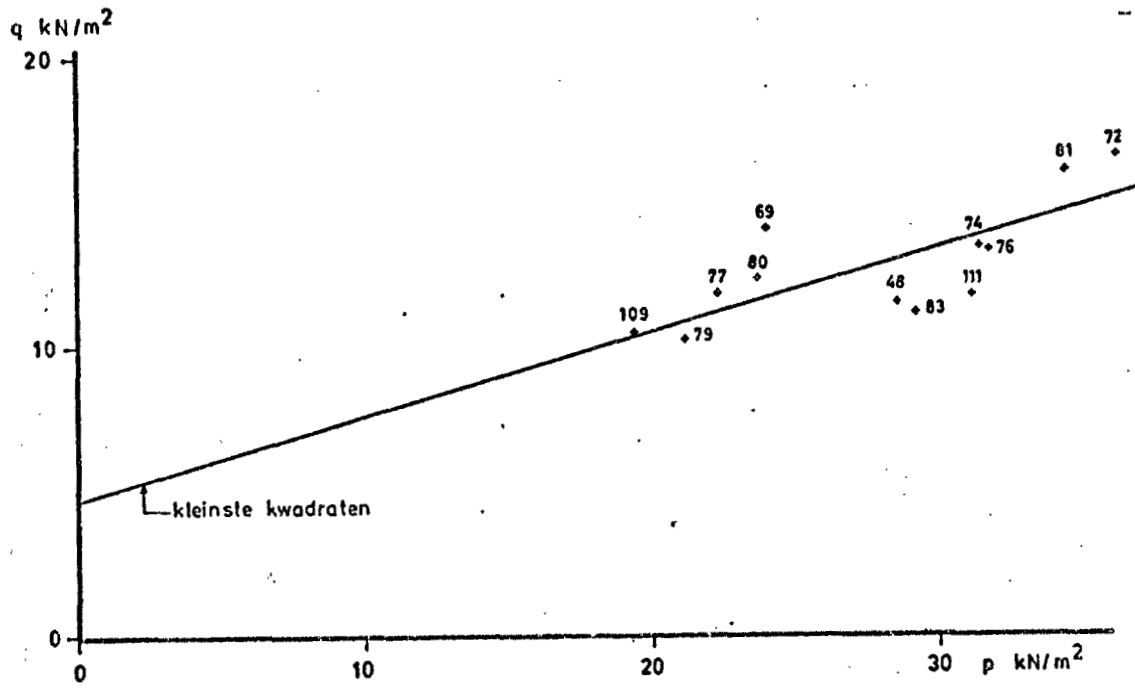


Fig. 6.8. Resultaten T.Z.L.O.-proeven

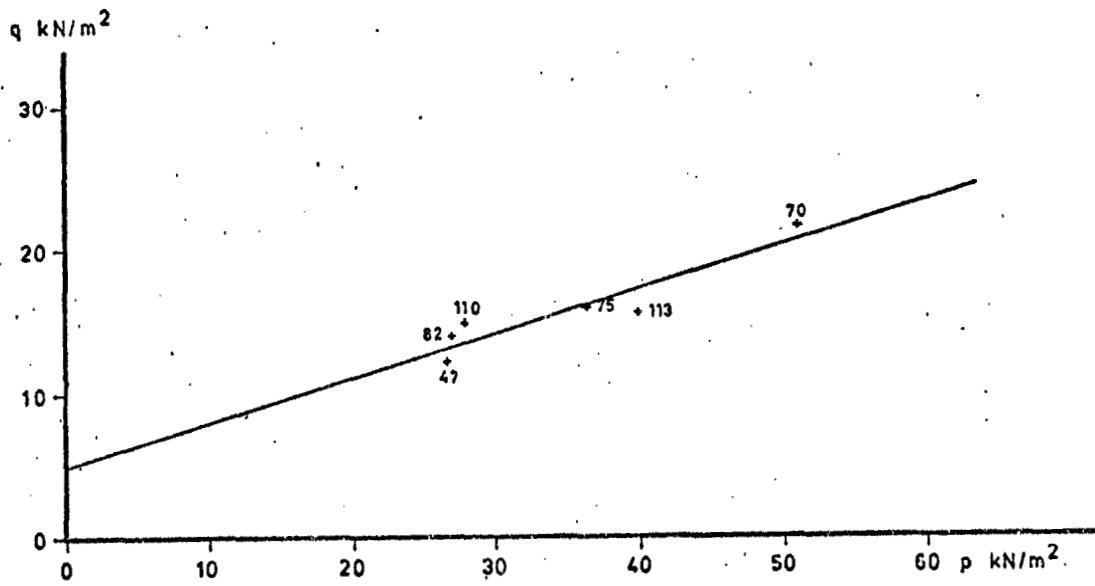


Fig. 6.10. Resultaten aanvullende T.L.O.-proeven



Omdat de TZLO-proeven geruime tijd na de andere proeven op de strengpersmonsters werden uitgevoerd, werden ter vergelijking met de vorige serie nog 6 aanvullende triaxiaalproeven uitgevoerd volgens de eerder toegepaste TLO-procedure. Hierbij bedroeg de deformatiesnelheid 0,1% per minuut.

In de volgende tabel 6.9 zijn de resultaten van deze serie proeven samengevat (zie ook bijlagen 60 t/m 65).

Tabel 6.9: Resultaten aanvullende serie TLO-proeven

Mon-ster nr.	σ_H kN/m ²	τ kN/m ²	u kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²	A	Opmerkingen
47	27,0	12,4	12,8	26,6	12,4		voorgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
110	24,0	14,8	11,2	27,9	14,8		" "
82	20,0	14,0	7,0	27,0	14,0		" "
70	57,6	21,6	28,2	51,0	21,6		" 50 kN/m ²
75	44,2	16,0	23,8	36,4	16,0		" "
113	45,4	15,6	21,0	40,0	15,6		" "

Uit de regressie-analyse van q op p volgt:

$$\phi' = 17,7^\circ$$

$$c' = 5,43 \text{ kN/m}^2$$

De correlatie-coëfficiënt $r = 0,93$ wijst op een goede betrouwbaarheid van deze analyse.

De overeenkomst met de resultaten van de eerder uitgevoerde TLO-proeven, waarbij gevonden werd:

$$\phi' = 21,6^\circ$$

$$c' = 1,7 \text{ kN/m}^2$$

is slecht.

De resultaten van deze proeven zijn uitgezet in figuur 6.10.



7. Resultaten van de celproeven

In het programma van celproeven werden de volgende beproevingsprocedures uitgevoerd:

- 1) ééntraps-celproeven, aangeduid als CL-1 proeven, waarbij de schuifweerstand van het kleimonster werd bepaald bij één verticale belasting. De eerste serie werd uitgevoerd bij een verticale belastingstrap van 0,2 kN ($\sim 58 \text{ kN/m}^2$); de tweede bij een verticale belastingstrap van 0,35 kN ($\sim 100 \text{ kN/m}^2$).
- 2) viertraps-celproeven, aangeduid als CL-4 proeven, waarbij de schuifweerstand van het kleimonster werd bepaald bij vier verschillende verticale belastingstrappen, namelijk 0,09 kN ($\sim 27 \text{ kN/m}^2$), 0,2 kN ($\sim 58 \text{ kN/m}^2$), 0,35 kN ($\sim 100 \text{ kN/m}^2$) en 0,50 kN ($\sim 145 \text{ kN/m}^2$).

De procedure van de proeven is beschreven in hoofdstuk 5.

7.1. Eéntraps-celproeven (CL-1)

In de volgende tabel 7.1. zijn de resultaten van deze serie proeven samengevat tezamen met de belangrijkste gegevens van de proeven. Hierbij is de combinatie van verticale druk en minimaal bij het Mohren gemeten horizontale celspanning als kritisch aangenomen.

De resultaten van deze proeven zijn in de vorm van een p/q-relatie in figuur 7.2 uitgezet.

Met behulp van een regressie-analyse is de beste rechte lijn bepaald. Dit komt praktisch neer op de methode van de kleinste kwadraten.

De gevonden rechte blijkt ook met de hand goed te kunnen worden getrokken omdat de spreiding tussen de punten van de 2 waarnemingsgroepen klein is (dus een hoge correlatie-coëfficiënt).

Gevonden wordt:

$$\begin{aligned}\phi' &= 16,9^\circ \\ c' &= 2,61 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

De correlatie-coëfficiënt $r = 0,95$.



Tabel 7.1: Resultaten CL-1 proeven

Mon- ster nr.	σ'_V kN/m ²	$\sigma'_{H(M)}$ kN/m ²	ϵ_x	ϵ_{vol} ~	P kN/m ²	q kN/m ²	Opmerkingen
18	57,7	28,9	0,053	0,025	41,8	15,9	voorgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
19	58,7	29,8	0,047	0,032	44,2	14,4	
40	57,9	28,6	0,040	0,023	43,3	14,7	
52	57,7	26,8	0,043	0,016	42,3	15,5	
54	58,5	20,8	0,045	0,046	39,6	18,8	
26	106,1	54,7	0,048	0,022	80,4	25,7	
35	104,8	53,1	0,040	?	79,0	25,9	
50	101,7	53,3	0,062	0,04	77,5	24,2	
91	101,7	52,8	0,077	0,05	77,2	24,4	
99	101,0	49,7	0,083	0,05	75,4	25,7	
108	101,3	53,3	0,077	0,06	77,3	24,0	

7.2. Viertraps-celproeven (CL-4)

De resultaten van deze proeven zijn samengevat in tabel 7.3. De belangrijkste gegevens, nodig voor verdere interpretatie, zijn hierin ook opgenomen.

In de tabel zijn σ'_H -waarden opgenomen die werden waargenomen nadat de manometer ná het Mohren geen verdere toename van de celdruk aangaf. Als criterium wordt daarbij een zakkingsnelheid van 250 $\mu\text{m}/\text{dag}$ of minder gebruikt.



Tabel 7.3: Resultaten CL-4 proeven

mon- ster nr.	σ'_V kN/m ²	$\sigma'_H(M)$ kN/m ²	ϵ_x	ϵ_{vol}	P kN/m ²	q kN/m ²	Opmerkingen
11	25,5	8,7	0,027		17,1	8,4	voorgeconsolideerd bij 30 kN/m ²
	55,0	27,8	0,052		41,4	13,6	
	94,7	51,5	0,076		73,1	21,6	
	133,4	78,7	0,095	0,05	106,1	27,4	
33	25,3	9,8	0,018		17,6	7,7	" "
	55,1	28,0	0,041		41,5	13,6	
	95,1	53,3	0,067		74,2	20,9	
	135,0	77,5	0,086	0,06	106,2	28,8	
39	25,0	10,7	0,016		17,8	7,2	" "
	54,4	29,4	0,038		41,7	12,5	
	94,2	54,0	0,067		74,1	20,1	
	133,9	76,0	0,090	0,07	104,9	29,0	
68	24,8	9,8	0,017		17,3	7,5	" "
	54,1	25,6	0,047		39,8	14,3	
	93,2	49,1	0,079		71,2	22,0	
	132,1	71,8	0,102	0,07	102,0	30,2	
95	25,3	10,7	0,022		18,0	7,3	" "
	55,0	30,3	0,046		42,7	12,3	
	95,6	54,9	0,066		75,2	20,3	
	135,7	77,9	0,097	0,08	106,8	28,9	
102	24,6	10,9	0,023		17,7	6,9	" "
	53,6	30,0	0,044		41,8	11,8	
	93,1	53,9	0,069		73,5	19,6	
	133,6	64,8	0,099	0,08	99,2	33,4	
106	25,3	11,2	0,020		18,3	7,1	" "
	55,1	31,6	0,043		43,3	11,7	
	95,7	55,9	0,069		75,8	19,9	
	136,1	80,3	0,088	0,07	108,2	27,9	



Uit de regressie van alle punten p op q wordt gevonden:

$$\phi' = 15^{\circ}$$

$$c' = 2,26 \text{ kN/m}^2$$

De correlatie-coëfficiënt $r = 0,98$.

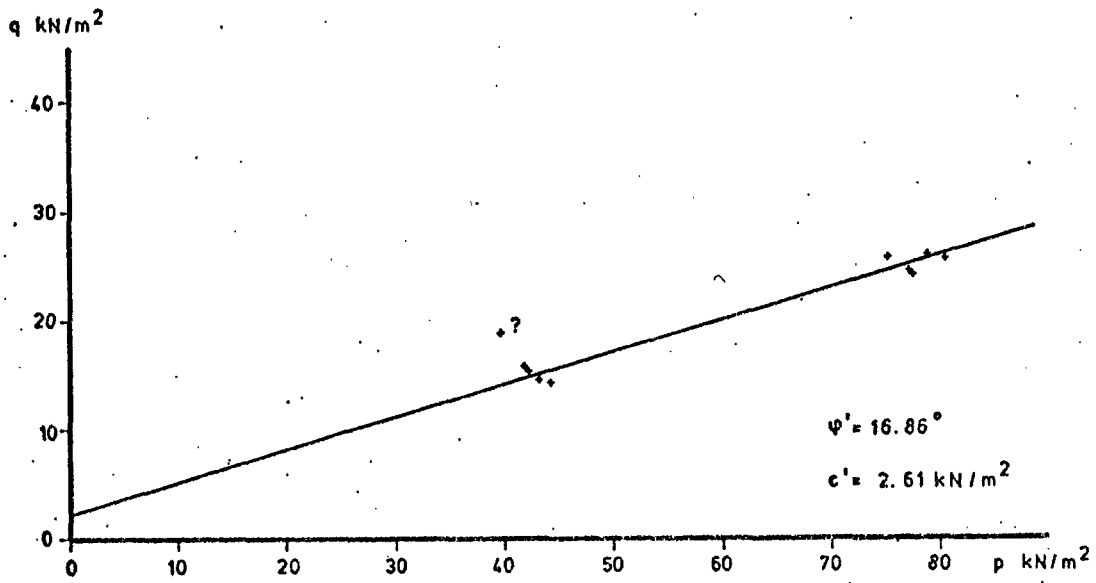


Fig. 7.2. Resultaten C.L.-1-proeven

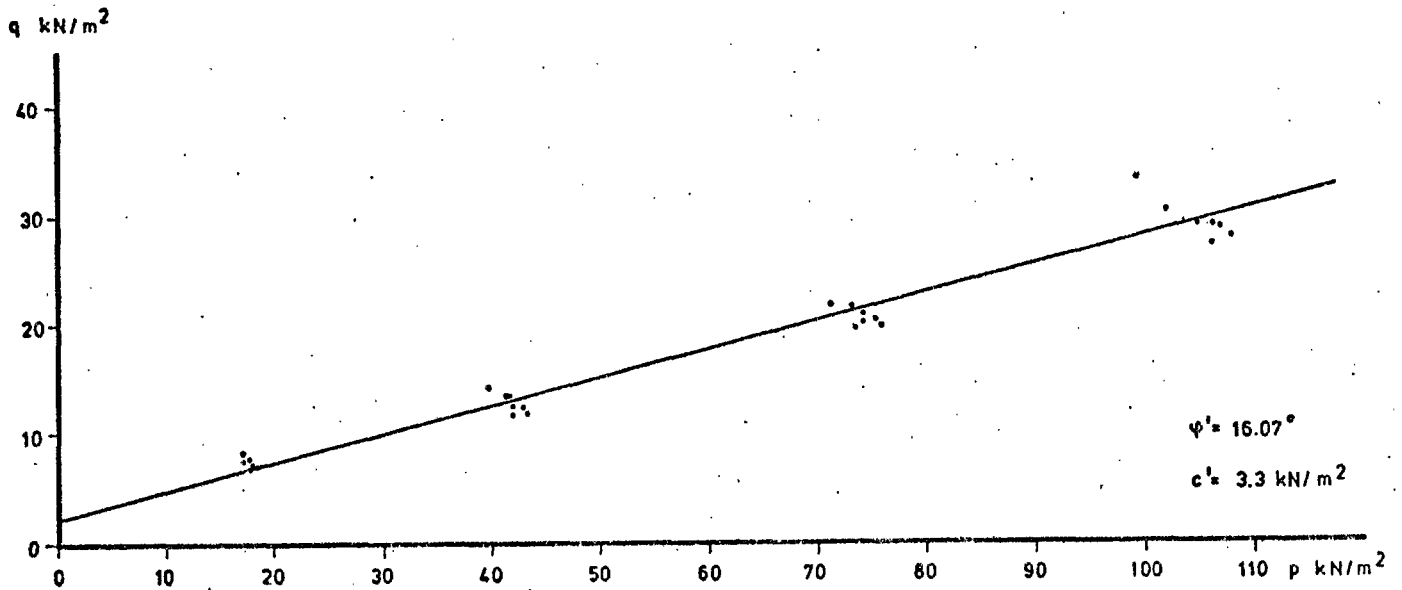


Fig. 7.4. Resultaten C.L.-4-proeven



8. Bespreking van de beproevingsresultaten

De uit de verschillende proevenseries berekende beste schattingen van de schuifweerstandseigenschappen σ' en c' zijn in de volgende tabel 8.1 samengevat.

Tabel 8.1: Overzicht van de beproevingsresultaten

Type proef	ϕ' graden	c' kN/m ²	correlatiecoëfficiënt	opmerking
TSO	17,5	2,67	0,92	
TLO	21,6	1,7	0,96	
	17,7	5,43	0,93	aanvullende proeven
TZLO	15,5	5,26	0,72	aanvullende proeven
TLD	24,5	2,13	0,99	
CL-1	16,9	2,61	0,95	
CL-4	15,0	2,26	0,98	

Uit dit overzicht blijkt dat, met uitzondering van de in een later stadium uitgevoerde TZLO-proeven, de spreiding van de resultaten binnen de verschillende beproevingsmethoden betrekkelijk klein zijn (hoge correlatiecoëfficiënten).

Bij de snelle ongedraineerde TSO-proeven (1,5 mm/min.) is de serie die bij een celdruk van ca 15 kN/m² werden uitgevoerd buiten beschouwing gelaten. Het effect van de overconsolidatie kwam daarbij namelijk duidelijk tot uiting in het verloop van de waterspanning in het monster gedurende de proef. Dit was duidelijk afwijkend van het verloop van de waterspanningen bij de niet-overgeconsolideerde proeven dat tijdens de proeven over het algemeen bleef toenemen ook nadat de hoogste waarde van de deviatorspanning was bereikt. Deze waterspanning overschreed in het algemeen de waarde van de isotrope uitwendige spanningsverandering. Vanzelfsprekend moet dit mede verband houden met de tendens tot compressie van het korrelskelet bij toenemende hoekverdraaiingen in het monster.



Dit effect zou in het geval van deze met een strengpers gefabriceerde monsters versterkt kunnen zijn door een sterk éénzijdig gerichte structuur van de klei.

Overigens dient te worden opgemerkt, dat de zogenaamde dilatatiecoëfficiënt A , die wel voor de beschrijving van dit gedrag wordt toegepast, grote variaties vertoont.

Een verklaring hiervoor kon niet worden gevonden.

Ook bij de langzaam uitgevoerde ongedraineerde TLO-proeven (0,15 mm/min.) werd dit effect in sterke mate opgemerkt.

Bij deze langzaam uitgevoerde proeven heeft de waterspanning in het monster echter gelegenheid zich meer homogeen te verdelen, zodat de gemeten waterspanningen bij de eindvlakken beter met de waterspanning in het maatgevende middengedeelte van het monster zullen overeenkomen dan bij de snellere proeven. Dit uit zich in de over het algemeen hogere A -coëfficiënten bij deze proef in vergelijking met de waarden gevonden bij de TSO-proeven.

Het sterke dilatante gedrag van de monsters leidt ertoe dat de effectieve hoek van inwendige wrijving ϕ' uit de TSO-proeven, over het algemeen lager is dan ϕ' uit de TLO-proeven. Enige indicatie in die richting volgt ook uit de resultaten van deze proeven.

De zeer langzaam uitgevoerde ongedraineerde TZLO-triaxiaalproeven (0,015 mm/min.) vertonen veel spreiding in de resultaten waardoor er grote verschillen in de berekende ϕ' en c' -waarden volgen uit een regressie-analyse van p op q (waarbij q als onafhankelijke variabele wordt genomen) en van q op p . In het eerste geval wordt namelijk gevonden:

$$\phi' = 30,8^{\circ} \quad \text{en} \quad c' = -1,78 \text{ kN/m}^2$$

en in het tweede geval:

$$\phi' = 15,0^{\circ} \quad \text{en} \quad c' = 5,46 \text{ kN/m}^2$$



Vandaar dat in dit geval is gekozen voor een bepaling van het beste lineaire verband met de methode van de kleinste kwadraten. Als gevolg van de slechte correlaties kan deze serie proeven niet in de vergelijking met de andere proeven worden betrokken.

De zeer langzaam uitgevoerde gedraineerde TLD-proeven (0,8 mm/24 uur) vertoonden zeer weinig spreiding.

Doordat het monster gedurende de proef volop gelegenheid krijgt te consolideren en daardoor verbetert ten opzichte van de initiële toestand, moet de hoek van inwendige wrijving ϕ' uit deze proeven hoger zijn dan die uit de ongedraineerde proeven, waarbij het korrelskelet niet kan verdichten.

Feitenlijk wordt in de gedraineerde proef een eigenschap bepaald die de schuifweerstand als functie van belasting aangeeft voor een veranderend materiaal.

De geconsolideerde celproeven CL-1 en CL-4 leveren een beduidend lagere hoek van inwendige wrijving op dan de triaxiaalproeven.

Dit kan het gevolg zijn van 2 factoren:

a) de schuifweerstand wordt bepaald bij een zeer geringe deformatiesnelheid (minder dan 0,01 mm/uur). Dit lijkt op een soort relaxatie-proces, waarbij zich een soort restwaarde van de schuifweerstand instelt.

De snelheid van deformatie bij de langzame gedraineerde triaxiaalproeven was 0,0375 mm/uur, wel iets hoger maar toch niet in orde van grootte verschillend. Desondanks werden daarbij echter aanzienlijk hogere waarden van de schuifweerstand gevonden.

b) De celdruk wordt bij de gevolgde Mohr-procedure bij deze klei niet voldoende verlaagd om een zodanige vervorming van het monster te verkrijgen dat de gemeten waarde overeenkomt met de minimaal voor evenwicht vereiste celdruk bij de aangebrachte verticale druk.



De onder b) gemaakte veronderstelling wordt gesteund door de vergelijking tussen de voor de ontwikkeling van de volledige schuifweerstand benodigde hoekverdraaiing bij de langzame gedraineerde triaxiaalproeven ($\epsilon_x - \epsilon_y \approx 15\%$) en de hoekverdraaiingen op het moment van Mohr bij de celproeven ($\epsilon_x - \epsilon_y \approx 6\%$ voor de CL-1 proeven).

Als in de diagrammen van de resultaten van de triaxiaalproeven de schuifweerstand wordt genomen bij een hoekverdraaiing van 6% dan worden de volgende waarden van tabel 8.2 gevonden.

Tabel 8.2: TLD-proeven bij $\epsilon_x - \epsilon_y = 6\%$

mon-ster nr.	τ kN/m ²	σ'_H kN/m ²	p kN/m ²	q kN/m ²
20	19,0	30	49,0	19,0
27	26,0	50	76,0	26,0
31	27,5	50	77,5	27,5
37	19,4	30	49,4	19,4
31	18,8	30	48,8	18,8

Regressie van p op q geeft:

$$\begin{aligned}(\phi')_{\text{schijnbaar}} &= 16,3^\circ \\ c' &= 5,44 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$r = 0,99$$

Dit resultaat stemt goed overeen met de gevonden waarden voor ϕ' in de CL-1 en CL-4 proeven.



9. Voorlopige conclusies

Vooruitlopend op de resultaten van de serie vergelijkende cel- en triaxiaalproeven op natuurlijke kleimonsters worden de volgende conclusies uit het verrichte onderzoek getrokken:

- a) Er is geen principieel verschil tussen de celproeven en de langzame gedraineerde celproeven.

De veelal gebruikte uitvoeringsprocedures en interpretatiemethoden blijken echter wel tot aanzienlijke verschillen in de resultaten van de ϕ - en c -waarden te kunnen boeden.

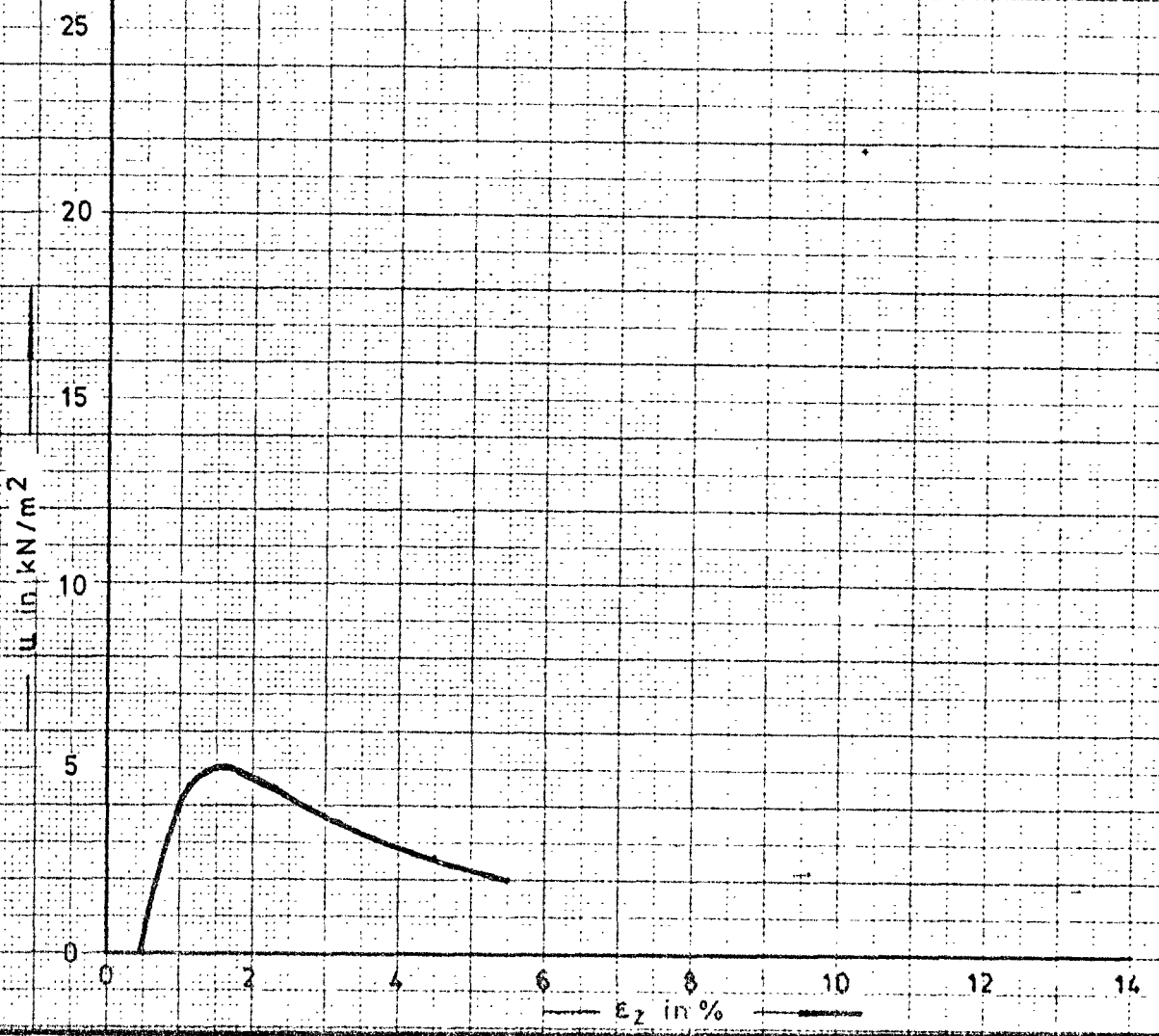
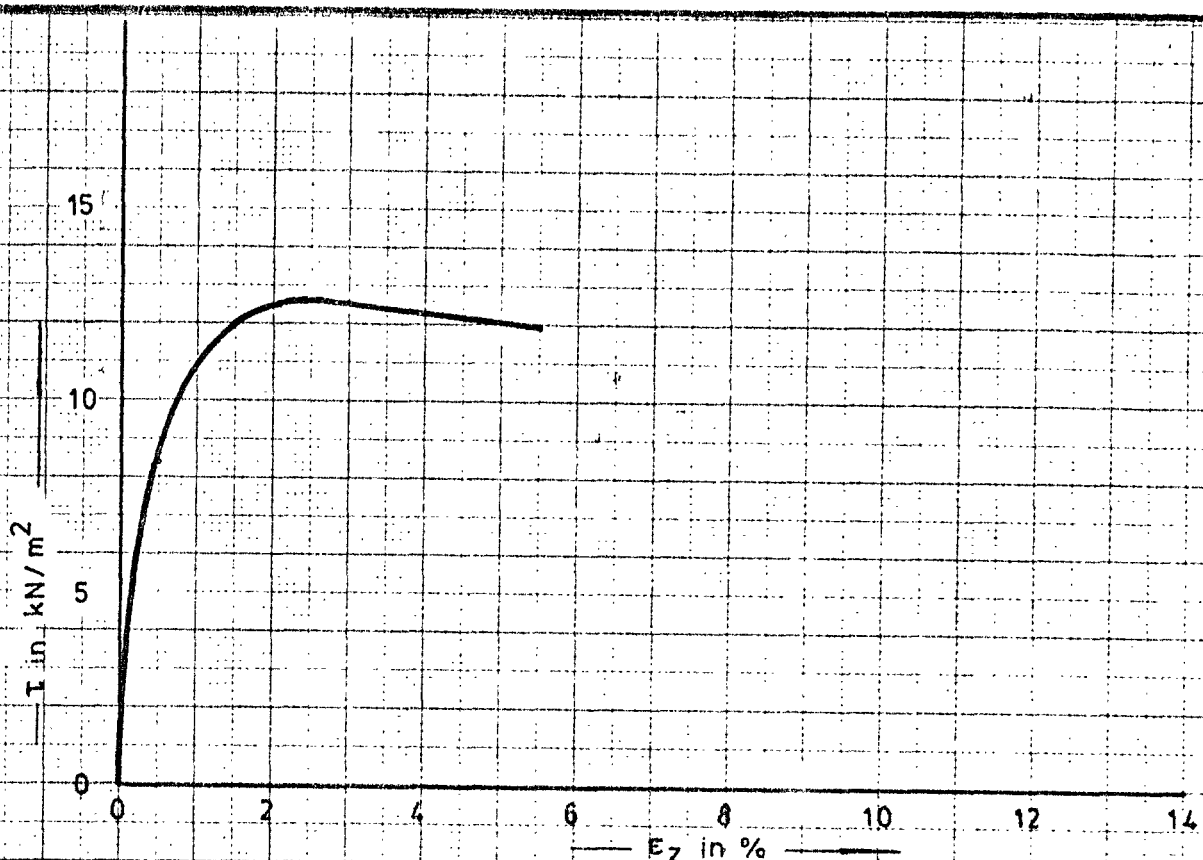
Het gevonden verschil in gevonden ϕ' -waarden wordt toegeschreven aan de bij de celproeven in tegenstelling tot de triaxiaalproeven, niet tot volledige ontwikkeling gebrachte schuifweerstand bij de verschillende belastingstrappen.

- b) De resultaten van de verschillende typen ongedraineerde triaxiaalproeven van deze proevenserie op kunstmatige klei vertonen onderling vrij grote afwijkingen.

In overeenstemming met de verwachting gaf de langzame gedraineerde proef de hoogste waarde voor de hoek van inwendige wrijving.

Er is enige indicatie dat de langzaam uitgevoerde ongedraineerde triaxiaalproeven (deformatiesnelheid 0,15 mm/min.) in dit geval betrouwbare informatie gaven over de schuifweerstandseigenschappen. Door de langzame vervorming zal de aan de kopeinde gemeten waterspanning goed met de waterspanningen in het midden van het monster overeenstemmen.

Aanbevolen wordt nader te onderzoeken in hoeverre bij de celproeven een soort restwaarde van de schuifweerstand, behorend dus bij een zeer lage deformatiesnelheid, wordt bepaald. Dit punt is van belang bij de beoordeling van de stabiliteit en het deformatiegedrag op
a) langere termijn van dijken.

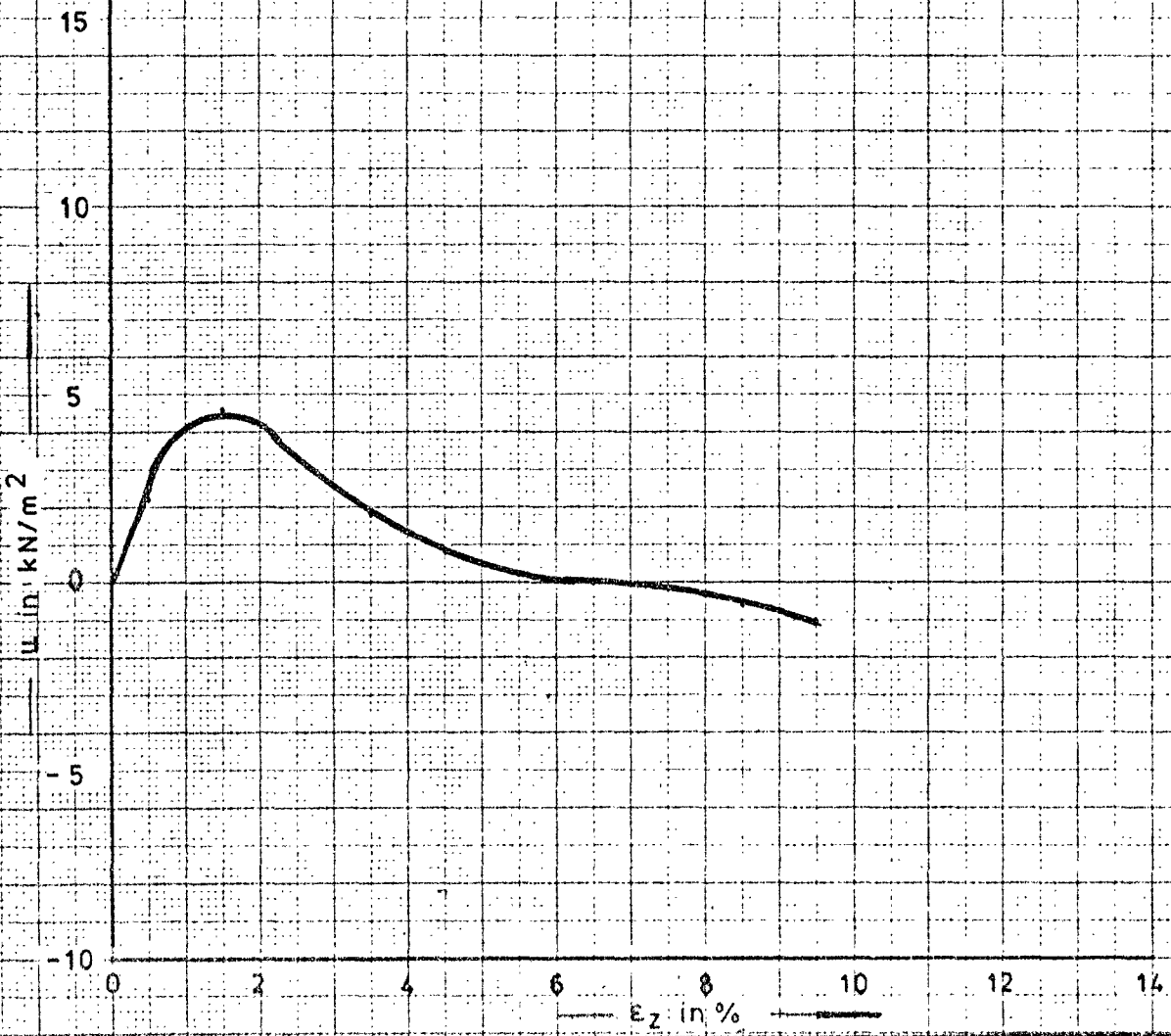


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 15 monster 24 $\epsilon_z = 60\%/h$ $\sigma' = 14.8 \text{ kN/m}^2$

✓
A₄

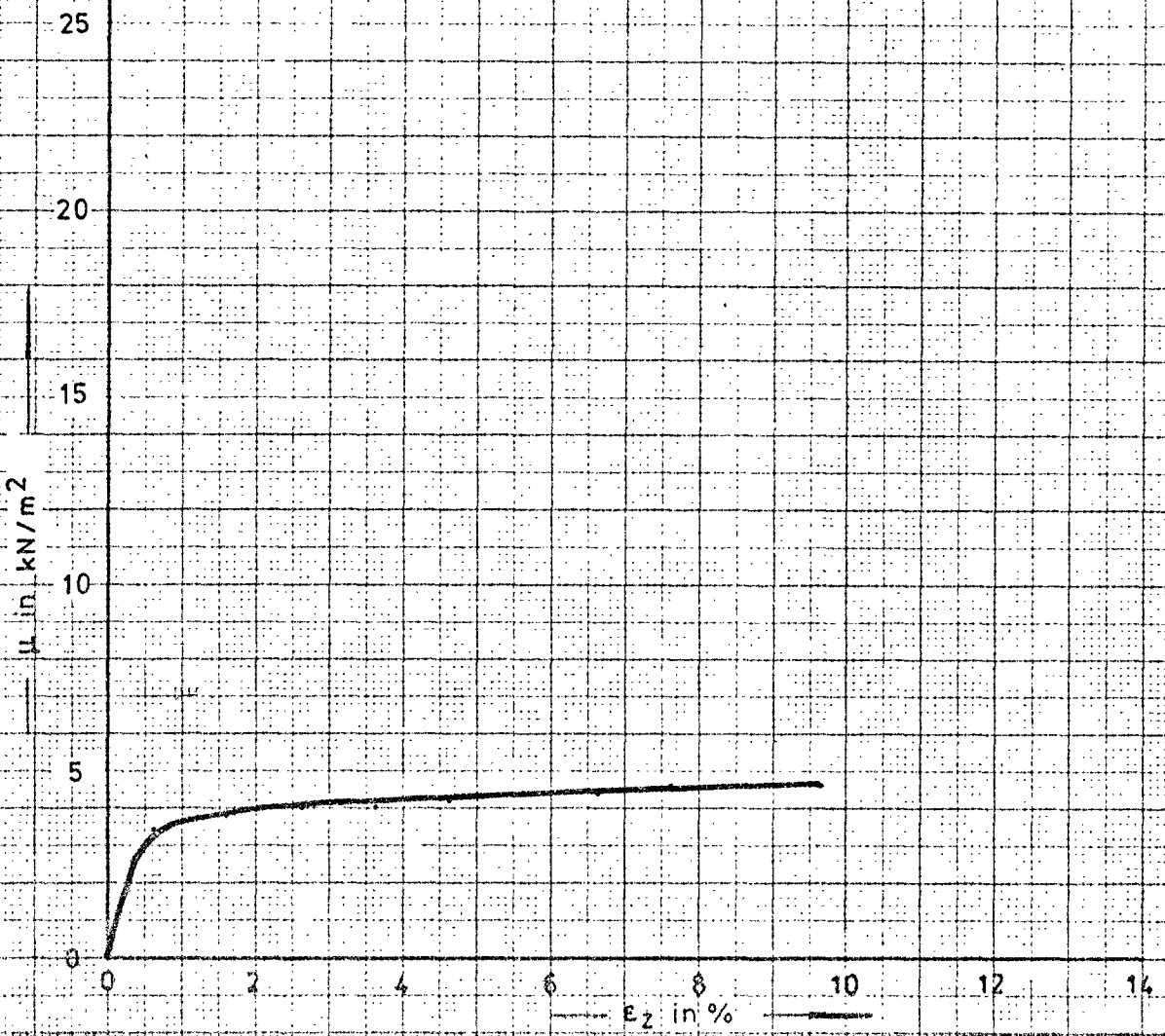
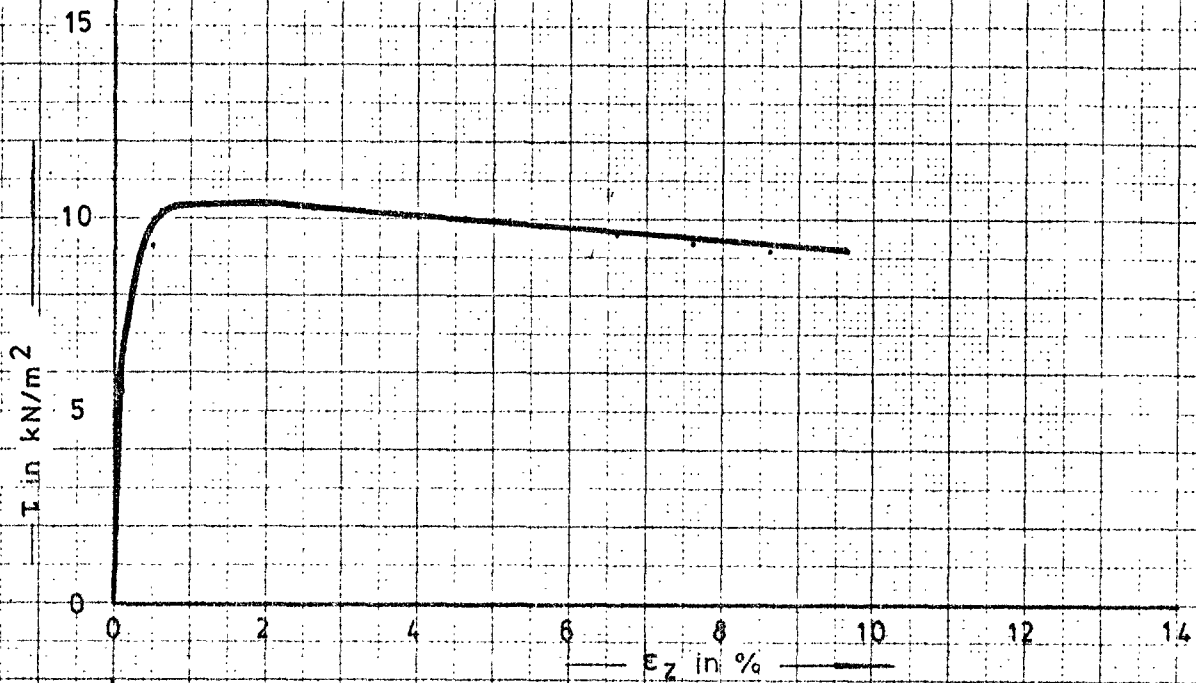
BIJLAGE 1
CO
23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 15 monster 38 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 15.4 \text{ kN/m}^2$

$\sqrt{\sigma'}$	BIJLAGE 2
A ₄	CO 23064-0



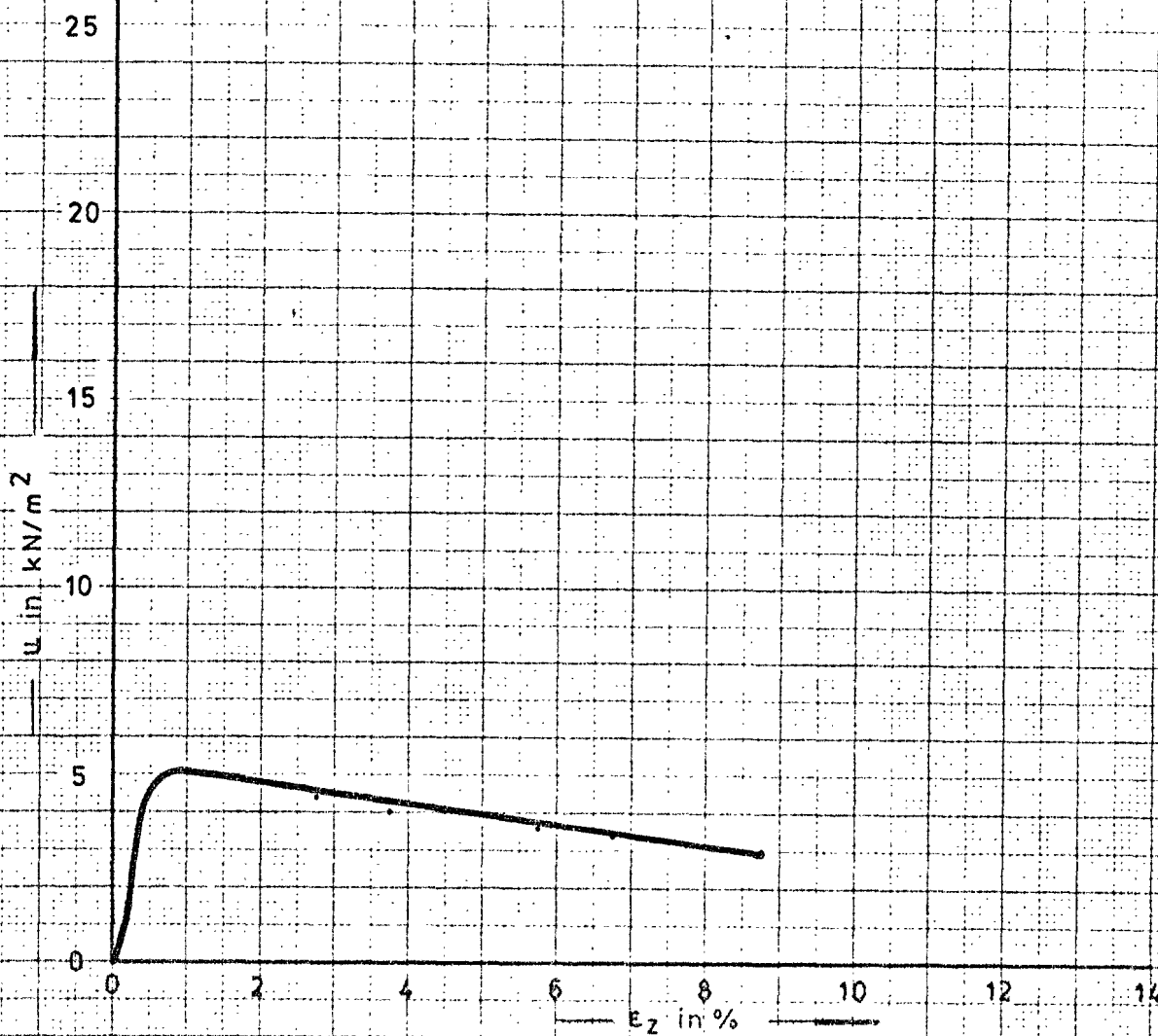
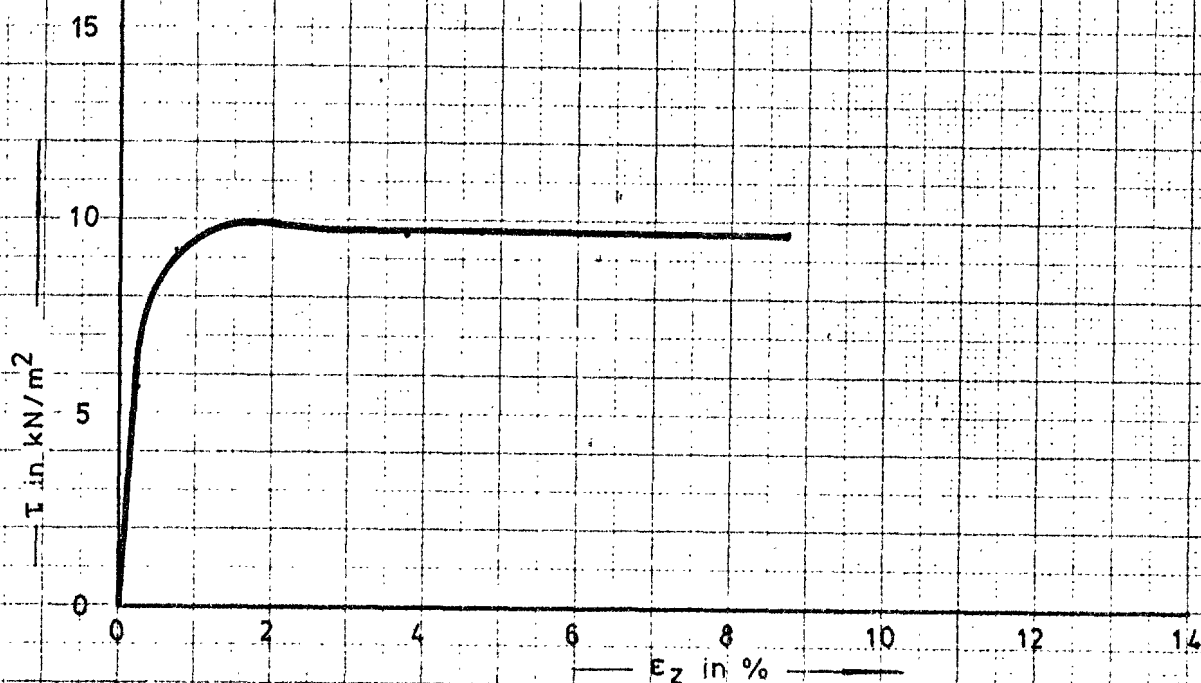
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 15 monster 67 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 15 \text{ kN/m}^2$

