

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
AFDELING DER LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNIEK

Memorandum M-267

Een onderzoek naar het niet-lineair
elastisch gedrag van cfrp-UD laminaten
en de invloed van de unidirectionaliteit
op stijfheid en treksterkte

door

W.H.M. van Dreumel
J.L.M. Kamp

Delft - Nederland
februari 1977

Inleiding

De bepaling van de elasticiteitsmodulus van unidirectionele koolstofvezel-epoxy laminaten in vezelrichting levert moeilijkheden op tengevolge van het niet lineaire verloop van het σ - ϵ diagram.

In dit memorandum wordt een onderzoek beschreven naar het effect van dit verschijnsel met als doel te komen tot een richtlijn voor de bepaling van de stijfheid.

Bij de fabricage van koolstoflaminaten zijn vezeloriëntatiefouten vrijwel niet te vermijden. Het is daarom van belang de invloed van misoriëntatie te kennen.

De invloed van de unidirectionaliteit zowel op de stijfheid als op de treksterkte in vezelrichting wordt beschouwd.

Het onderzoek

Een aantal proefstukken is vervaardigd met de unidirectionaliteit als variabele.

Tabel I geeft een overzicht van de geometrie van deze proefstukken. Gemeten is het kracht-rek diagram bij een aantal belastingssnelheden.

Van een aantal trekstaven is bovendien de dwarsrek opgemeten. Deze metingen zijn voor elk proefstuk een aantal malen herhaald. Hierbij is geen verandering in het kracht-rek diagram geconstateerd.

Voor het bepalen van de breukspanning is de helft van het aantal proefstukken krachtgestuurd bezwiken, de rest is met wegsturing beproefd.

In figuur 1 is een kracht-rek diagram van een uit UD-laminaat opgebouwd proefstuk weergegeven.

Ook het kracht-rek verband van een enkel filament geeft het voor koolstof karakteristieke holle verloop.

De trekkromme vertoont dit gedrag tot breuk (dit in tegenstelling tot wat eerder verondersteld werd, lit. 1).

De elasticiteitsmodulus is in het gehele traject tot breuk afhankelijk van het spanningsniveau waarbij gemeten wordt.

Deze afhankelijkheid is geïllustreerd in figuur 2.

Uit deze figuur blijkt een lineair verband tussen deze twee grootheden.

Met andere woorden de tweede afgeleide van de spanning als functie van de rek is constant.

Een goede benadering voor het verloop van de stijfheid met de spanning geeft de vergelijking

$$E = E_0 + 21\sigma \quad (\text{eenheden in kgf/mm}^2)$$

waarin E_0 de stijfheid is in onbelaste toestand.

Deze waarde is te vergelijken met de uit ultrasone meting verkregen waarde.

Het geschetste gedrag is niet afhankelijk van de unidirectionaliteit en de belastingssnelheid en bovendien reproduceerbaar.

Figuur 3 geeft het onderlinge verband van de metingen t.o.v. de mengselwet.

In de tabellen II en III zijn enkele andere gemeten grootheden samengevat. De waarden zijn gemiddeld per plaat (10 trekstaven uitgezonderd plaat 73 waaraan minder metingen gedaan zijn).

De invloed van de misoriëntaties op de breuksterkte is weergegeven in figuur 4. Enige invloed van de wijze van belasten (weg- of krachtgestuurd) is niet waargenomen.

Conclusies

Op grond van dit onderzoek moet geconcludeerd worden dat de stijfheid van cfrp-UD laminaten in vezelrichting geen constante eigenschap is, maar een lineair verband vertoont met de spanning. Dit verband kan op eenvoudige wijze geformuleerd worden en is zodanig dat verschillen in elasticiteitsmodulus gemeten respectievelijk onbelast en bij breukspanning, in de orde grootte liggen van 30%.

Een ultrasone meting geeft de ondergrens aan.

Tussen de unidirectionaliteit en de stijfheid is geen direct verband aan te wijzen.

De sterkte wordt echter door misoriëntatie aangetast. Er zijn in dit stadium nog te weinig metingen gedaan om een nauwkeurige invloed aan te geven. Metingen kracht- of weggestuurd leveren geen significant verschil. Ook de belastingssnelheid heeft geen invloed op het gedrag.

Literatuur

1. Aanbeveling bij het meten van de E-modulus van unidirectionele vezelversterkte materialen. W.H.M. van Dreumel.

B2-76-6 augustus 1976.

