

MASTER

Ontwerp en beproeving van een experimenteel wandsysteem bestaande uit hout en EPS

Meijling, H.P.A.

Award date:
2012

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

College van Bestuur

Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven
www.tue.nl

Auteur

H.P.A. Meijling

Datum

24 januari 2012

Afstudeercommissie

dr.ir. S.P.G. Moonen
dr.ir. A.J.M. Leijten
M. Lamers MBA

BIJLAGEN

Ontwerp en beproeving van een experimenteel wandstelsel bestaande uit hout en EPS

Inhoudsopgave

Titel			
Ontwerp en beproeving van een experimenteel wandstelsel bestaande uit hout en EPS			
	1	Materiaaleigenschappen	5
	1.1	Materiaaleigenschappen EC5	5
	1.2	Gemiddelde waarden materiaaleigenschappen	5
	1.2.1	Trek loodrecht op de vezel	5
	1.2.2	Elasticiteitsmodulus	6
	1.2.3	Druk loodrecht op de vezel	6
	1.2.4	Druk evenwijdig aan de vezel	7
	1.2.5	Afschuifsterkte evenwijdig aan de vezel	7
	1.2.6	Overzicht materiaaleigenschappen C18	8
	1.3	Materiaaleigenschappen spaanplaat (P5)	8
	1.4	Overige materiaaleigenschappen	8
	2	Belastingen	9
	2.1	Uitgangspunten	9
	2.2	Permanent	9
	2.3	Veranderlijk	9
	3	Vloeren	10
	3.1	Algemeen	10
	3.2	Trillingeis	11
	3.2.1	Houten balklaag	12
	3.2.2	Combinatie stalen liggers en houten balklaag	12
	3.3	Gebriukstoestand (BGT)	13
	3.3.1	Houten balklaag	13
	3.3.2	Combinatie stalen liggers en houten balklaag	13
	3.4	Uiterste grenstoestang (UGT)	14
	3.4.1	Houten balklaag	15
	3.4.2	Combinatie stalen liggers en houten balklaag	15
	3.5	Kosten	16
	3.6	Overzichten	17
	3.6.1	Overzicht vloerhoogte	17
	3.6.2	Overzicht eigen frequentie	18
	3.6.3	Overzicht kosten	18
	4	Vocht	19
	4.1	Ter plaatse van Isobouw sandwichpaneel	19
	4.2	Ter plaatse van I-profiel	21
	4.3	Ter plaatse van multiplex in I-profiel	23
	5	Uitkomsten schuifproeven	25
	5.1	Proeven elementtype 1	25

Inhoudsopgave

Titel		
Ontwerp en beproeving van een experimenteel wandsysteem bestaande uit hout en EPS		
	5.1.1	Overzicht meetinstrumenten 25
	5.1.2	Proef 1 26
	5.1.2.1	Metingen 26
	5.1.2.2	Bijgewerkte metingen 28
	5.1.3	Proef 2 31
	5.1.3.1	Metingen 31
	5.1.3.2	Bijgewerkte metingen 33
	5.1.4	Proef 3 36
	5.1.4.1	Metingen 36
	5.1.4.2	Bijgewerkte metingen 38
	5.1.5	Proef 4 41
	5.1.5.1	Metingen 41
	5.1.5.2	Bijgewerkte metingen 43
	5.2	Proeven elementtype 2 46
	5.2.1	Overzicht meetinstrumenten 46
	5.2.2	Proef 5 47
	5.2.2.1	Metingen 47
	5.2.2.2	Bijgewerkte metingen 49
	5.2.3	Proef 6 52
	5.2.3.1	Metingen 52
	5.2.3.2	Bijgewerkte metingen 54
	5.2.4	Proef 7 57
	5.2.4.1	Metingen 57
	5.2.4.2	Bijgewerkte metingen 59
	5.2.5	Proef 8 62
	5.2.5.1	Metingen 62
	5.2.5.2	Bijgewerkte metingen 64
	5.3	Proeven elementtype 3 67
	5.3.1	Overzicht meetinstrumenten 67
	5.3.2	Proef 9 68
	5.3.2.1	Metingen 68
	5.3.2.2	Bijgewerkte metingen 70
	5.3.3	Proef 10 73
	5.3.3.1	Metingen 73
	5.3.3.2	Bijgewerkte metingen 75
	5.3.4	Proef 11 78
	5.3.4.1	Metingen 78
	5.3.4.2	Bijgewerkte metingen 80
	5.3.5	Proef 12 83
	5.3.5.1	Metingen 83
	5.3.5.2	Bijgewerkte metingen 85