Voort
 A4

BIJLAGE 3

CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 15

monster 90

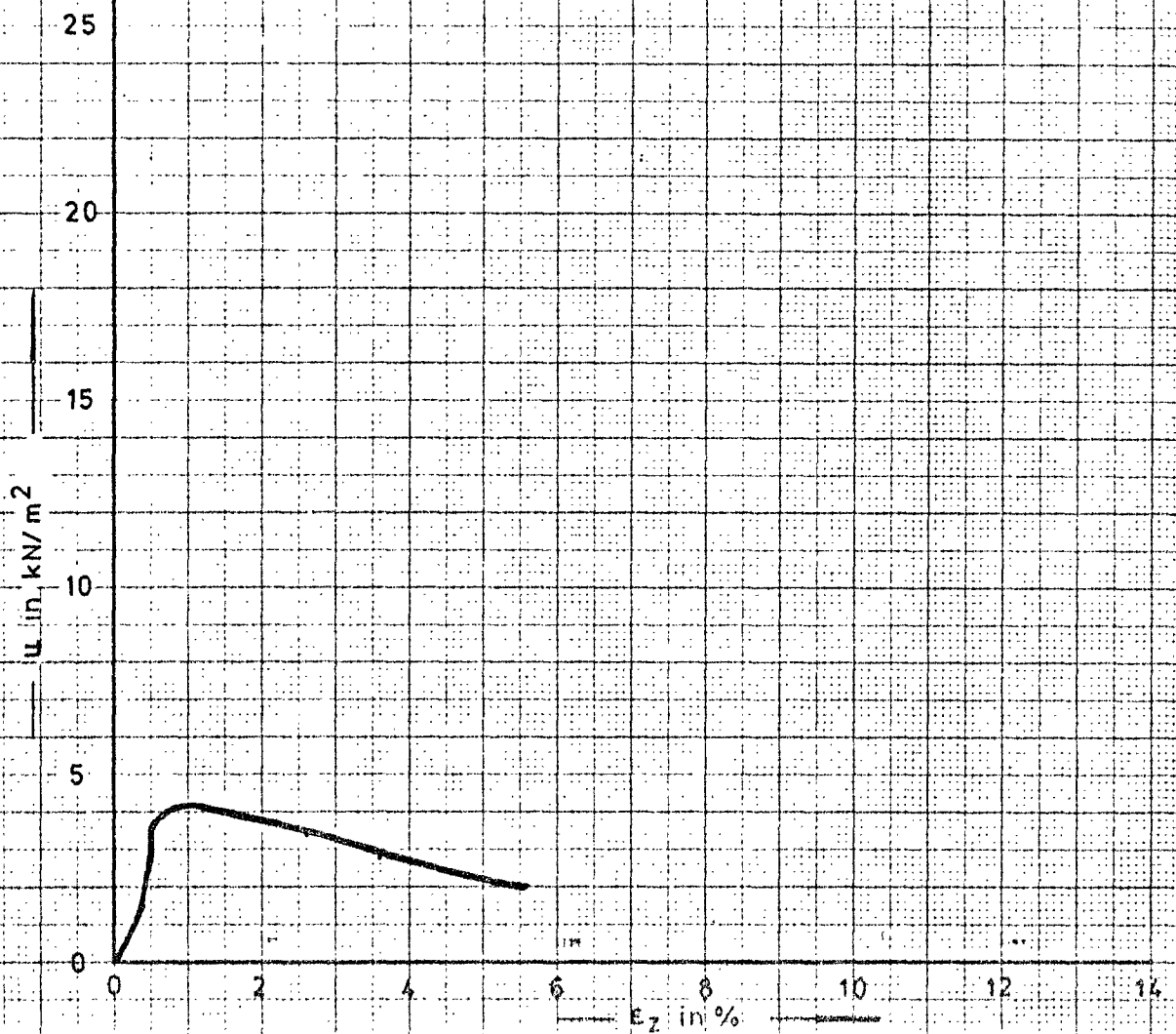
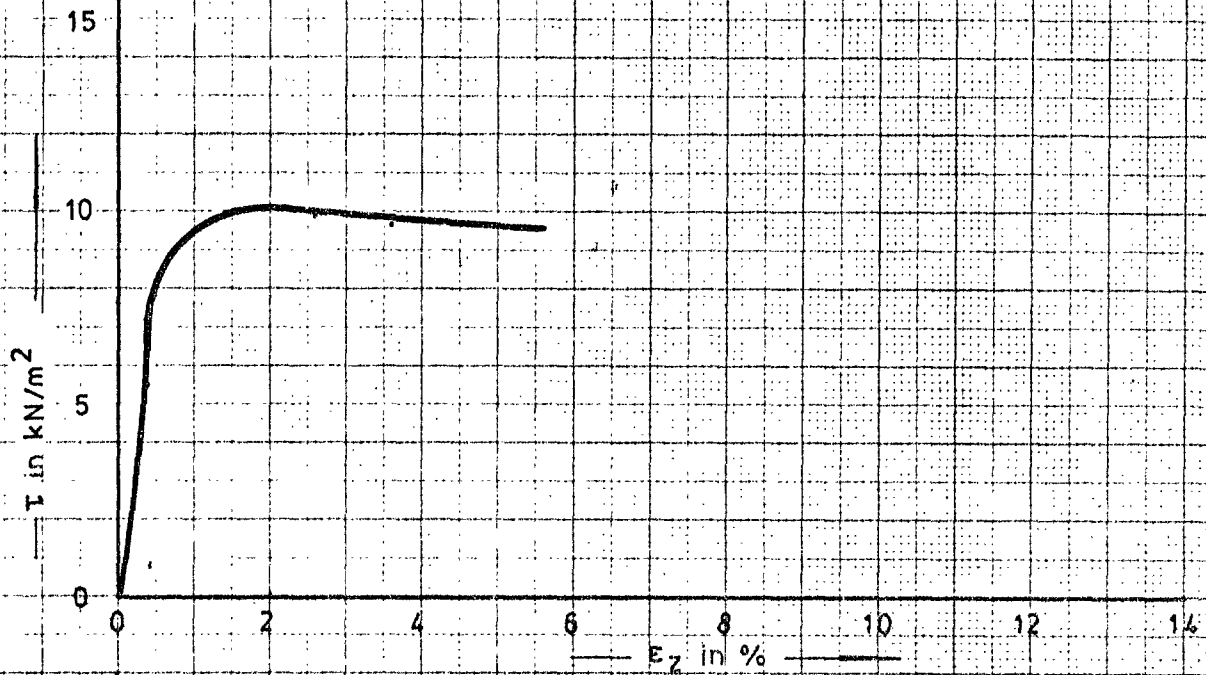
$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 15 \text{ kN/m}^2$

Voor

A₄

BIJLAGE 4

CO
23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.S.O. 15

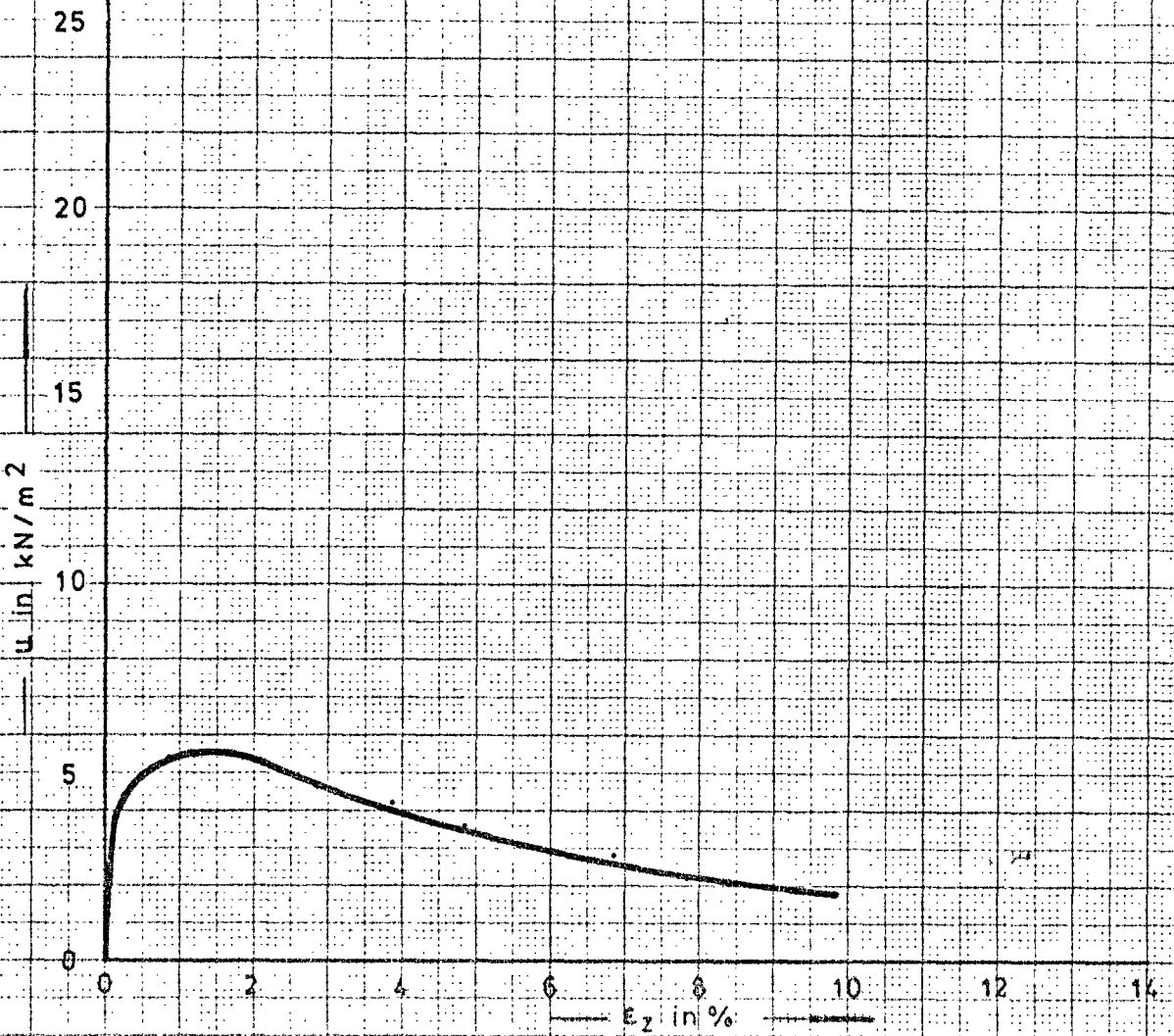
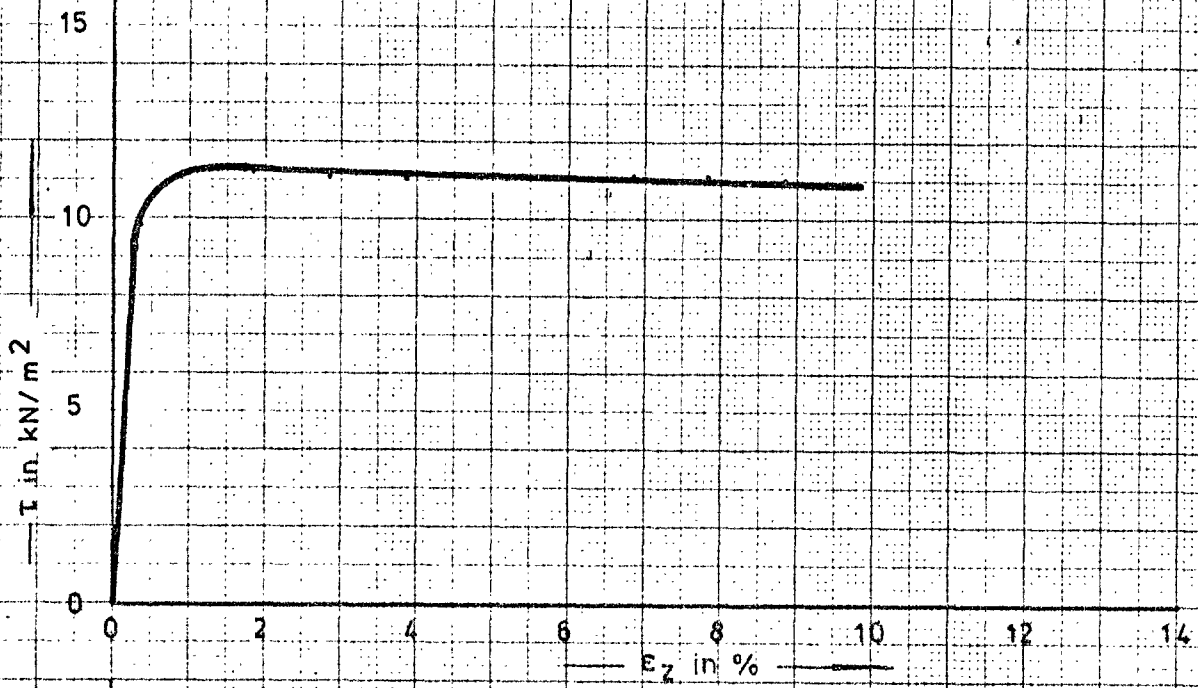
monster 96

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma'_v = 13.6 \text{ kN/m}^2$

✓
 A₄

BIJLAGE 5

CO
 23064-0

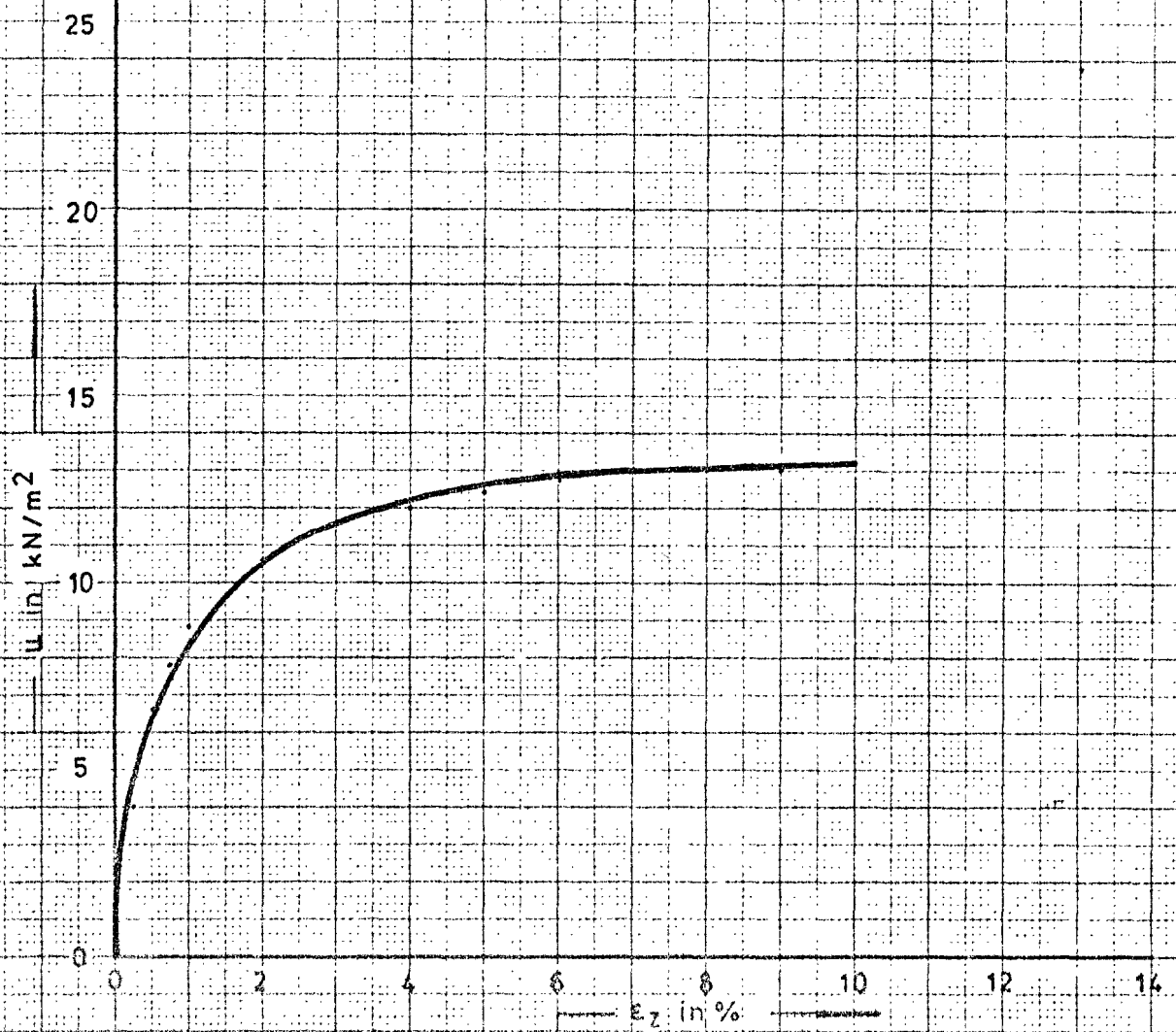
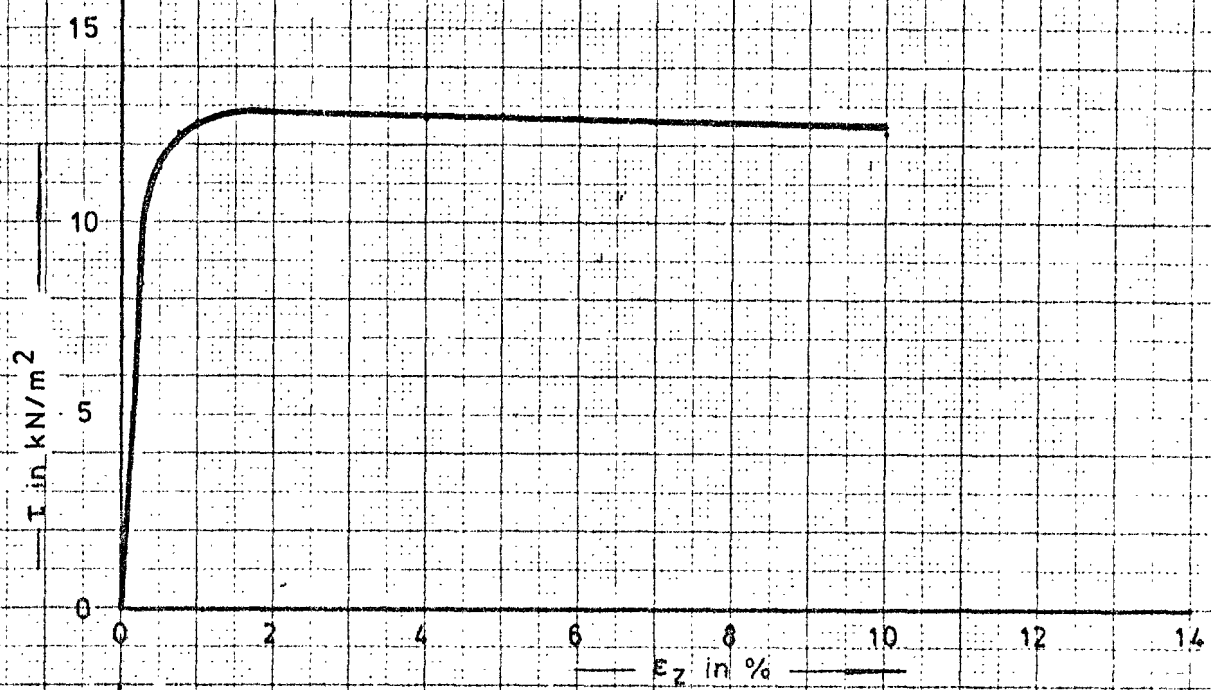


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 15 monster103 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 15 \text{ kN/m}^2$

voet
 A₄

BIJLAGE 6
 CO
 23064-0

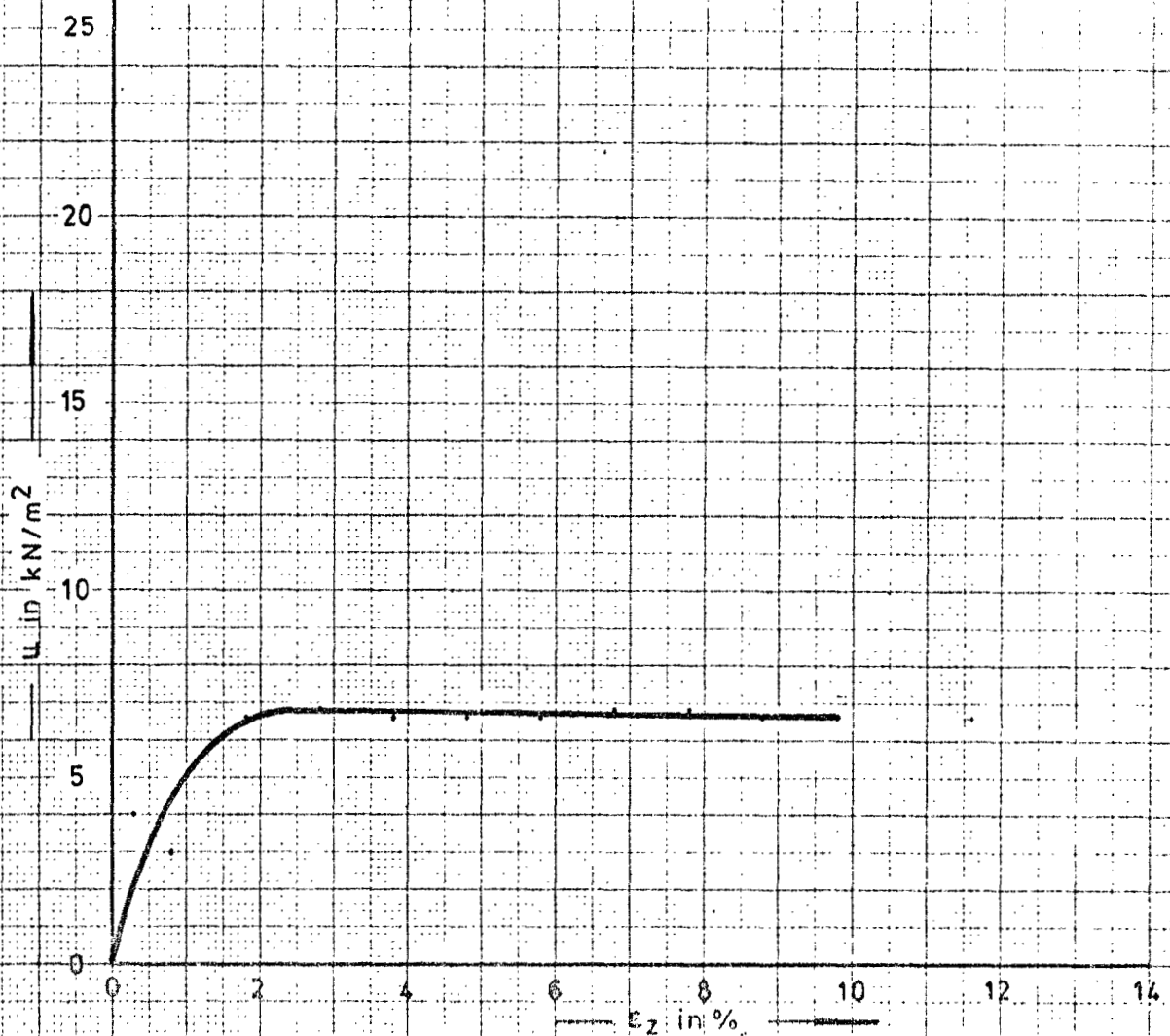
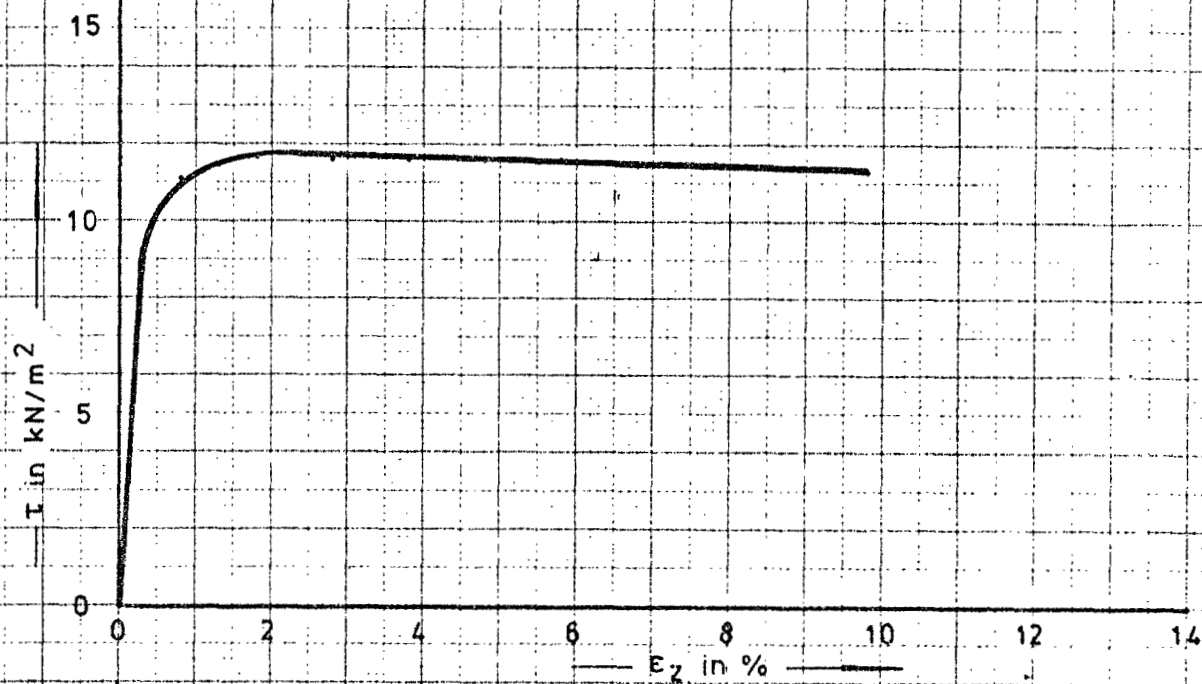


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 30 monster 12
 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

Voort
 A₄

BIJLAGE 7
 CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

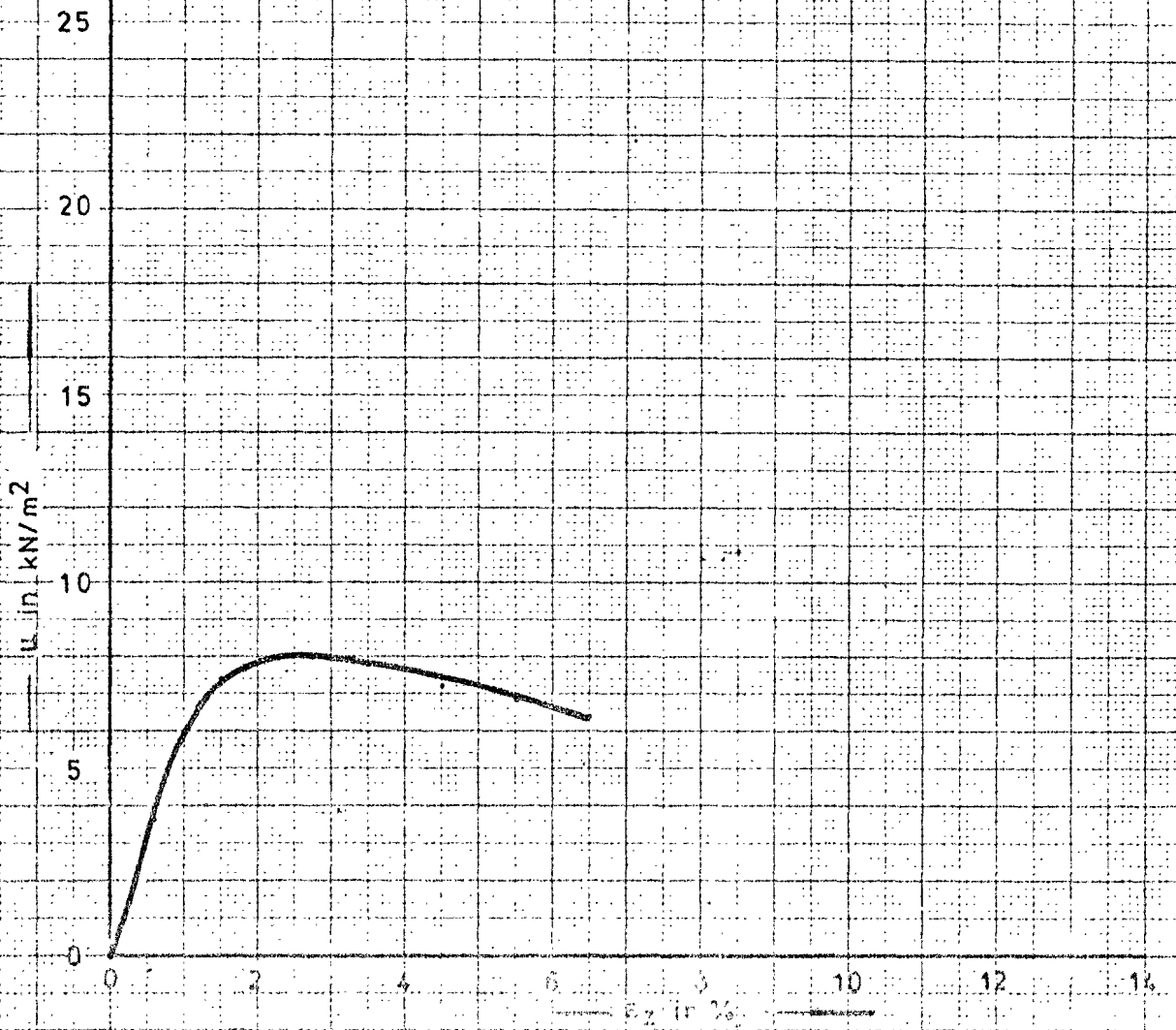
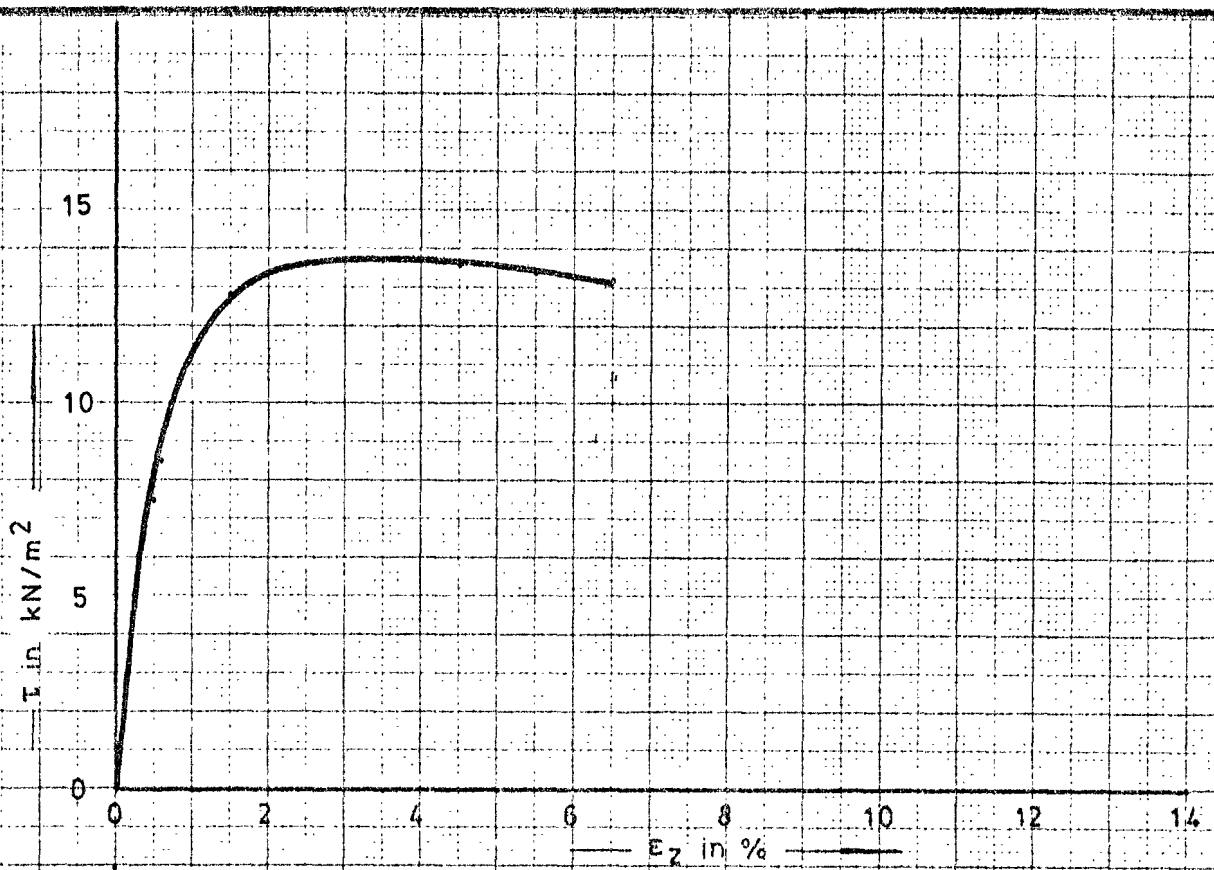
T.S.O. 30 monster16

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $G' = 23.8 \text{ kN/m}^2$

Wat
 A₄

BIJLAGE 8

CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 30

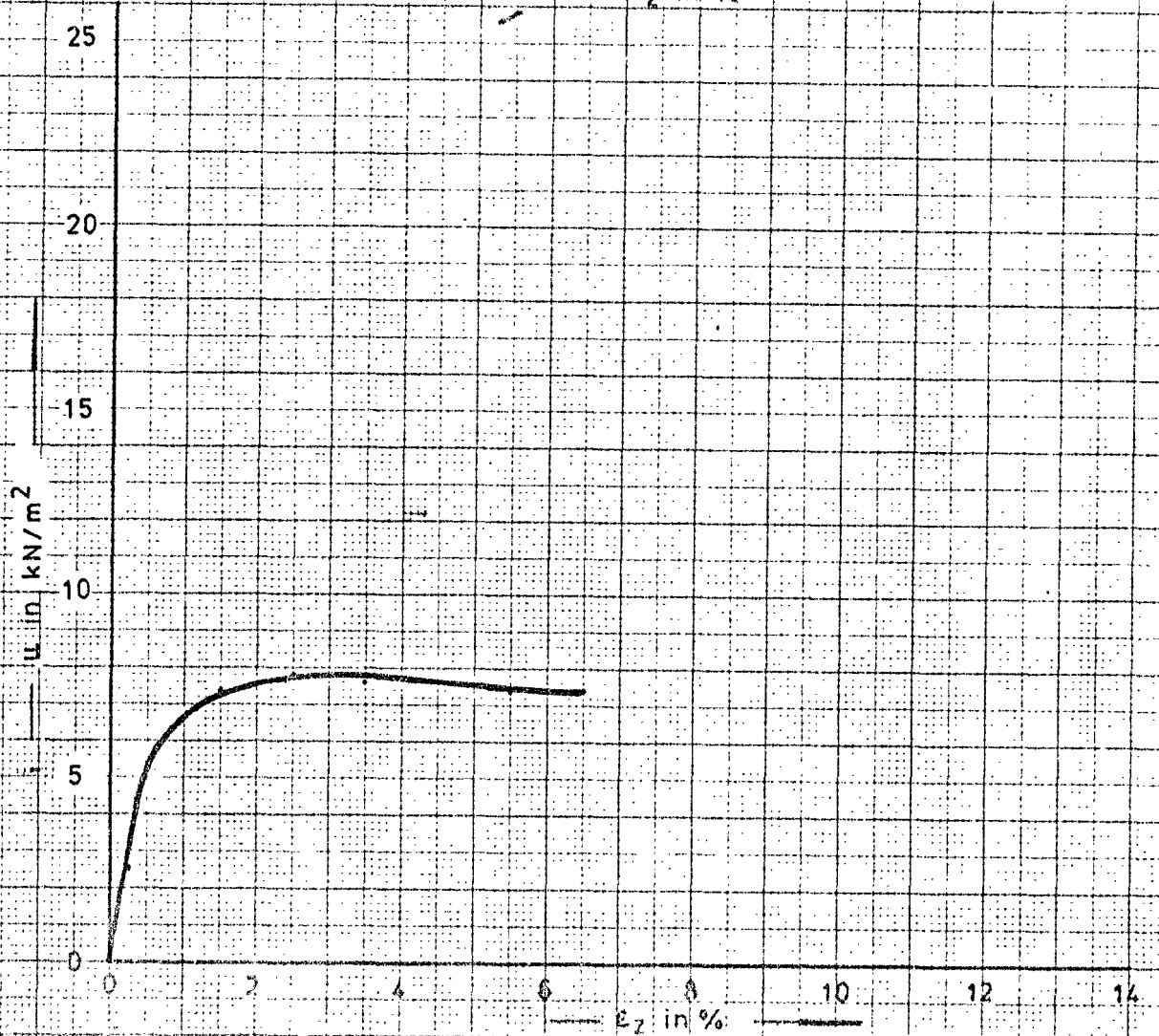
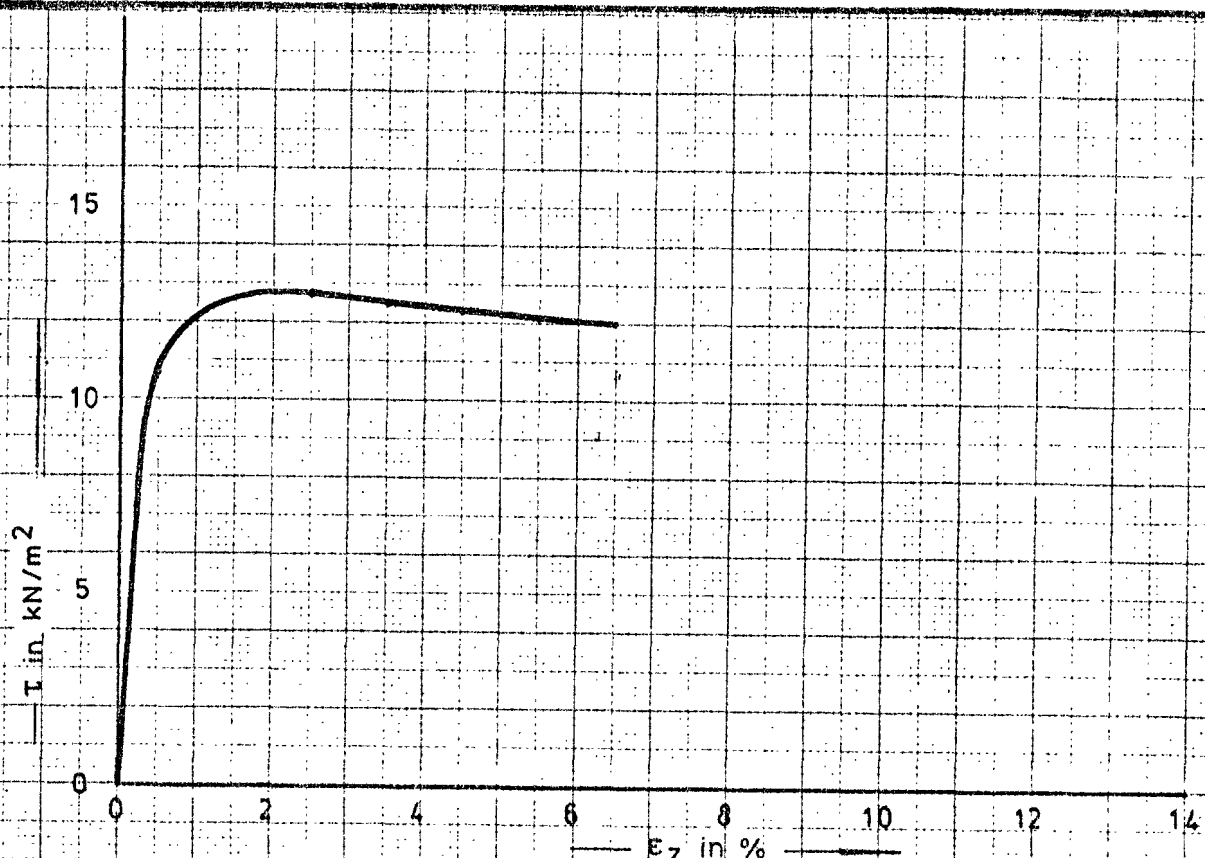
monster 30

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $G' = 29.6 \text{ kN/m}^2$

dat
 A₄

BIJLAGE 9

CO
 23064-0



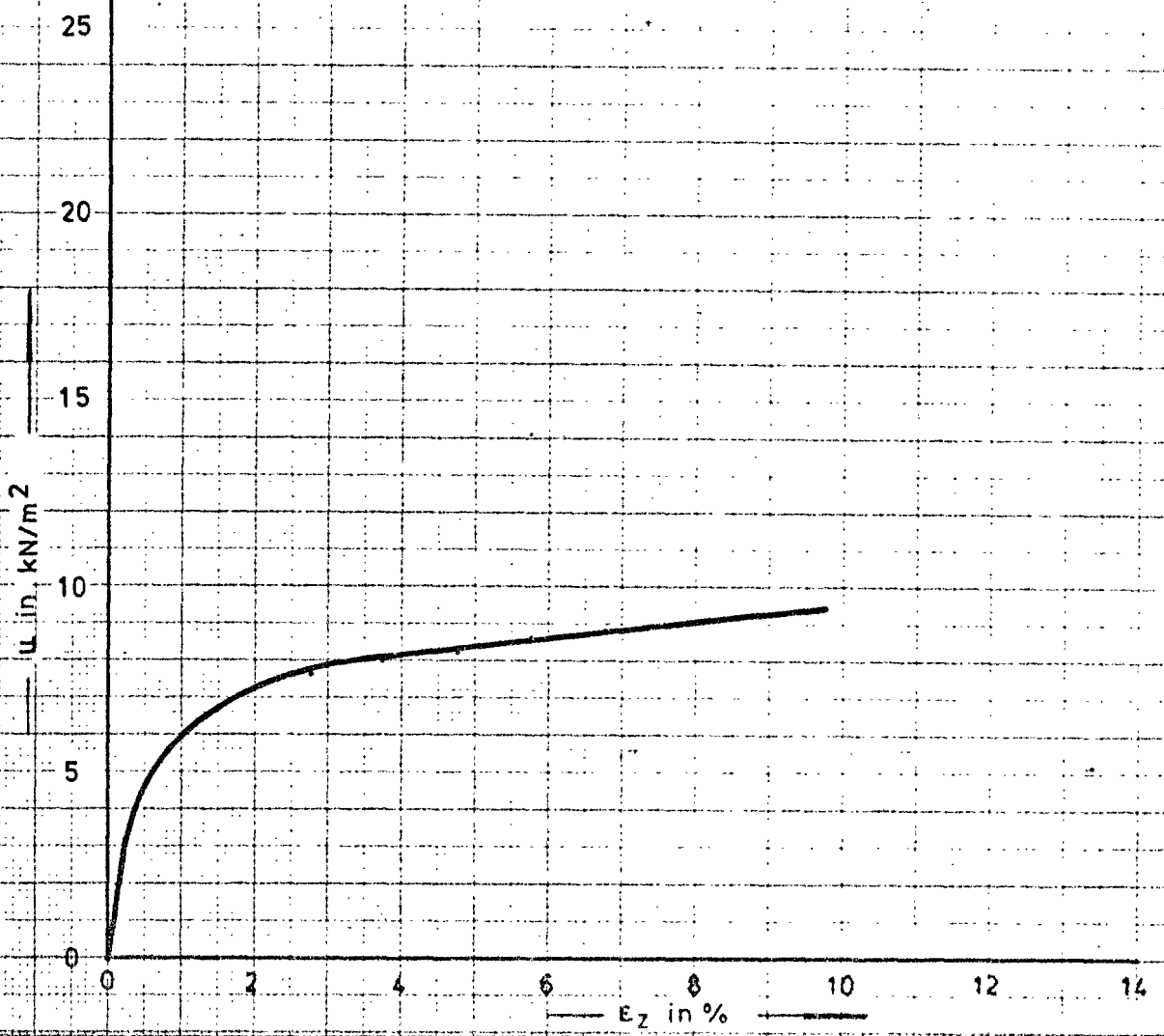
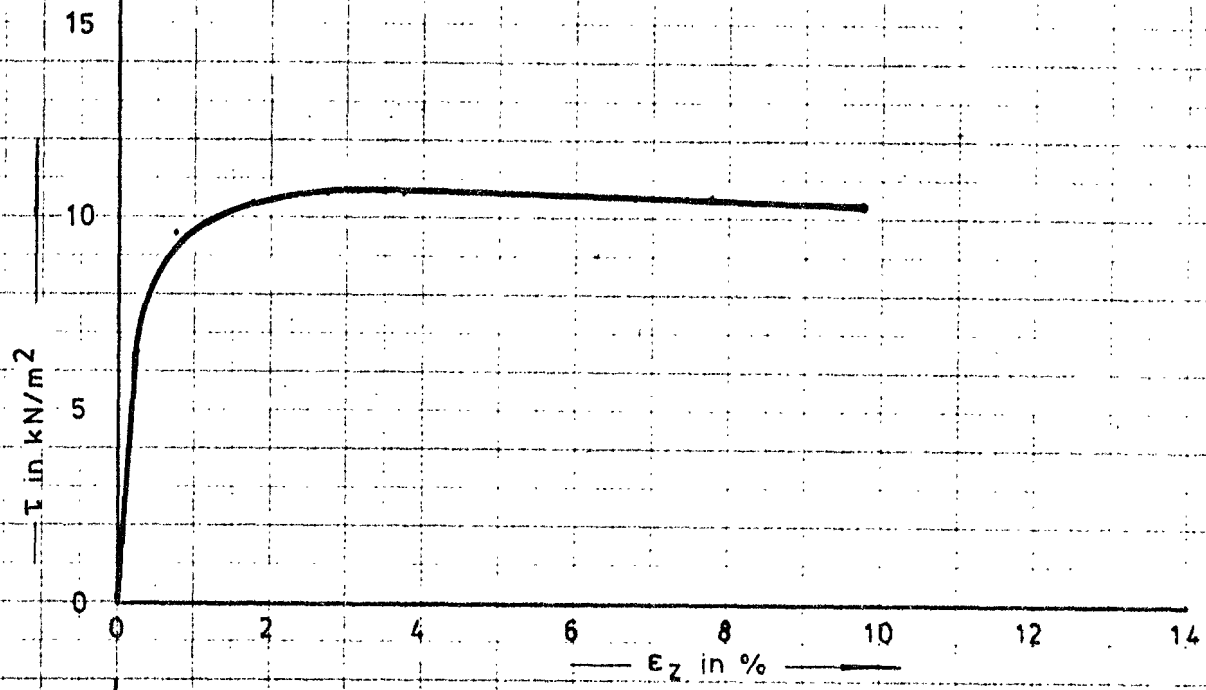
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 30 monster 98 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 23.4 \text{ kN/m}^2$

voort
 A₄

BIJLAGE 10

CO
 23064-0

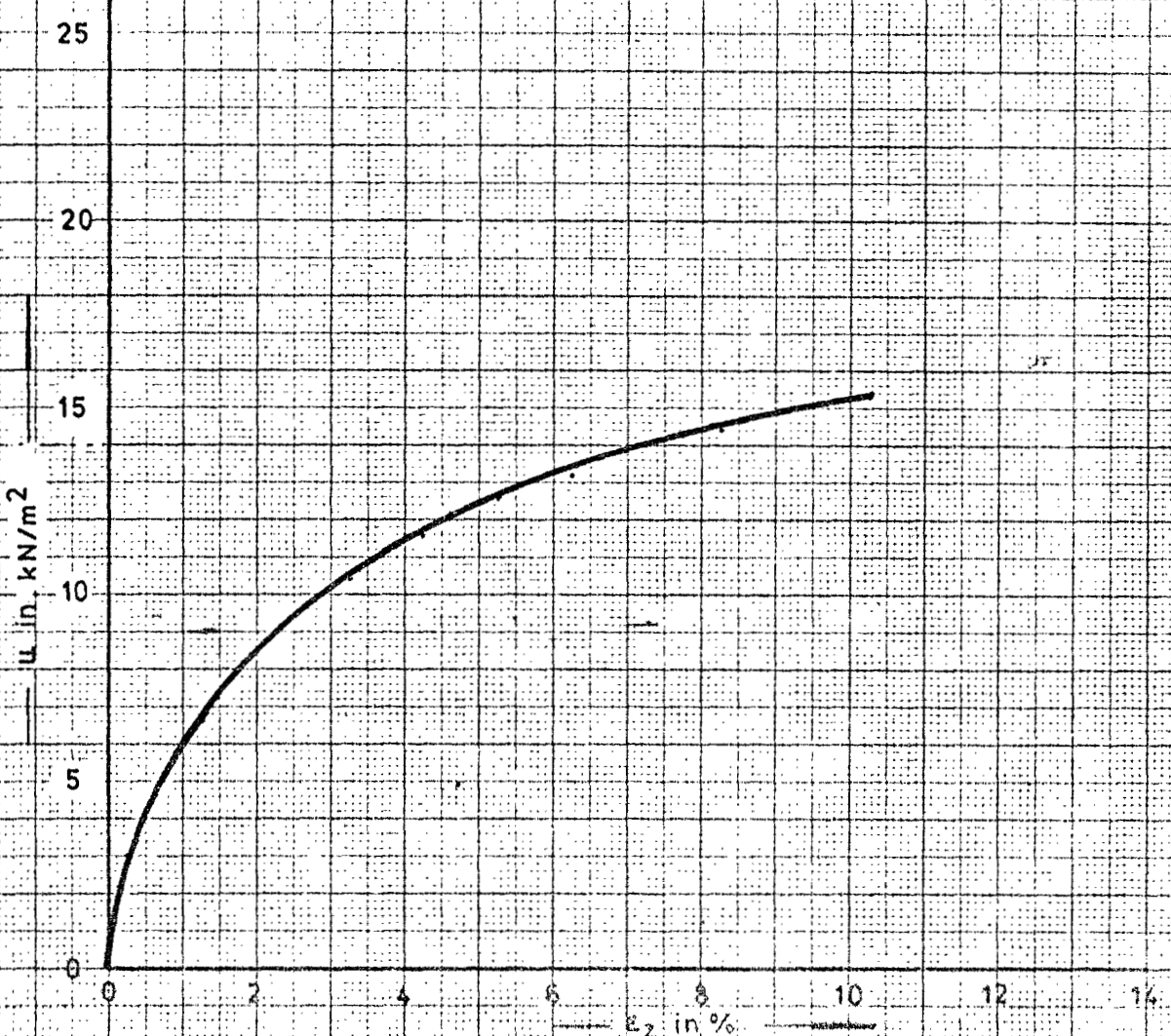
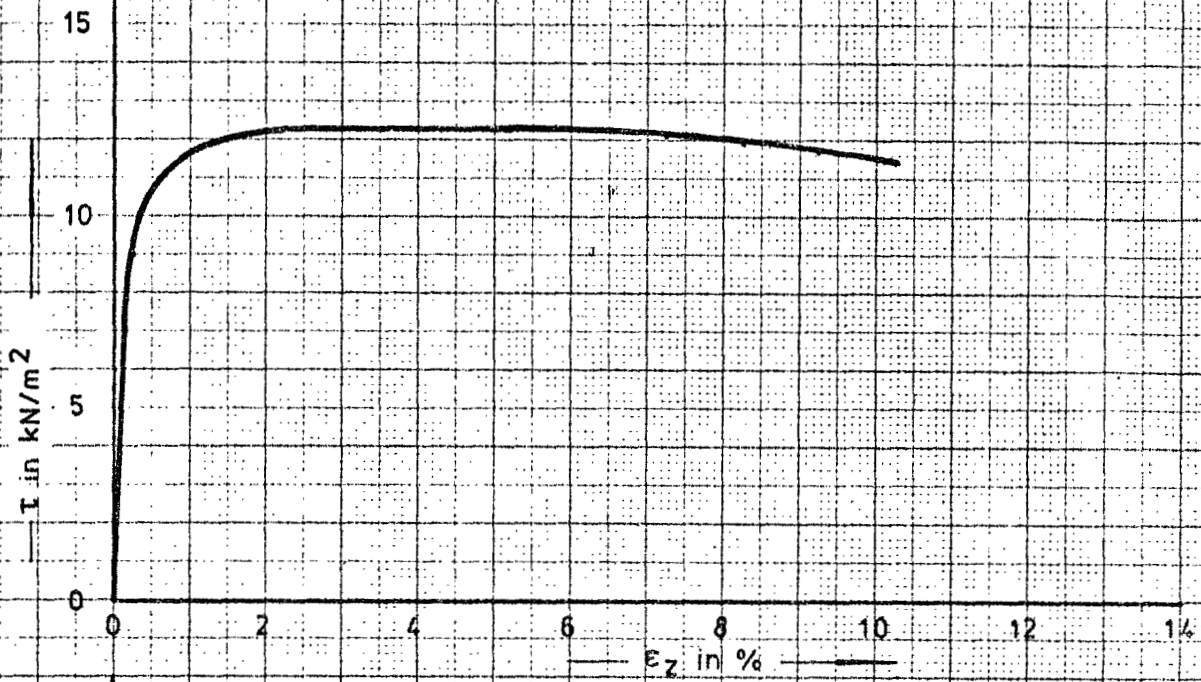