Tabel I

Gegevens van de platen

No.	Golving	C-scan	Golflengte (mm)	Amplitude (mm)
73	Alle lagen gegolfd	goed	55	1,5
74	Alle lagen gegolfd	goed	55	1,0
75	Alle lagen gegolfd	goed	55	0,5
76	Alle lagen gestrekt	matig	--	---
77	Alle lagen gestrekt	slecht	--	---
79	Alle lagen gegolfd	goed	55	0,4
80	Alle lagen gegolfd	goed	55	0,3
81	Alle lagen gegolfd	goed	55	0,2
82	Alle lagen gegolfd	goed	55	0,1

Alle platen 6 lagen, die twee aan twee gegolfd zijn.

Gegevens over proefstukken (10 uit iedere plaat

Plaat no.	s.g. (gf/cm ³)	V _f (%)	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Lengte (mm)
73	1,541	61,3	1,28	14	10
74	1,540	61,1	1,44	14	10
75	1,551	63,2	1,38	14	10
76	1,560	64,8	1,38	14	10
77	1,541	61,3	1,35	14	8
79	1,576	67,8	1,30	14	10
80	1,567	66,1	1,35	14	10
81	1,572	67,0	1,41	14	10
82	1,575	67,6	1,08	14	10

Tabel II

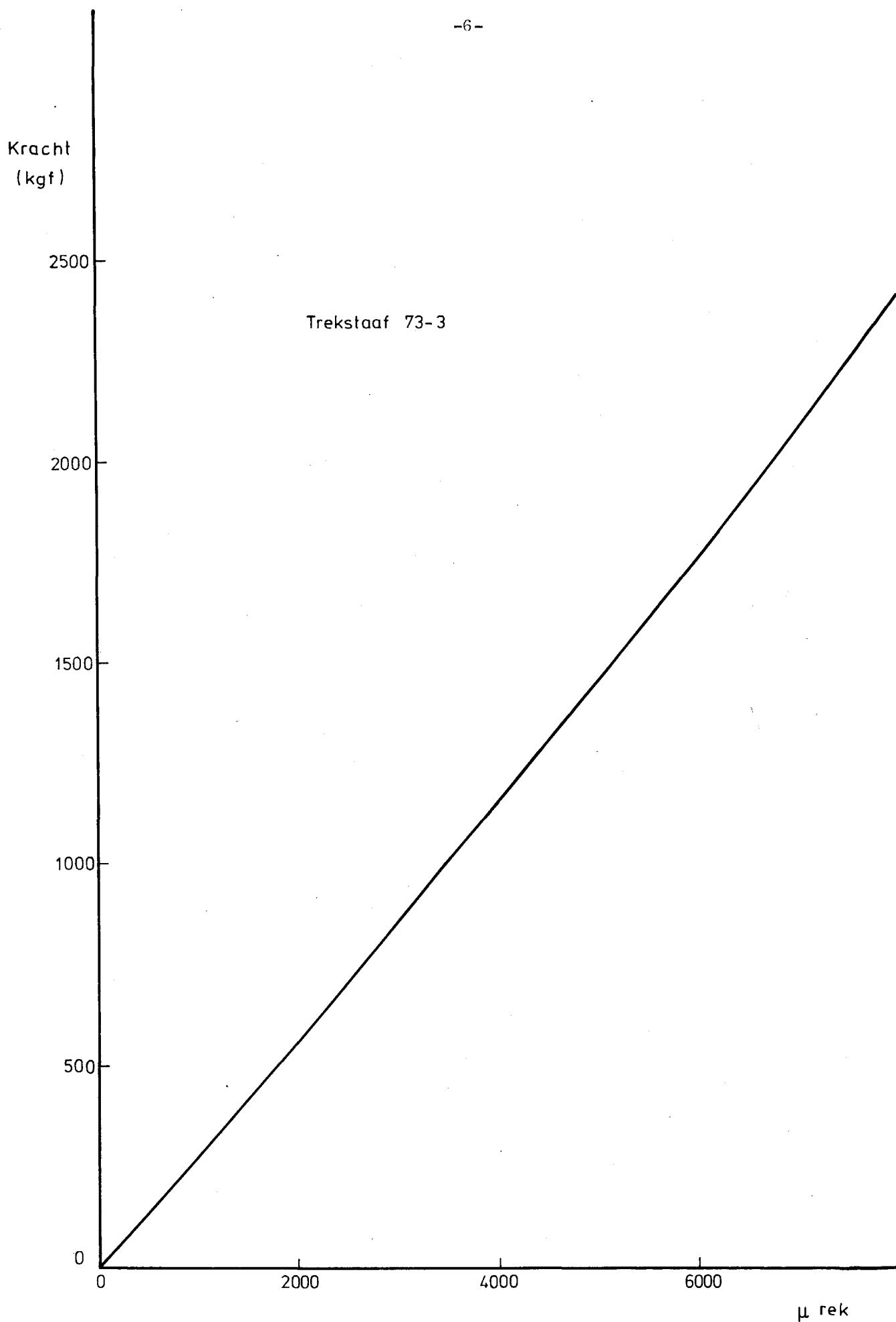
Meetresultaten

Plaat nr.	Breukspanning (kgf/mm ²)	μ_{xy}
73	144	0,52
74	154	0,36
75	187	0,27
76	182	0,32
77	179	0,30
79	185	0,30
80	188	0,28
81	201	0,29
82	200	0,29