Inhoudsopgave

Titel
Ontwerp en beproeving van een
experimenteel wandstelsel
bestaande uit hout en EPS

1 Materiaaleigenschappen

1.1 Materiaaleigenschappen EC5

Hieronder volgt een overzicht van de materiaaleigenschappen van C18 conform EC5.

C18	f_{rep}	f_d	ratio		
$f_{m;0}$	18	12,75	0,71	N/mm ²	
$f_{t;0}$	11	7,79	0,71	N/mm ²	
$f_{t;90}$	0,5	0,35	0,71	N/mm ²	
$f_{c;0}$	18	12,75	0,71	N/mm ²	
$f_{c;90}$	6,6	4,68	0,71	N/mm ²	Zie Eurocode 5 - 8.5.2: $3 \times f_{c;90;rep}$ toepassen bij axiale druk
$f_{v;0}$	2	1,42	0,71	N/mm ²	
$E_{0;ser}$	9000	9000	1,00	N/mm ²	Spreading van 20% aangenomen

1.2 Gemiddelde waarden materiaaleigenschappen

Om gemiddelde waarde, de 5% onder- en bovengrens van de materiaaleigenschappen te bepalen wordt uitgegaan van het rapport TKK-TRT-130 wat een samenvatting is van de proevenreeks COMBI T: "DESTRUCTIVE TENSION-, SHEAR- AND COMPRESSION- (0° and 90°) STRENGTH-TESTS FOR FINNISH SAWN TIMBER", auteurs: Matti Poussa Pekka Tukiainen K o h saku Mitsuhashi Petteri Anderisin.

Dit rapport geeft een samenvatting van onderzoek COMBI T, en bevat onderzoeksresultaten van destructieve testen waarmee een indicatie wordt gegeven van de trek- schuif en druk sterkte van twee houtsoorten loodrecht en evenwijdig met de vezel. De getoetste houtsoorten zijn spar (spruce) en den (pine). Uit deze testen kan de elasticiteitsmodulus berekend worden. Alle testen waren conform EN408. Voor druk loodrecht op de vezel zijn ook testen gedaan conform ASTM 143D.

1.2.1 Trek loodrecht op de vezel

Uit de proeven kwam naar voren dat de sterkte meer afhangt van de dikte en de vezelrichting van de plank. Dunnere planken hebben een een kleinere treksterkte loodrecht op de vezel. Planken gezaagd uit het midden van de boom hebben een lagere treksterkte dan planken die net daarnaast worden gezaagd.

Uit de proeven komt naar voren dat er een goede correlatie is tussen de treksterkte evenwijdig aan de vezel en de elasticiteitsmodulus.

De gemiddelde treksterkte evenwijdig aan de vezel ($f_{t;0;mean}$) is 33,5 N/mm². Met een variatiecoëfficiënt van 0,30. De gemeten treksterkte van dunnere planken (44x200mm) was zo'n 20% lager. Dit kwam had twee redenen. Allereerst zaten er relatief meer knoesten in de zijkanen van de planken. Daarnaast werden de planken momentvast belast waardoor er

momenten en torsie in de planken ontstonden. Deze hebben bij dunnere planken meer invloed dan bij dikkere planken.