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 30 monster 104 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 28.6 \text{ kN/m}^2$

port
 A₄

BIJLAGE 11
 CO
 23064-0

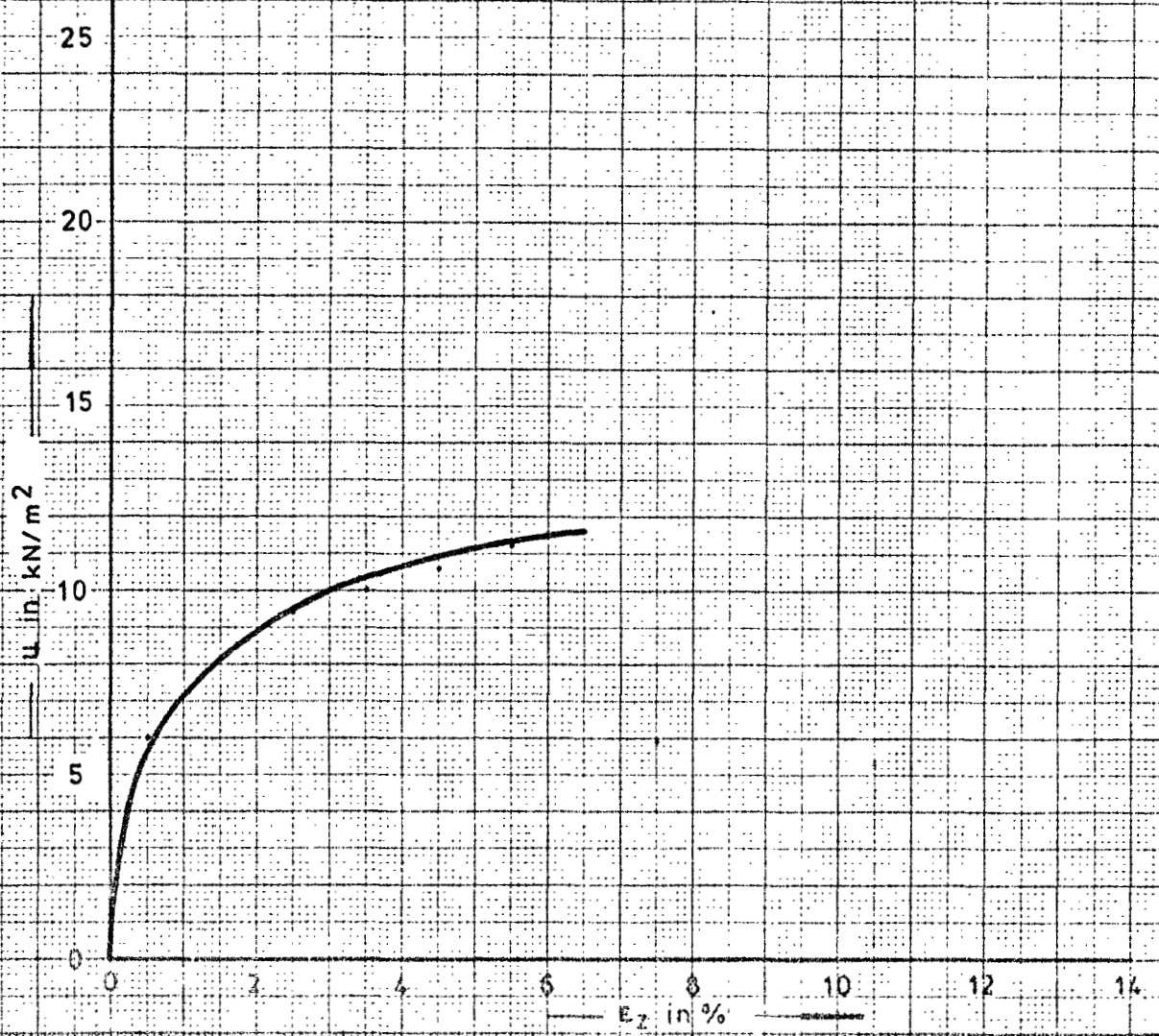
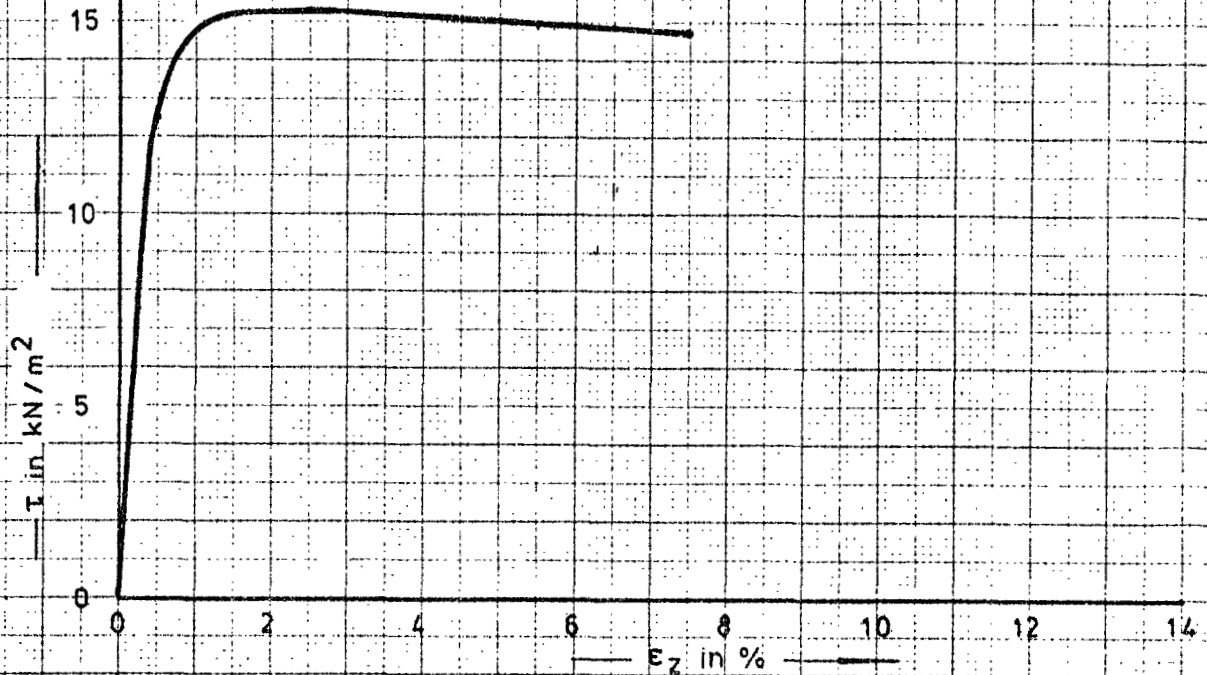


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40 monster 15 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 37.8 \text{ kN/m}^2$

$\sqrt{\sigma'}$
 A₄

BIJLAGE 12
 CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40

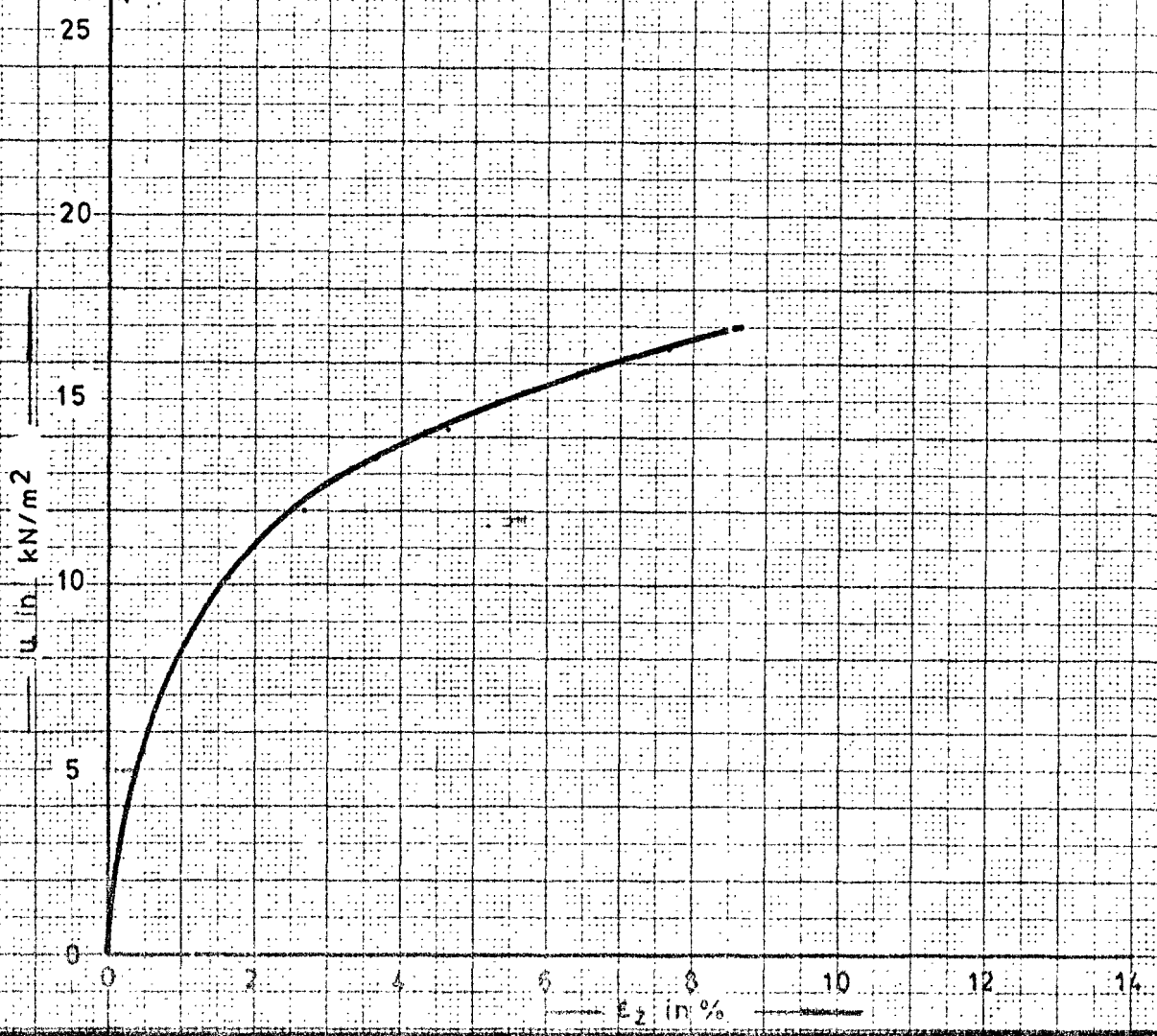
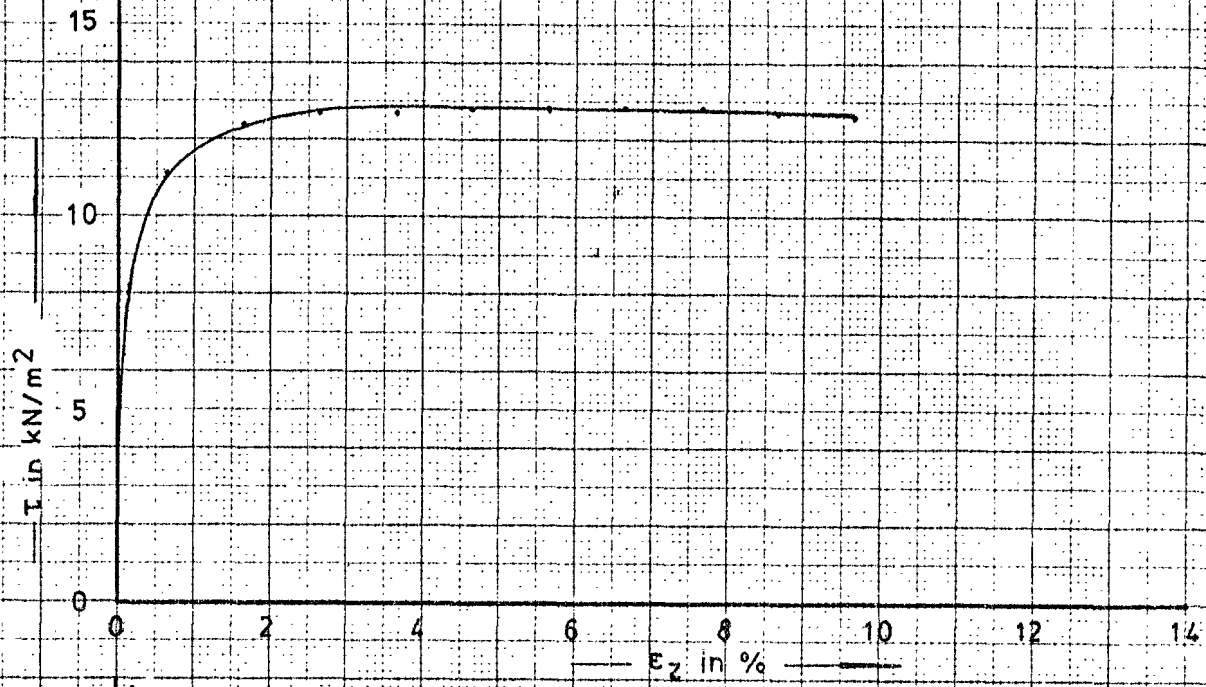
monster32

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 34.4 \text{ kN/m}^2$

$\sqrt{\sigma' \Delta t}$
 A_4

BIJLAGE 13

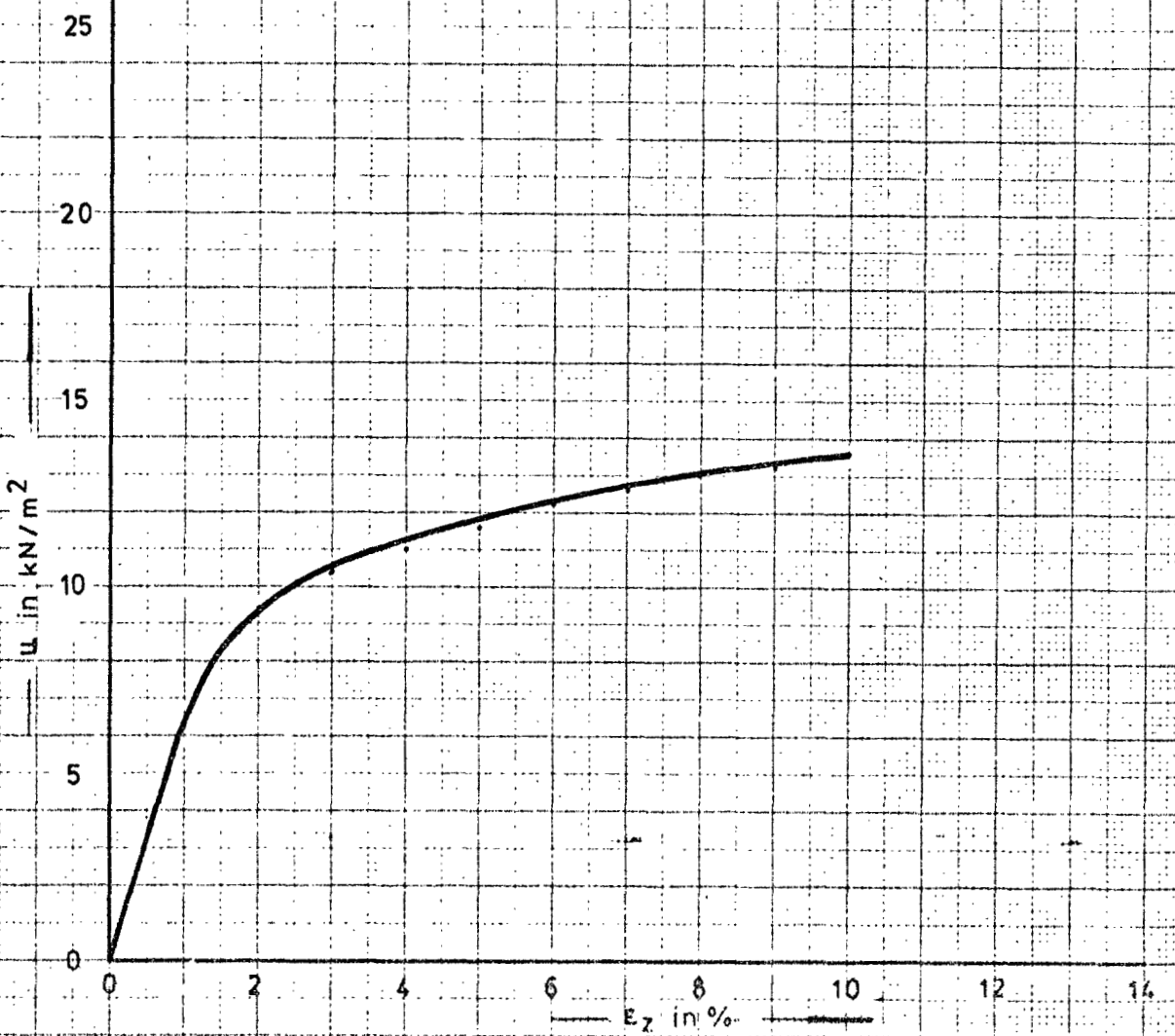
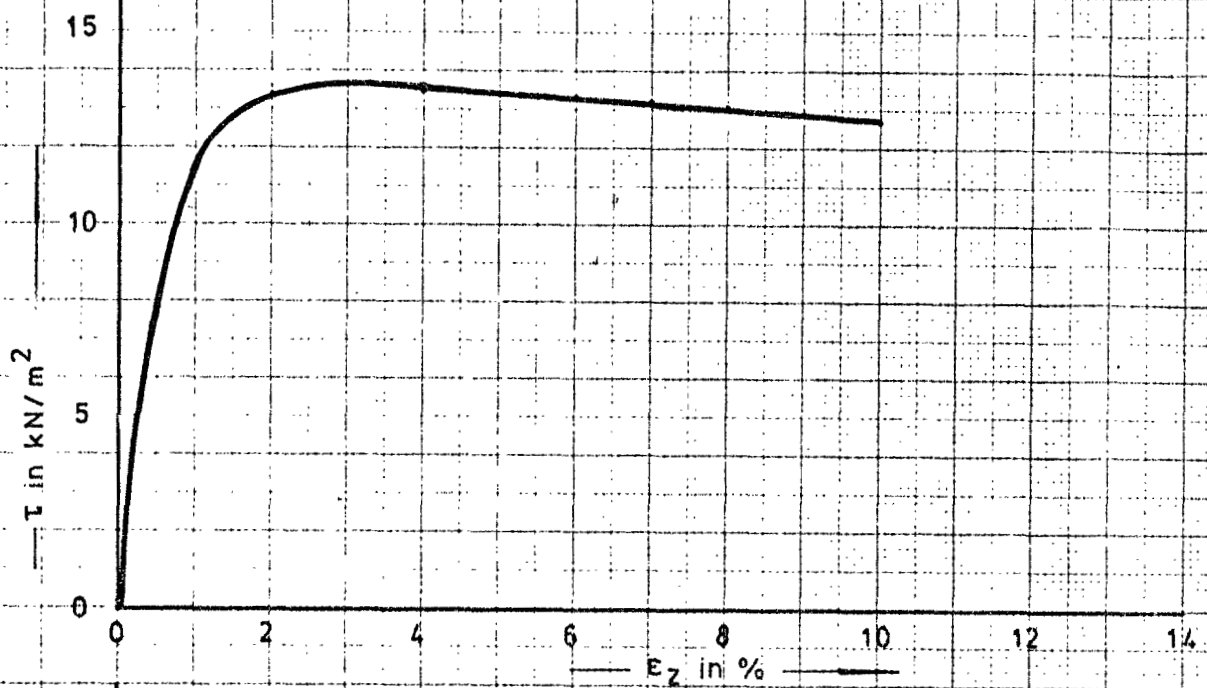
CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40 monster 43 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 40 \text{ kN/m}^2$

BOAT	BIJLAGE 14
A ₄	CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40

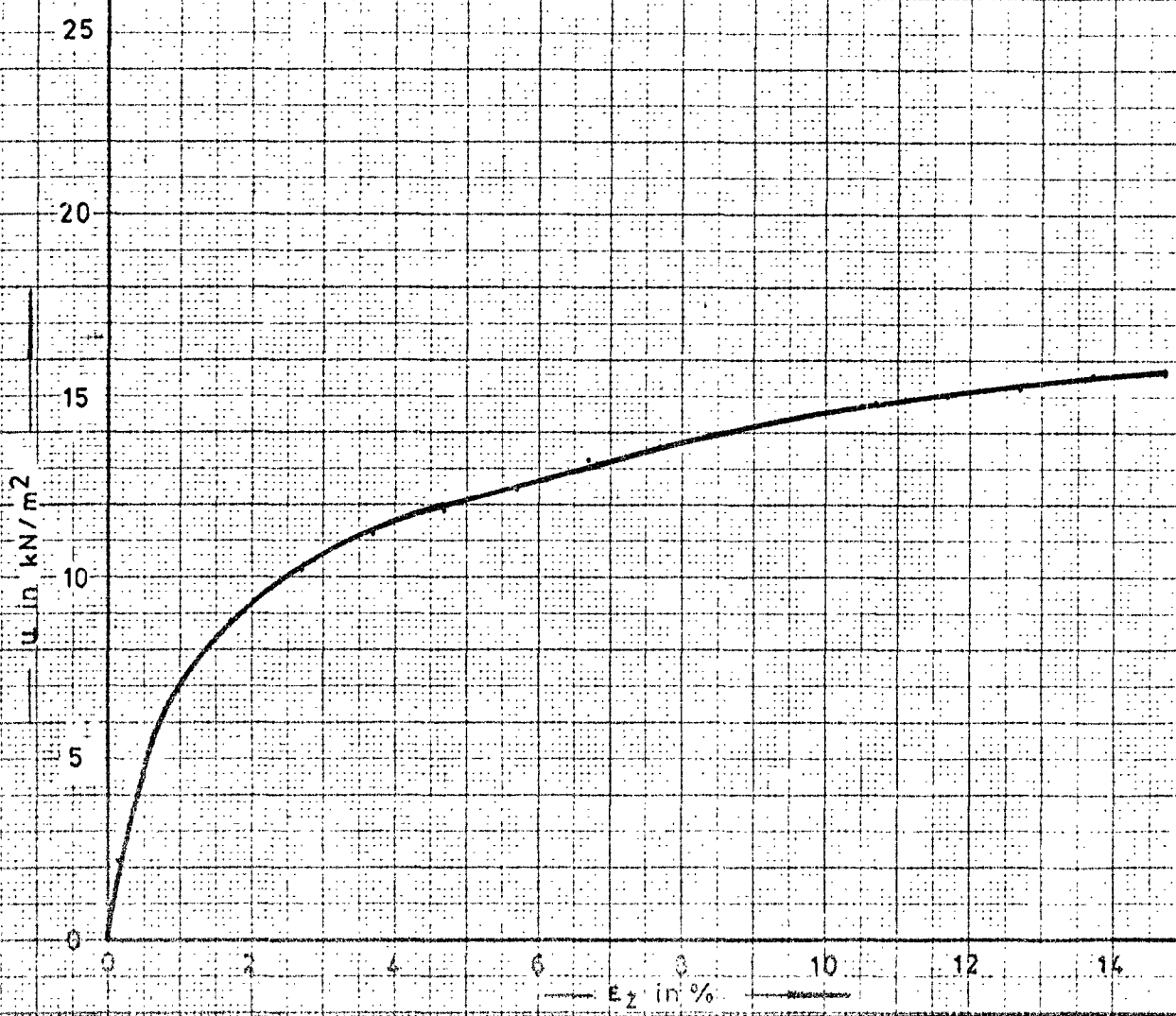
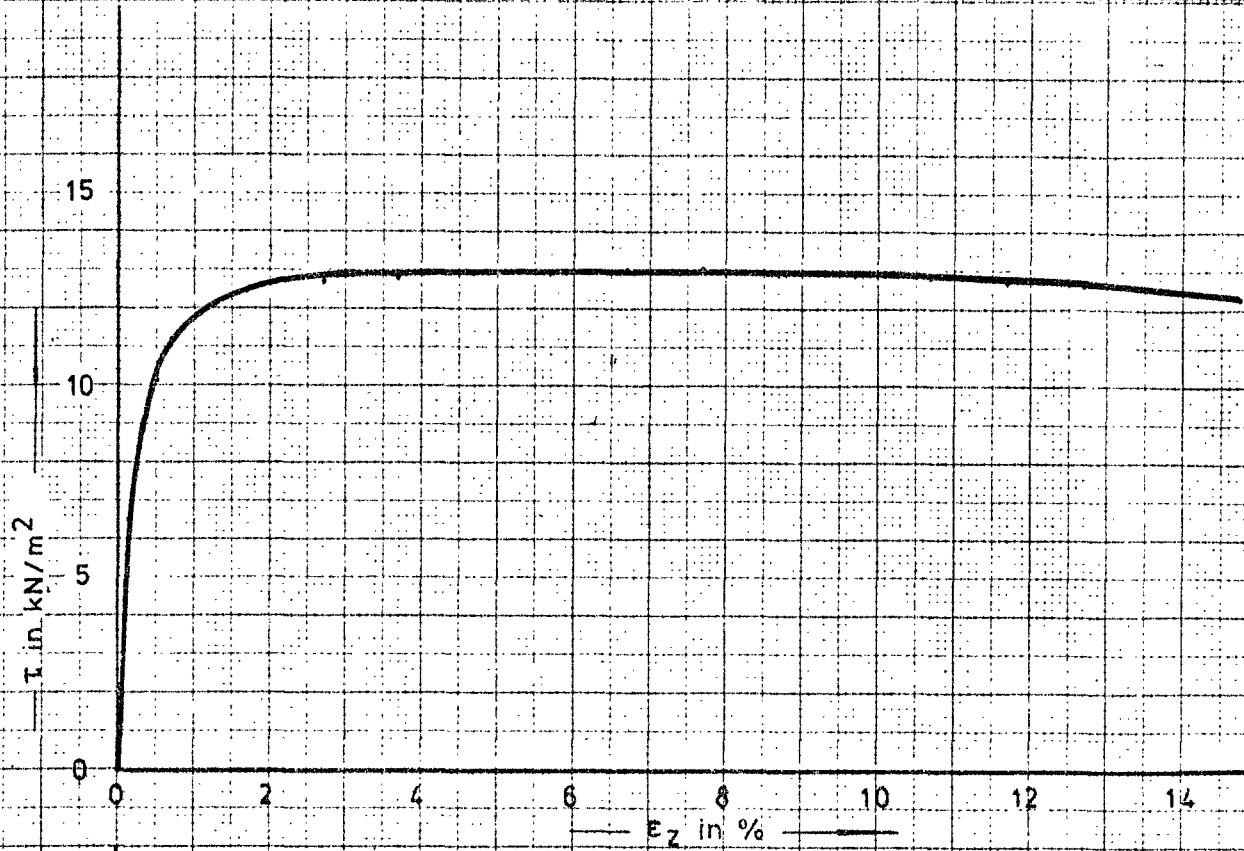
monster 66

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 40 \text{ kN/m}^2$

soat
 A₄

BIJLAGE 15

CO
 23064-0



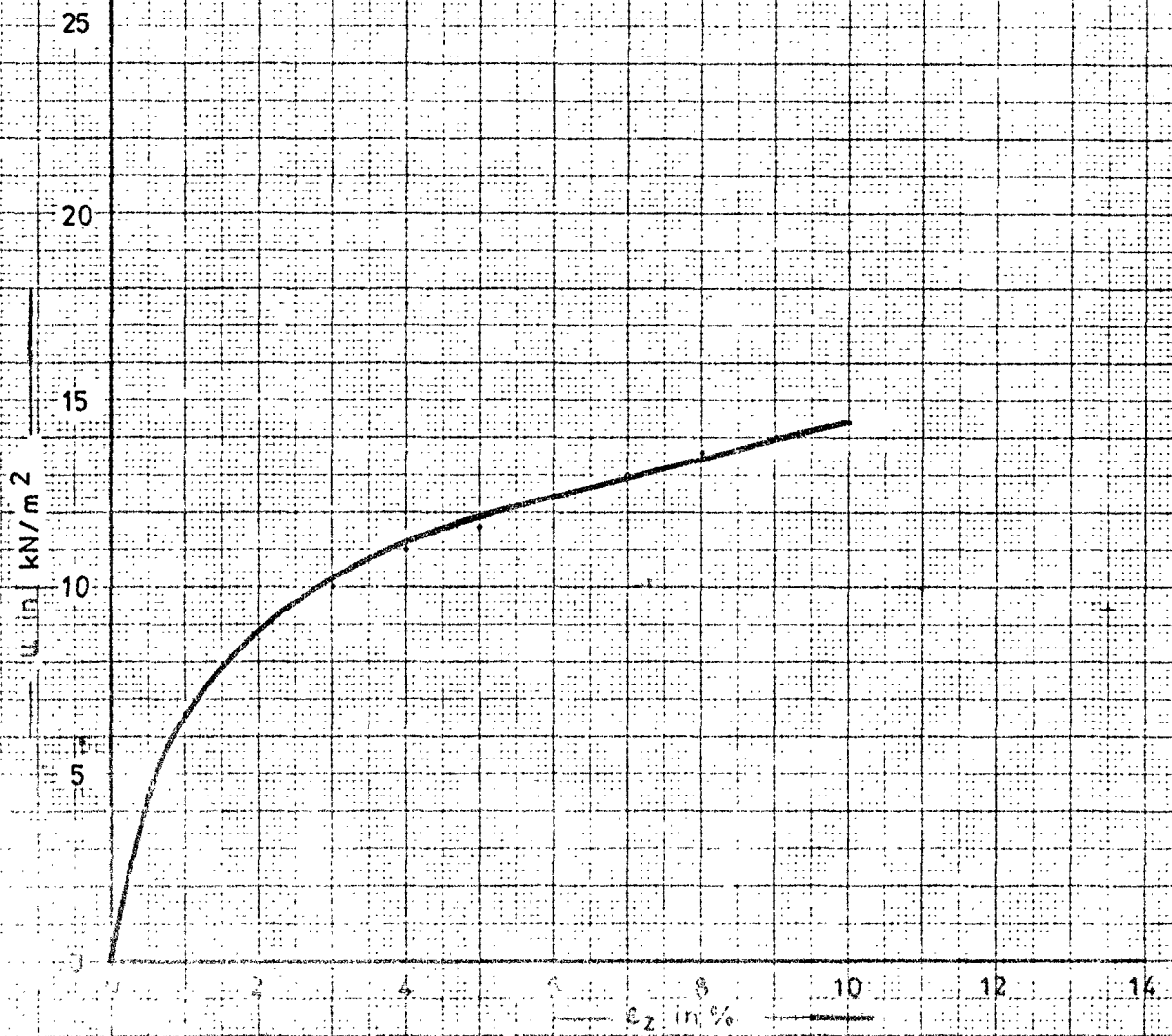
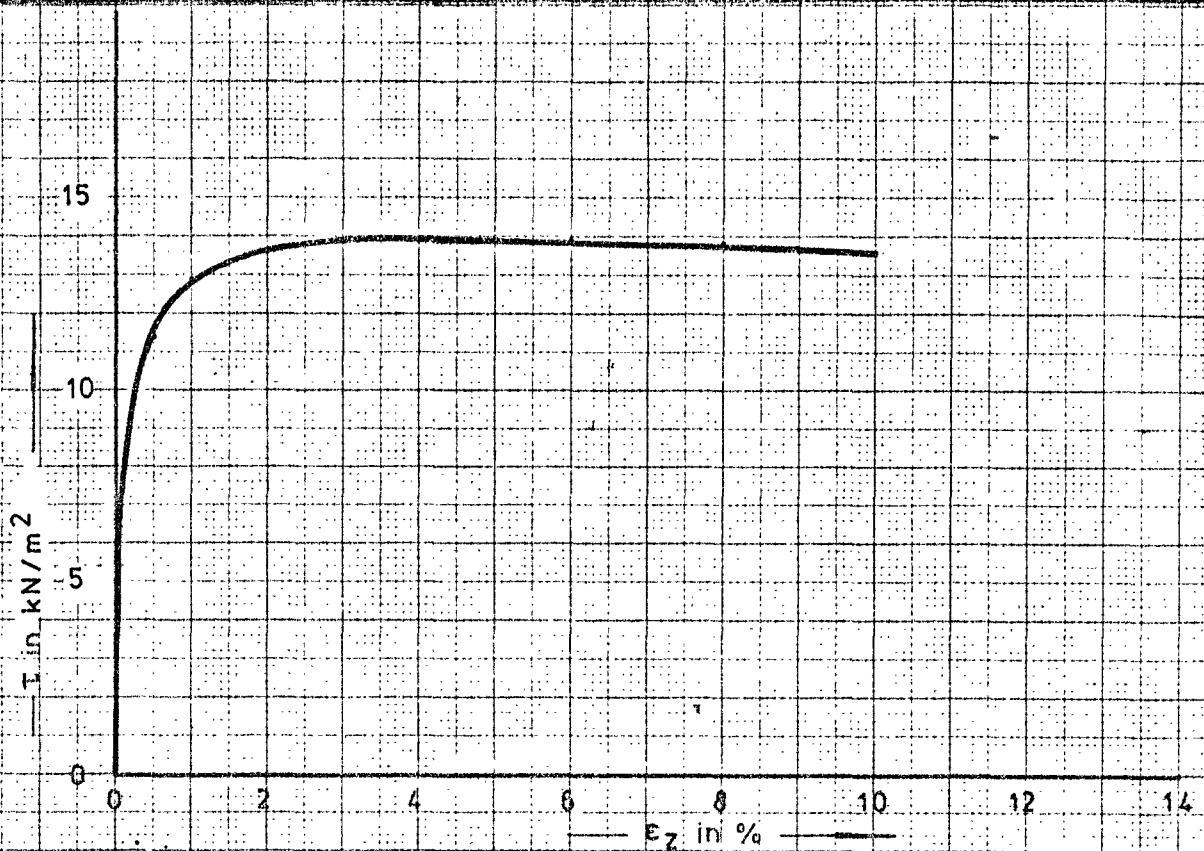
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40 monster 89 $E_z = 60\%/h$
 $G' = 40 \text{ kN/m}^2$

voort
 A₄

BIJLAGE 16

CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 40

monster105

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 39 \text{ kN/m}^2$

loot

A₄

BIJLAGE 17

CO
23064-0

τ in kN/m²

0

5

10

15

0

2

4

6

8

10

12

14

ϵ_z in %

u in kN/m²

0

5

10

15

20

25

0

2

4

6

8

10

12

14

ϵ_z in %

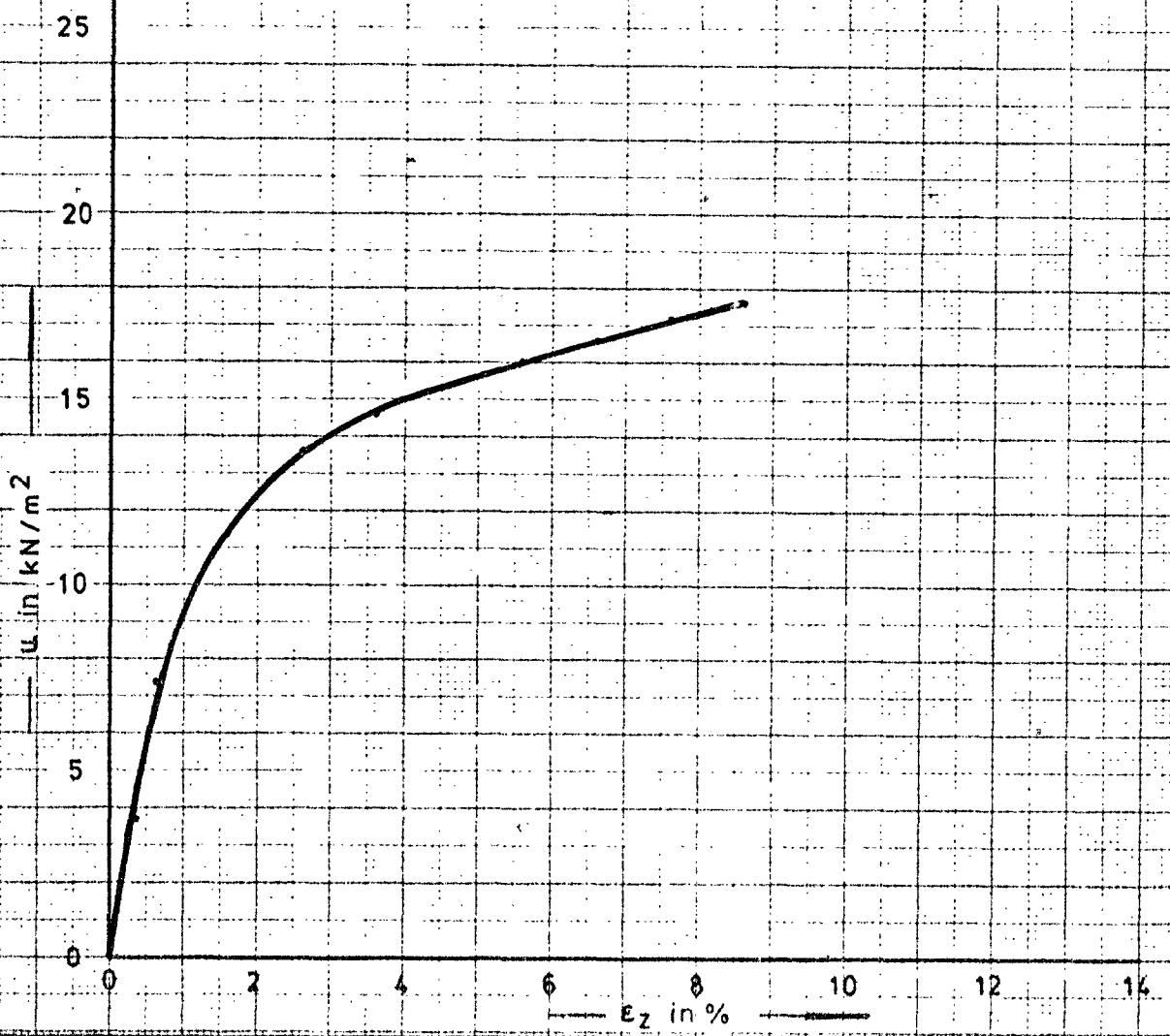
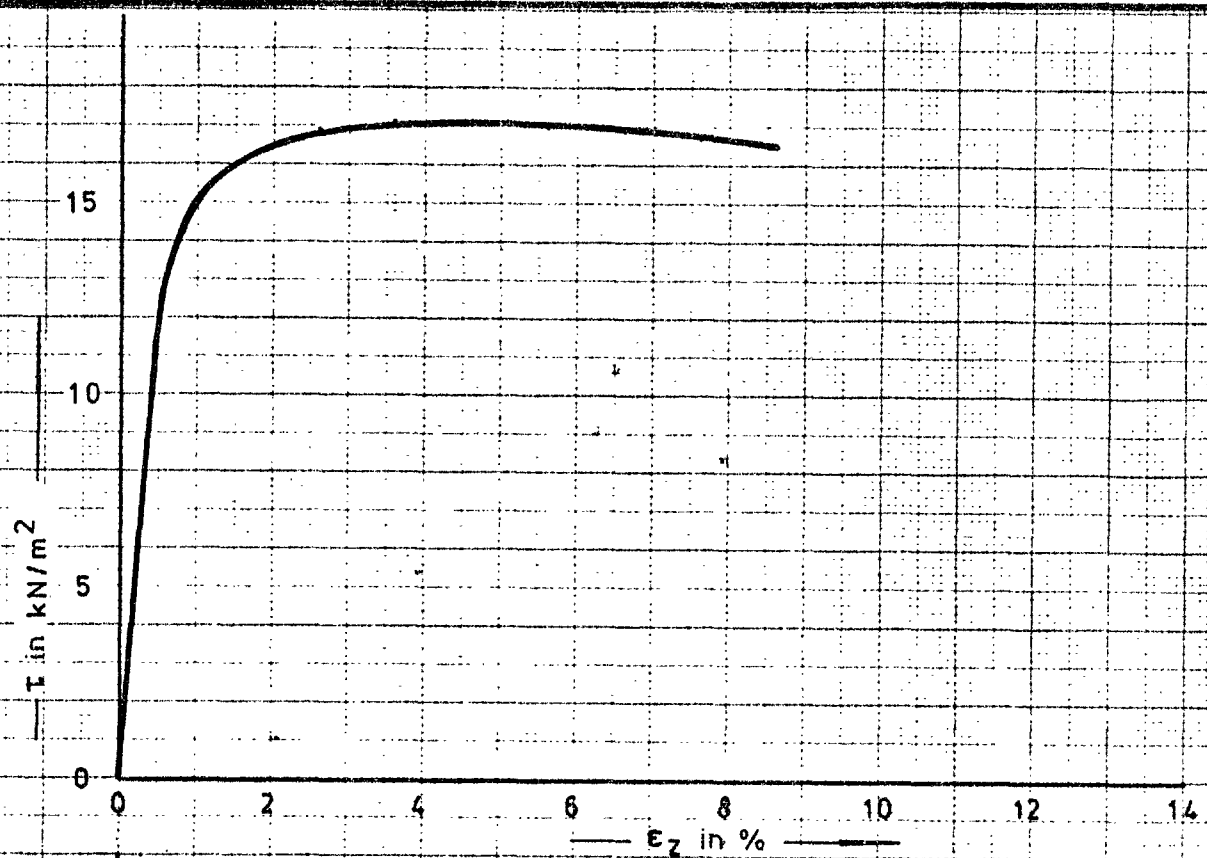
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50 monster 9

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 50 \text{ kN/m}^2$

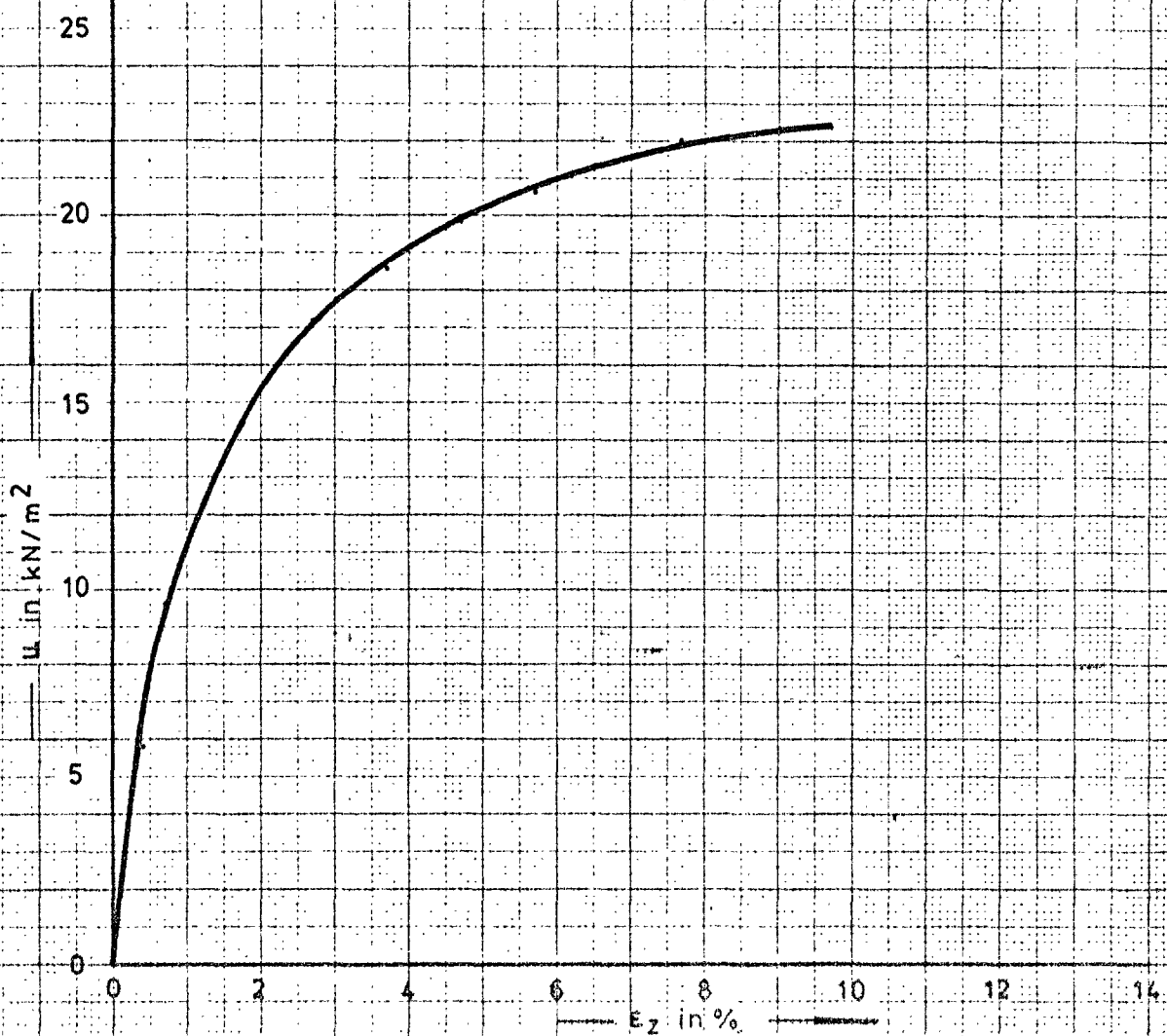
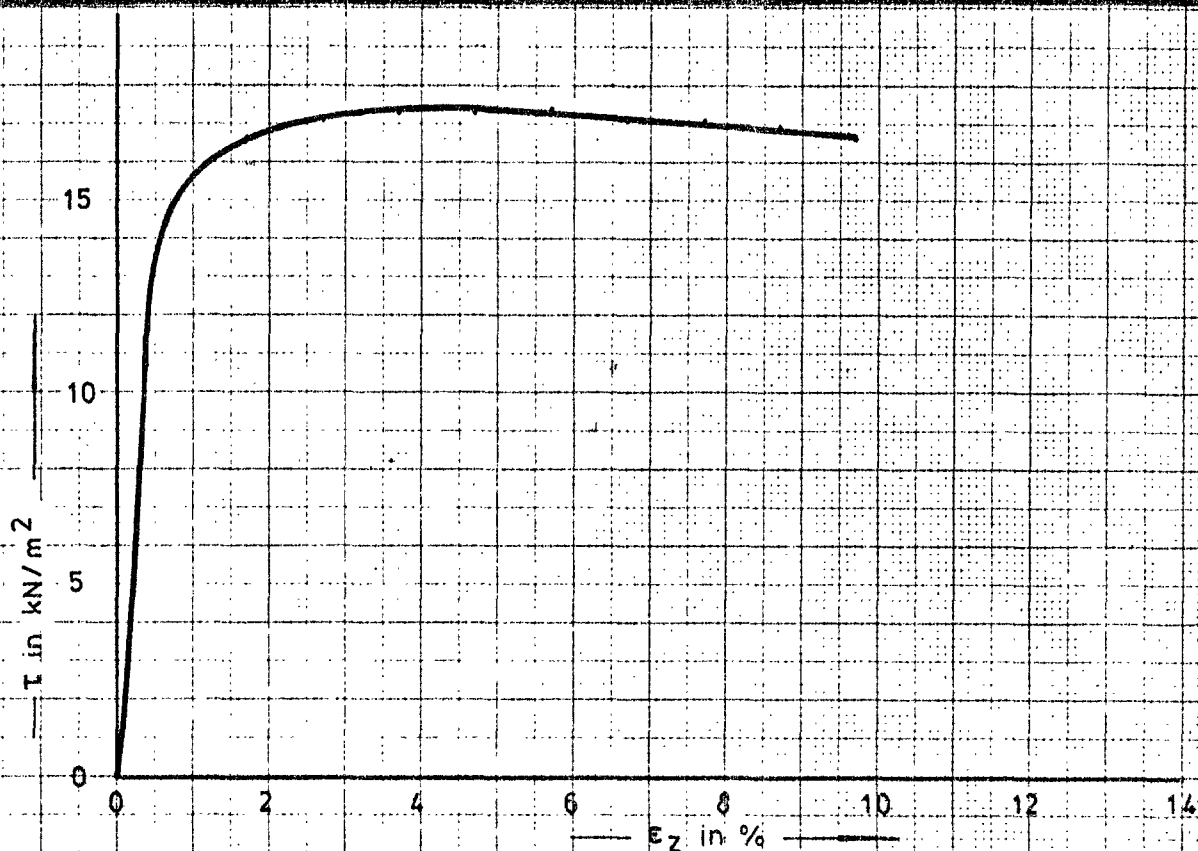
$\sqrt{\sigma'}$
 A_4