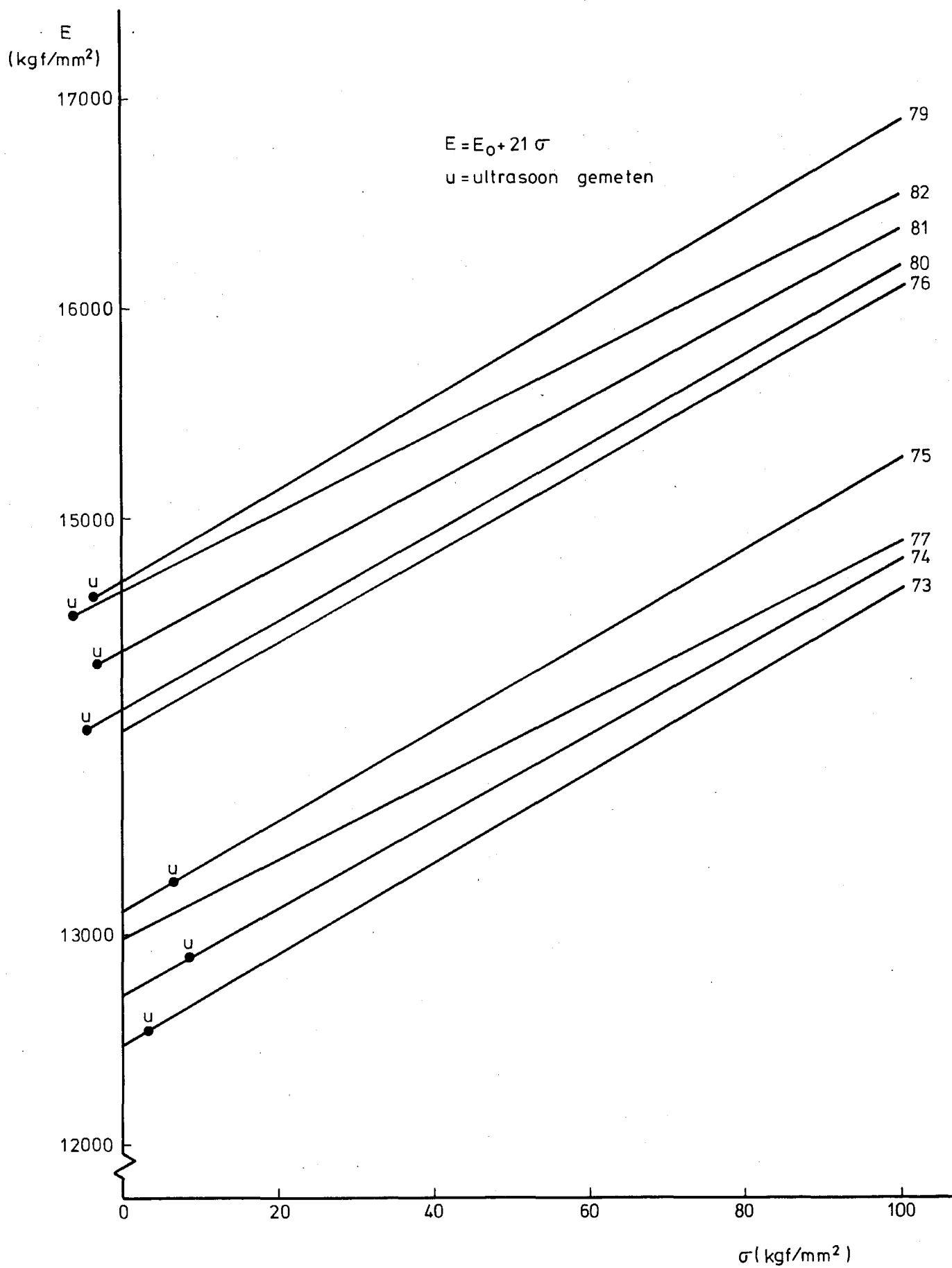
Tabel III

$$E = E_0 + a\sigma$$

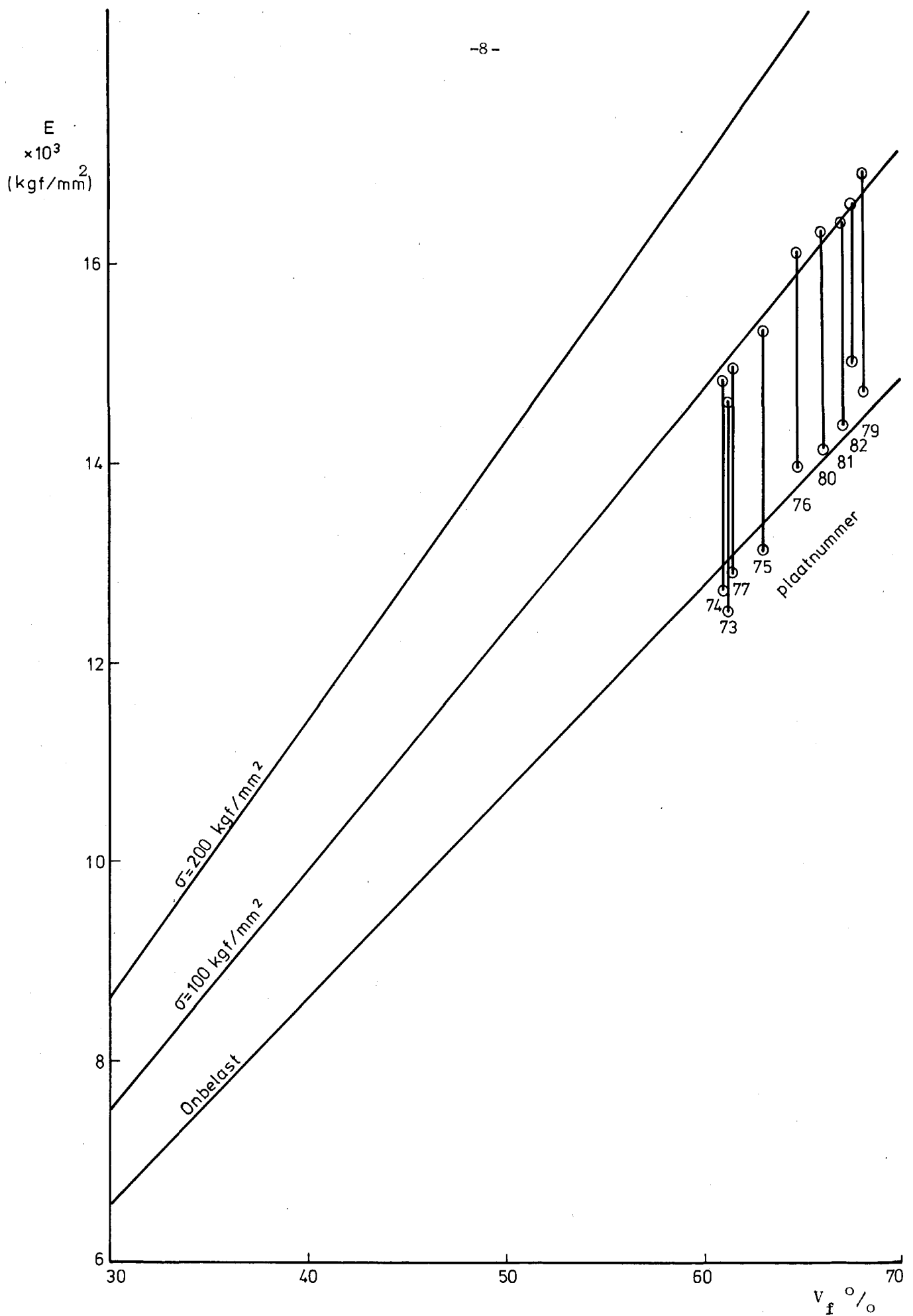
Plaat nr.	E_0	E_u	a	$\frac{E_0 - E_u}{E_0} \cdot 100\%$	C-scan
73	12472	12536	21,94	0,5	matig slecht
74	12702	12899	21,09	1,5	
75	13113	13273	21,76	1,2	
76	13964	13655	21,27	2,2	
77	12974	12333	19,15	5	
79	14674	14610	22,39	0,4	
80	14074	13981	21,35	0,7	
81	14360	14290	20,16	0,5	
82	14645	14524	18,95	0,8	