Aangenomen waarden:

$$f_{t;0;\min} : f_{t;0;\text{mean}} - 1.64 * 0.3 * 33.5 = 17.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t;0;\text{mean}} : 33,5$$

$$f_{t;0;\max} : f_{t;0;\text{mean}} + 1.64 * 0.3 * 33.5 = 50.5 \text{ N/mm}^2$$

1.2.2 Elasticiteitsmodulus

Er wordt een verband gelegd tussen de treksterkte evenwijdig aan de vezel en de elasticiteitsmodulus. Deze wordt voor alle getoetste balkformaten gegeven.

De lineaire regressielijn van de balken 50x150mm wordt aangehouden omdat deze de grootste correlatie vertoonde.

De lineaire regressielijn uit het rapport is: $y = 0,004x - 13,713$

Waarin:

Y = treksterkte evenwijdig aan de vezel.

X = elasticiteitsmodulus

Aangehouden waarden:

$$E_{0;\text{ser};\min} = (f_{t;0;\min} + 13,713) / 0,004 = (17,0 + 13,713) / 0,004 = 7678 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0;\text{ser};\text{mean}} = (f_{t;0;\text{mean}} + 13,713) / 0,004 = (35,5 + 13,713) / 0,004 = 12303 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0;\text{ser};\max} = (f_{t;0;\max} + 13,713) / 0,004 = (50,5 + 13,713) / 0,004 = 16053 \text{ N/mm}^2$$

1.2.3 Druk loodrecht op de vezel

Er worden in het rapport meerdere drukproeven gedaan. Hier wordt uitgegaan van de drukproeven conform EN408 en drukproeven op doorlopende balken en eindbalken.

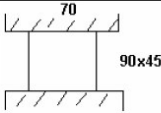
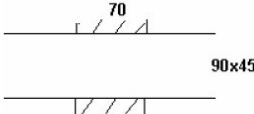
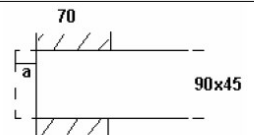
TEST SETUPS	TKK Test results $\frac{f_{mean.beam}}{f_{mean.EN408}}$	prEN1995-1-1-A1 (DIN) new proposal part: (4) $\frac{A_{ef}}{A}$	EN1995-1-1:2004 EUROCODE part: (6) $\frac{A_{ef}}{A}$	ENV1995-1-1 Old EUROCODE $k_{c,90}$
	$f_{mean.EN408} = 2,8MPa$			
	$\frac{4,7MPa}{2,8MPa} = 1,68$	1,85	1,43	1,47
	$\frac{3,9MPa}{2,8MPa} = 1,40$	1,43	1,21	1,0

Table 15. Comparison of ratios obtained from test results and standards.
(bron: TKK-TRT-130)

In bovenstaand figuur is een drietal situaties weergegeven. De bovenste afbeelding geeft de metingen conform EN408. Omdat de situatie zoals deze getest wordt in EN408 in praktijk bijna niet voorkomt zijn er extra testen gedaan op doorlopende balken (middelsde afbeelding) en eindbalken (onderste afbeelding).

Bij de ASTM 143D methode wordt een balk (45x50x150) aan de onderkant volledig ondersteund en wordt de drukkracht uitgeoefend door een vijzel (50x50mm). Hieruit komt een hogere waarde (7,0 N/mm²).

De coefficient van variantie is:

EN408:	0.14
Doorlopende balk:	0.14
Eindbalk:	0.12
ASTM:	0.16

1.2.4 Druk evenwijdig aan de vezel

De gemiddelde waarde van de druksterkte evenwijdig aan de vezel is 36,9 N/mm² met een coefficient van variantie van 0,15.

1.2.5 Afschuifsterkte evenwijdig aan de vezel

Er wordt een verschil van 8% gevonden in de gemiddelde afschuifsterkte tussen spruce en pine. Aangehouden wordt spruce omdat deze bij alle andere testen ook is gebruikt.