BIJLAGE 18
CO
23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50	monster 28	$\epsilon_z = 60\%/h$ $C' = 48 \text{ kN/m}^2$	$\sqrt{\text{pat}}$	BIJLAGE 19
			A ₄	CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50

monster 36

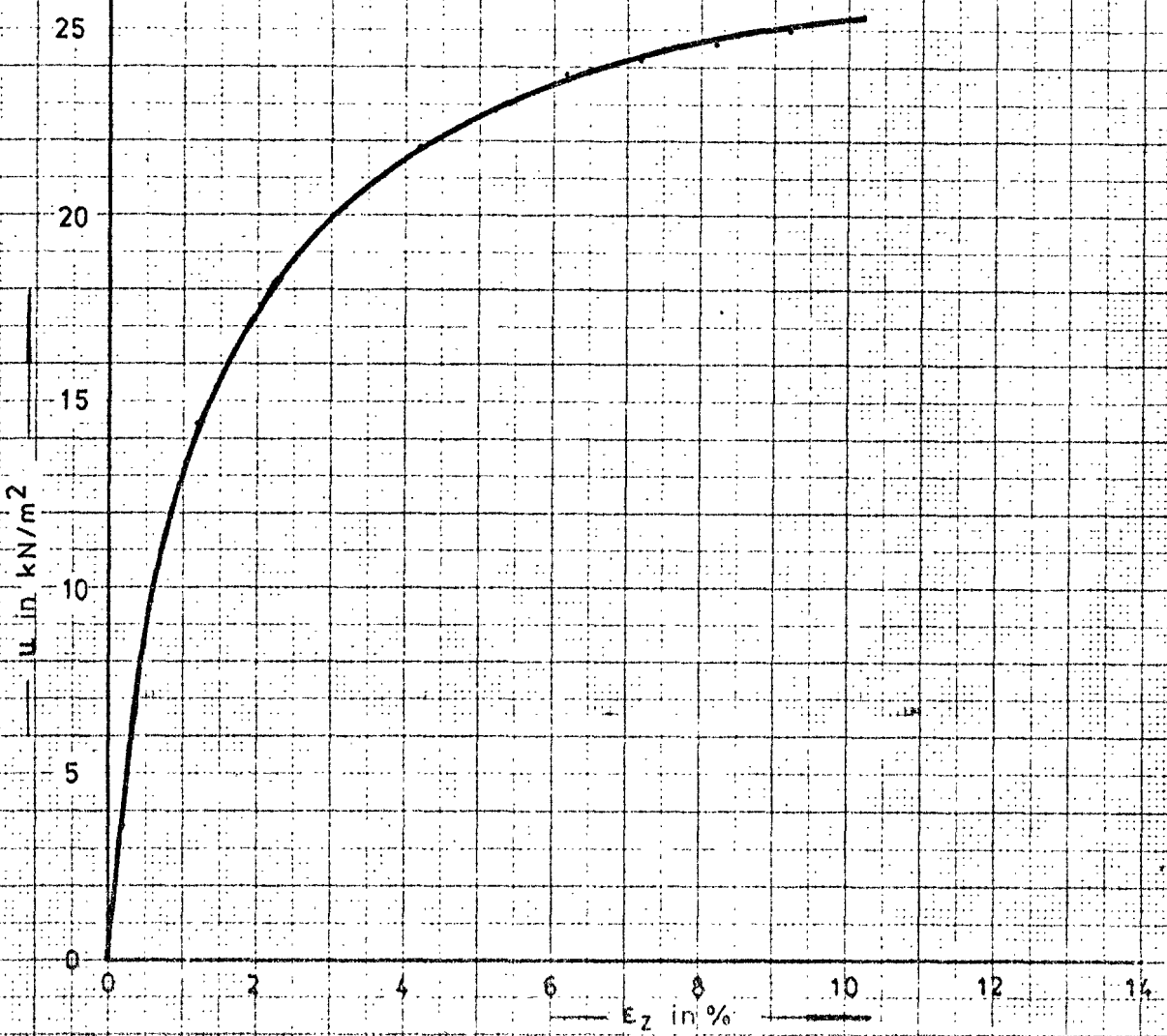
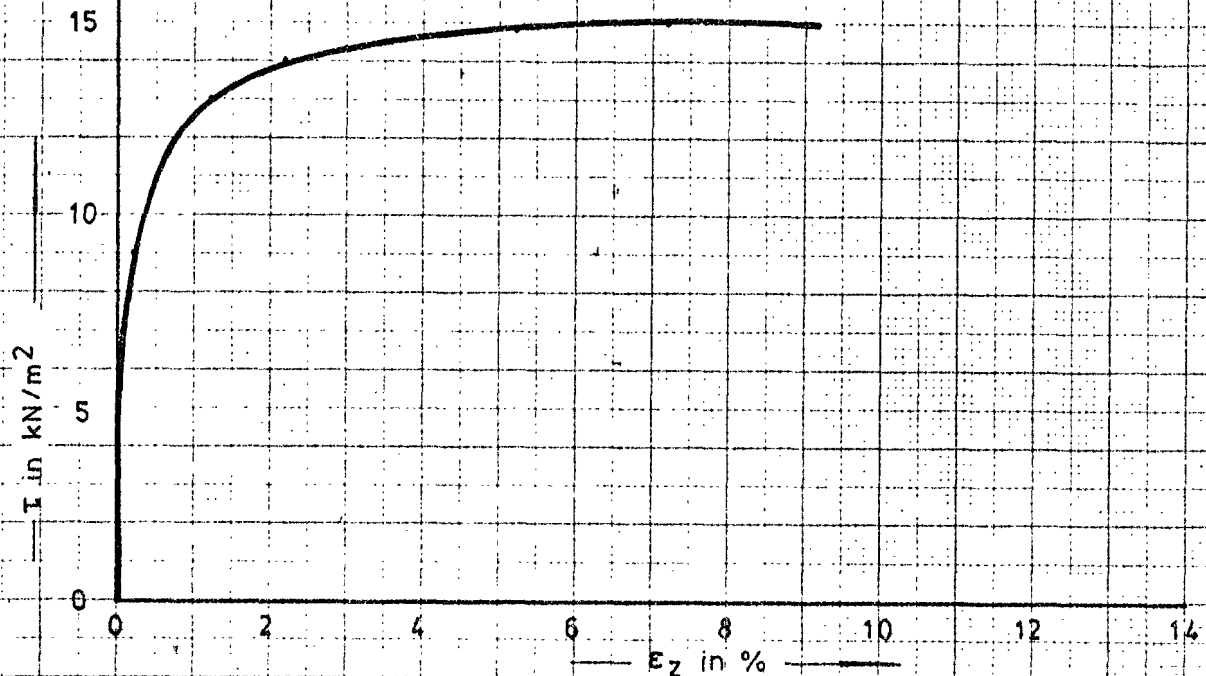
$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 50.6 kN/m^2$

not

A₄

BIJLAGE 20

CO
23064-0

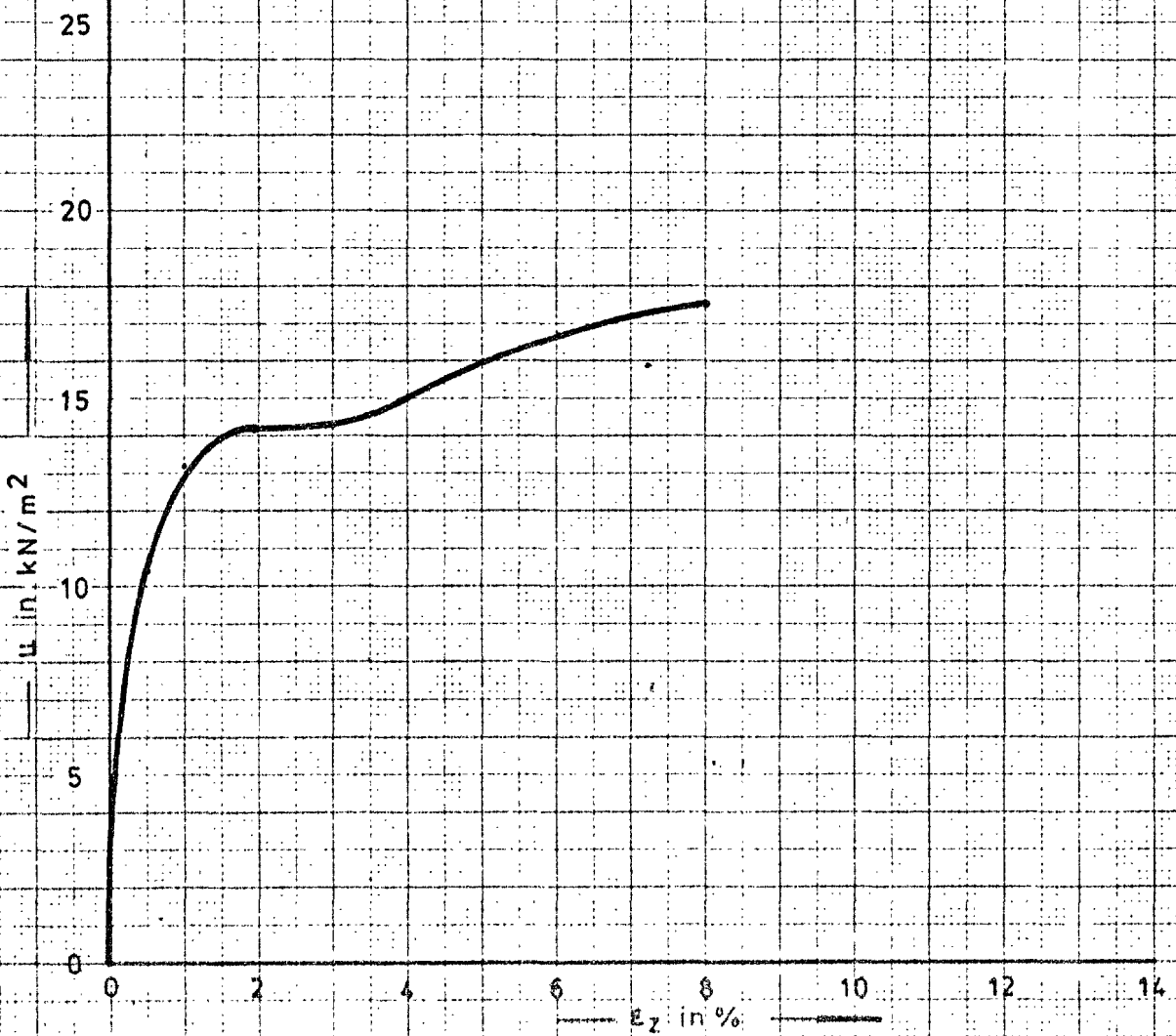
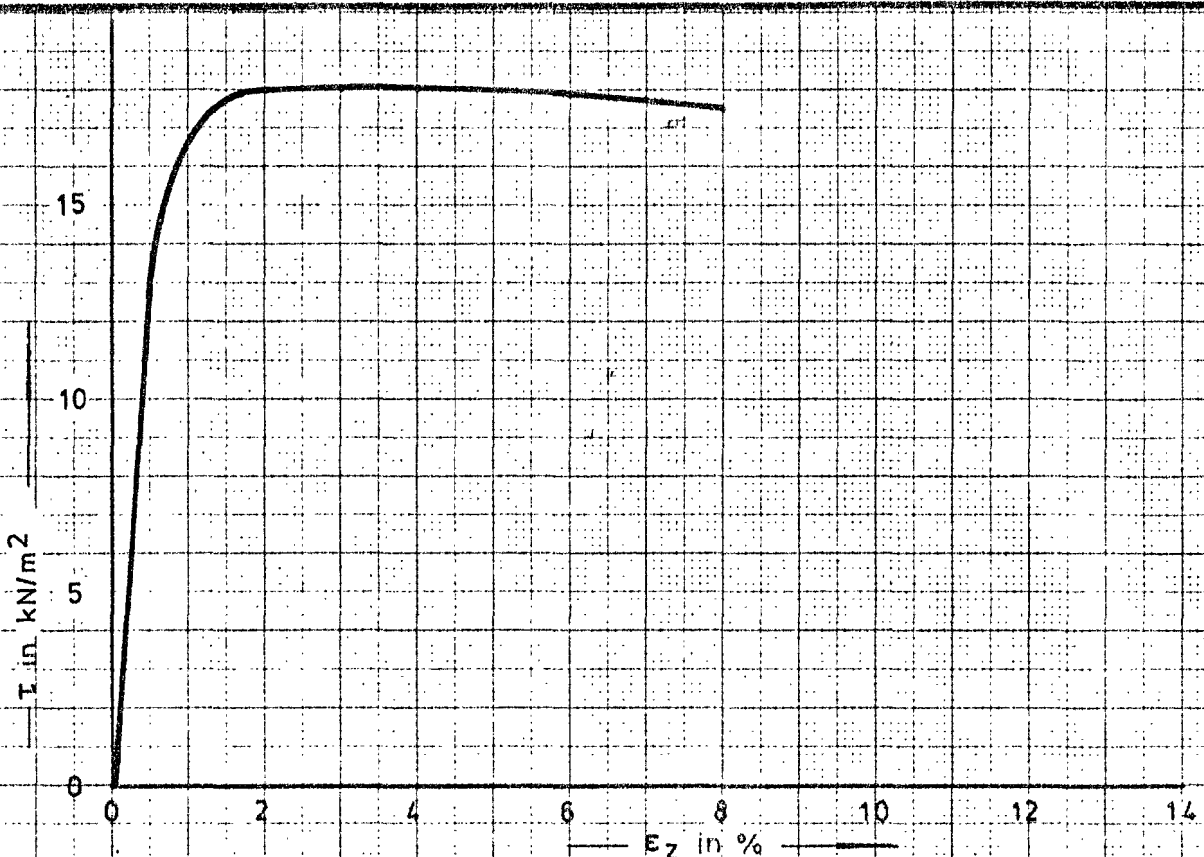


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50 monster 41 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma'_v = 50 \text{ kN/m}^2$

WAT
 A₄

BIJLAGE 21
 CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50

monster 49

$\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 49.8 \text{ kN/m}^2$

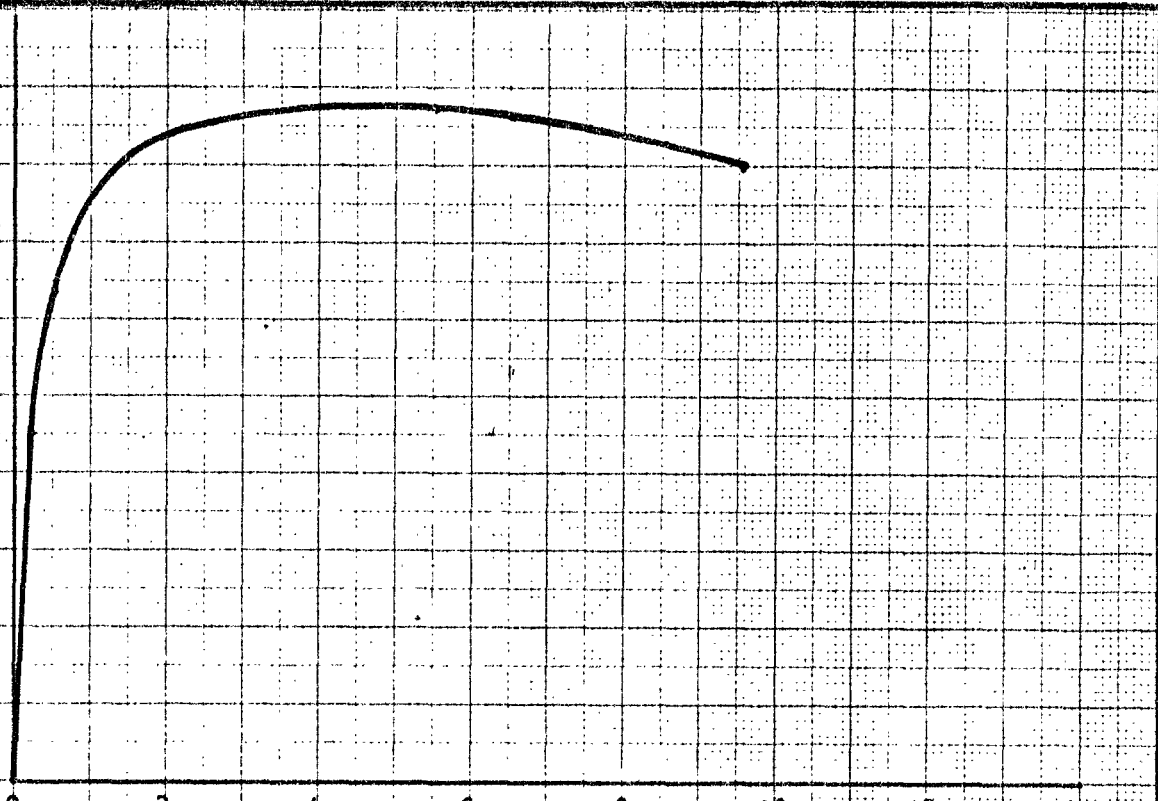
port
 A₄

BIJLAGE 22

CO
 23064-0

T in kN/m²

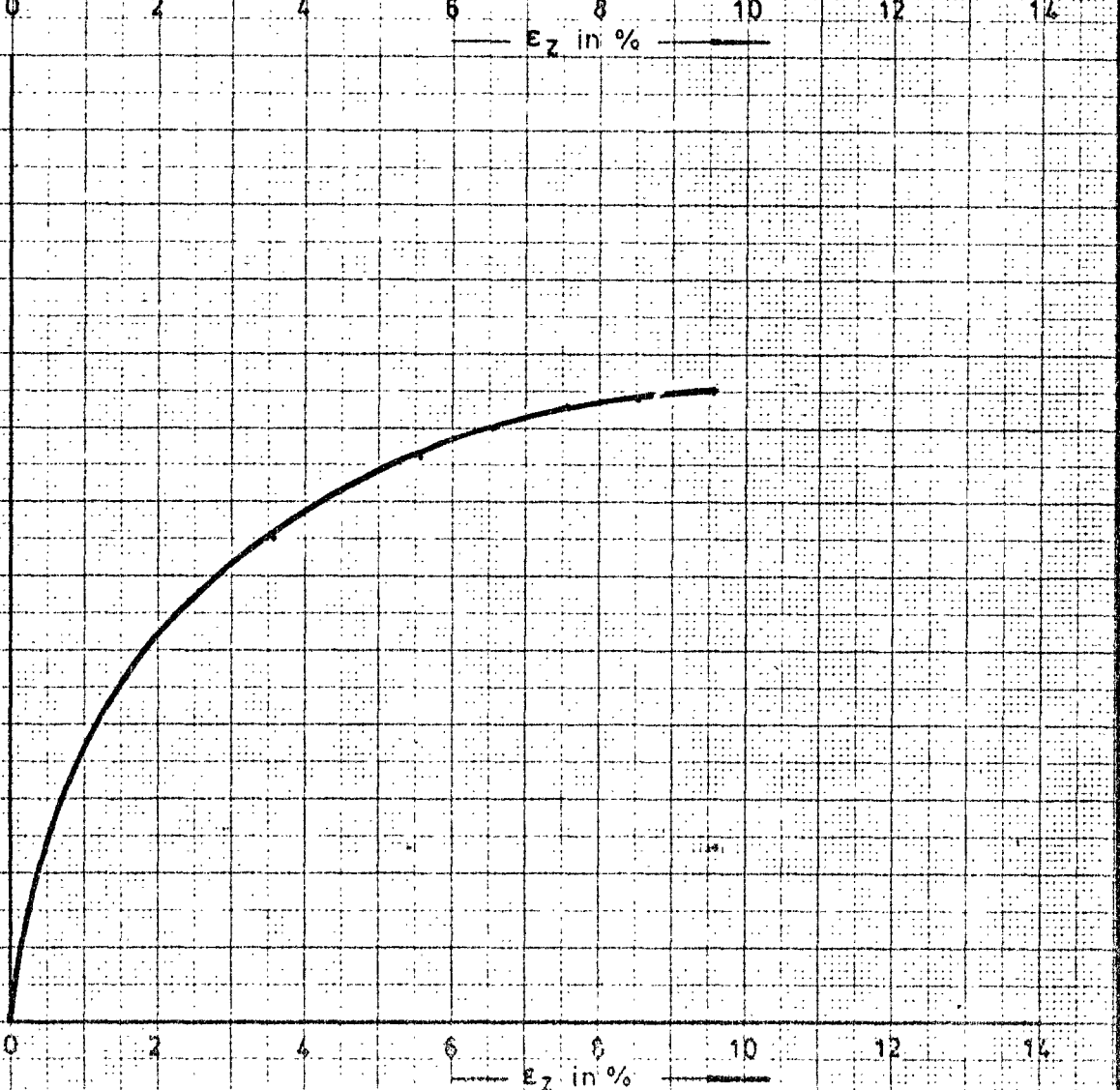
15
10
5
0



ε_z in %

25
20
15
10
5
0

u in kN/m²



ε_z in %

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 30

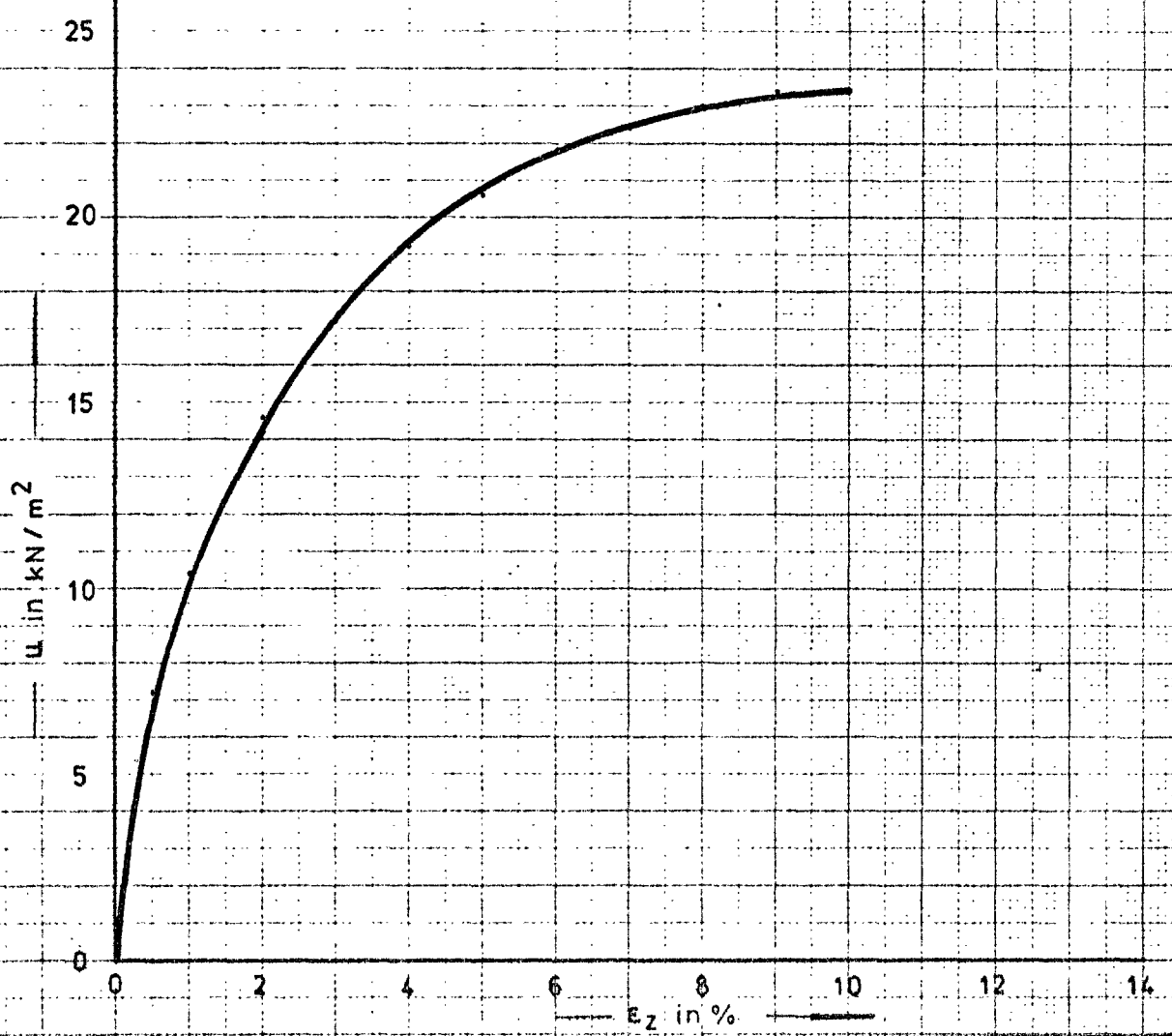
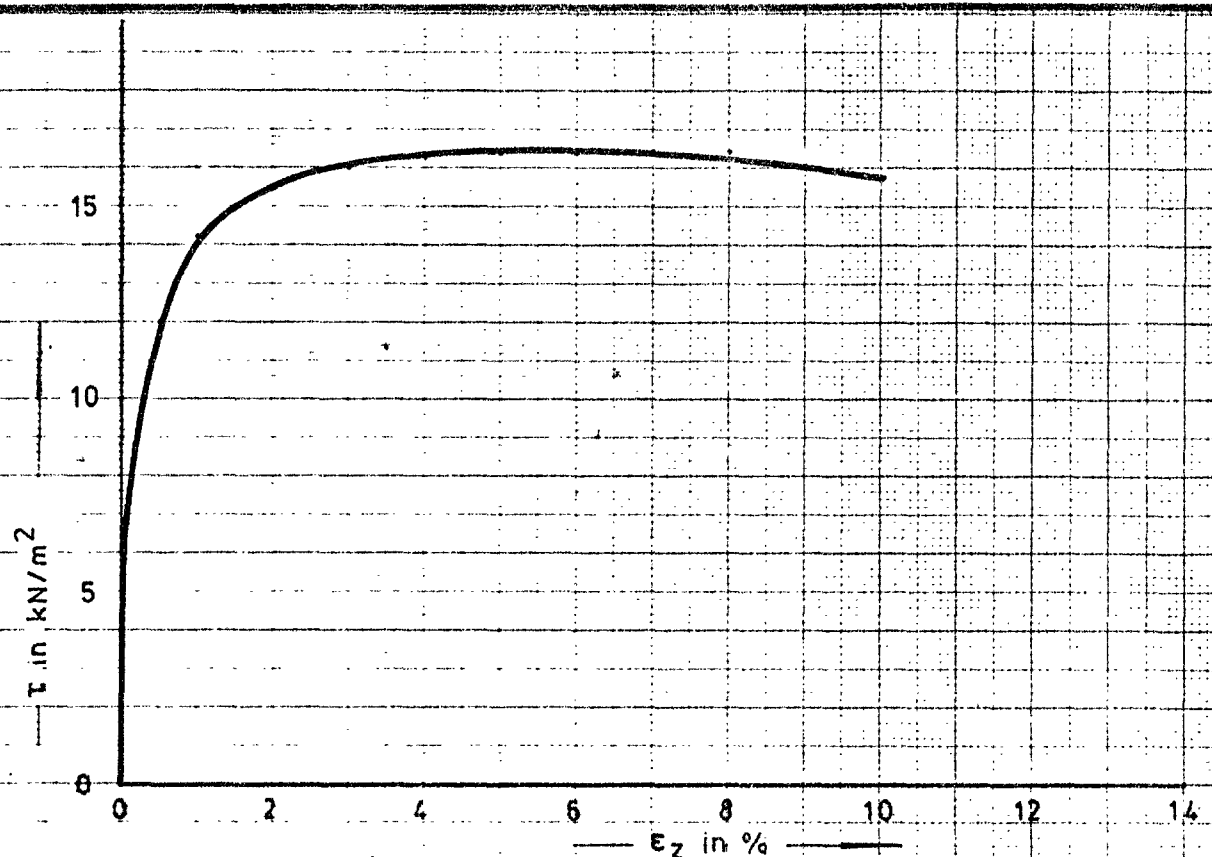
monster57

ε_z = 60%/h
G' = 46 kN/m²

ROT
A₄


BIJLAGE 23

CO
23064-0

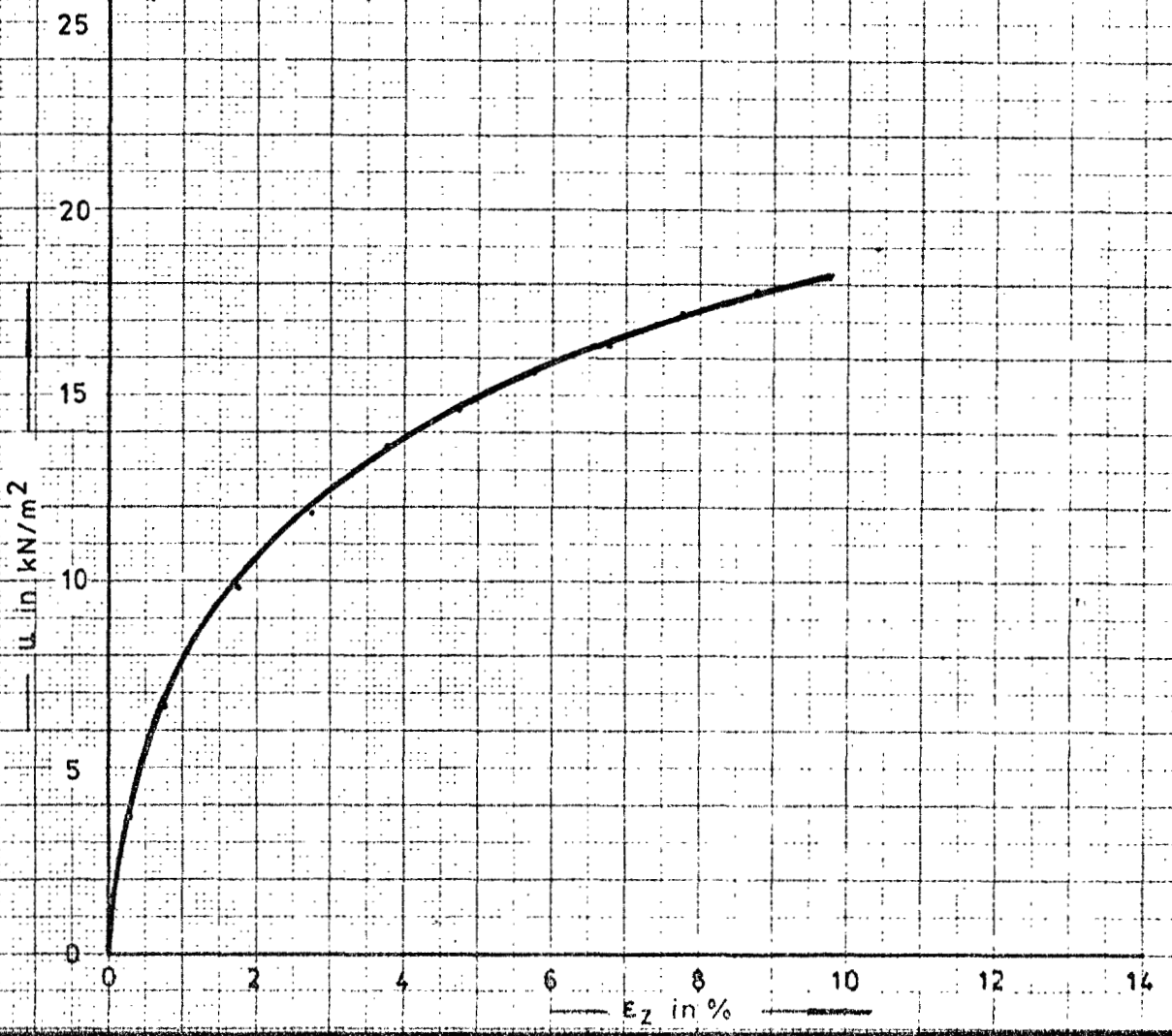
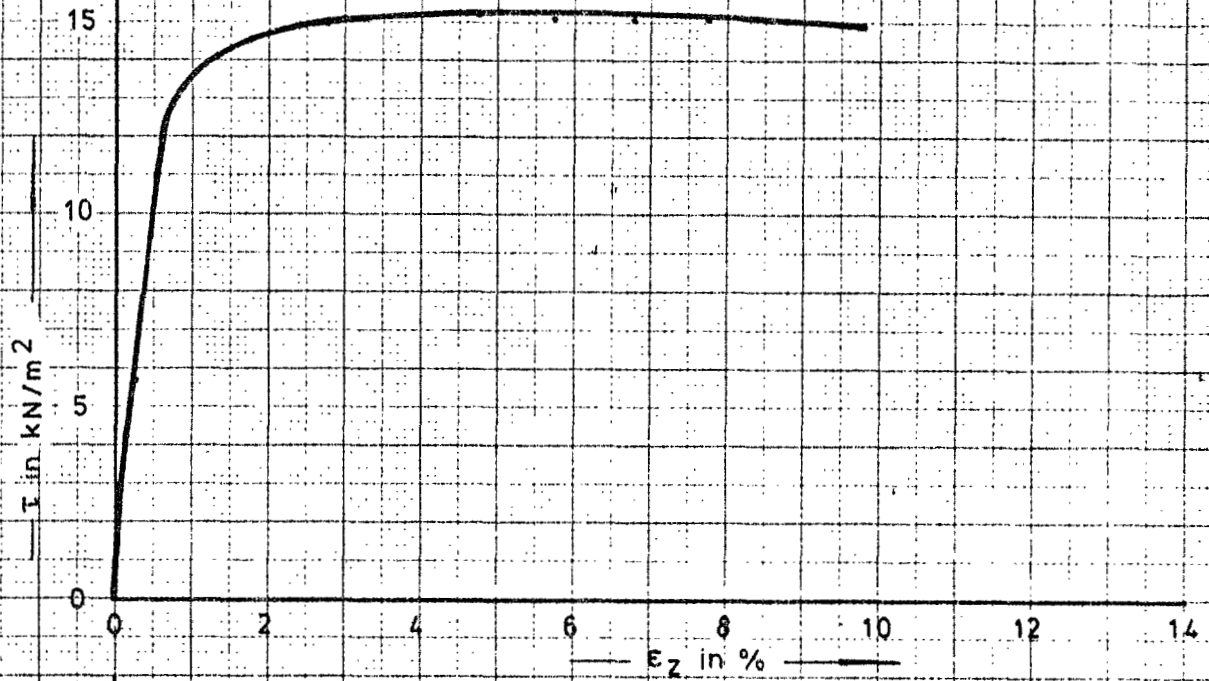


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.S.O. 50 monster 65 $\epsilon_z = 60\%/h$ $\sigma' = 50 \text{ kN/m}^2$ BIJLAGE 24


 A₄

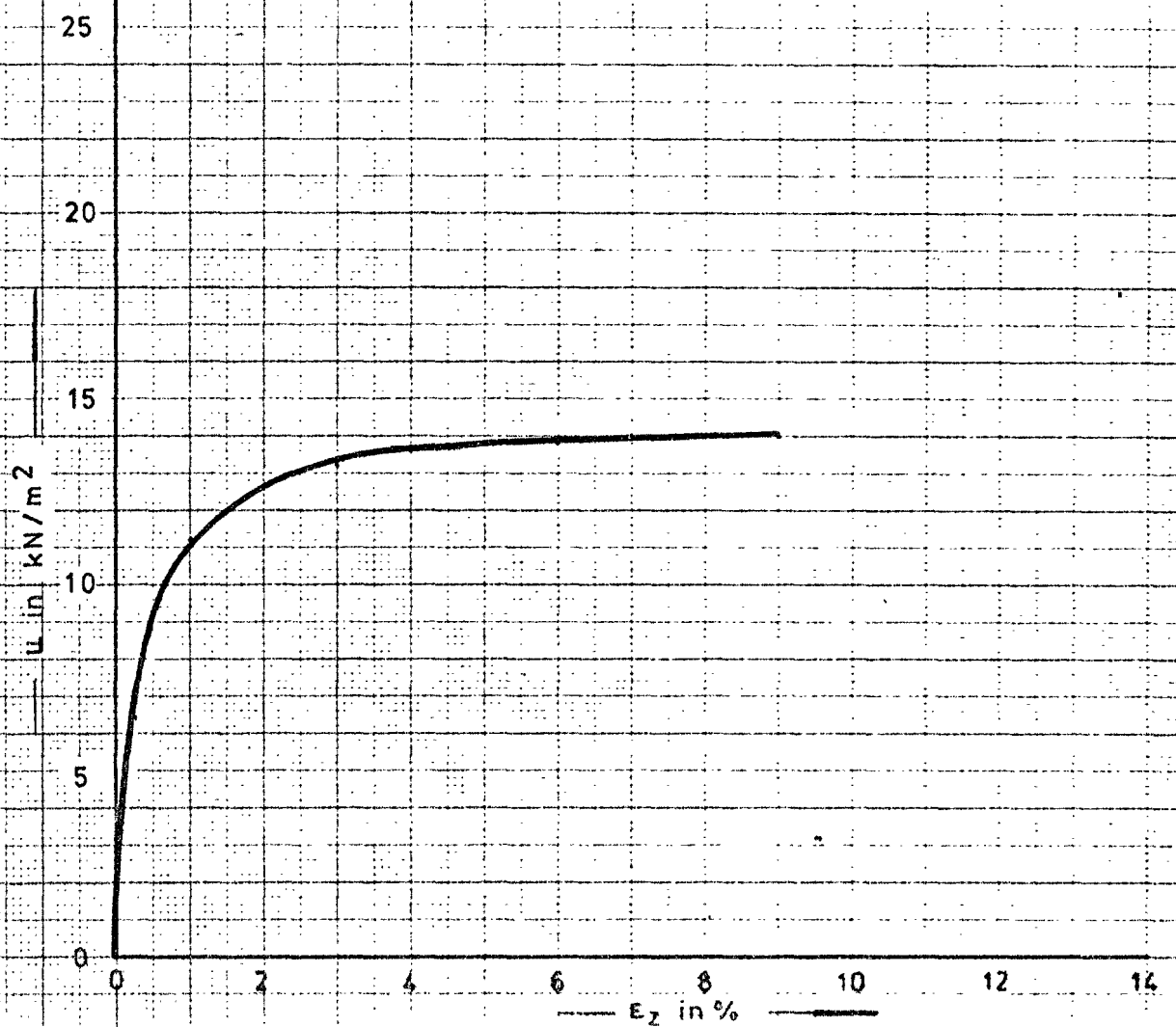
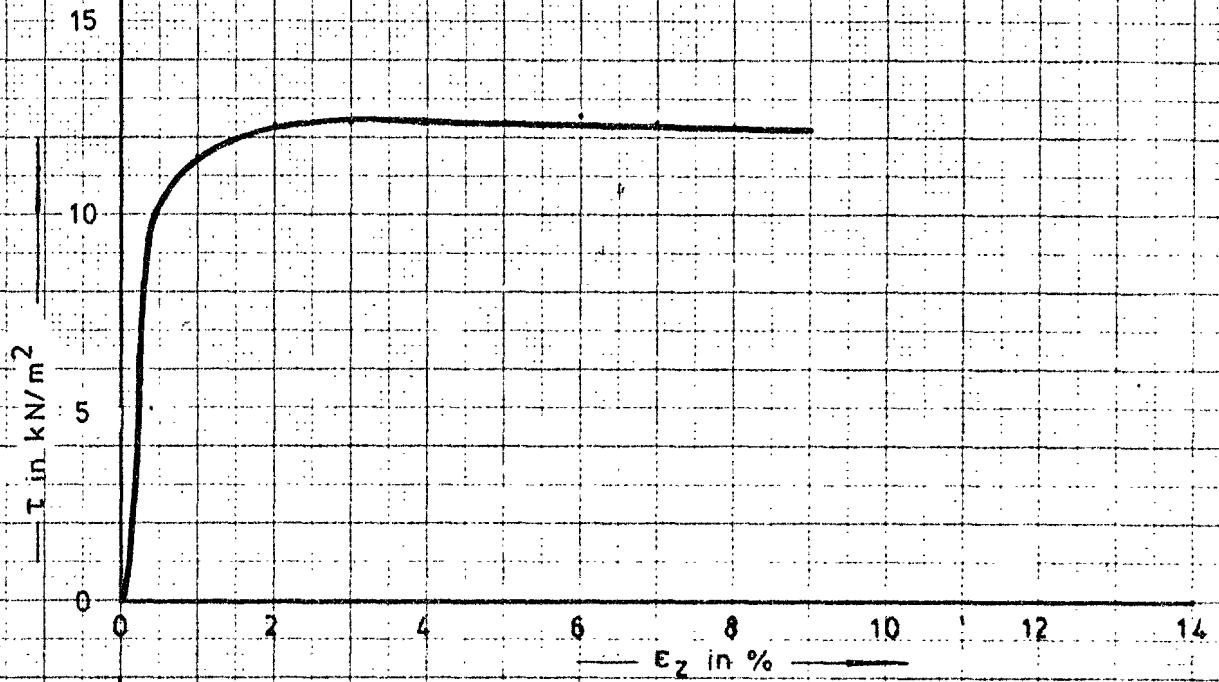
CO
23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.S.O. 50 monster 107 $\epsilon_z = 60\%/h$
 $\sigma' = 44.8 \text{ kN/m}^2$

port		BIJLAGE 25
A ₄		CO 23064-0



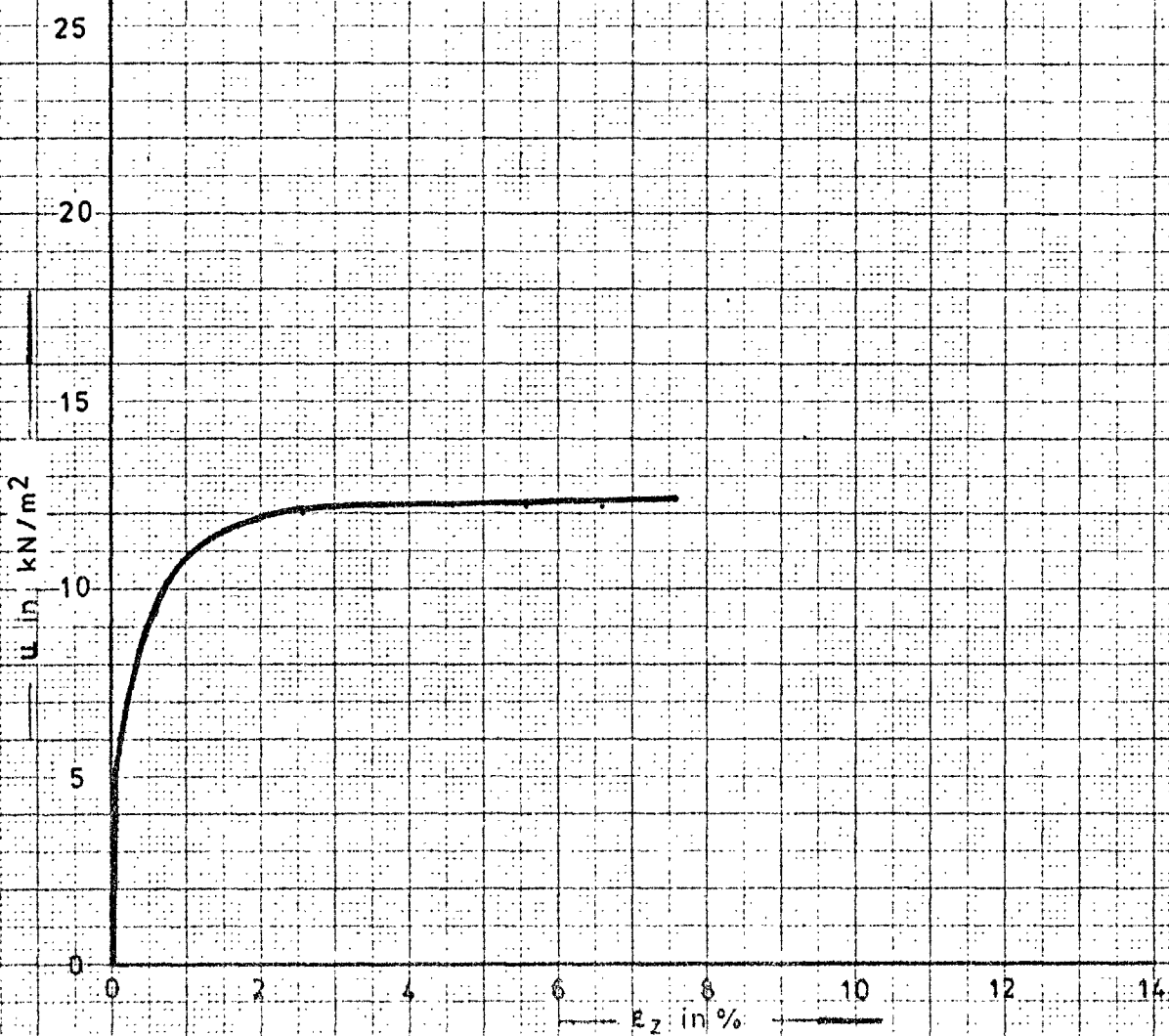
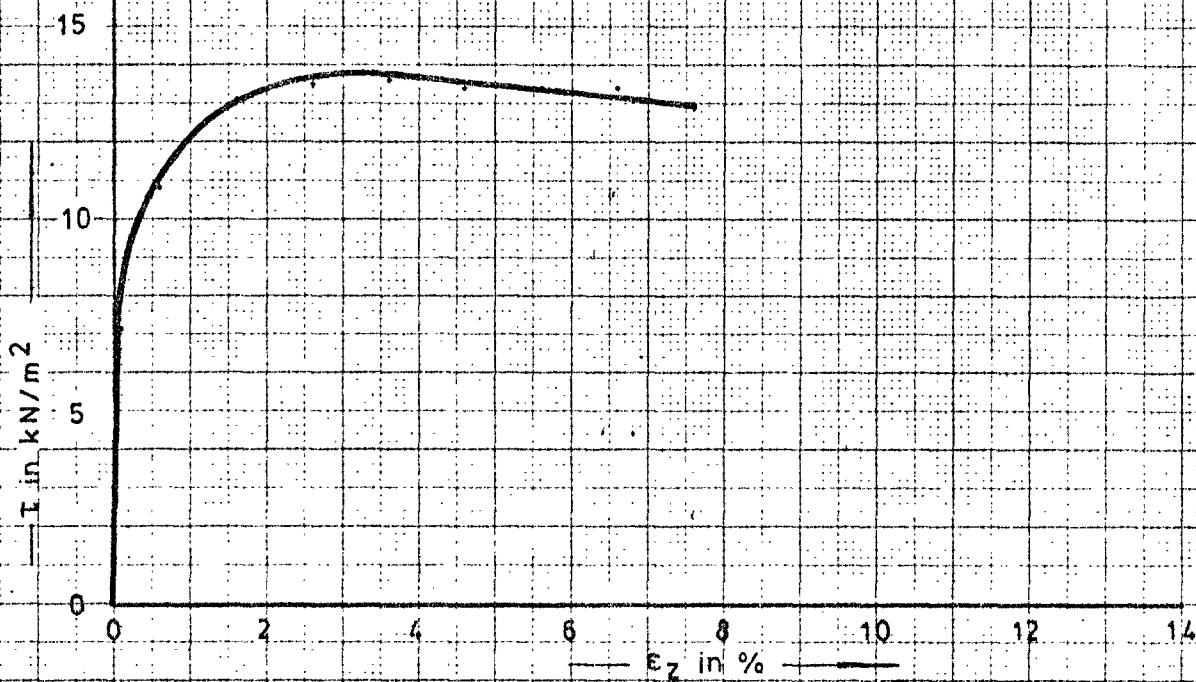
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 30

monster 10

$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

or		BIJLAGE 26
A ₄		CO 23064-0

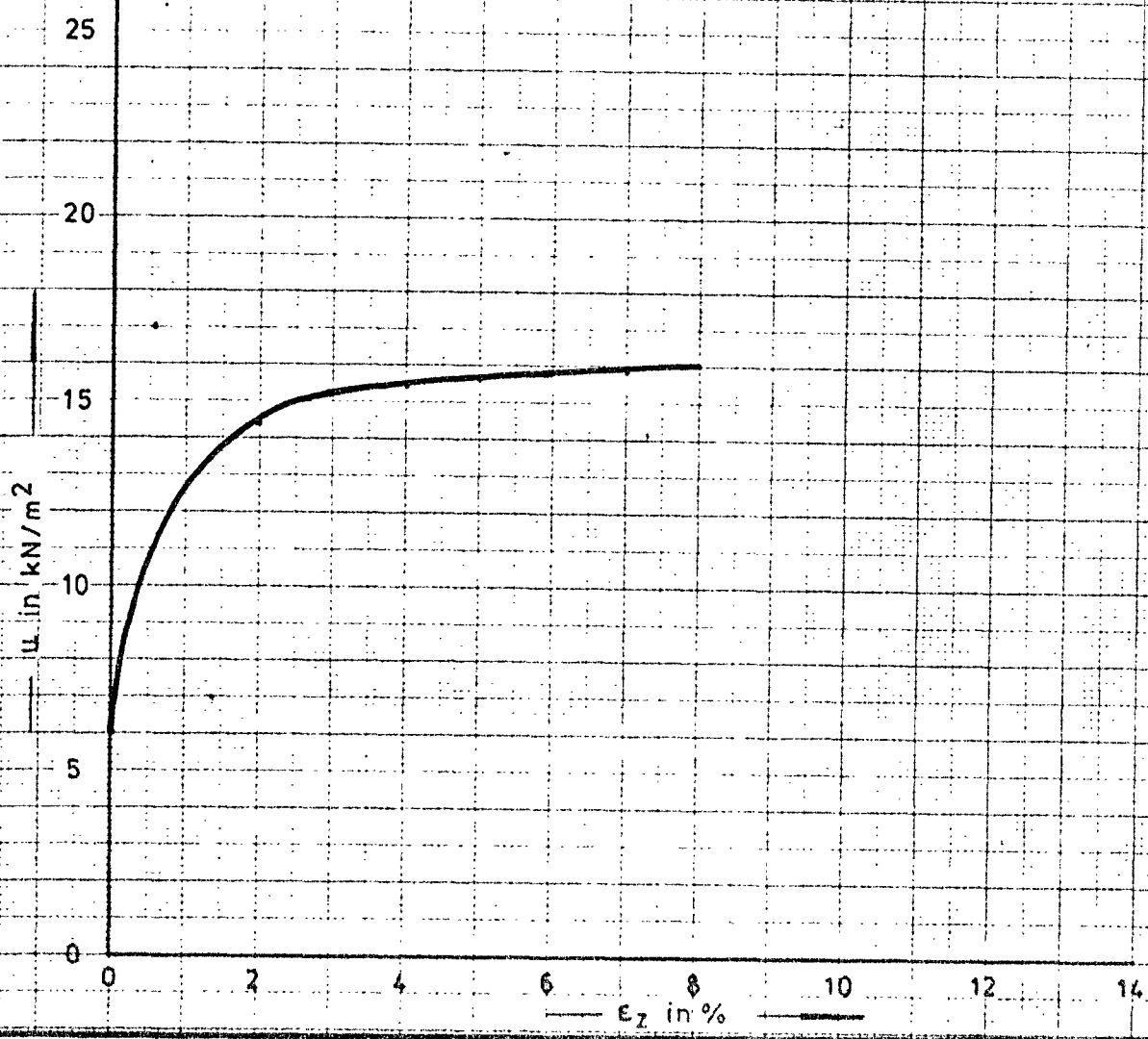
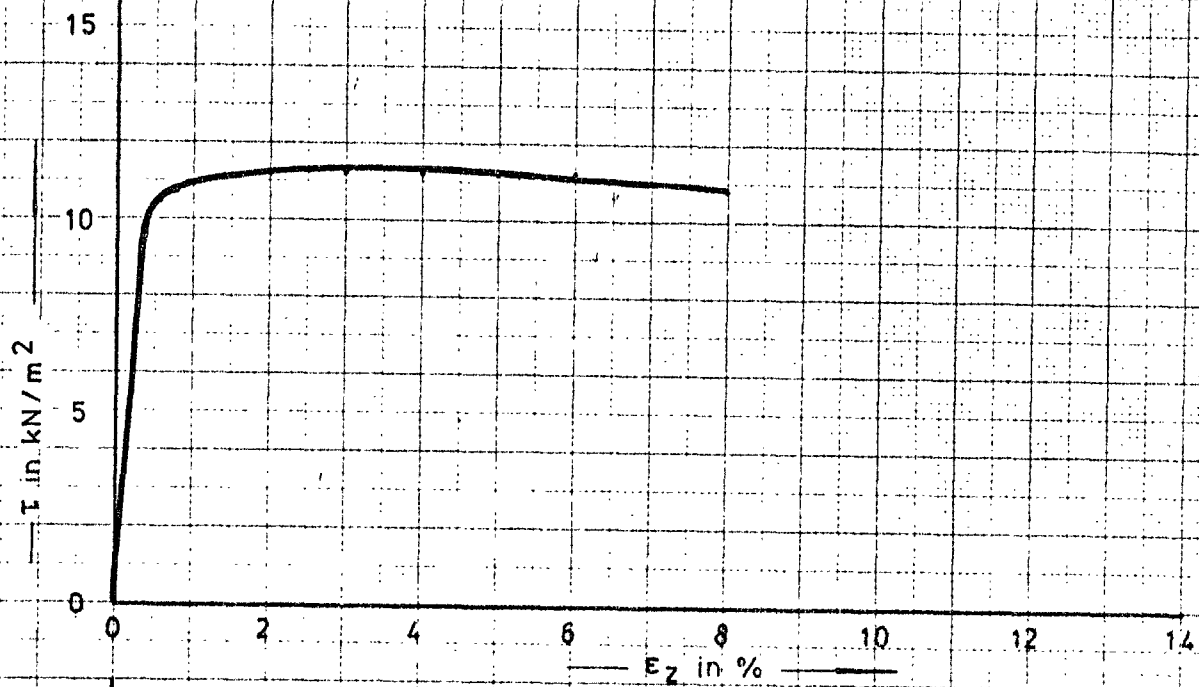