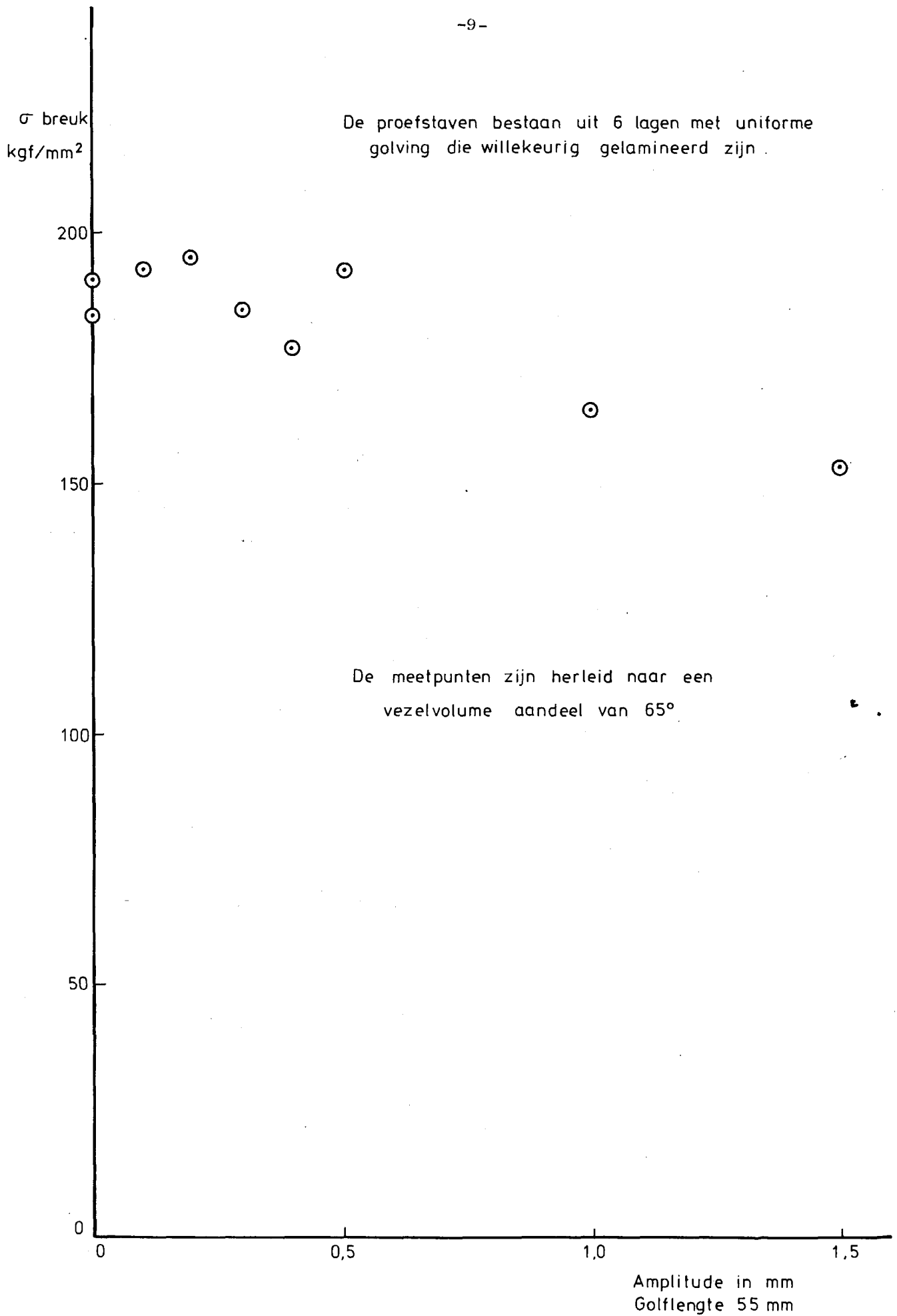
Figuur 1: Krachtrek diagram van een cfrp UD laminaat.



Figuur 2: Verloop van de E modules met de spanning.



Figuur 3 : De mengselwet afhankelijk van het spanningsniveau.



Figuur 4: Invloed van de unidirectionaliteit op de breuksterkte.

Memorandum 267



60142071025