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 30 monster 29 $\epsilon_z = 6\%/h$ $\sigma' = 28.6 \text{ kN/m}^2$


 A₄

BIJLAGE 27
 CO 23064-0



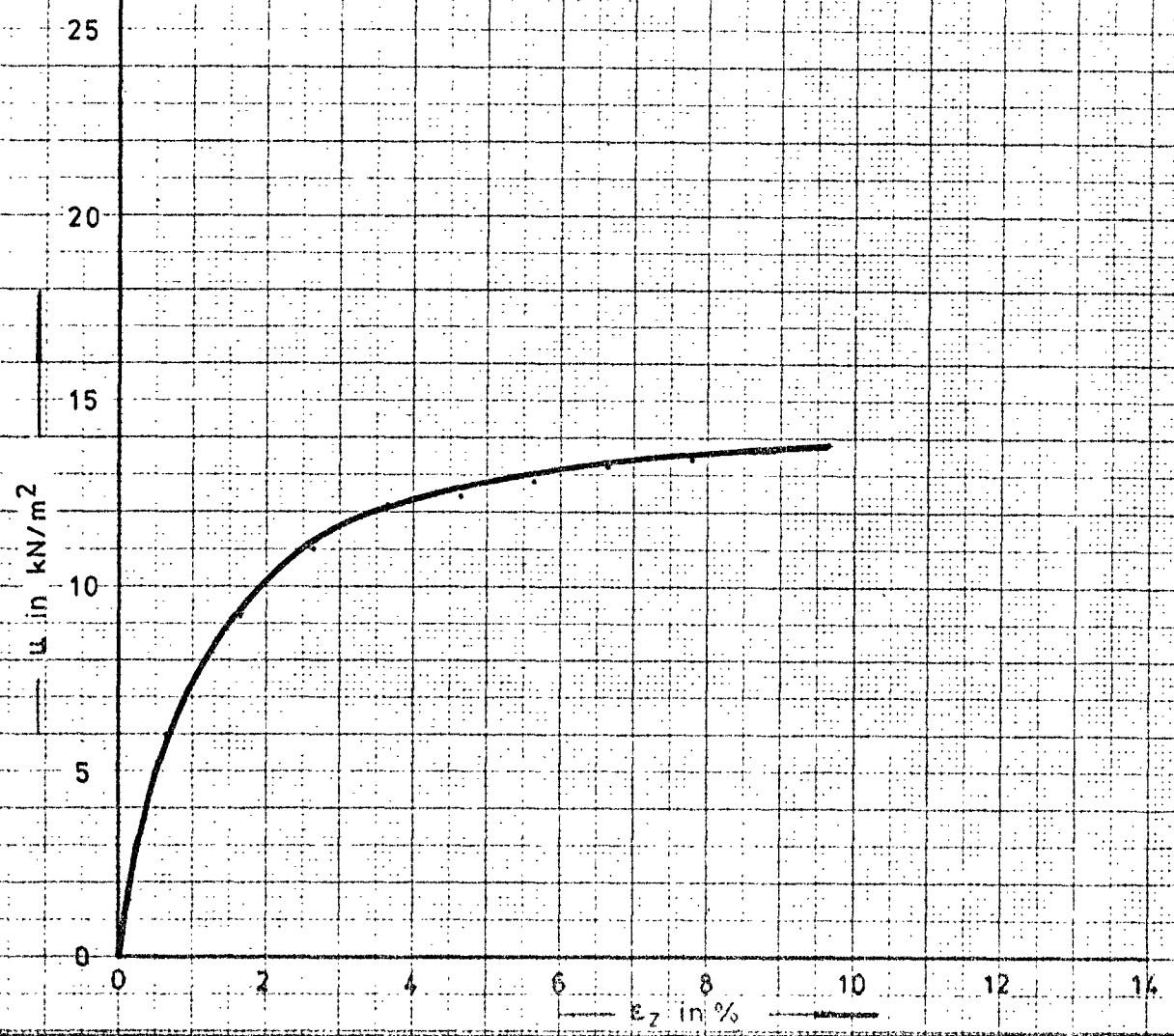
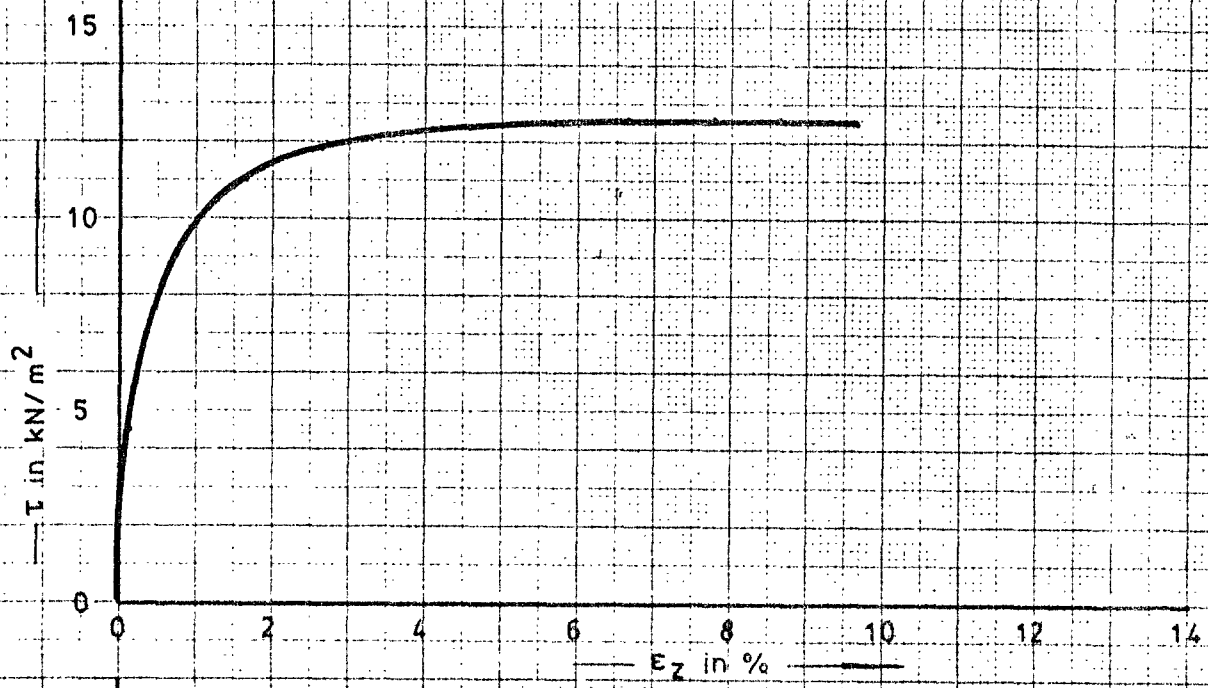
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 30 monster 42 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

voort
 A₄

BIJLAGE 28

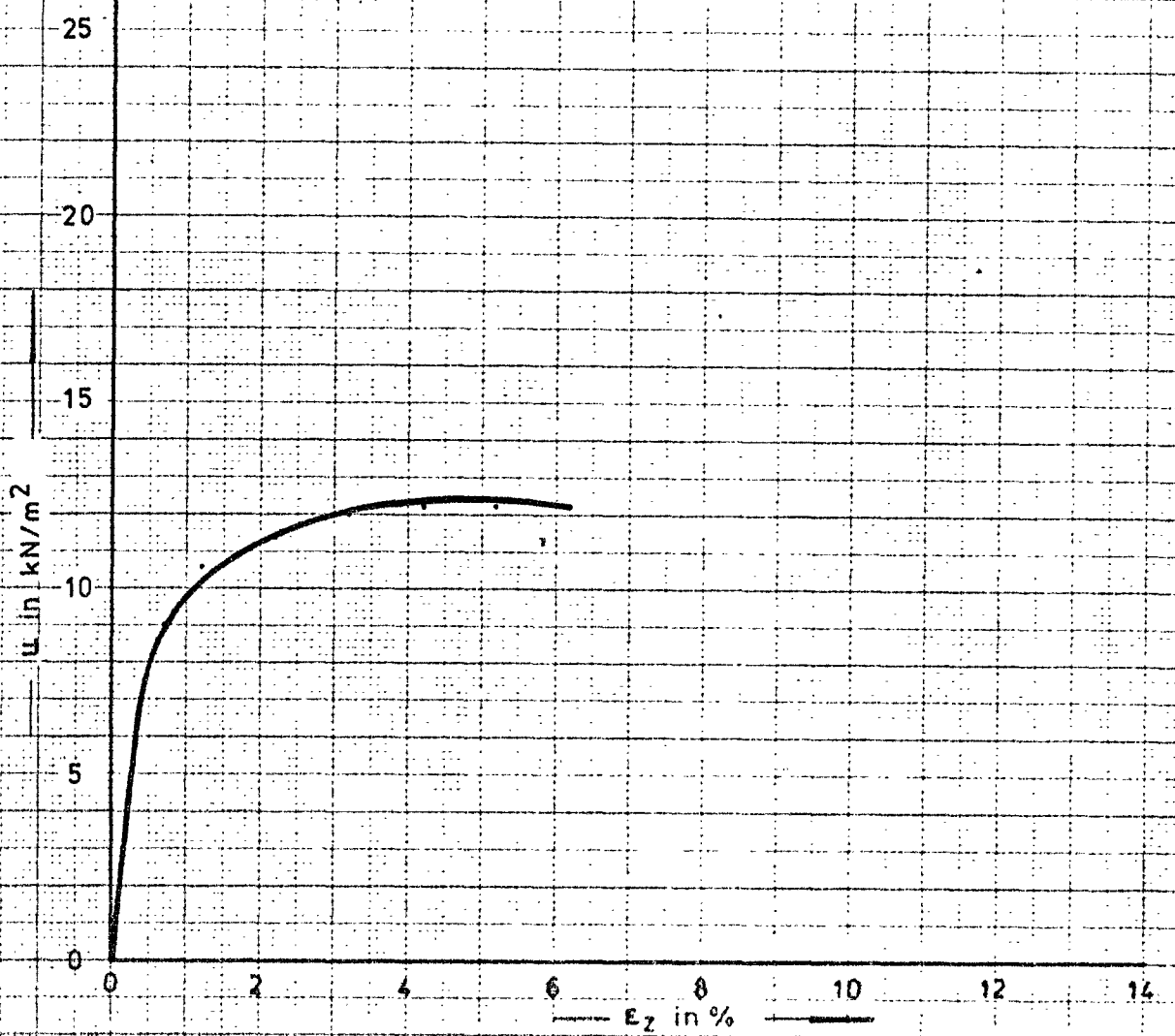
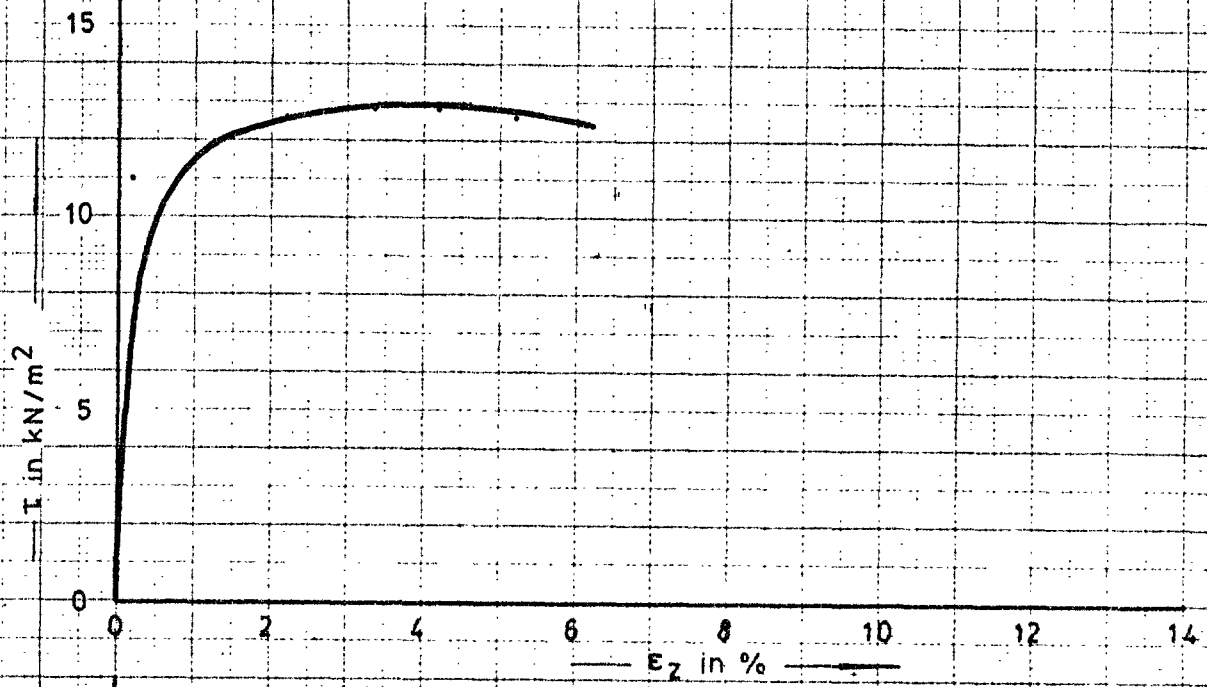
CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.L.O. 30 monster 51 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 34.4 \text{ kN/m}^2$

<i>port</i>	BIJLAGE 29
A ₄	CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 30 monster 58 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $G' = 27.8 \text{ kN/m}^2$

		BIJLAGE 30
A ₄		CO 23064-0

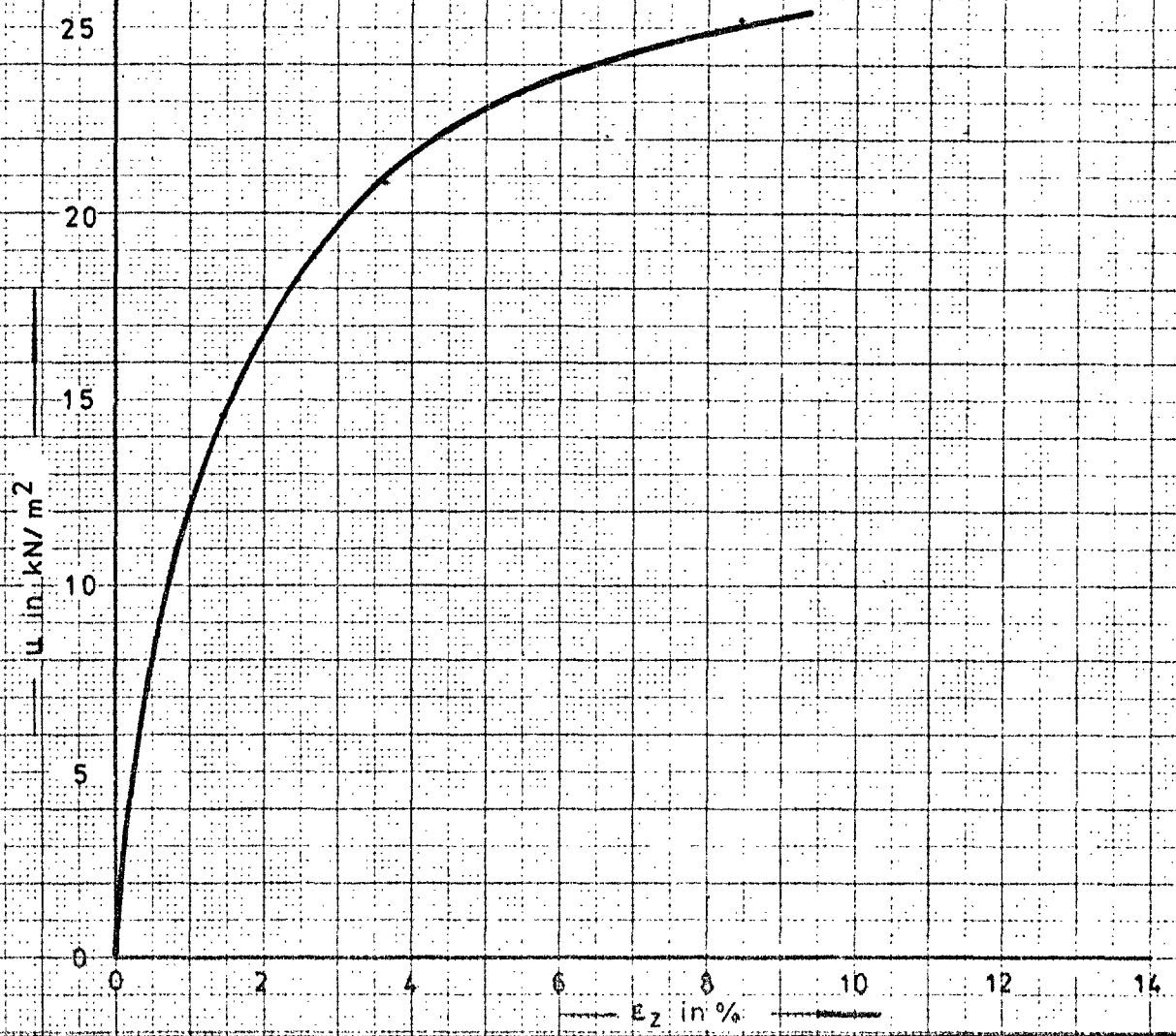
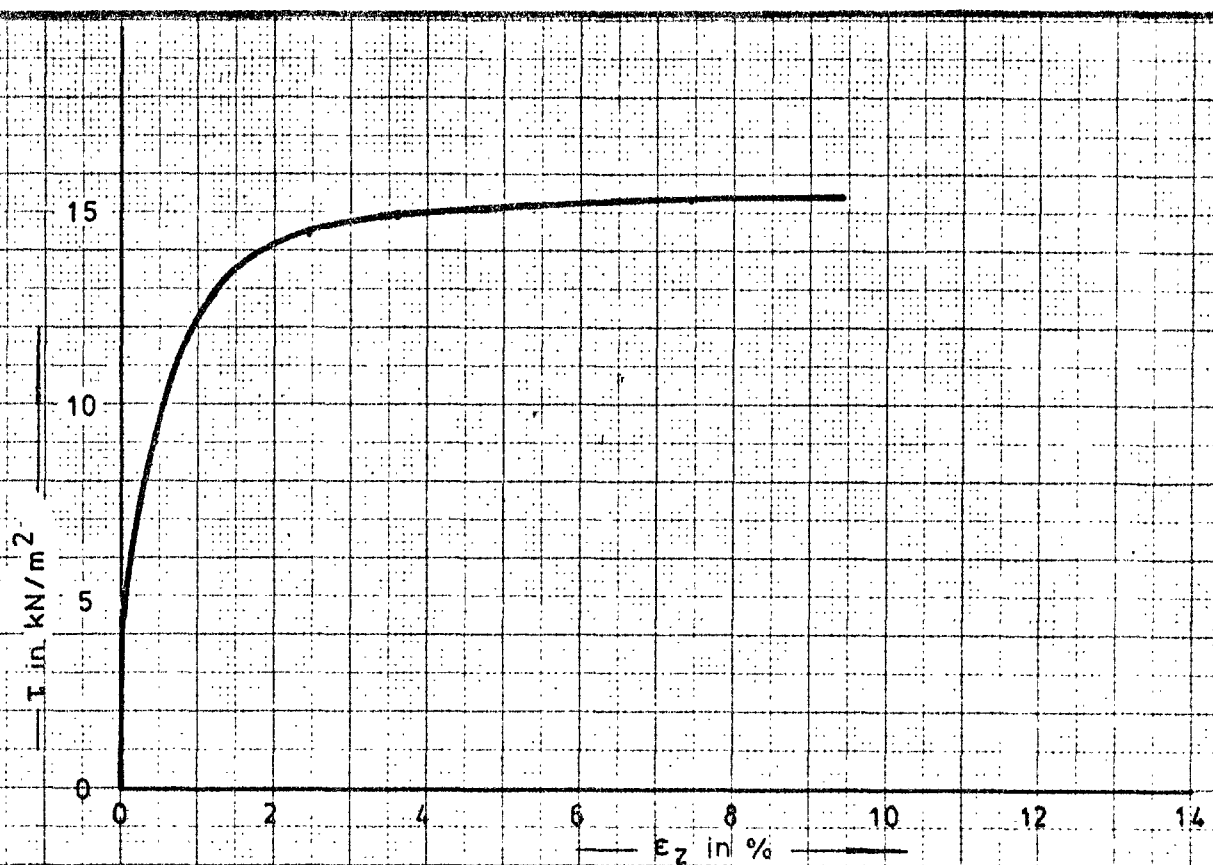


LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.L.O. 30 monster 100 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

voort
A₄

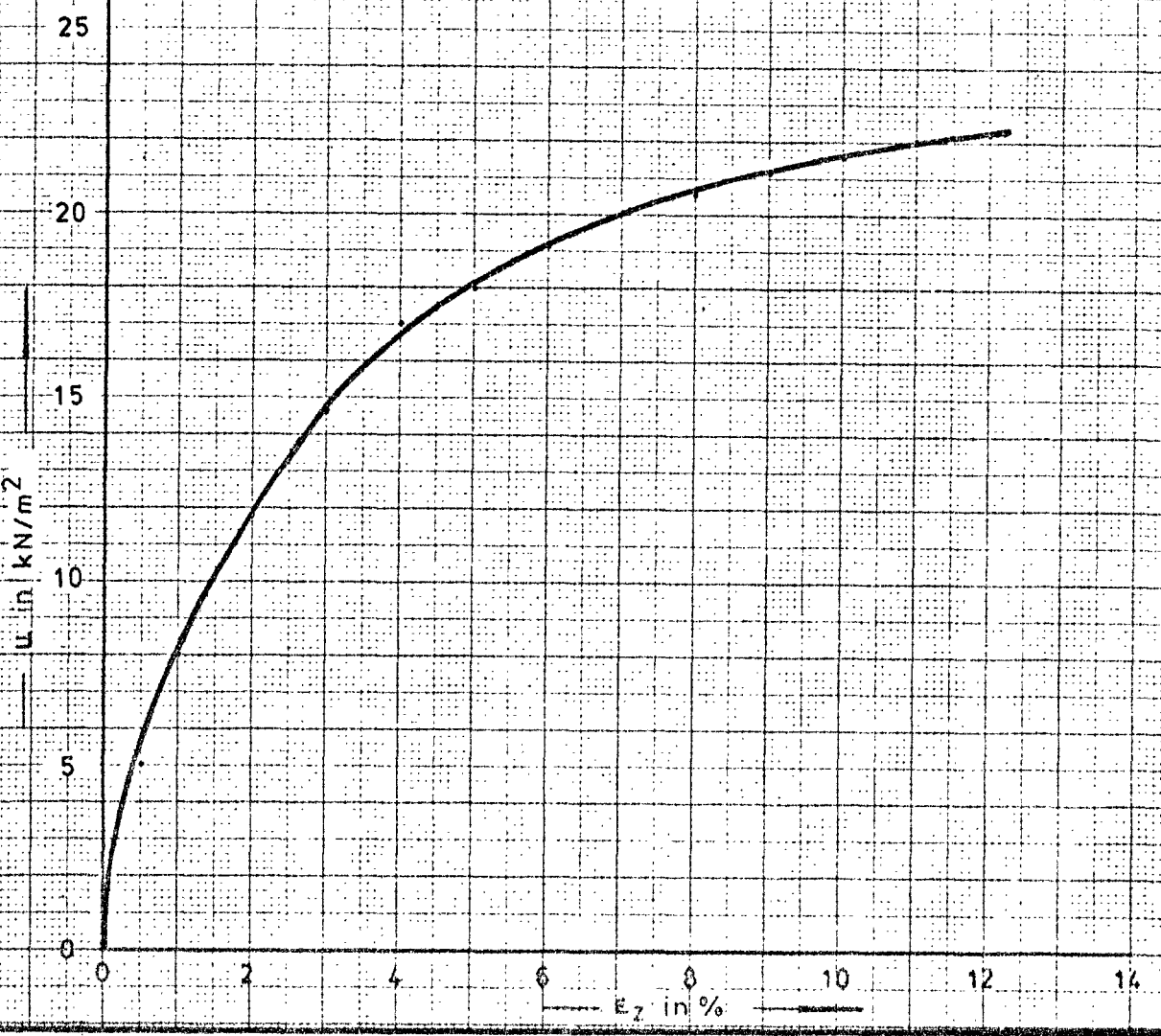
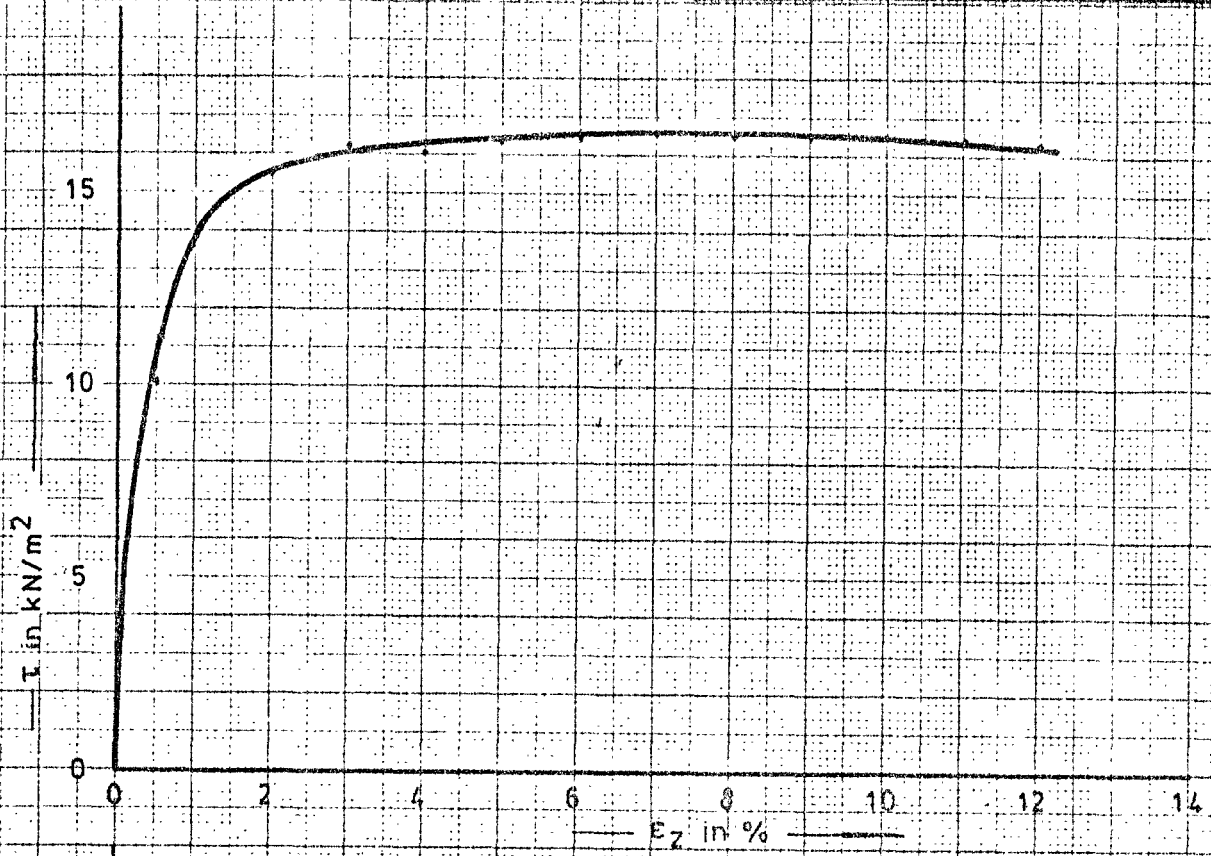
BIJLAGE 31
CO
23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 50 monster 17 $\epsilon_z = 6\%/h$ $G' = 46.6 \text{ kN/m}^2$

<i>voort</i>	BIJLAGE 32
A ₄	CO 23064-0

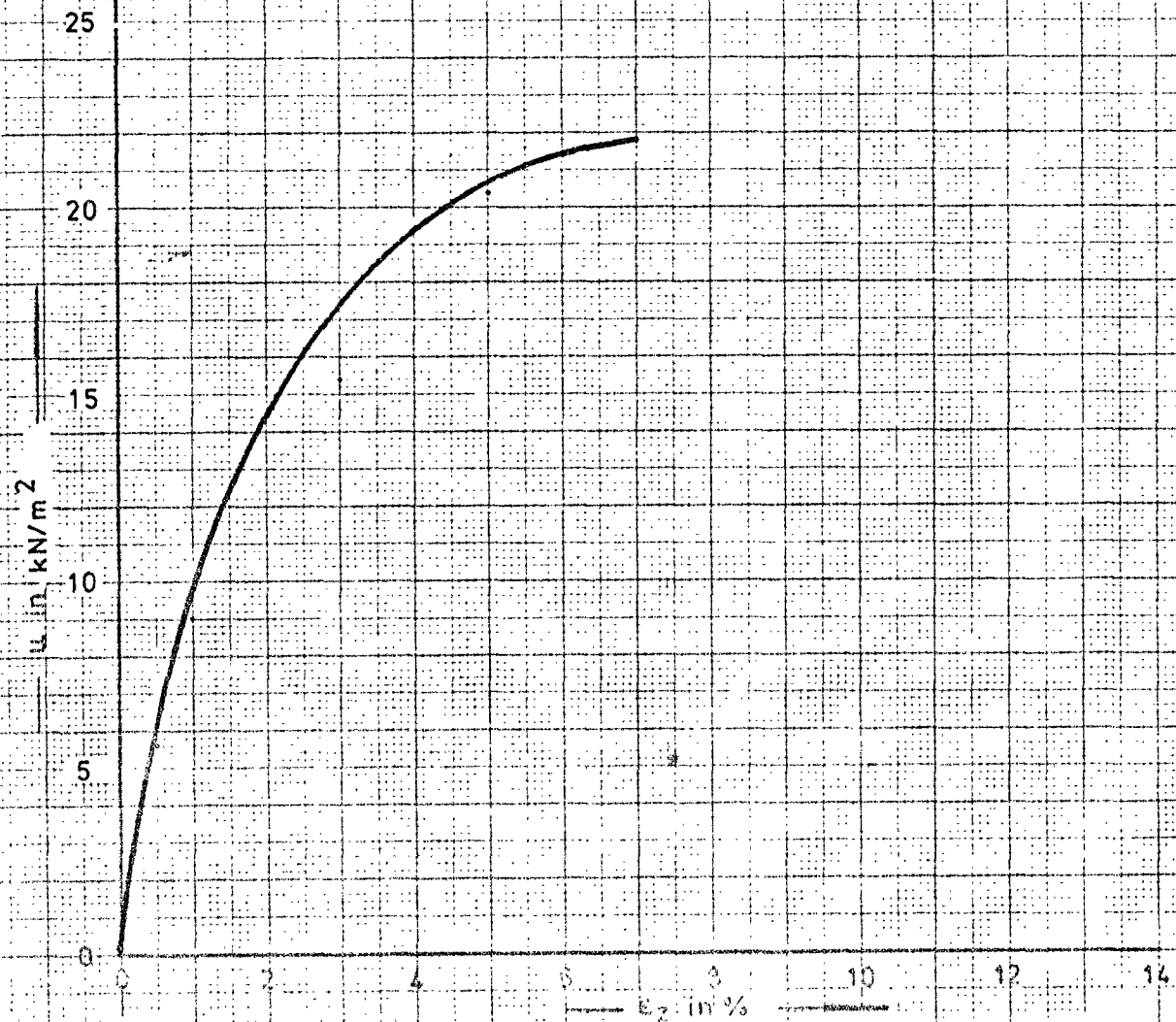
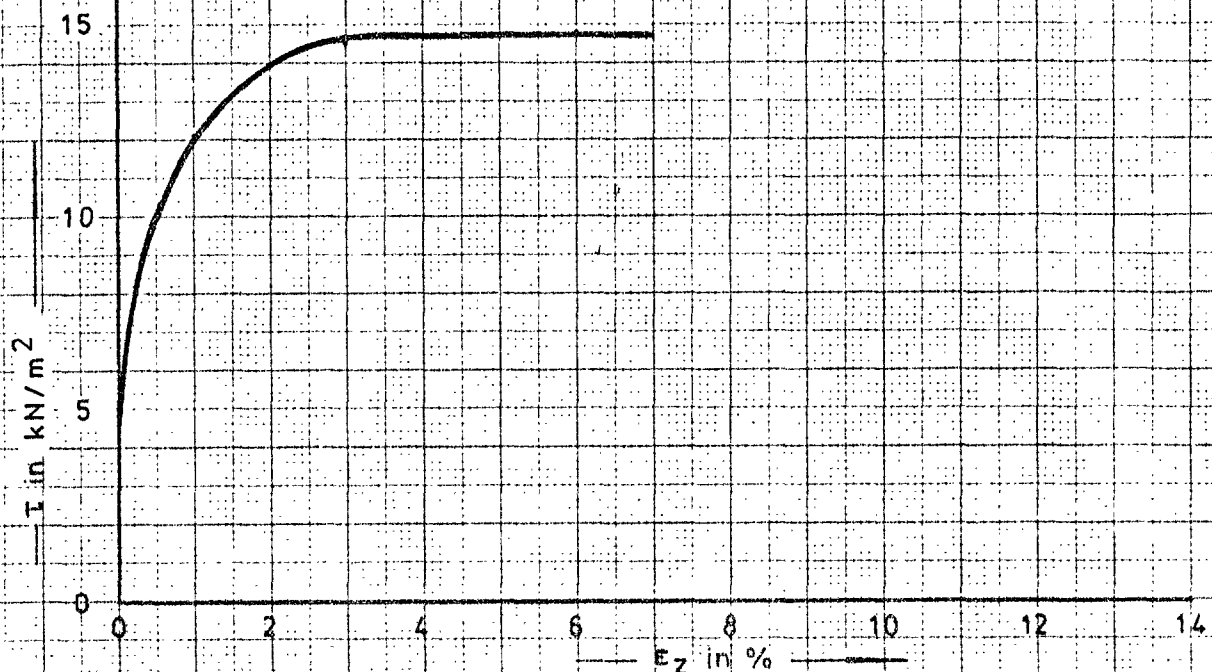


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 50 monster 23 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $G' = 46.8 \text{ kN/m}^2$

Voort
 A₄

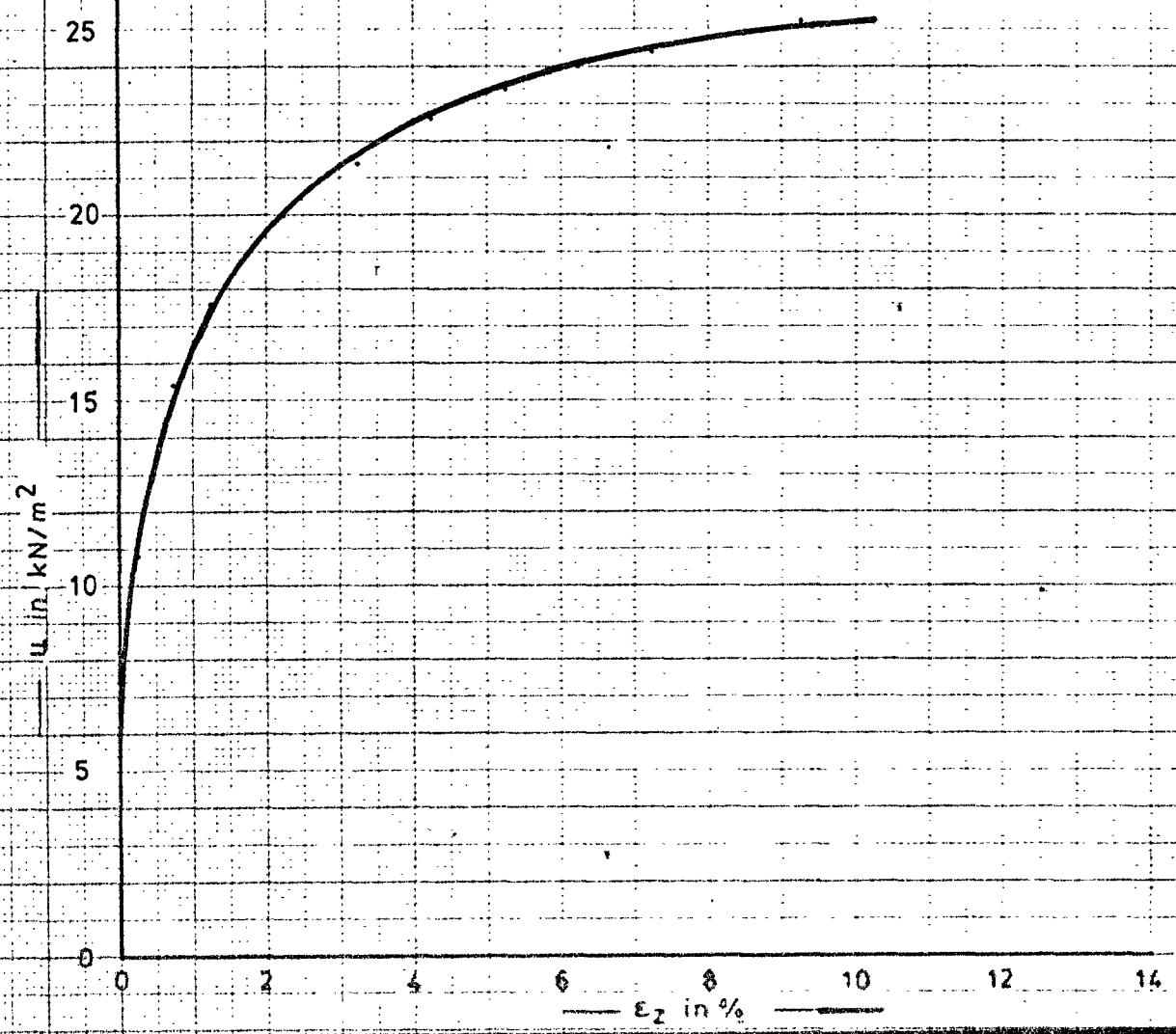
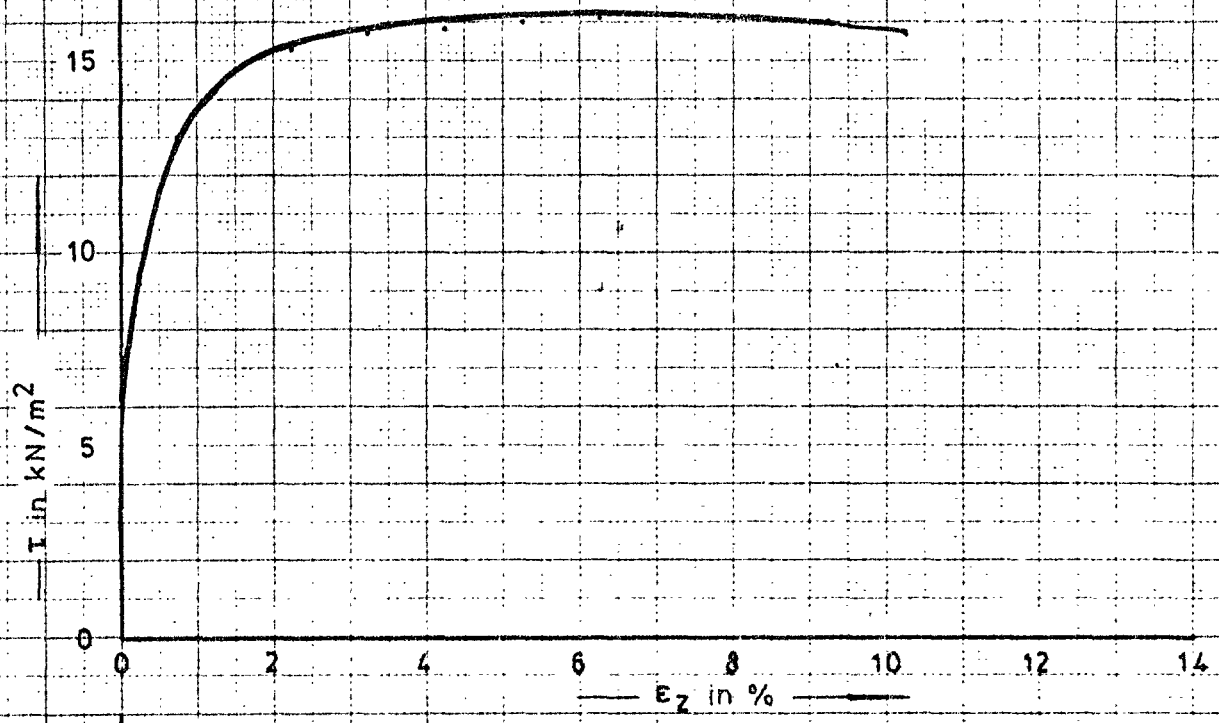
BIJLAGE 33
 CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.L.O. 50 monster 25
 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 41.6 \text{ kN/m}^2$

$\sqrt{\sigma'}$	BIJLAGE 34
A ₄	CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 50 monster 93 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 47.6 \text{ kN/m}^2$

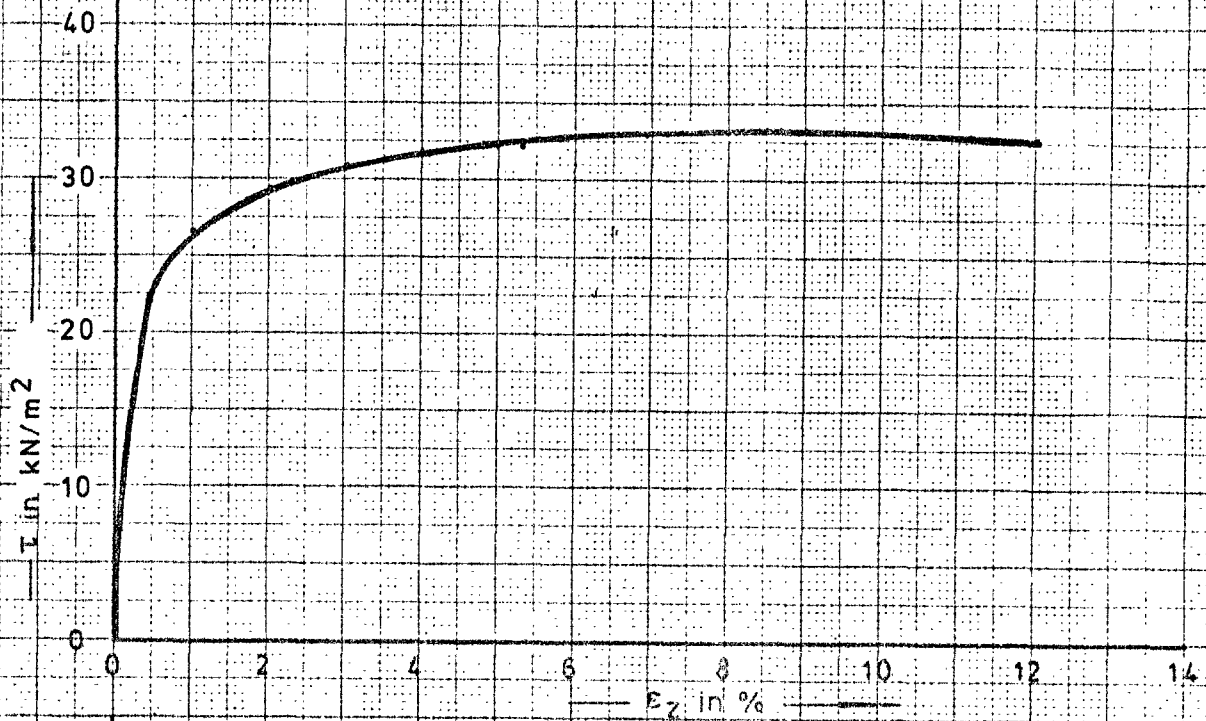
		BIJLAGE 35
A ₄		CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.O. 50 monster 97 $\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 47.8 \text{ kN/m}^2$

<i>out</i>		BIJLAGE 36
A ₄		CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.L.O.120

monster34

$\epsilon_z = 6\%/h$

$G' = 117.8 \text{ kN/m}^2$

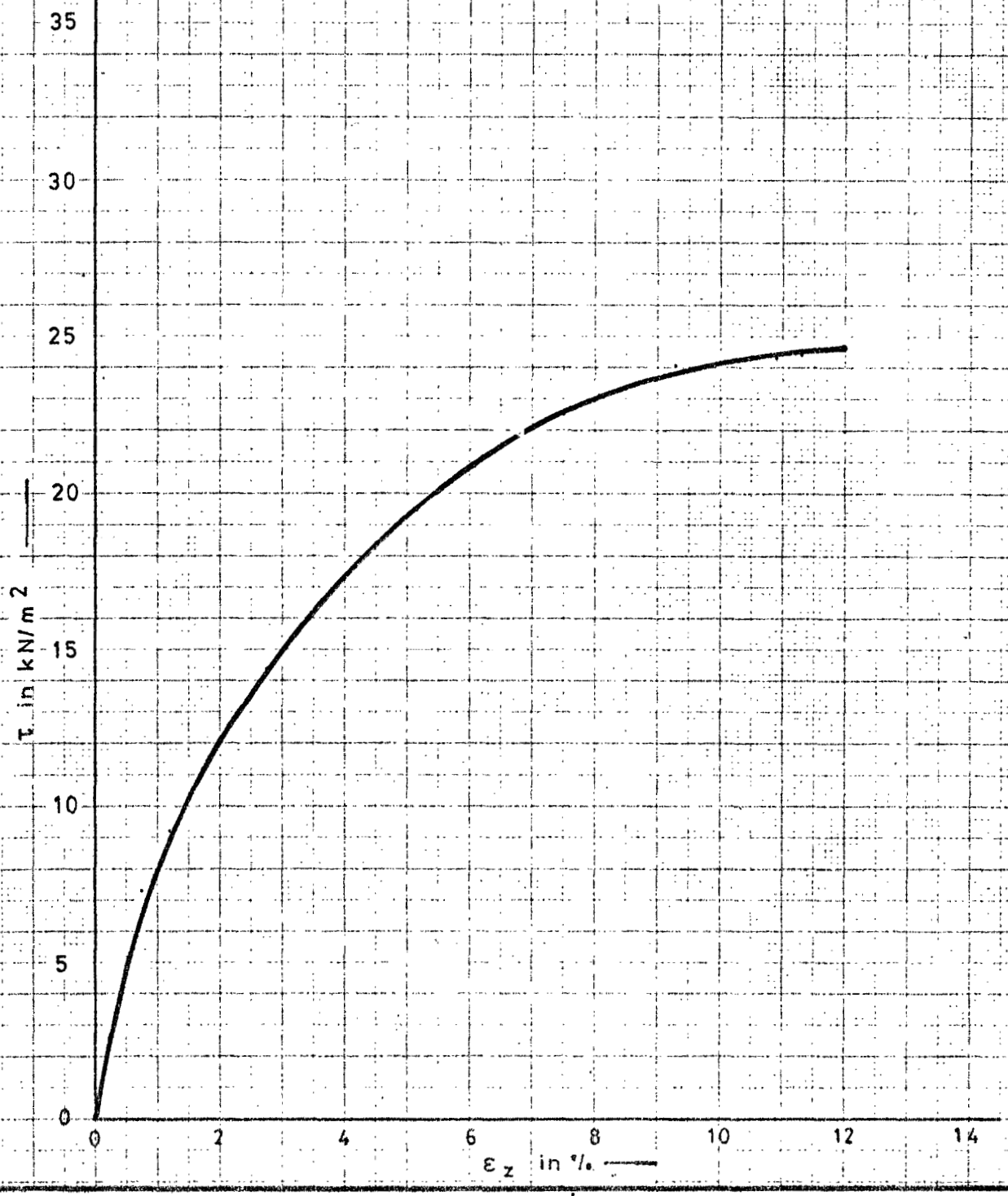
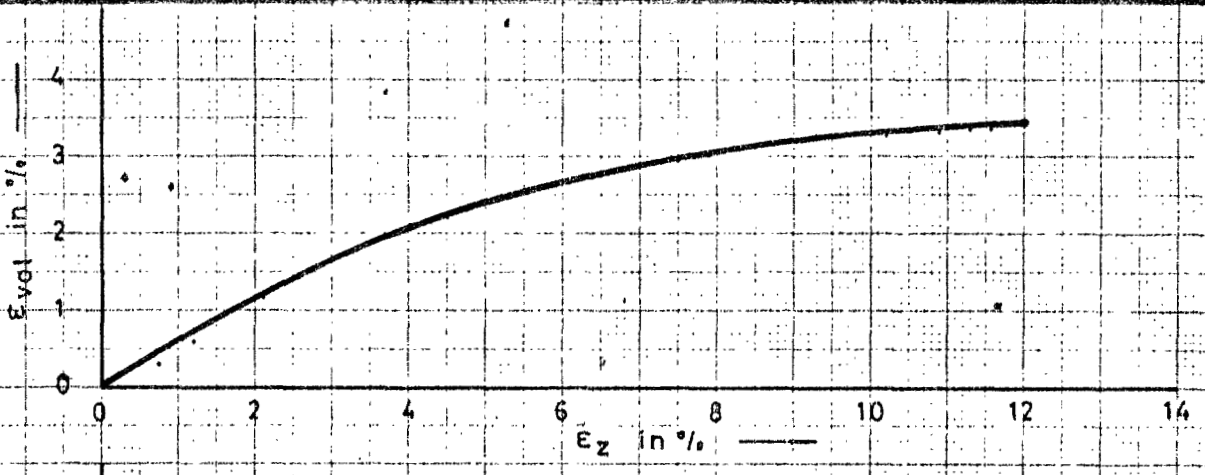
voort

A₄

BIJLAGE 37

CO

23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T. L.D. 30 monster 20	$\epsilon_z = 0.022 \% / h$		BIJLAGE 38
	$\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$		
	A_4		CO 230640

T.L.D. 30 monster 20

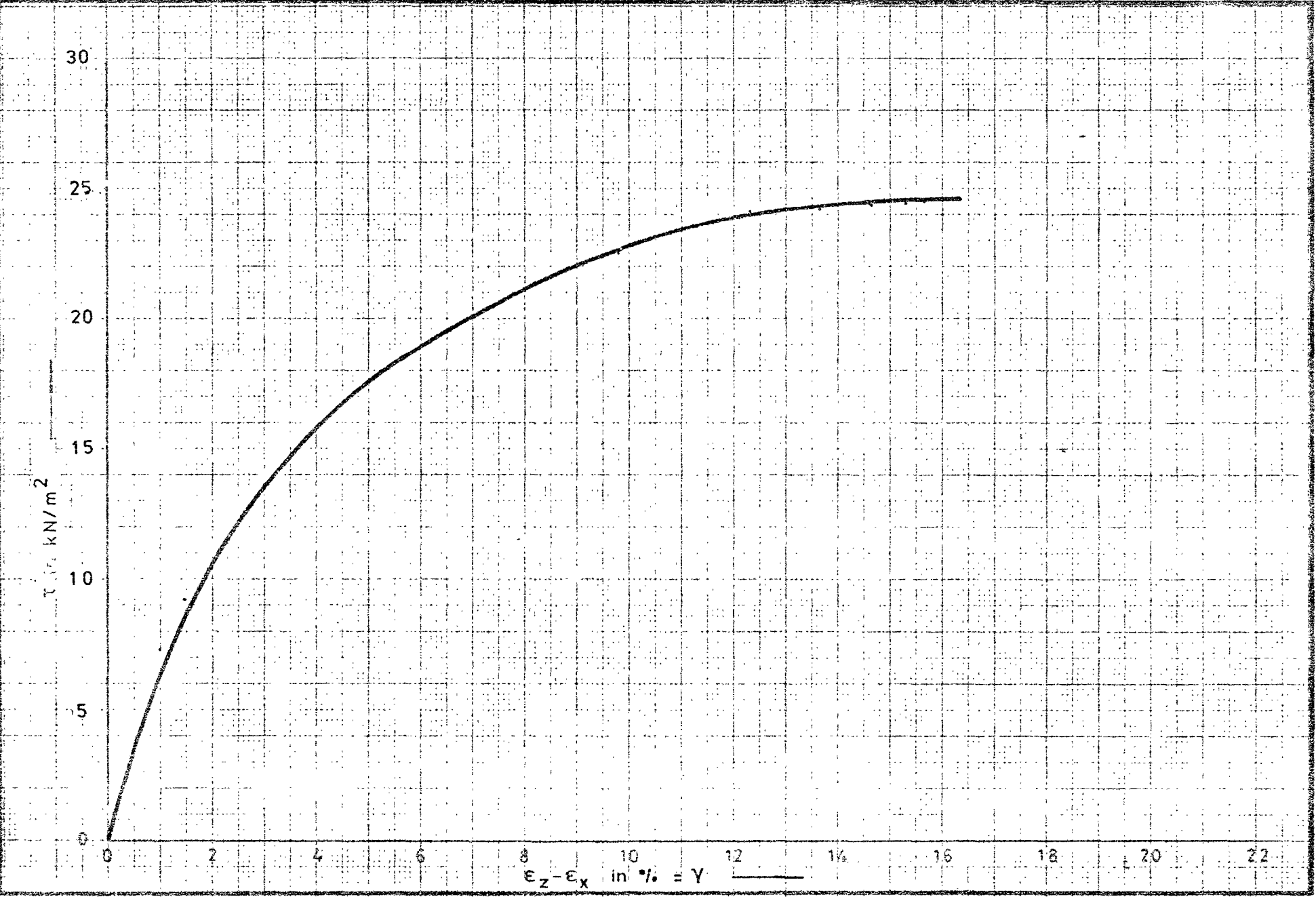
$\epsilon_z = 0.022\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

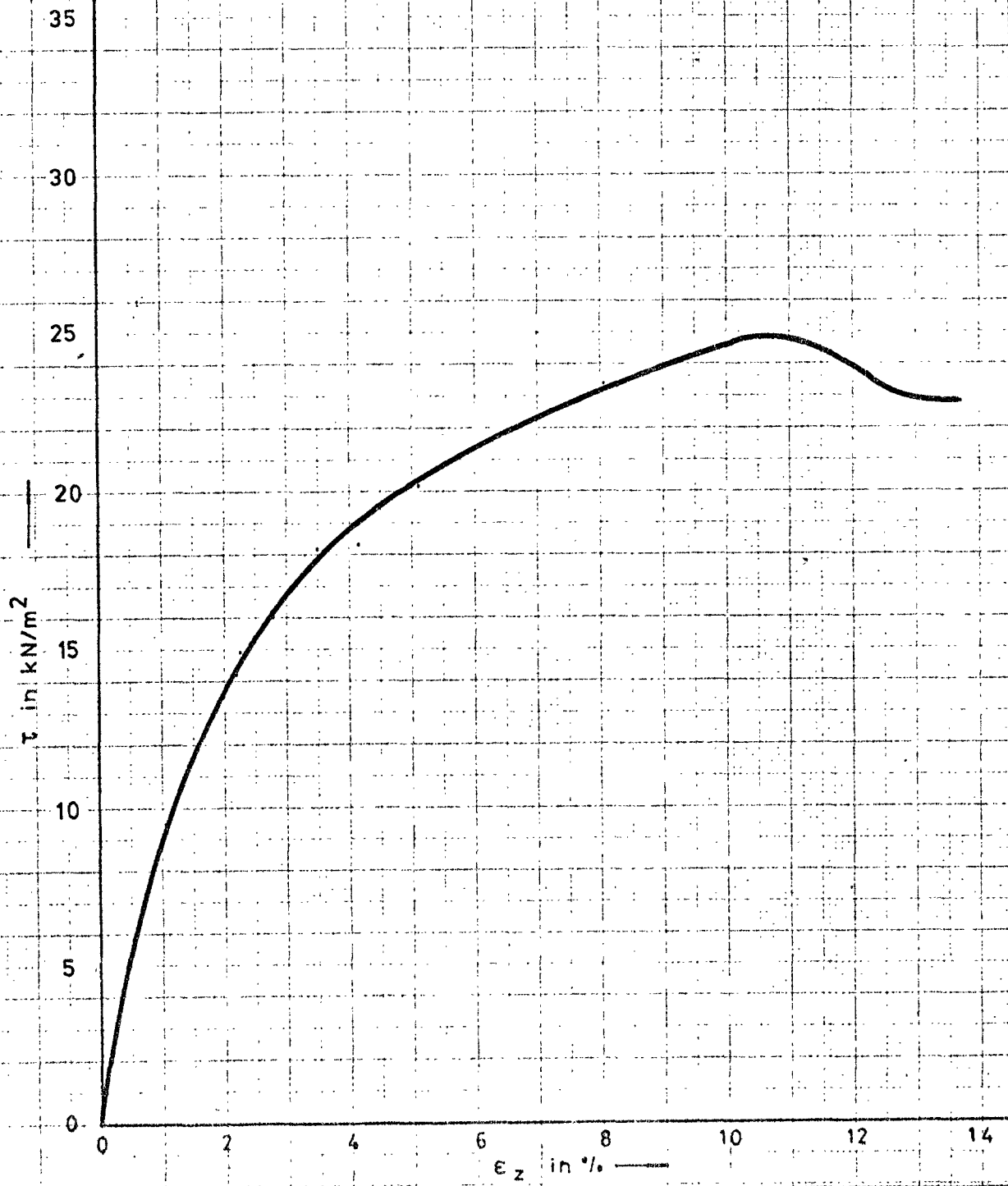
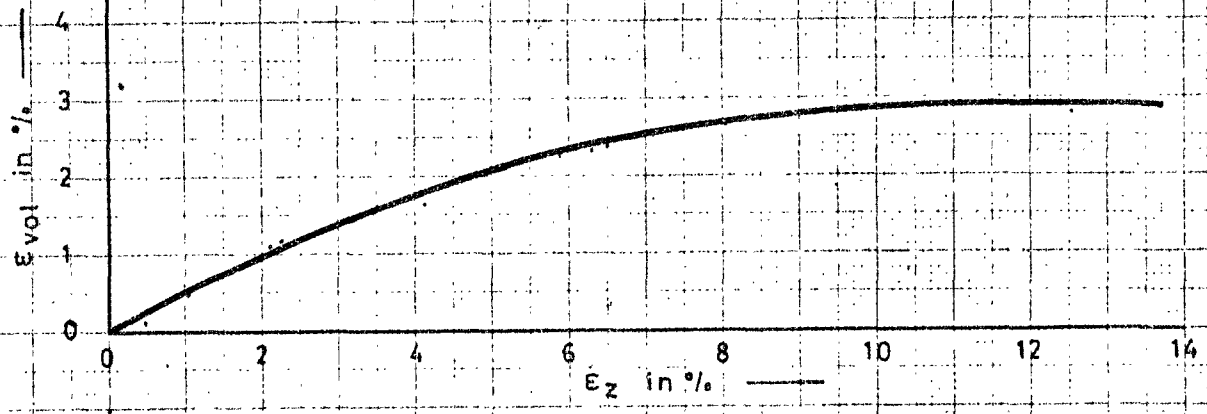
A₁

CO-230640

BILAGE 39

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DEFT



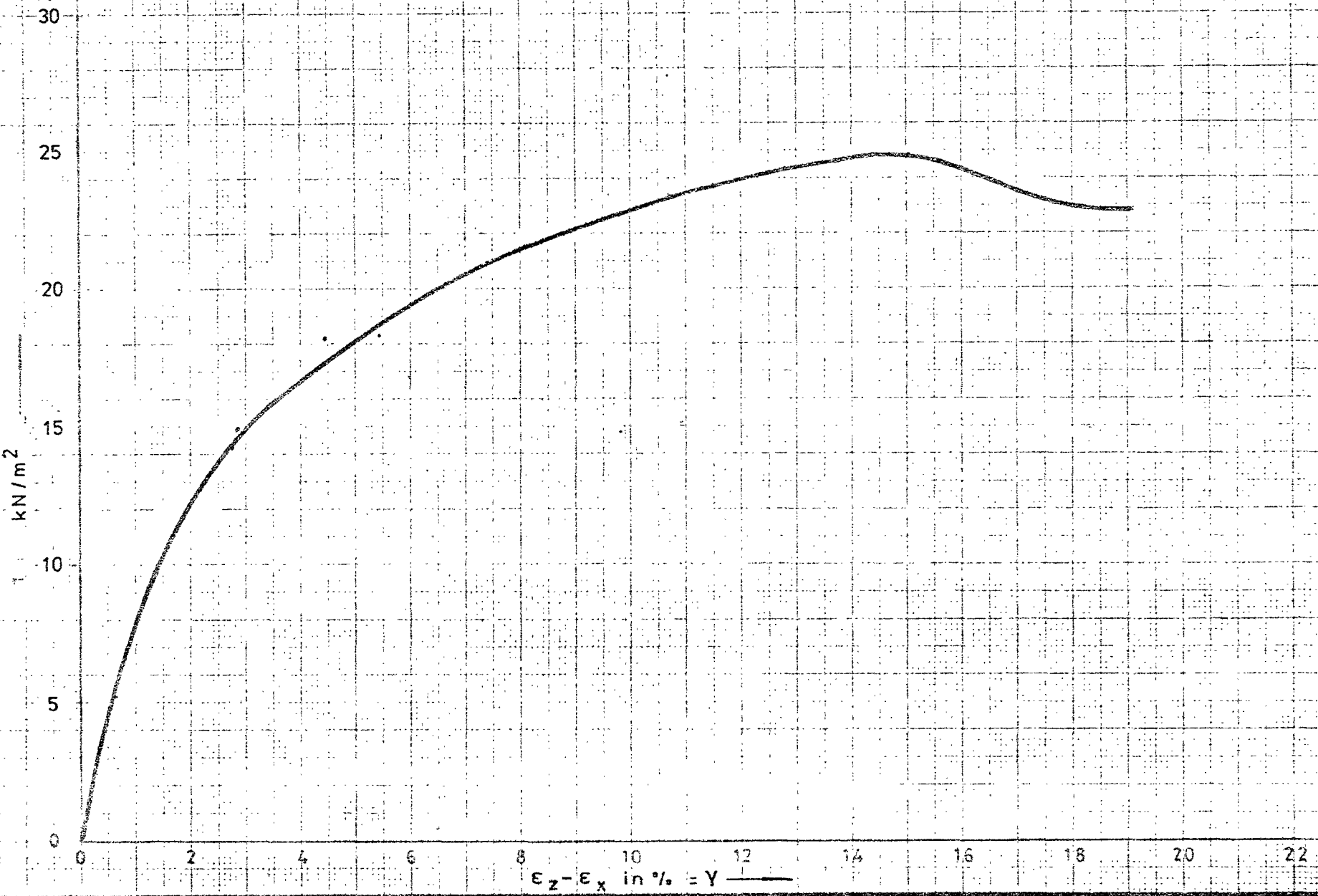


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.L.D. 30 monster 37

$\epsilon_z = 0.022\%/h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

		BIJLAGE 40
A ₄		CO 230640



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

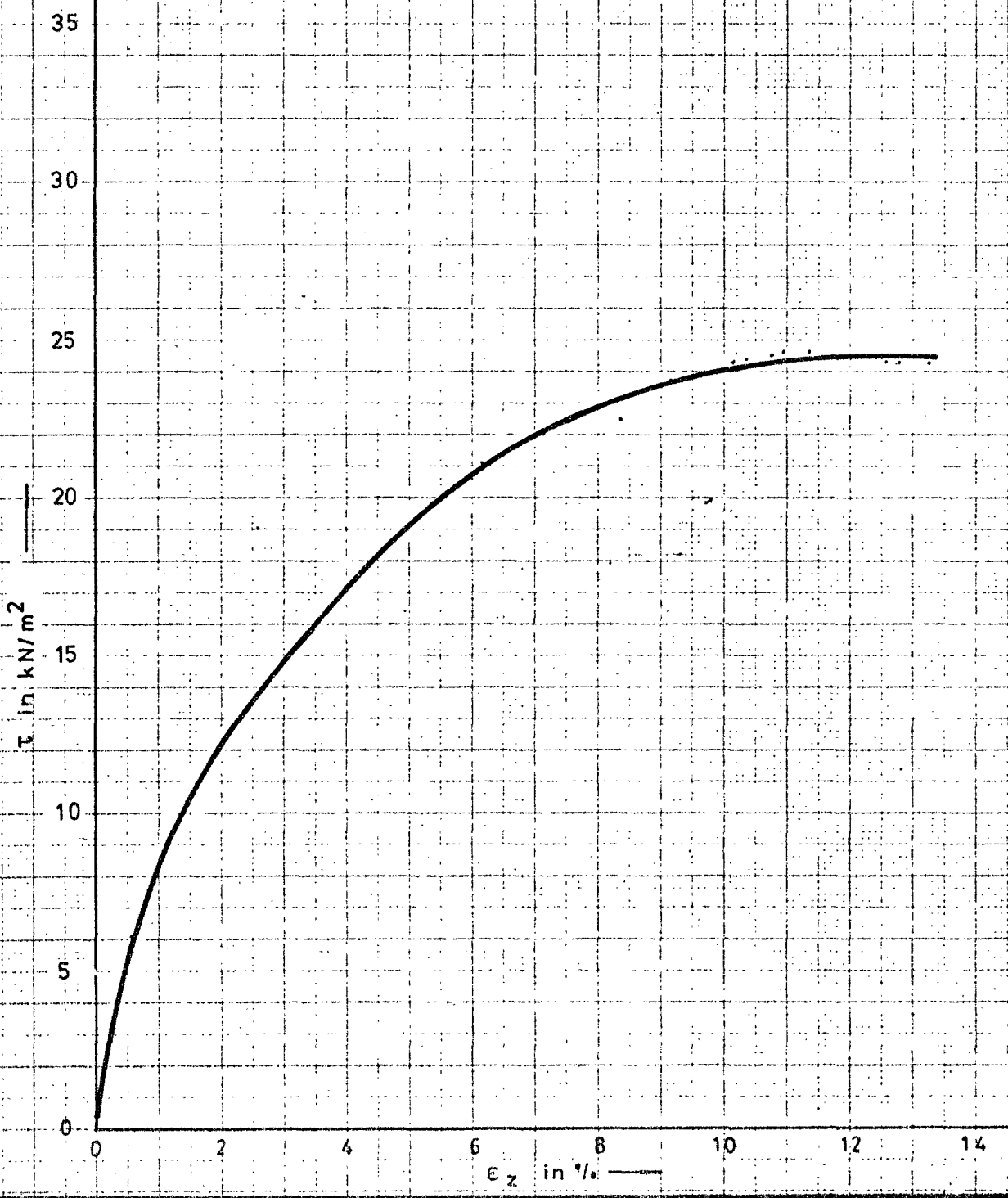
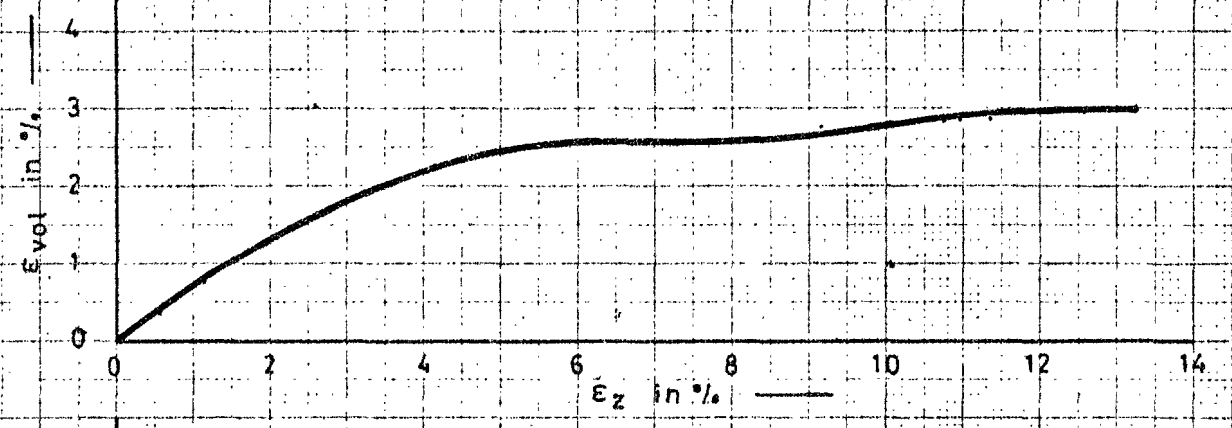
T.L.D 30 monster 37

$\epsilon_z = 0.022\%/h$
 $\sigma'_1 = 30 \text{ kN/m}^2$

A₁

CO-230640

BILLAG 41



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

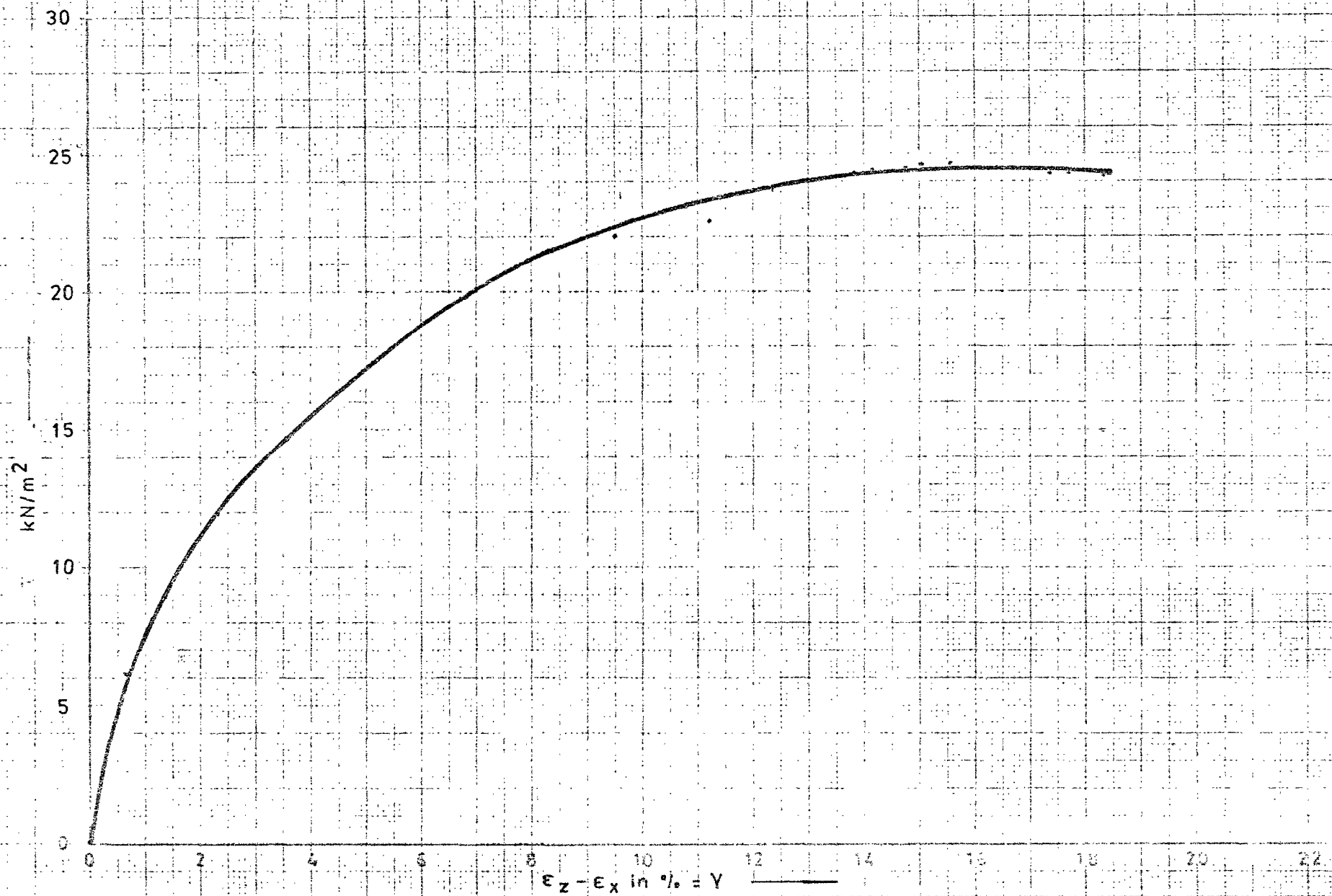
$\epsilon_z = 0.022 \% / h$
 $\sigma' = 30 \text{ kN/m}^2$

BIJLAGE 42

T.L.D. 30 monster 56

A₄

CO 230640



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

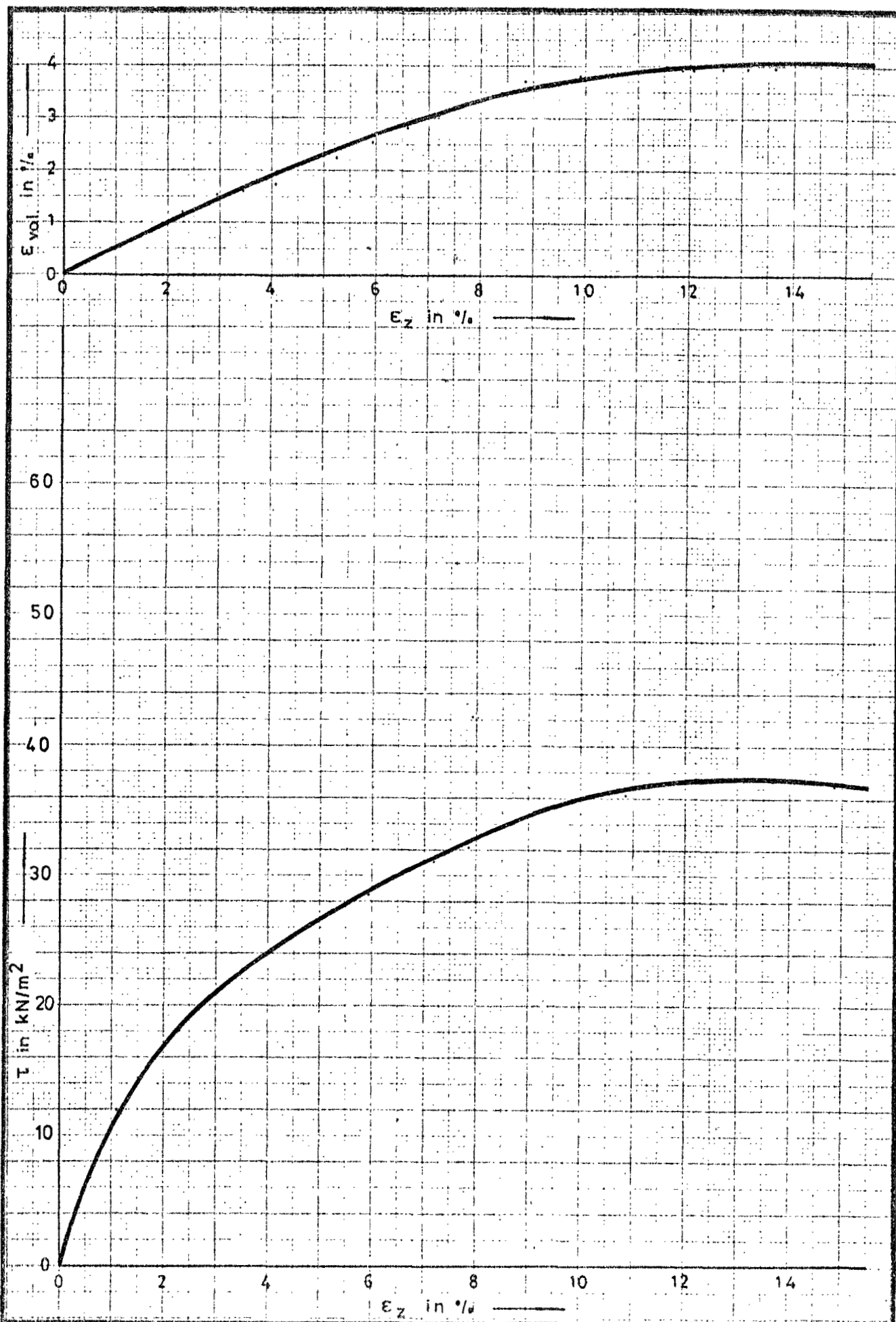
T.L.D. 30 monster 56

$\epsilon_z = 0.022\%/h$
 $\sigma'_1 = 30 \text{ kN/m}^2$

A₁

DILANCE 43

CO-230640



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

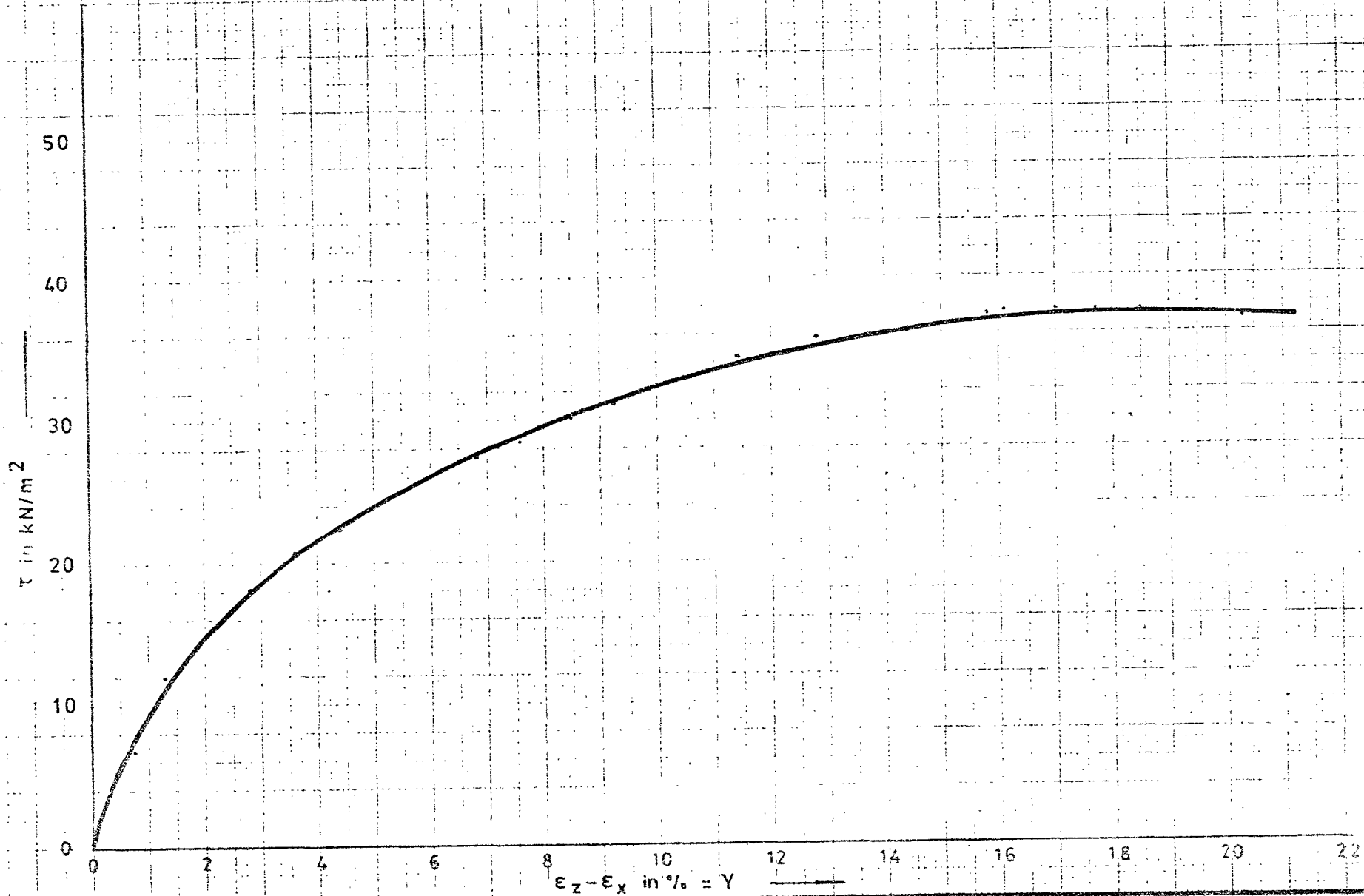
$\epsilon_z = 0.022 \% / h$
 $\sigma' = 50 \text{ kN/m}^2$

BIJLAGE 44

T.L.D. 50 monster 27

A₄

CO-230640



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

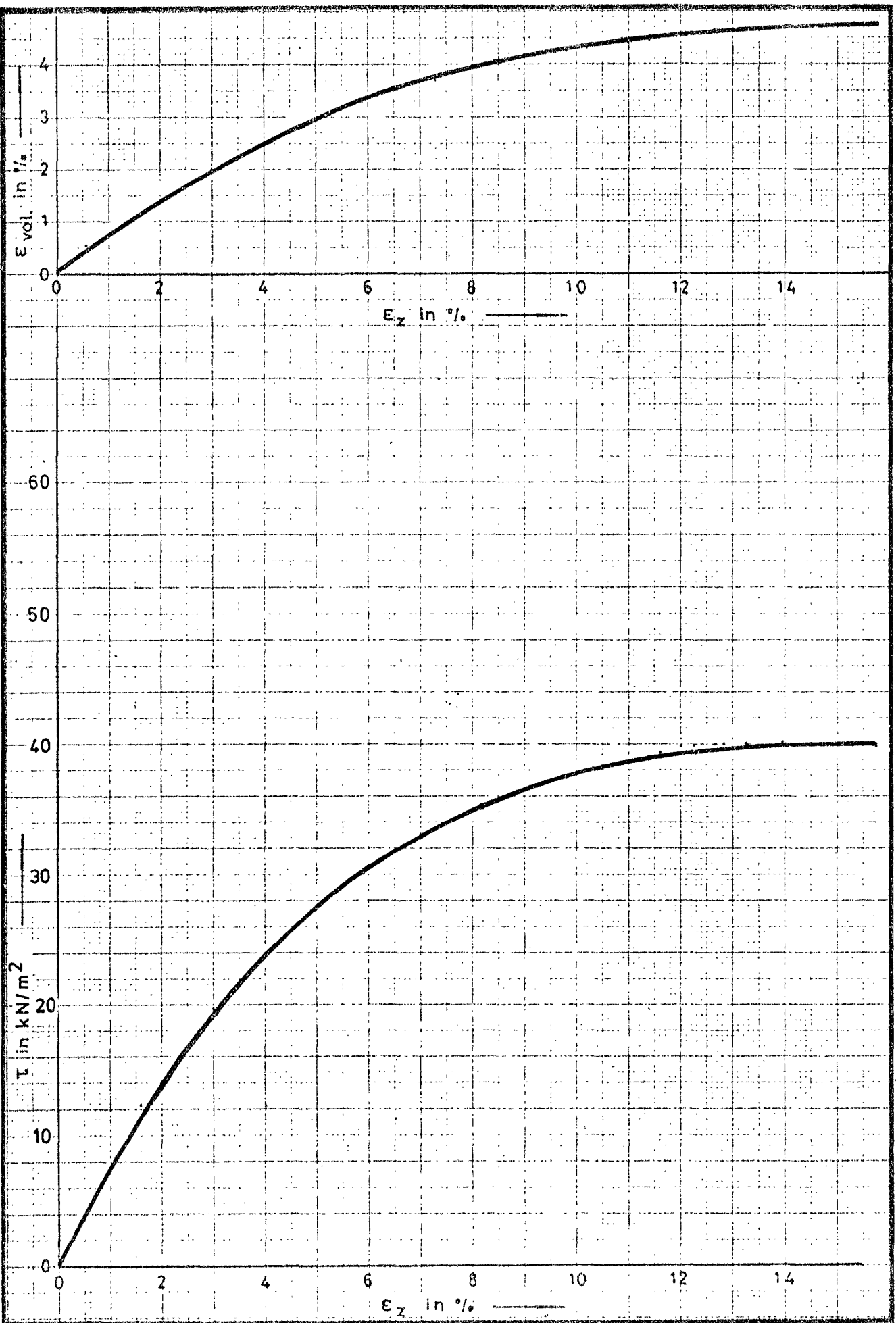
T.L.D 50 monster 27

$\epsilon_z = 0.022\%/h$
 $\sigma'_1 = 50 \text{ kN/m}^2$

A ₁			BUIJAGE 45
		CO-230640	

4486

2955



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

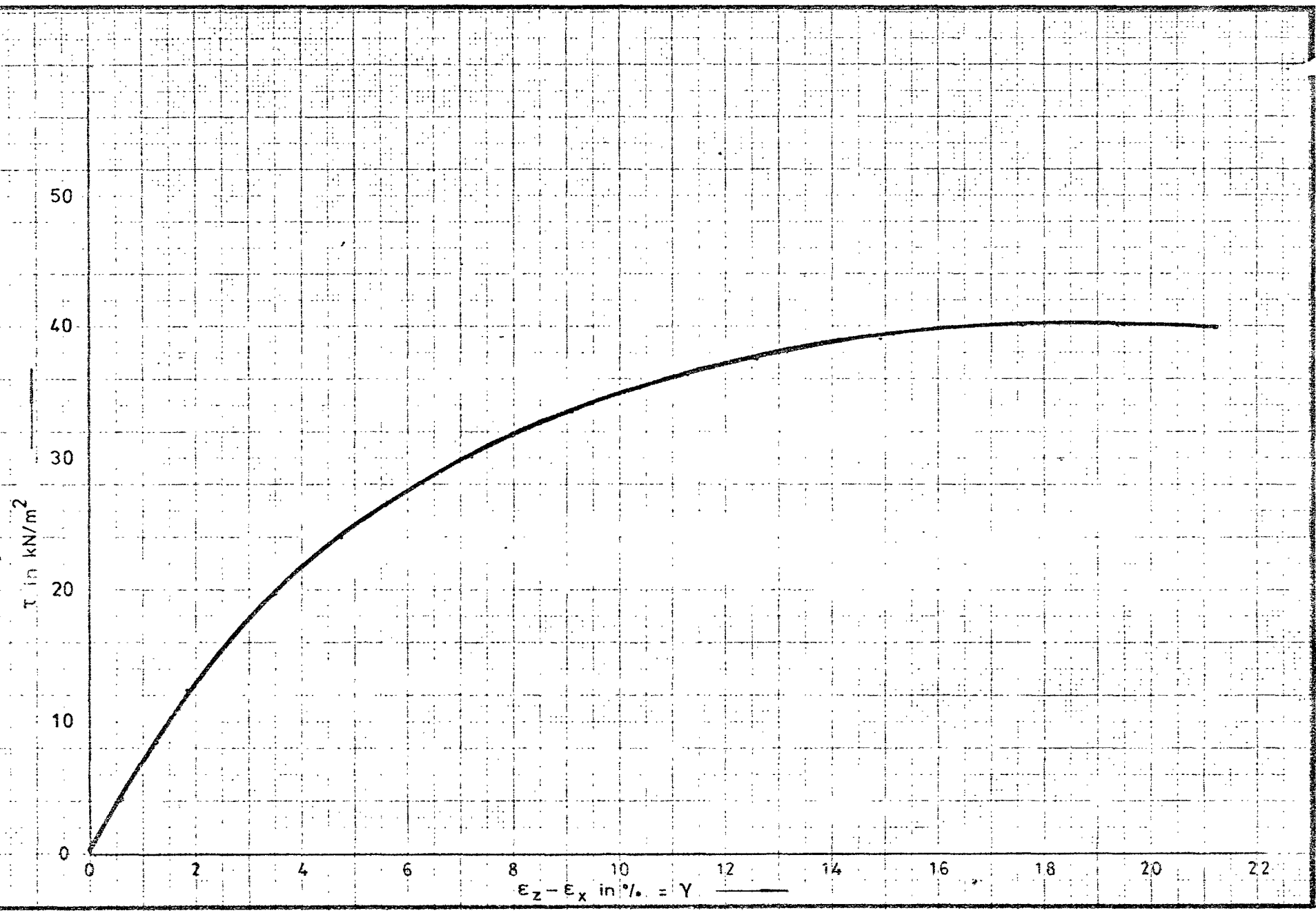
T.L.D 50 monster 31

$\epsilon_z = 0.022 \% / h$
 $\sigma' = 50 \text{ kN/m}^2$

A₄

BIJLAGE 46

CO-230640



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

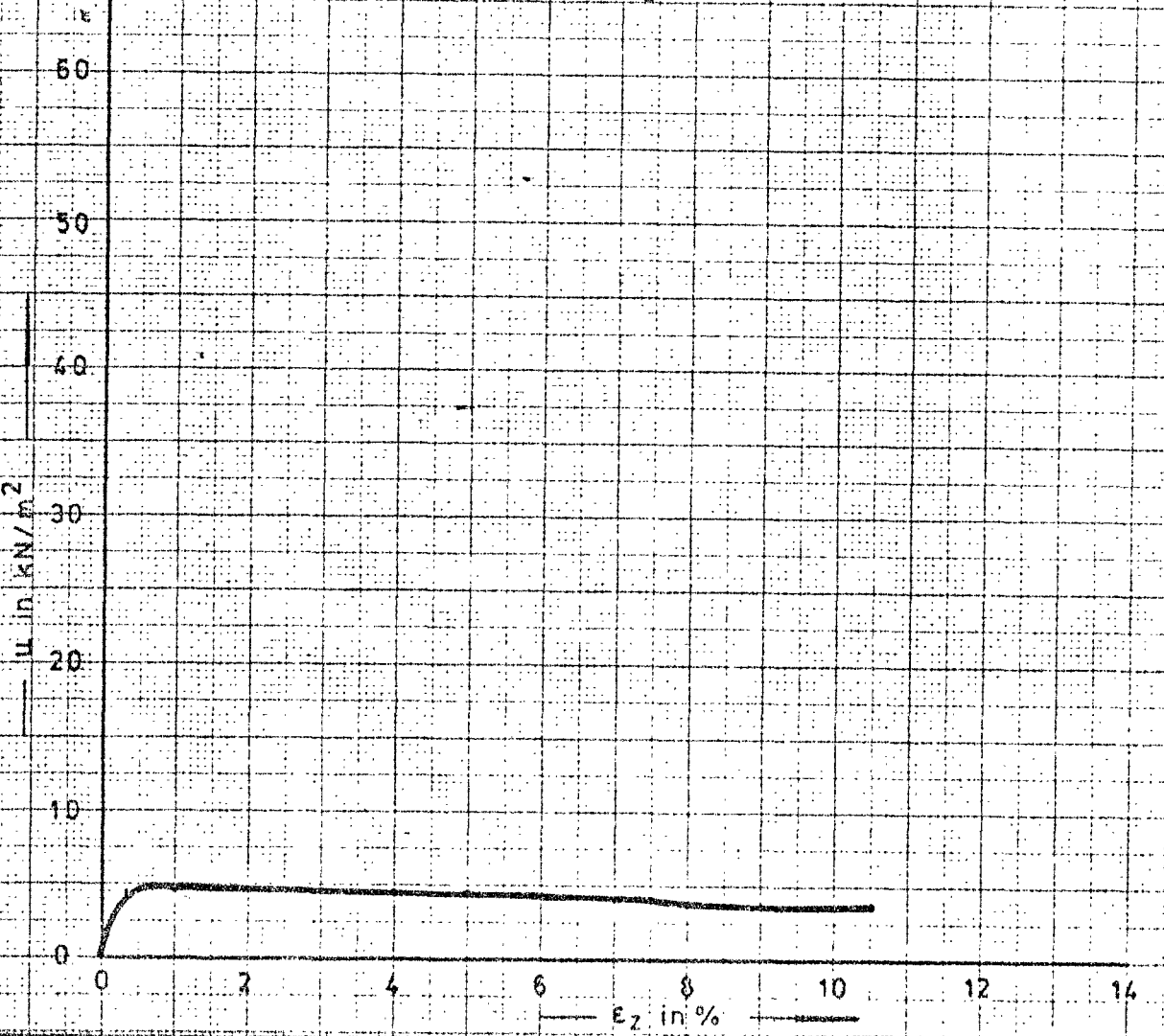
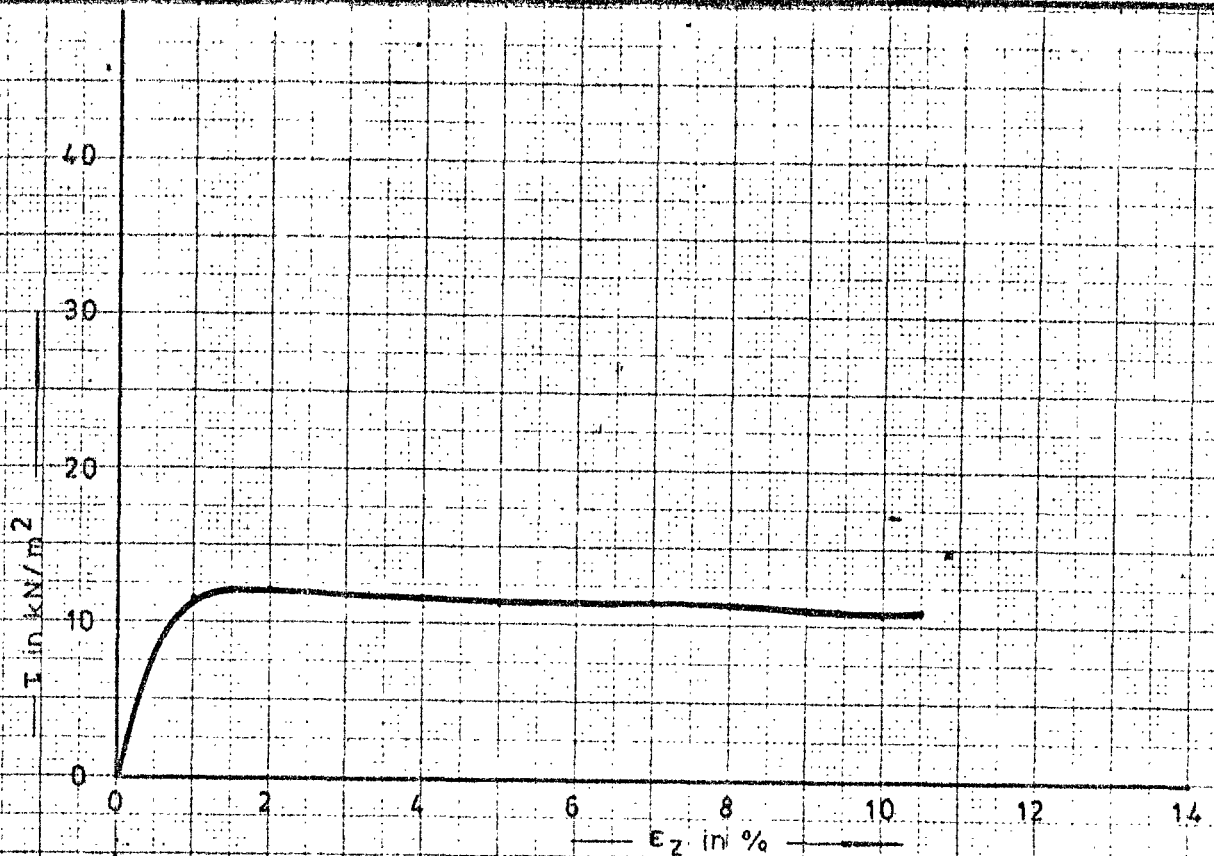
T.L.D. 50 monster 31

$\epsilon_z = 0.022\ %/h$
 $\sigma'_1 = 50\ kN/m^2$

A ₄	
CO-230640	BILAGE 47

1480

2953

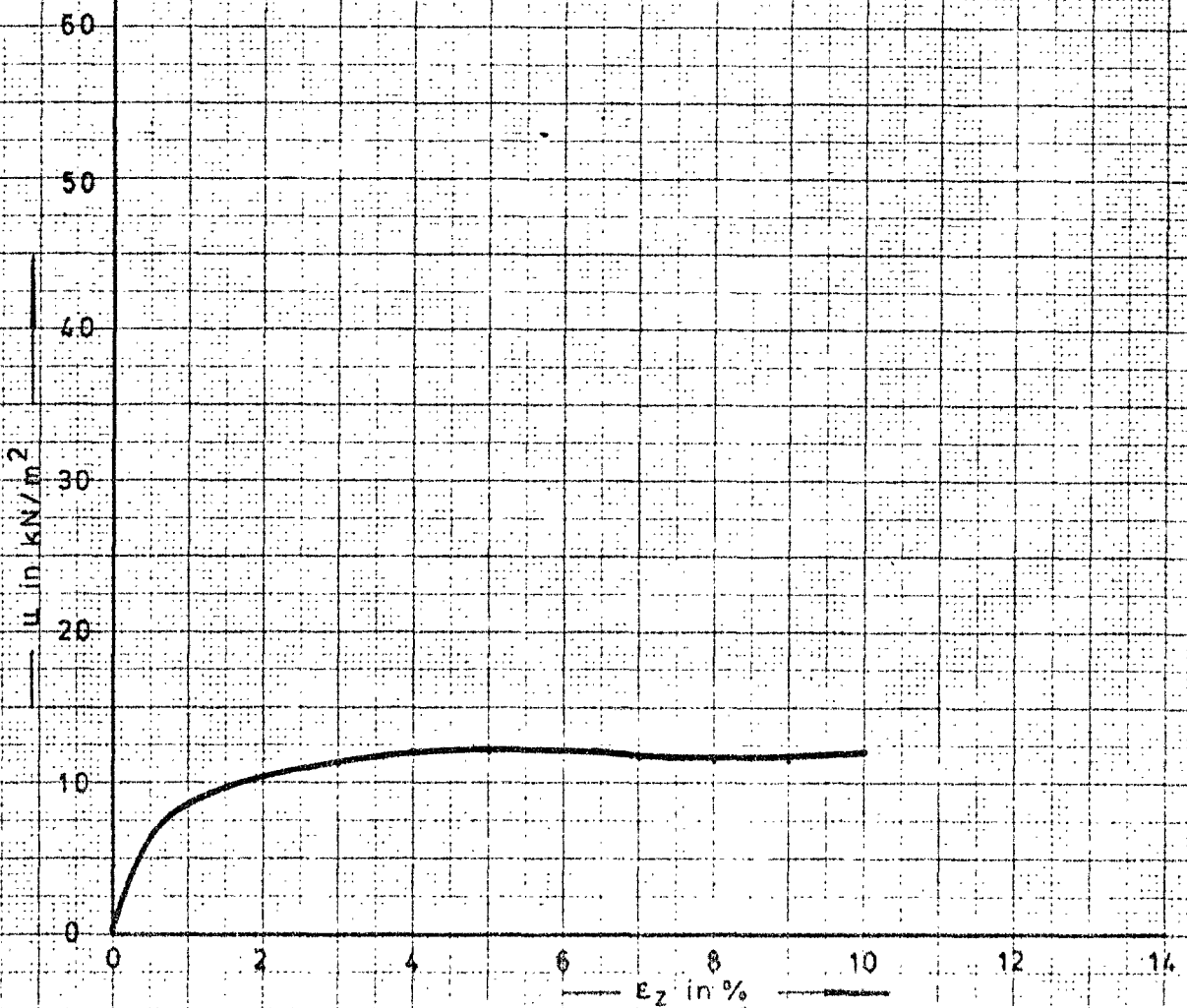
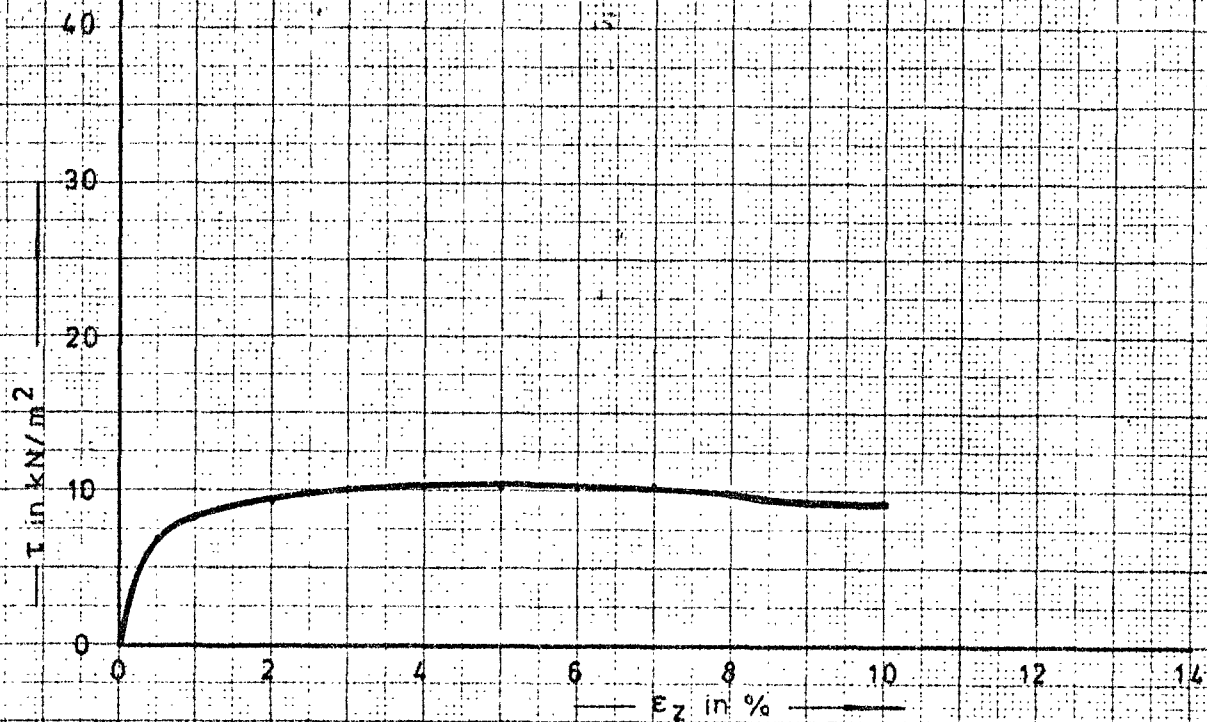


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster 77 $\epsilon_z = 0.6 \% / h$
 $\sigma'_v = 15 \text{ kN/m}^2$

ort
 A₄

BIJLAGE 48
 CO 23064-0

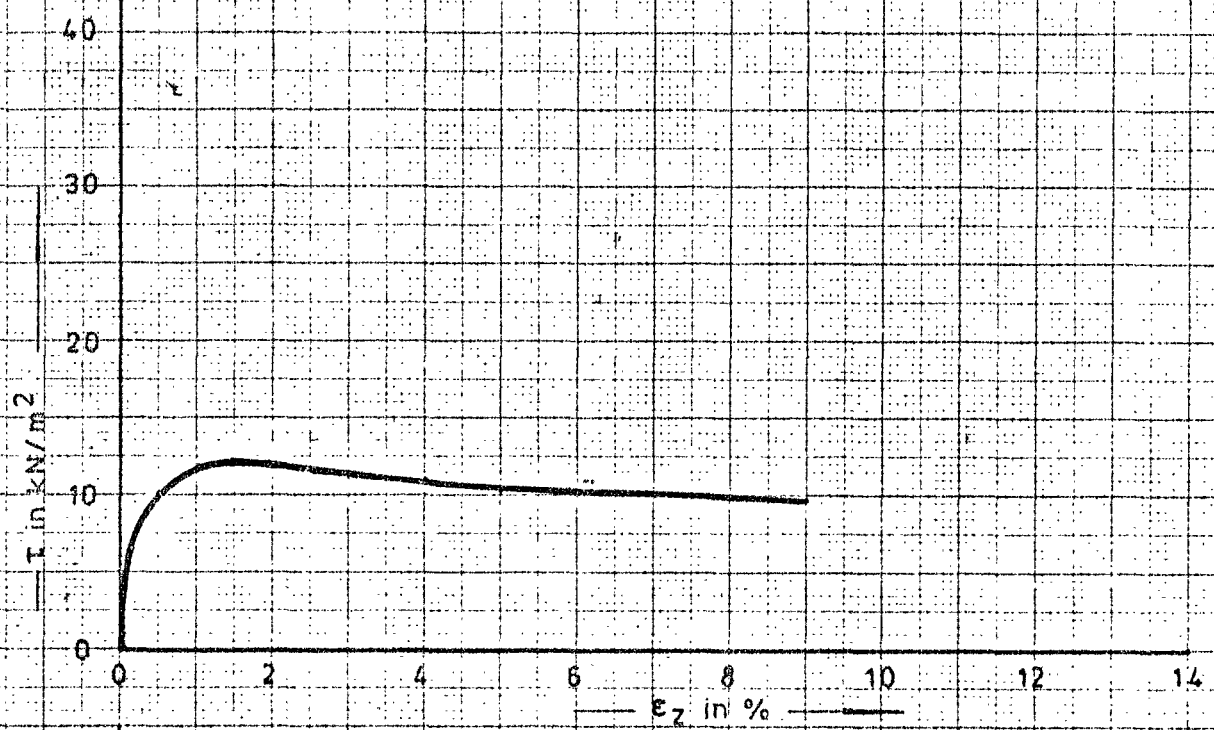


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster109 $\epsilon_z = 0.6\%/h$
 $G' = 21 \text{ kN/m}^2$

✓
 A₄

BIJLAGE 49
 CO
 23064-0

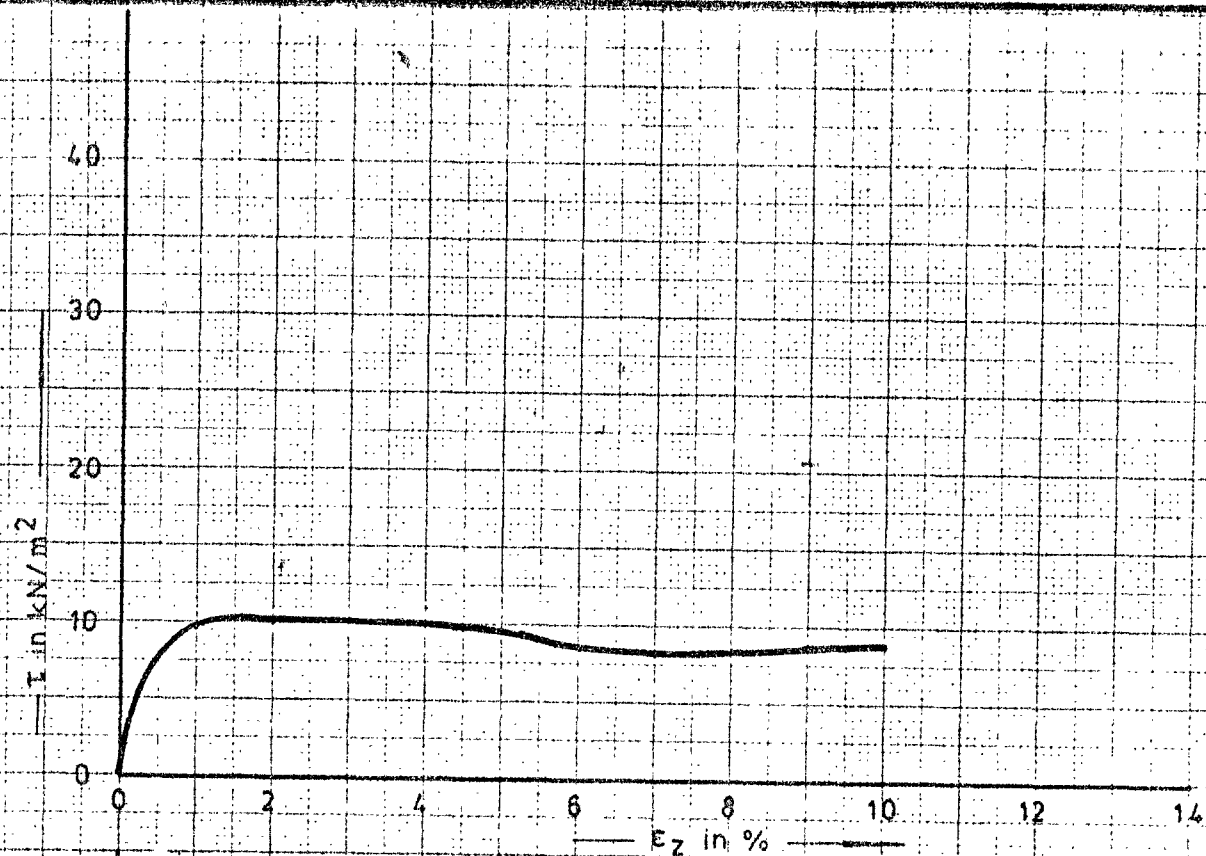


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster 80 $\epsilon_z = 0.6 \text{ \% / h}$
 $\sigma' = 22 \text{ kN/m}^2$

$\sqrt{\sigma'}$
 A_4

BIJLAGE 50
 CO
 23064-0

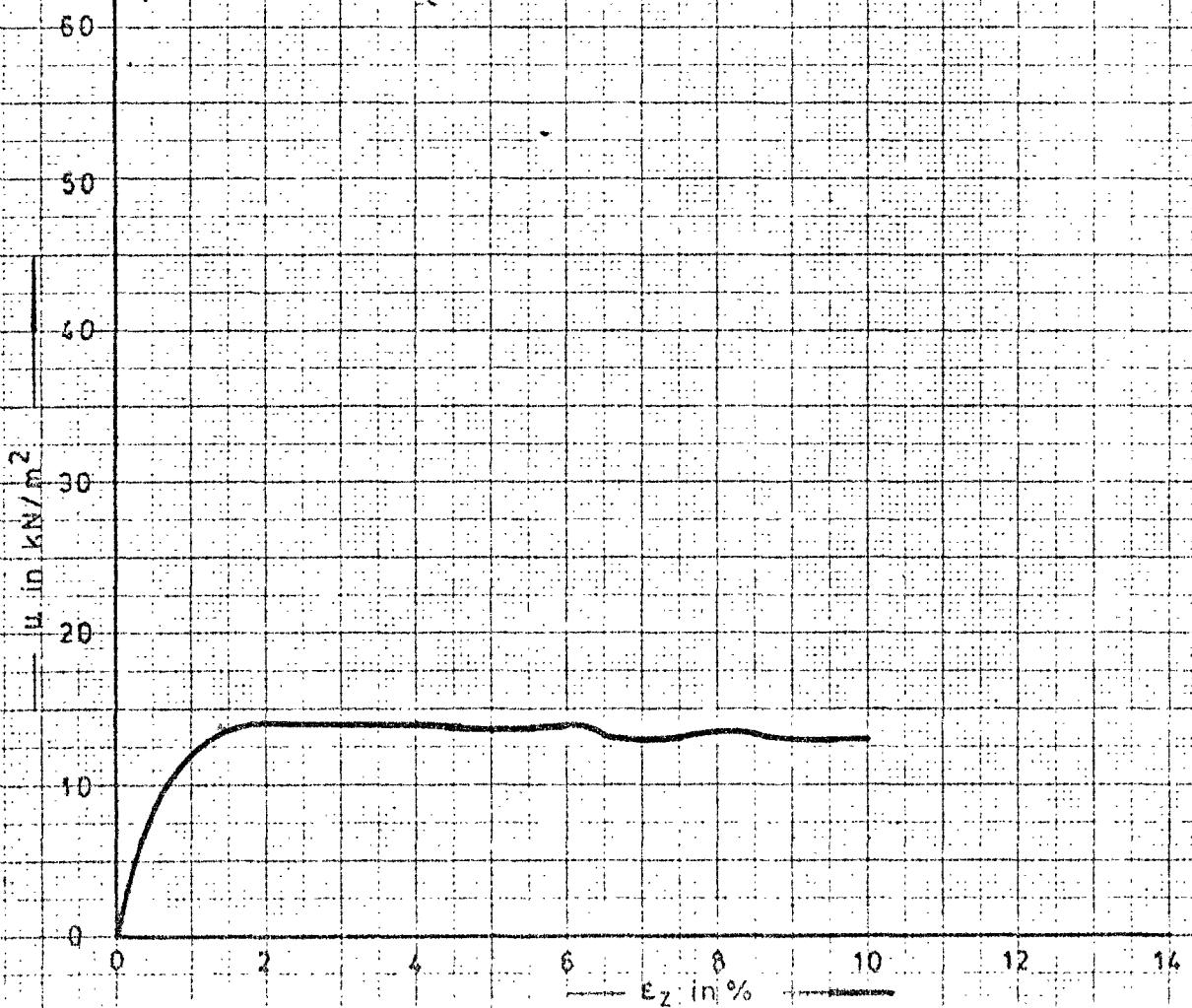
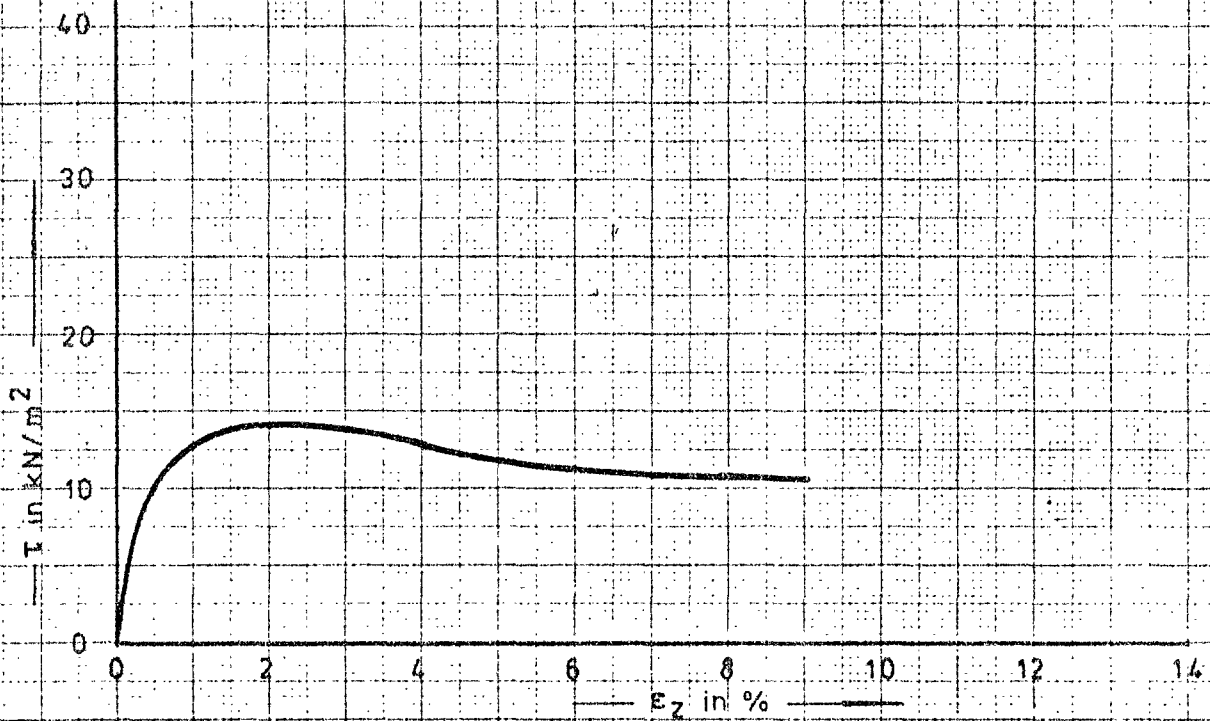


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster 79 $\epsilon_z = 0.6\% / h$
 $\sigma' = 23.2 \text{ kN/m}^2$

Handwritten signature
 A₄

BIJLAGE 51
 CO
 23064-0



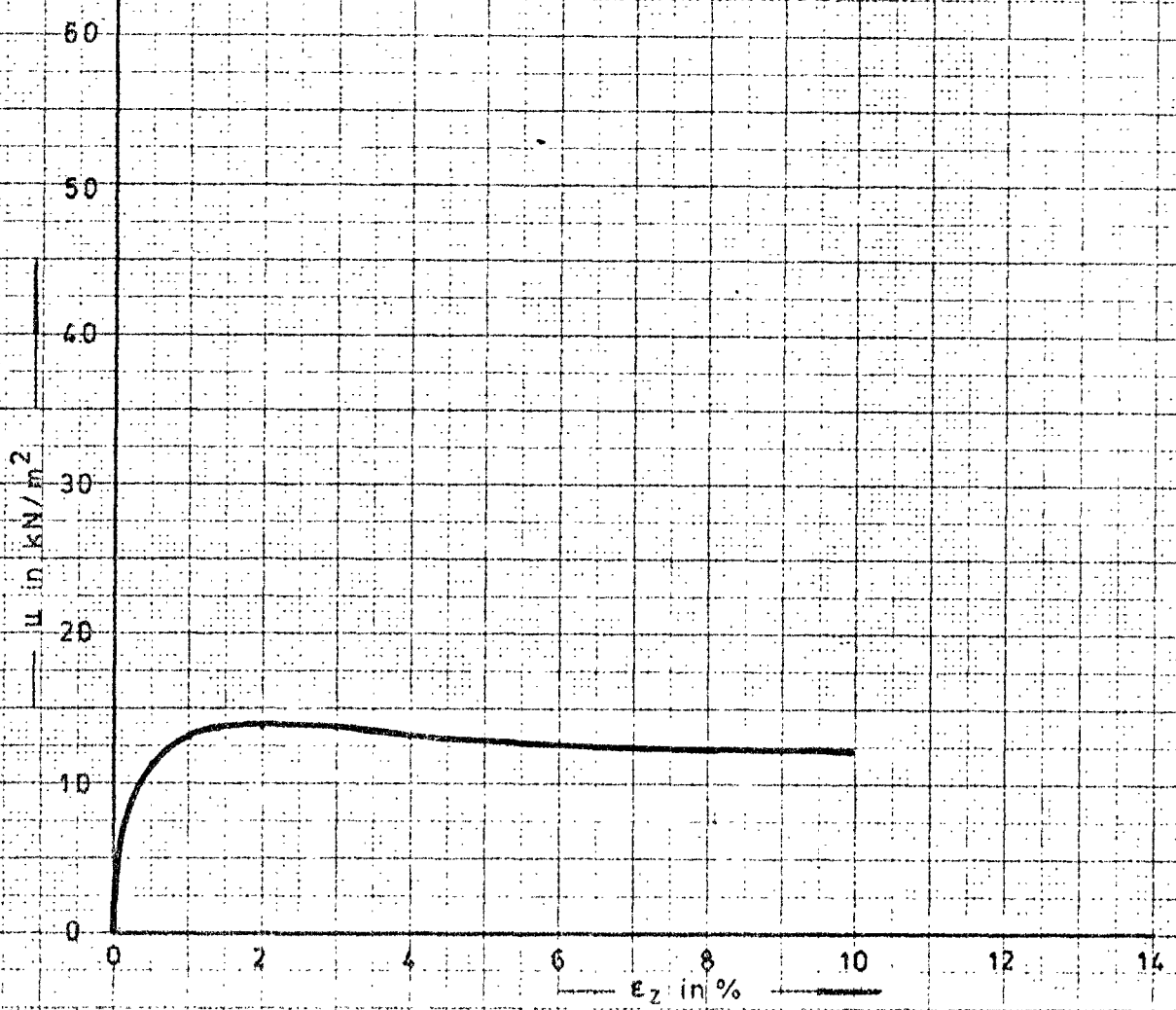
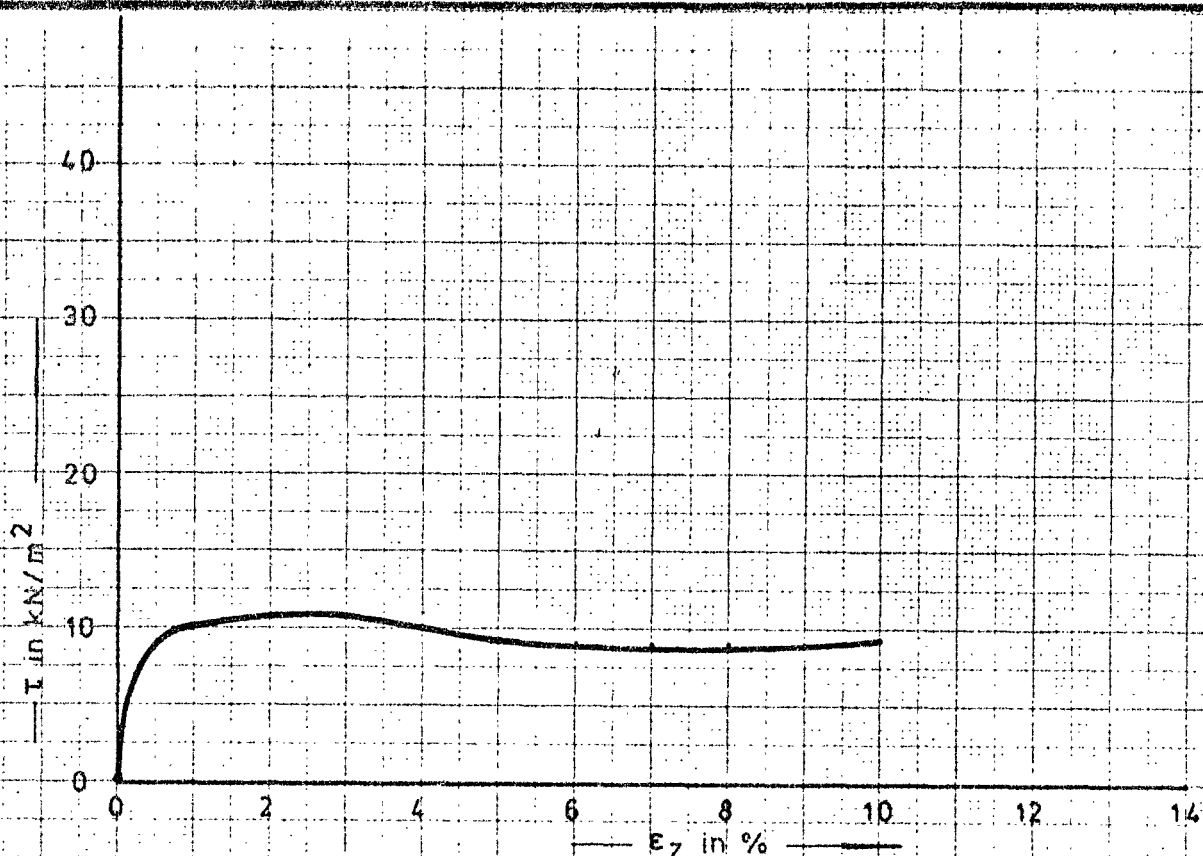
LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster 69 $\epsilon_z = 0.6\% / h$
 $G' = 25 \text{ kN/m}^2$

100AT
 A₄

BIJLAGE 52

CO
 23064-0

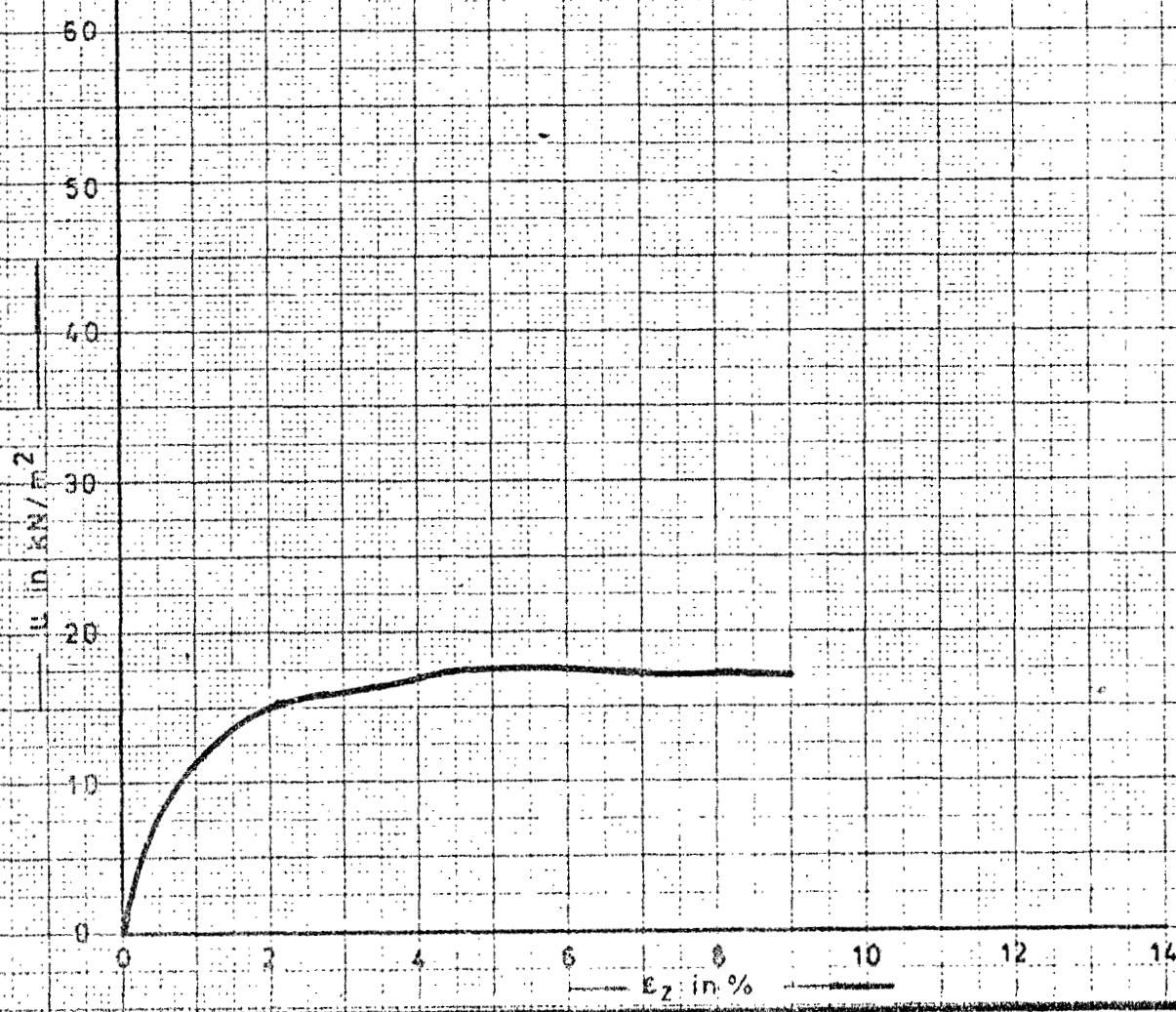
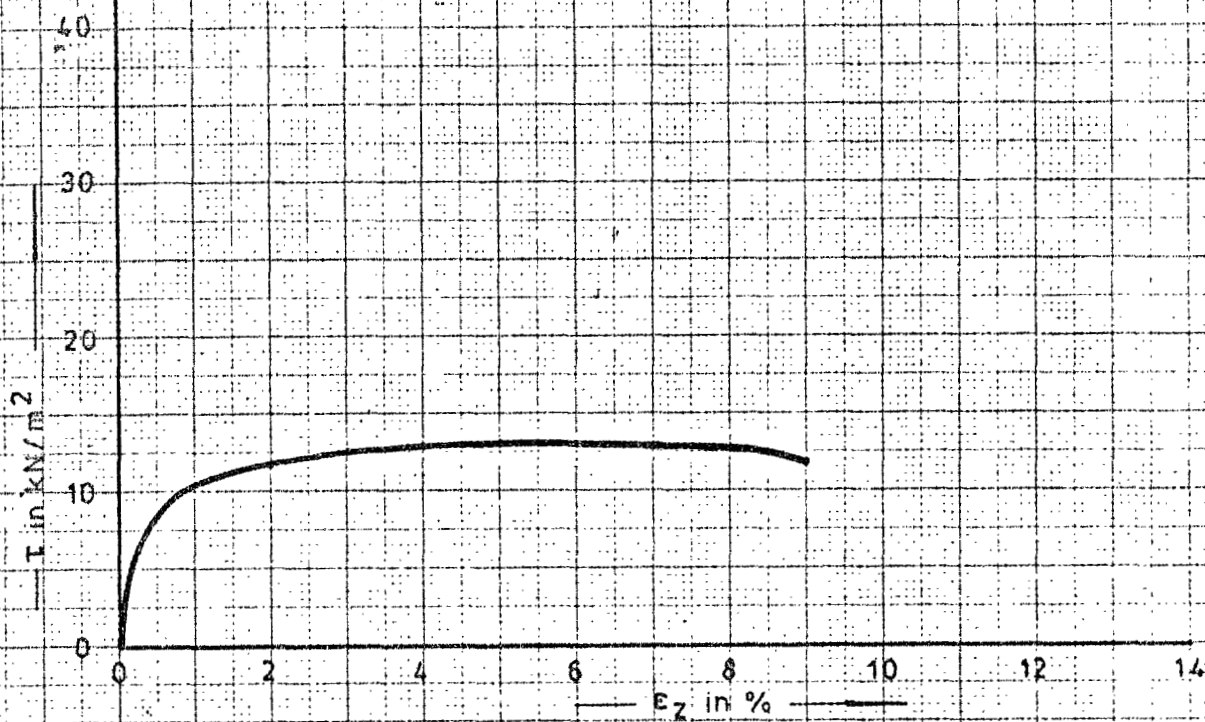


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 30 monster 83 $\epsilon_z = 0.6 \text{ \% / h}$
 $\sigma' = 32 \text{ kN/m}^2$

Wat
 A₄

BIJLAGE 53
 CO 23064-0

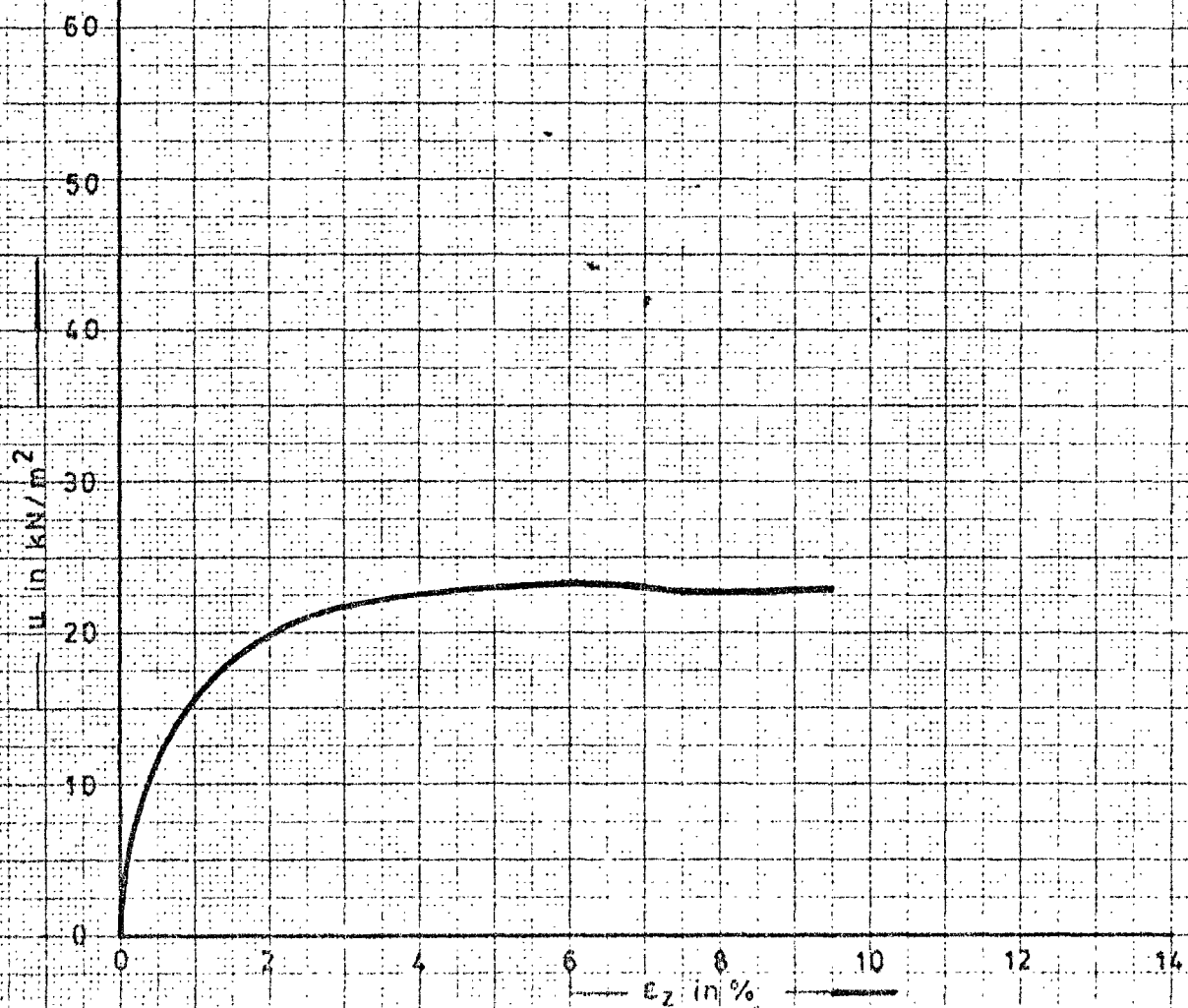
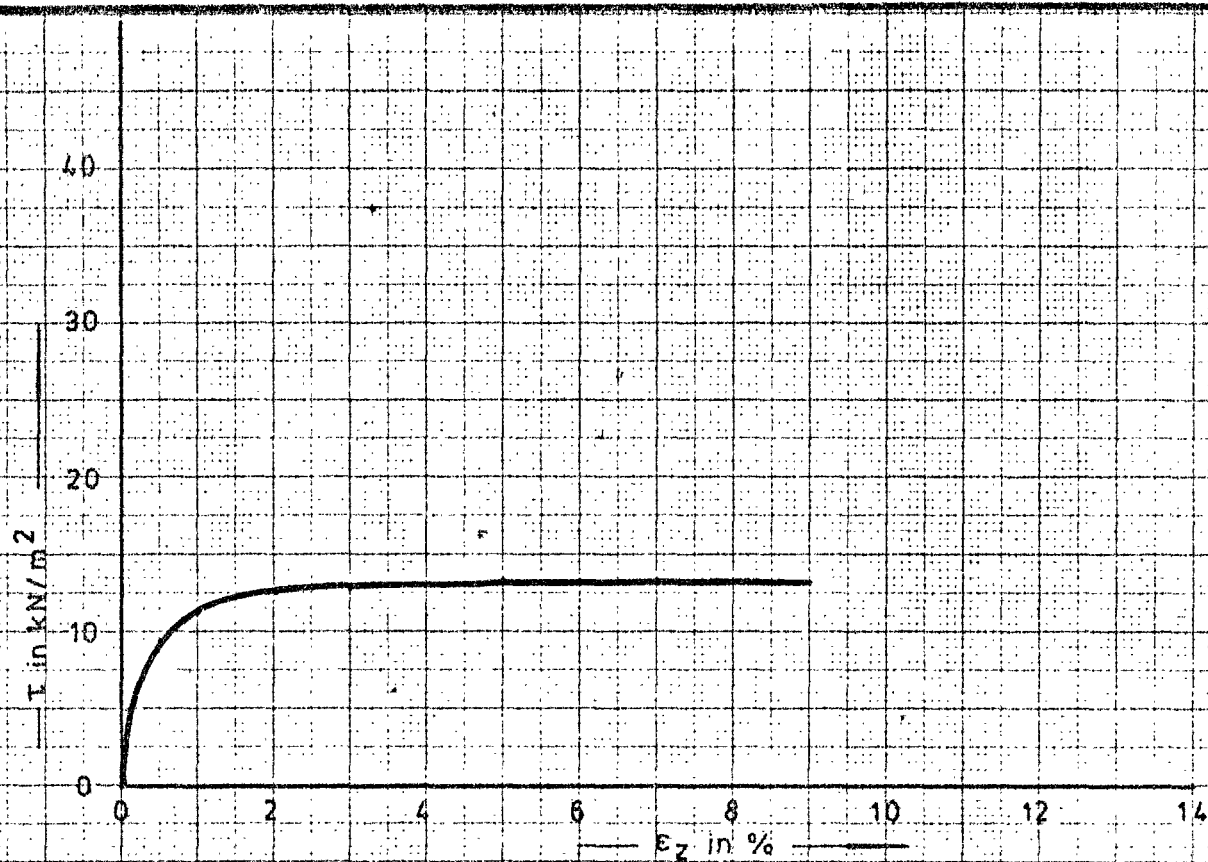


LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT


T.Z.L.O. 50 monster 76 $\epsilon_z = 0.6\%/h$ $\sigma' = 36 \text{ kN/m}^2$

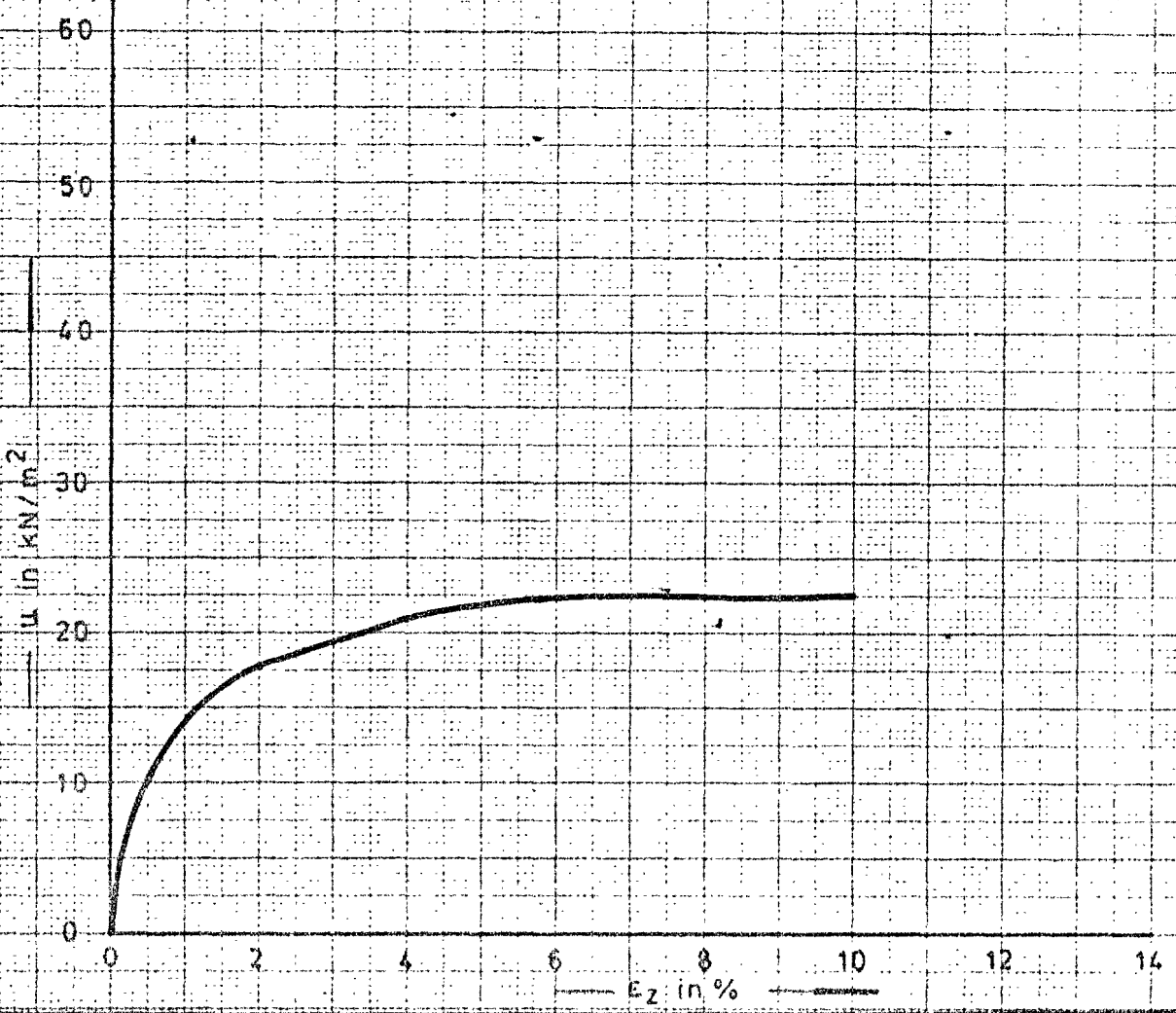
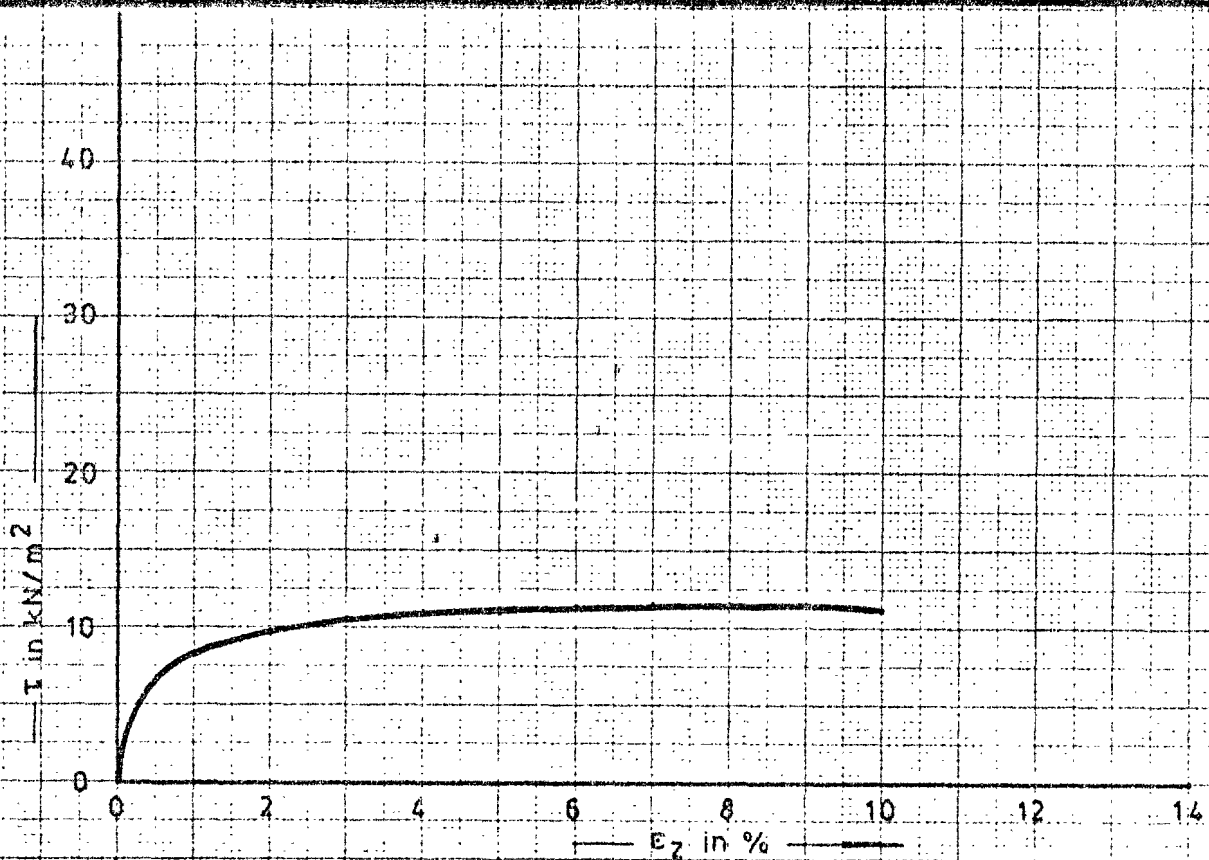
10AT
A₄

BIJLAGE 54
CO 23064-0



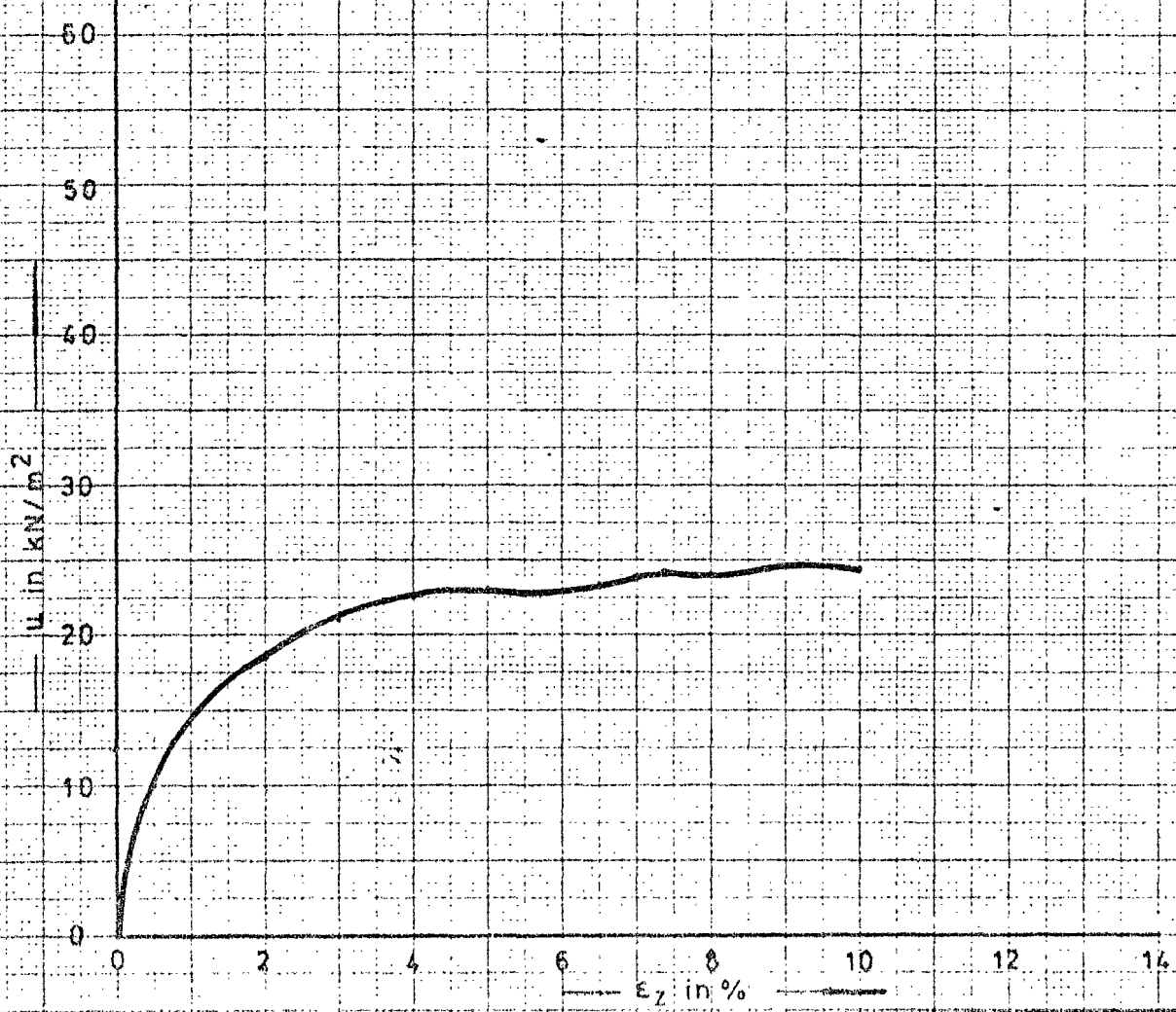
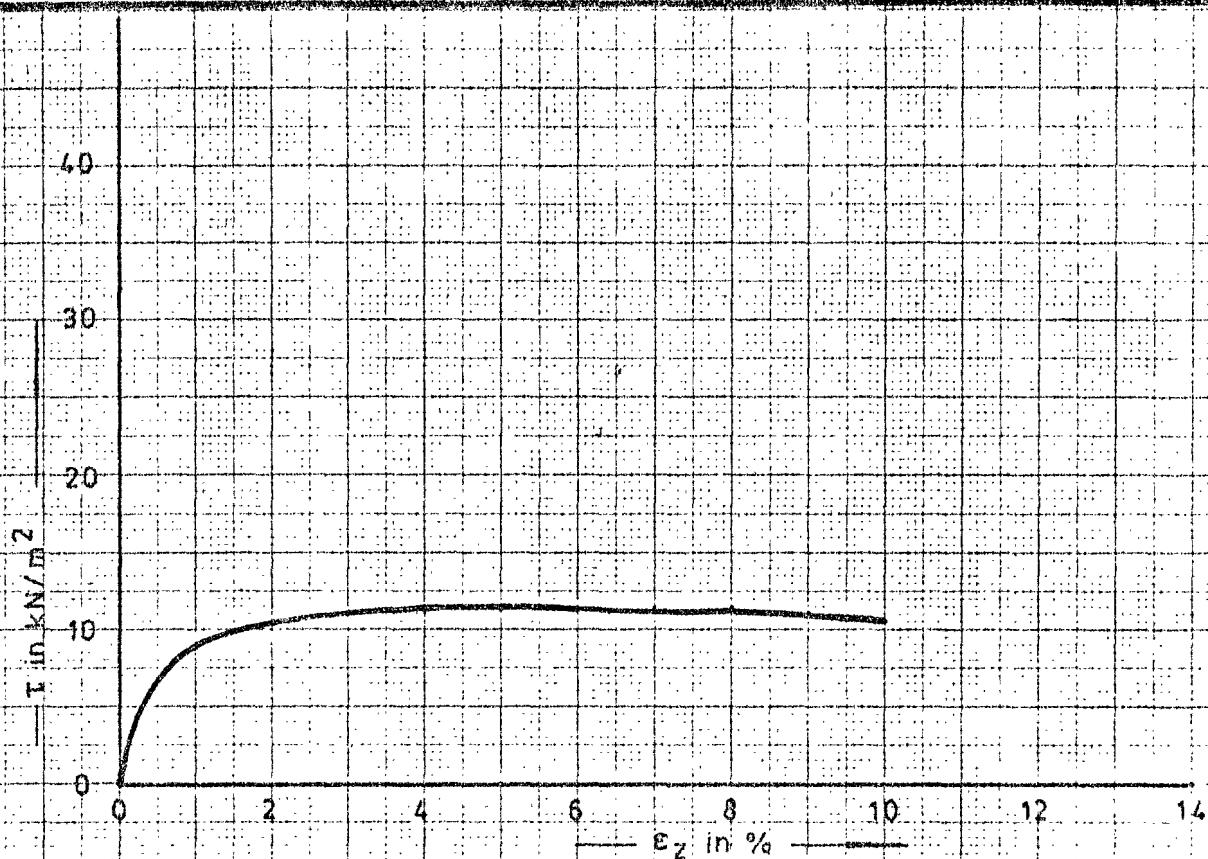
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 50	monster 74	$\epsilon_z = 0.6\%/h$ $G' = 41 \text{ kN/m}^2$	 A ₄	BIJLAGE 55
				CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 50	monster 111	$\epsilon_z = 0.6 \% / h$ $\sigma' = 41.8 \text{ kN/m}^2$		BIJLAGE 56
				CO 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 50

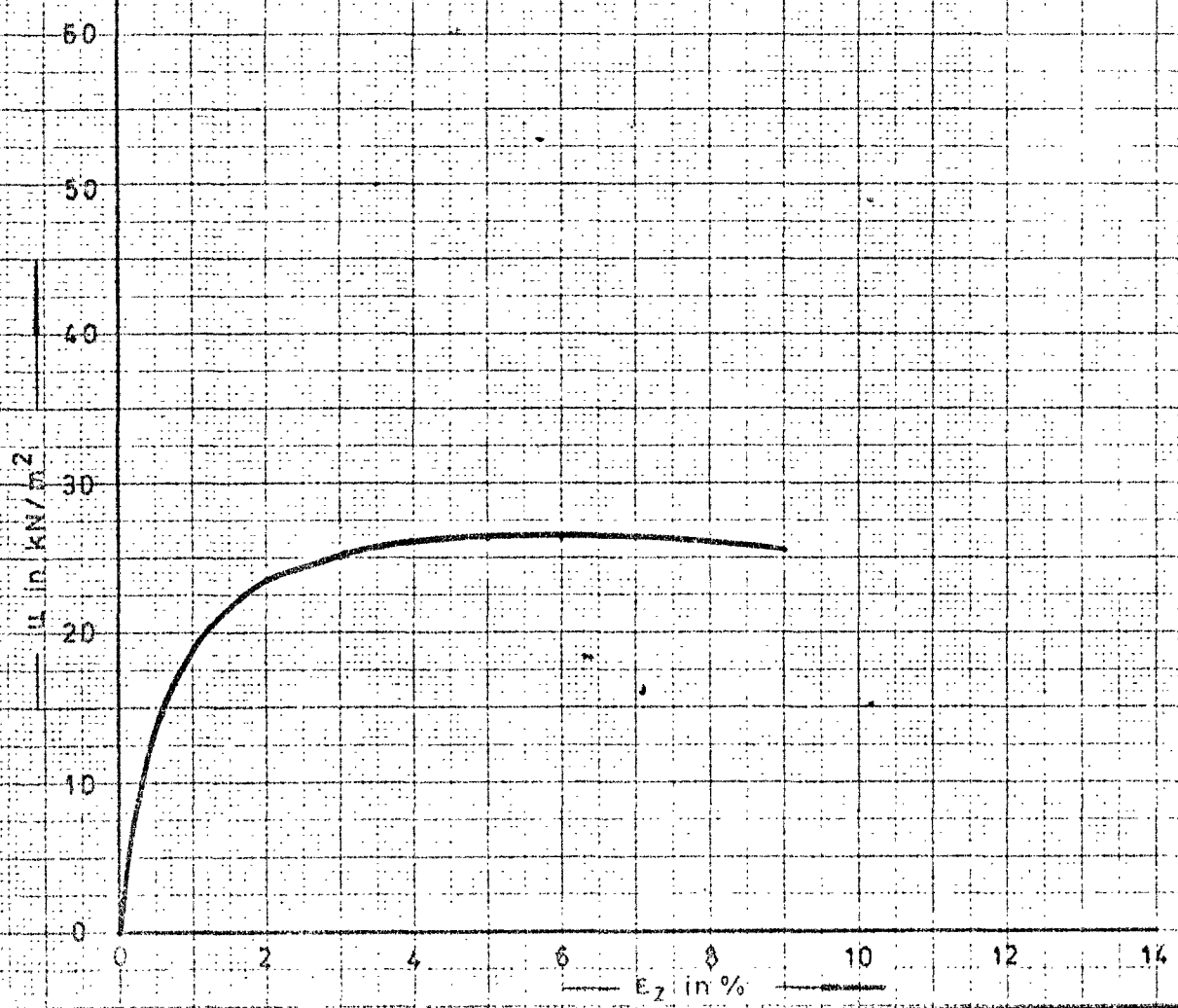
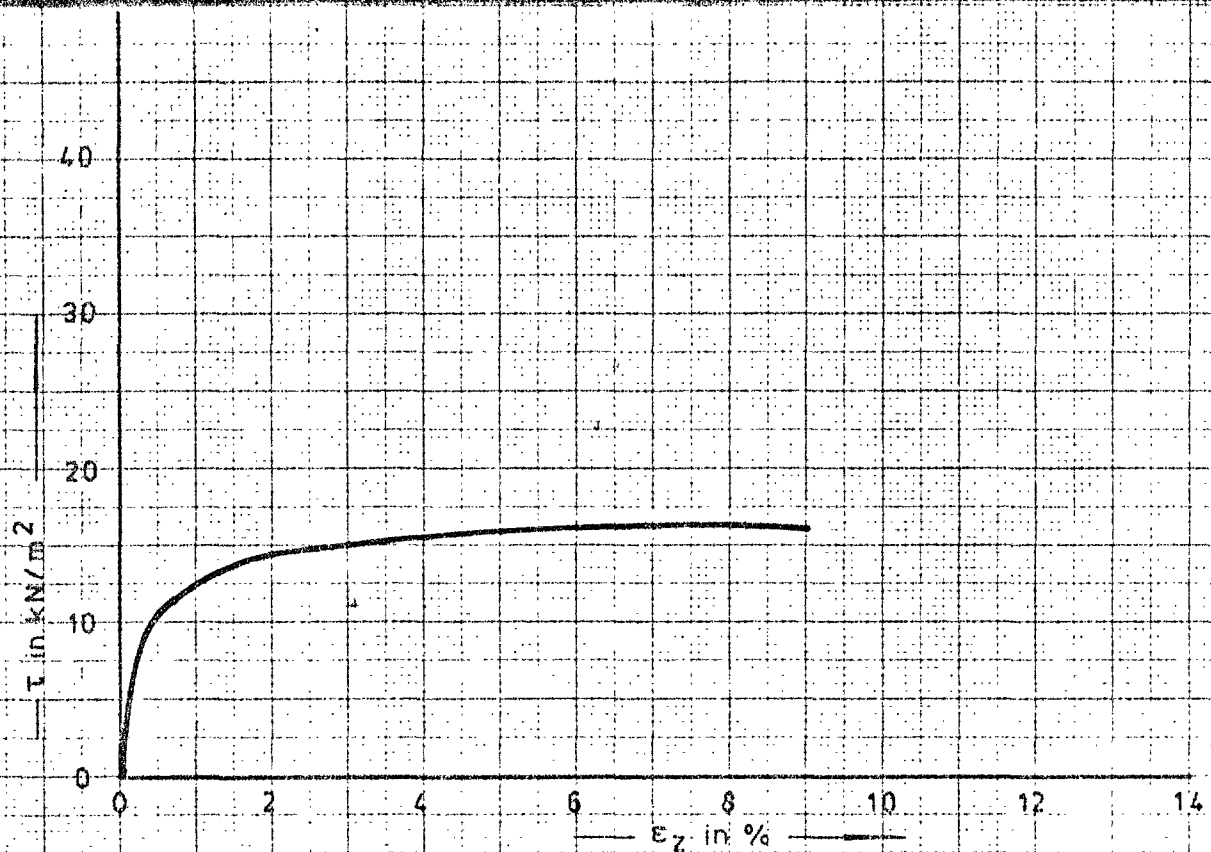
monster48

$\epsilon_z = 0.6\%/h$
 $\sigma' = 42 \text{ kN/m}^2$

✓
 A₄

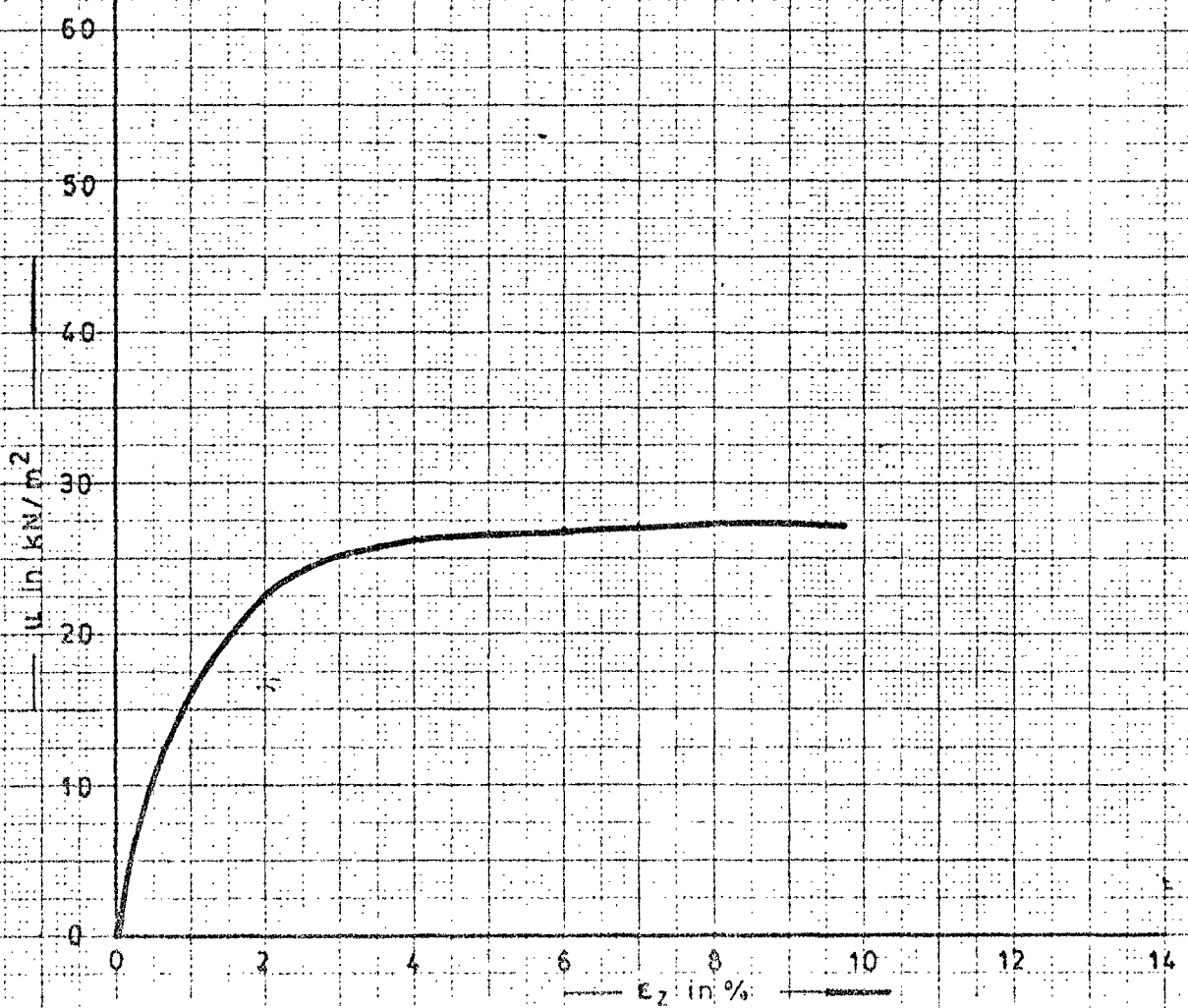
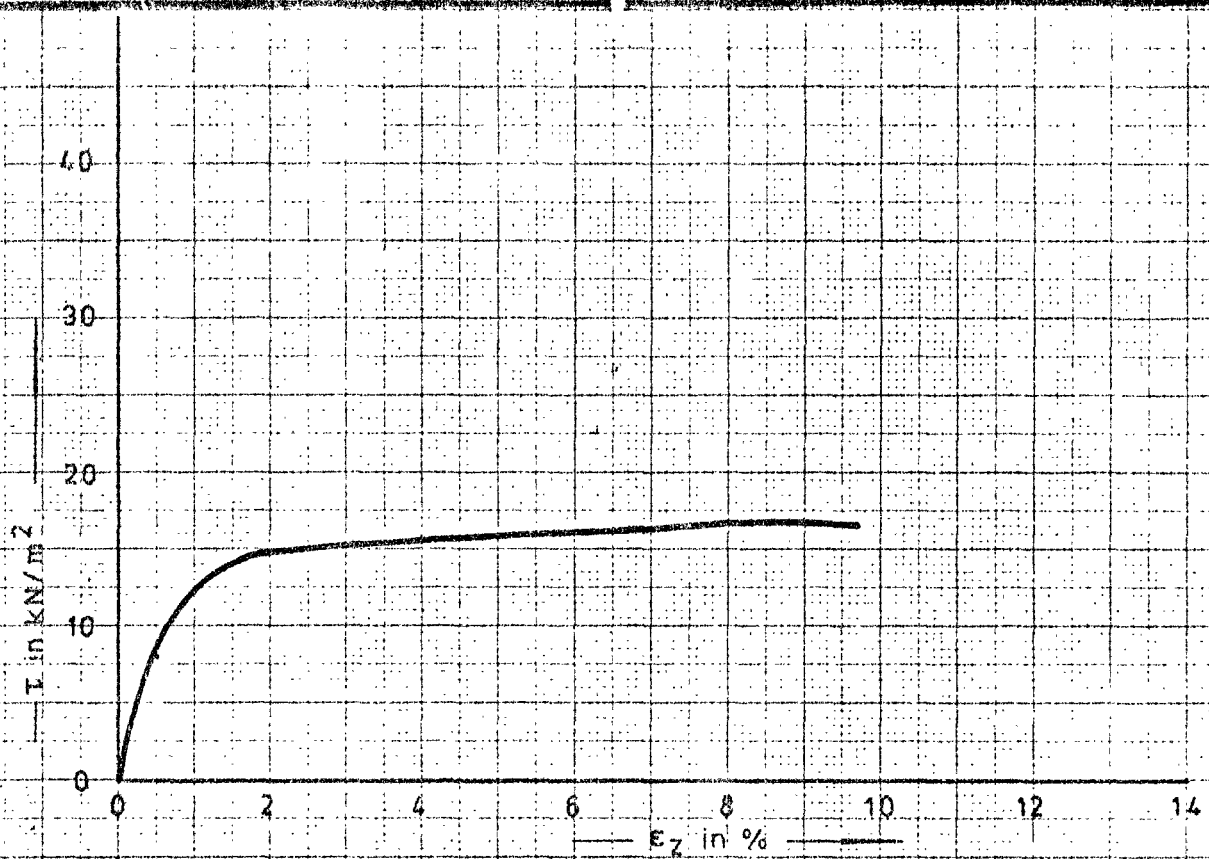
BIJLAGE 57

CO
 23064-0



LABORATORIUM VOOR GRONDMÉCHANICA TE DELFT

T.Z.L.O. 50	monster 72	$\epsilon_z = 0.6 \text{ \% / h}$ $G' = 46 \text{ kN/m}^2$		BIJLAGE 58
				A ₄



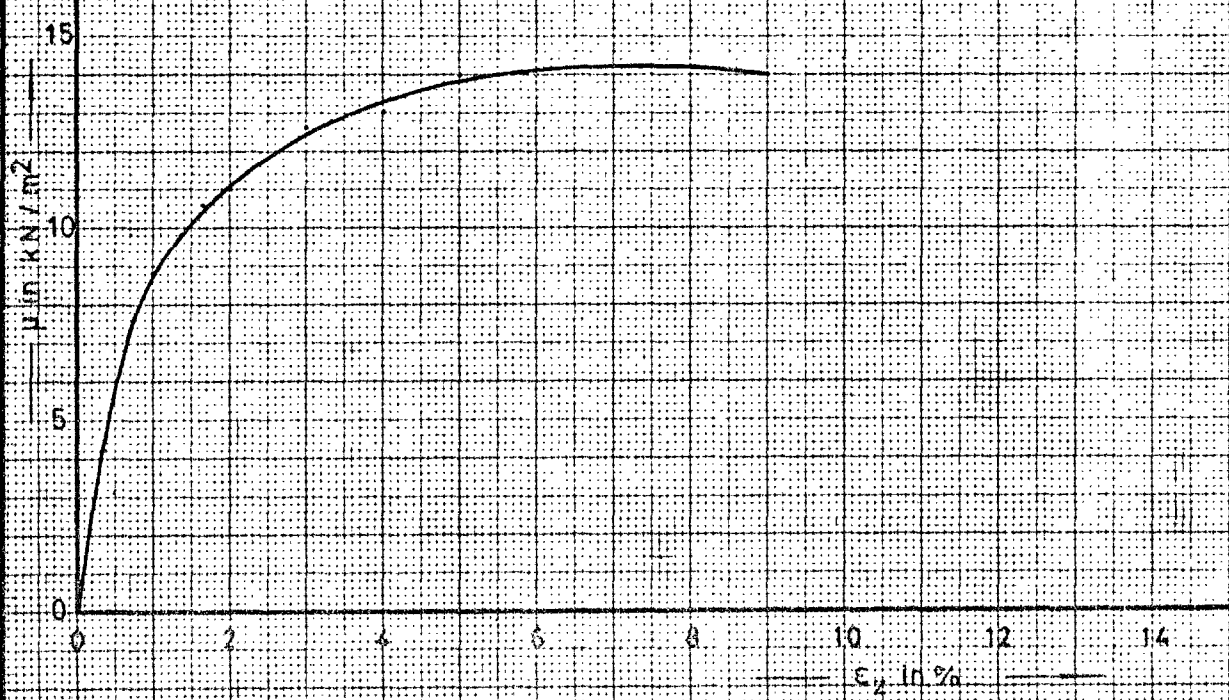
LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT


T.Z.L.O. 50 monster 81 $\epsilon_z = 0.6 \% / h$
 $\sigma' = 46.6 \text{ kN/m}^2$

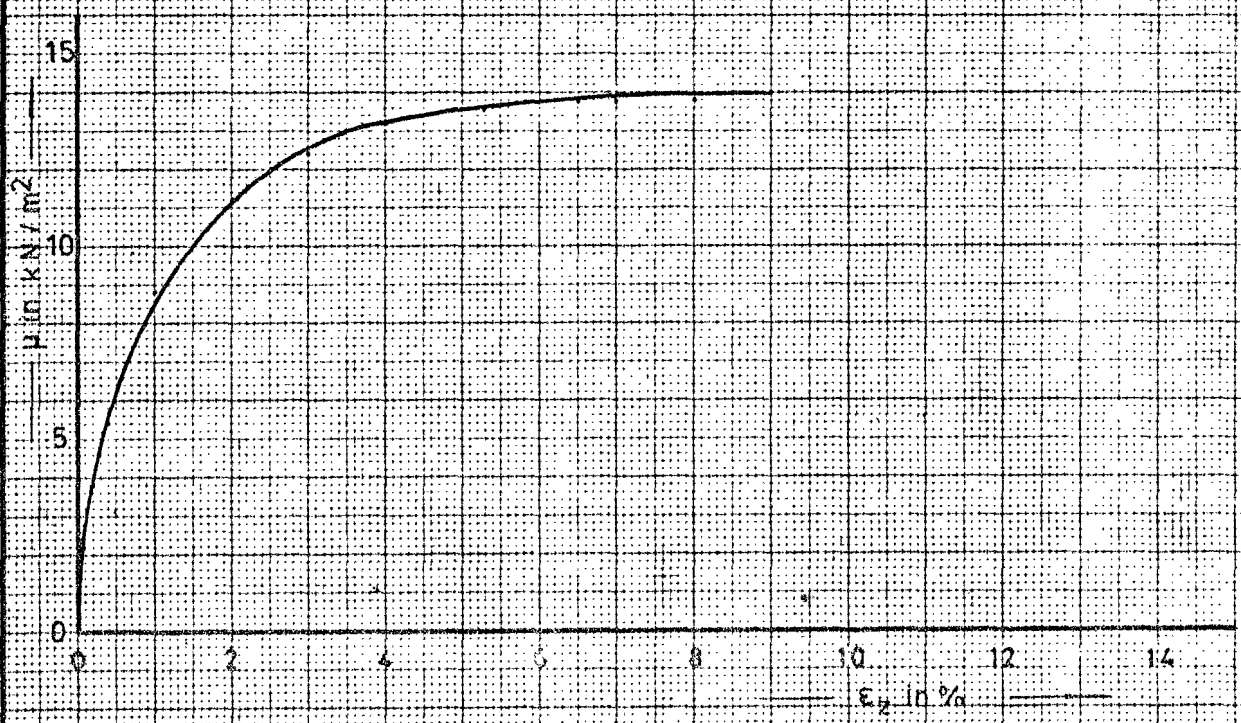
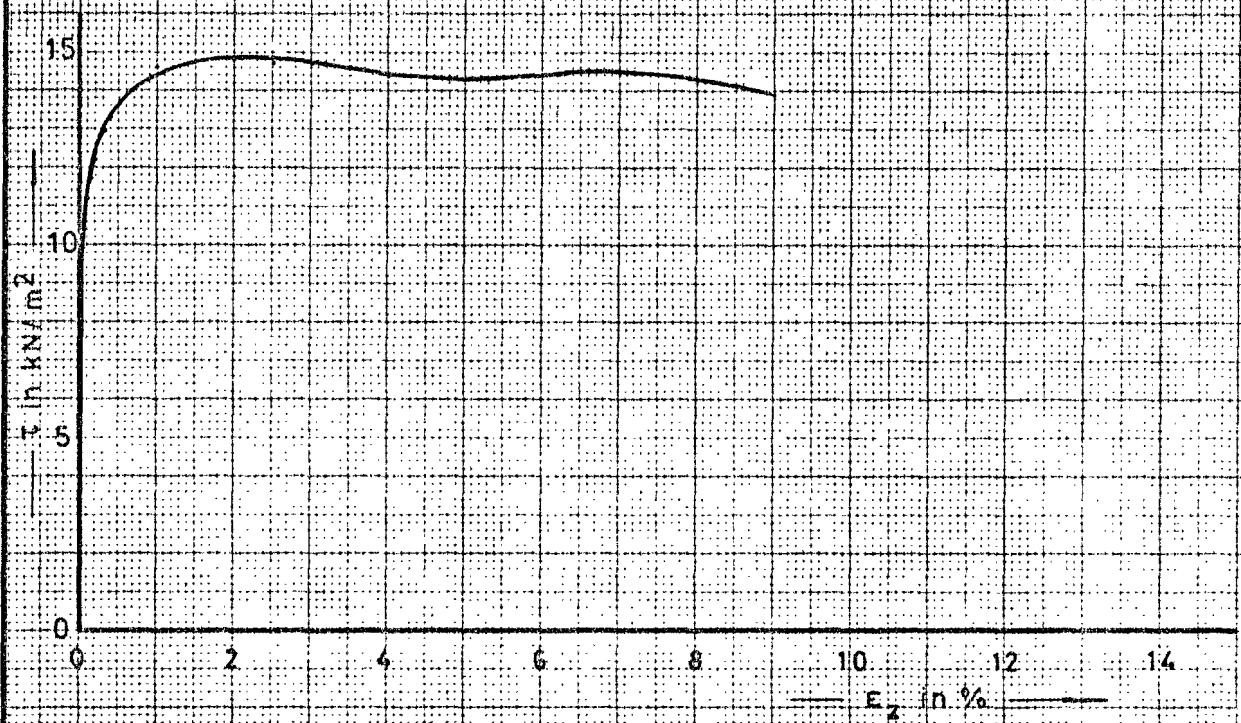
✓
 A₄

BIJLAGE 59

CO
 23064-0



 laboratorium voor grondmechanica delft telefoon (015) - 56 92 23 telex 33326 solab nl	1978 · 02 20	get van
	TL.O. 03 monster 47 $\epsilon_z = 6\%/h$ $G = 270 \text{ kN/m}^2$	CO-230640 BIJL. 60



laboratorium voor grondmechanica delft
 telefoon (015) - 56 92 23 telex 33326 solab nl

1978 02 20

got
Ypon
goc

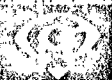
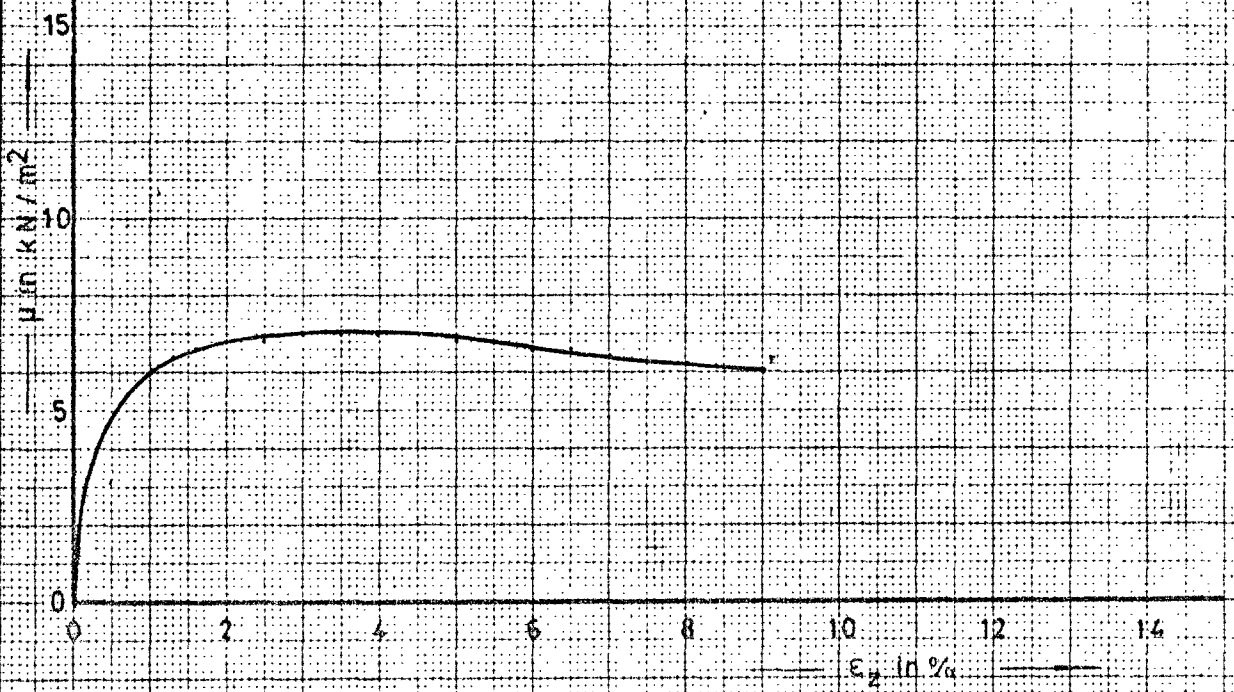
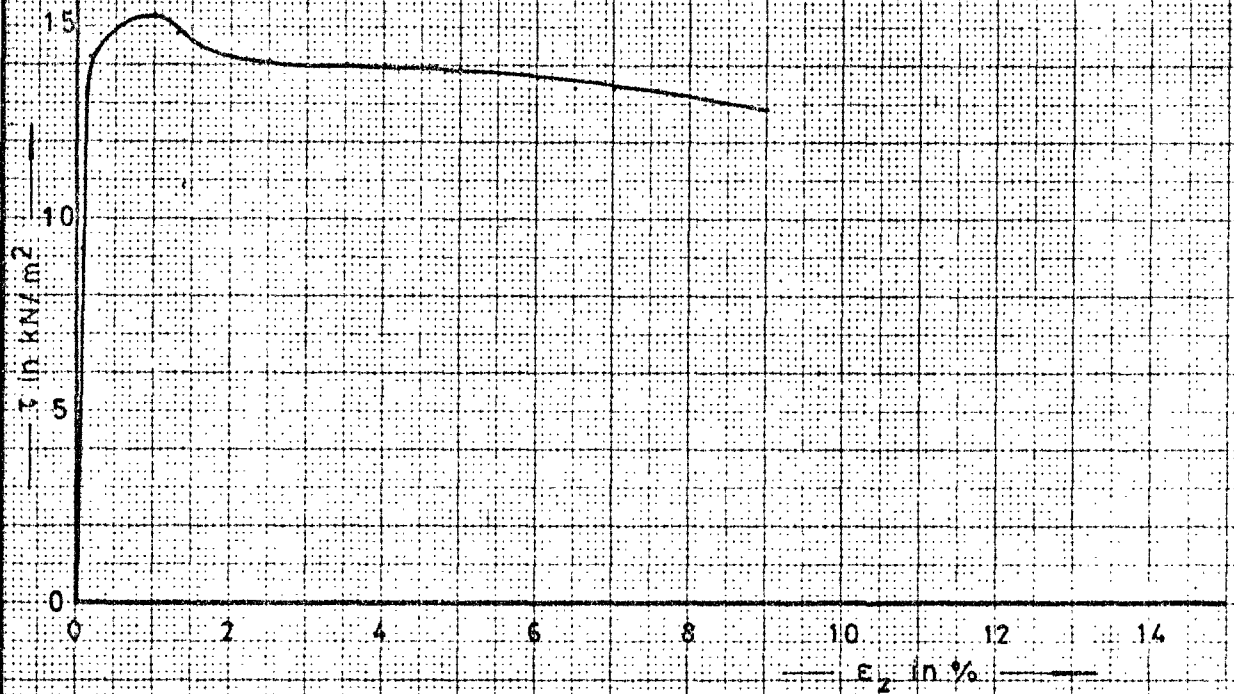
$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma'_v = 24.0 \text{ kN/m}^2$

CO-230640

T.L.O. 03 monster 110

BIJL. 61

form
A₄



laboratorium voor grondmechanica delft

telefoon (015) - 56 92 23

telex 33326 solab nl

1978 02 20

get
von

$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma' = 20.0 \text{ kN/m}^2$

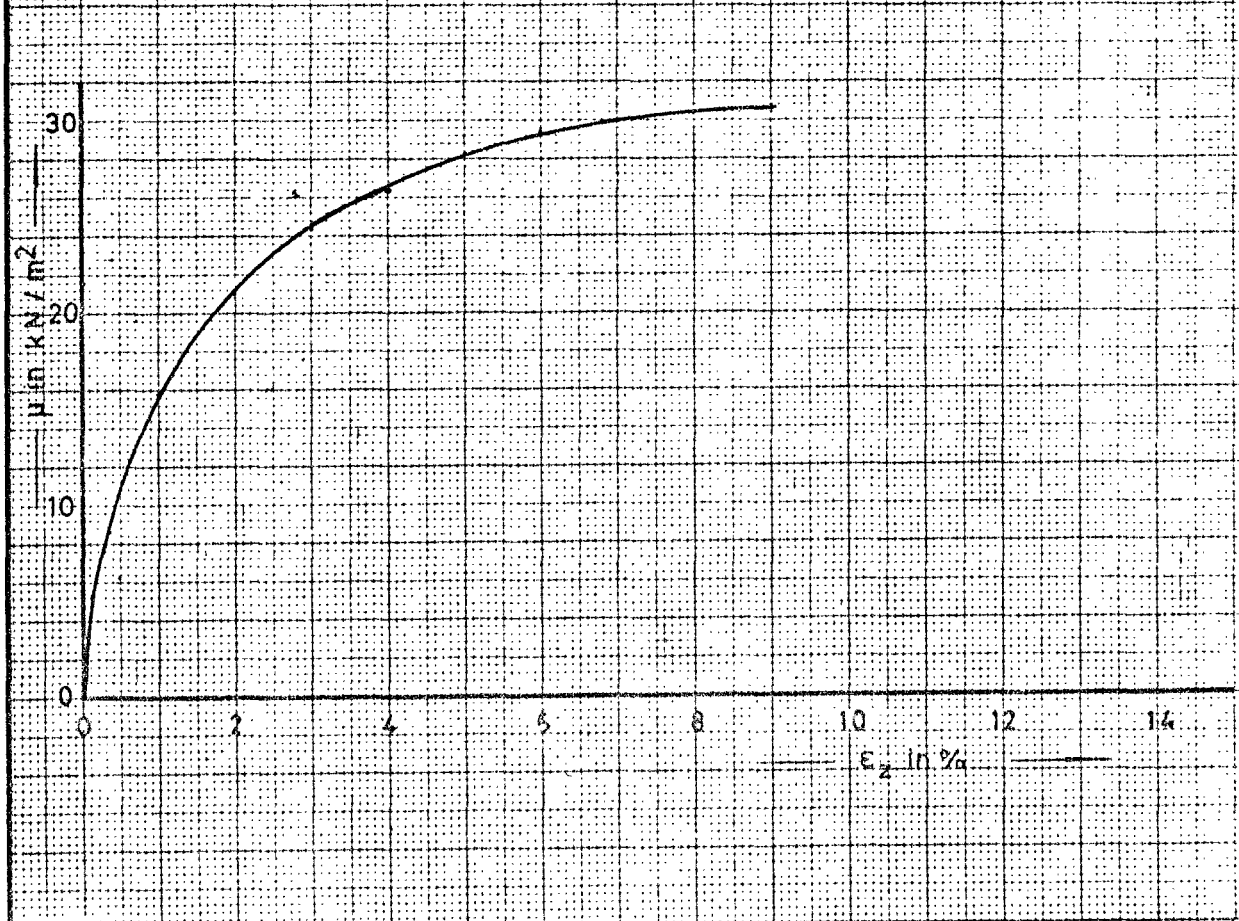
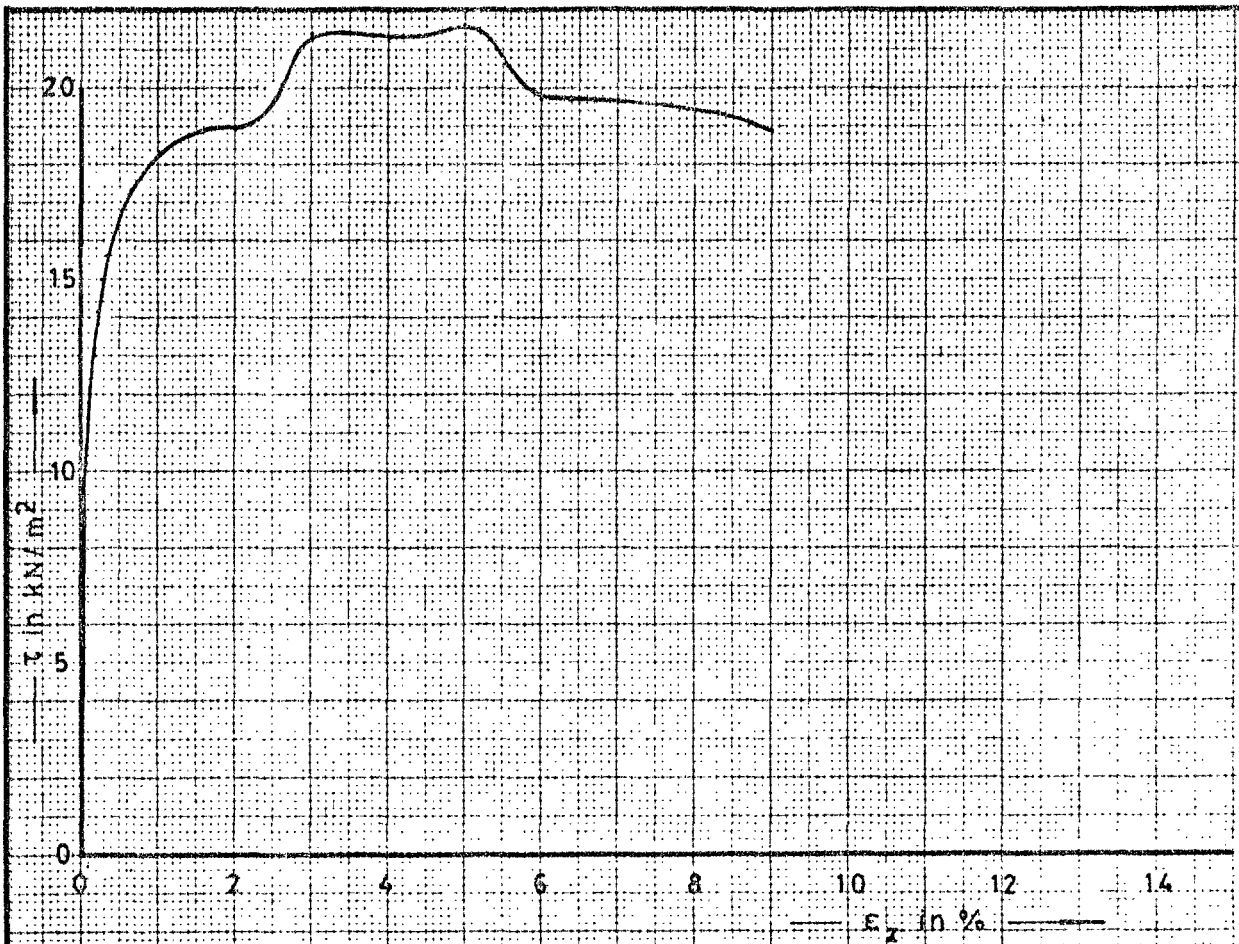
CO-230640

gec

T.L.O. 03 monster 82

BIJL 62

form
A4



laboratorium voor grondmechanica delft
 telefoon (015) - 56 02 23 telex 33326 solab nl

1978 · 02 20

get
van

$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma = 57.6 \text{ kN/m}^2$

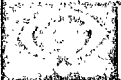
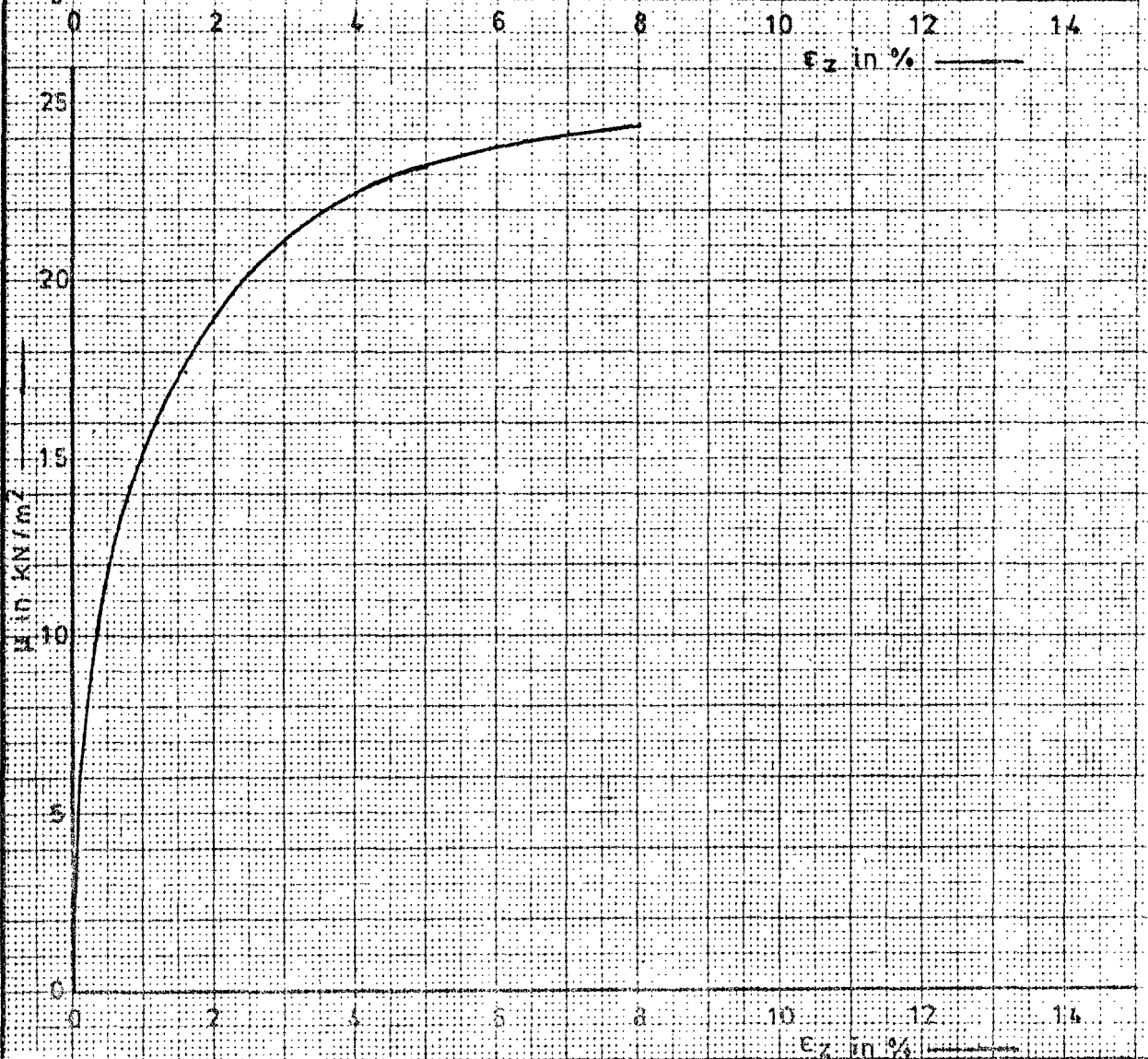
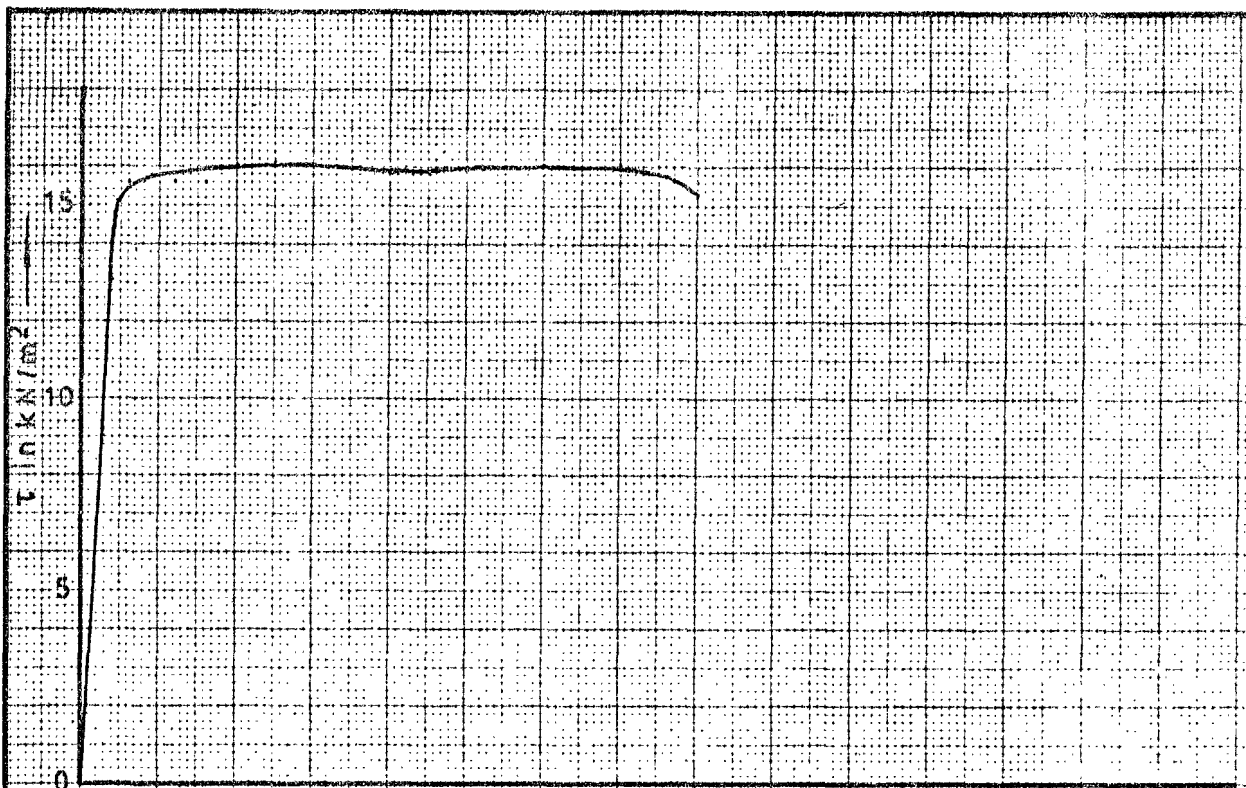
CO-230640

gec

T.L.O. 05 monster 70

BIJL. 63

form
A₄



laboratorium voor grondmechanica delft
 telefoon: (015) - 56 92 23 telex 33328 solab nl

1978 - 02 - 20 ^{da} _{get} 100A^h

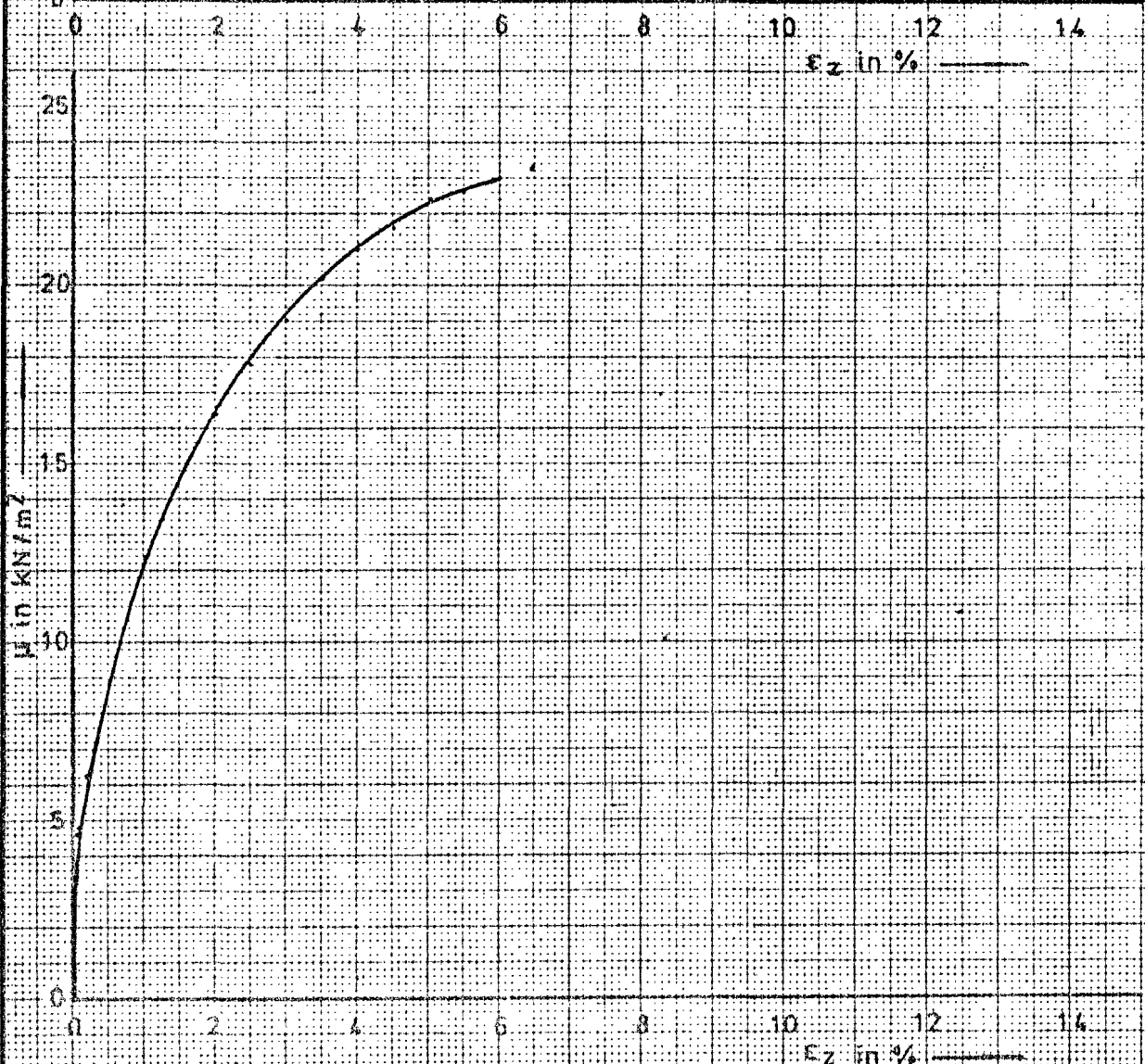
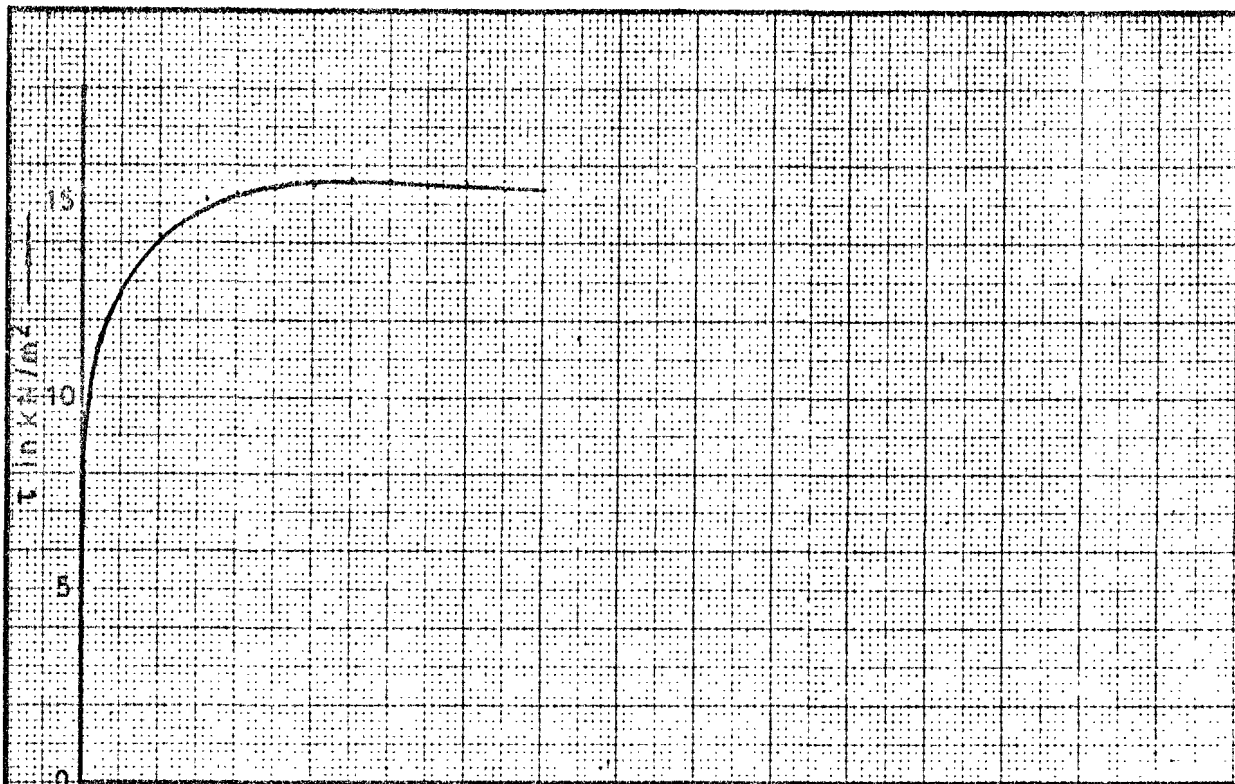
T.L.O. 05

monster 75

$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma = 44.2 \text{ kN/m}^2$

CO - 230640 _{sec}

BIJL. 64 _{norm} A₄



laboratorium voor grondmechanica delft
 telefoon (015) - 56 92 23 telex 33326 solab nl

1978-02-20^{dd}

100A^{goc}

$\epsilon_z = 6\%/h$
 $\sigma = 45.5 \text{ kN/m}^2$

CO-230640

3^{goc}

T.L.O. 05

monster 113

BIJL. 65

form
 A₄