De gemiddelde waarde van de afschuifsterkte evenwijdig aan de vezel van spruce is 3,9 met een coefficient van variantie van 0,15.

1.2.6 Overzicht materiaaleigenschappen C18

C18	EN338	COMBI T				
		COV	MIN	MEAN	MAX	
$f_{m;0;rep}$	18					N/mm^2
$f_{t;0;rep}$	11	0.30	17	35.5	50.5	N/mm^2
$f_{t;90;rep}$	0,5					N/mm^2
$f_{c;0;rep}$	18	0.15	30.1	39.9	49.7	N/mm^2
$f_{c;90;EN408}$	6,6	0.14	2.2	2.8	3.4	N/mm^2
$f_{c;90; doorlopende balk}$	6,6	0.14	3.6	4.7	5.8	N/mm^2
$f_{c;90; eindbalk}$	6,6	0.12	3.1	3.9	4.7	N/mm^2
$f_{c;90;ASTM}$	6,6	0.16	5.2	7.0	8.8	N/mm^2
$f_{v;0;rp}$	2	0.15	2.9	3.9	4.9	N/mm^2
$E_{0;ser;rep}$	9000		7678	12303	16053	N/mm^2

1.3 Materiaaleigenschappen spaanplaat (P5)

Spaanplaat P5	P5	MIN	MEAN	MAX		
$f_{m;rep}$	15	15			N/mm^2	Zie productblad
$f_{t;rep}$	9,4	9,4	12,5	15,6	N/mm^2	Zie productblad
$f_{c;rep}$	12,7	12,7	16,8	20,9	N/mm^2	Zie productblad
$f_{v;rep}$	7	7	9,3	11,6	N/mm^2	Zie productblad
$E_{0;ser;rep}$	2550	2040	2550	3060	N/mm^2	Spreiding P5, rekenwaarde x 0,8 is representatief

Voor de spreiding in spaanplaat wordt dezelfde spreiding als het hout aangehouden met de waarden zoals vermeld in het productblad als de 5% ondergrens. Voor de elasticiteitsmodulus wordt, conform het productblad, een spreiding aangehouden van 12%.

1.4 Overige materiaaleigenschappen

Afschuifsterkte lijm

Voor de lijm wordt een afschuifsterkte van 10N/mm² aangehouden na overleg met de leverancier.

Staalkwaliteit

Voor staal wordt uitgegaan van staalkwaliteit S235.

Boutkwaliteit

Voor de boutkwaliteit wordt uitgegaan van bouwkwaliteit 8.8. Hieronder valt ook de draadstang M8.

2 Belastingen

2.1 Uitgangspunten

Het gebouw valt onder veiligheidsklasse 2.

Het gebouw valt onder windgebied 3, onbebouwd. Gebouwhoogte is 10m, breedte is 10m.

2.2 Permanent

Wand		kN/eenheid	Eenheid	Eenheid/m2	kN/m2
Okoumé	4mm	8,00	m3	0,002	0,01
XPS	30mm	0,35	m3	0,006	0,00
Hout	21x58mm	5,50	m3	0,004	0,02
Slimfix	2,5 3/3	0,07	m2	0,937	0,07
Gips	12mm	8,00	m3	0,012	0,10
Totaal					0,20

Vloer		kN/eenheid	Eenheid	Eenheid/m2	kN/m2
Liggers	45x200	5,50	m3	0,015	0,08
Bovenplaat	31mm	8,00	m3	0,031	0,25
Afwerkingen					0,10
Gips	12mm	8,00	m3	0,012	0,10
Totaal					0,53

Dak		kN/eenheid	Eenheid	Eenheid/m2	kN/m2
Slimfix	2,5 3/3	0,07	m2	0,937	0,07
Pannen					0,48
Afwerkingen	21x58mm	5,50	m3	0,004	0,10
Gips	12mm	8,00	m3	0,012	0,10
Totaal					0,74

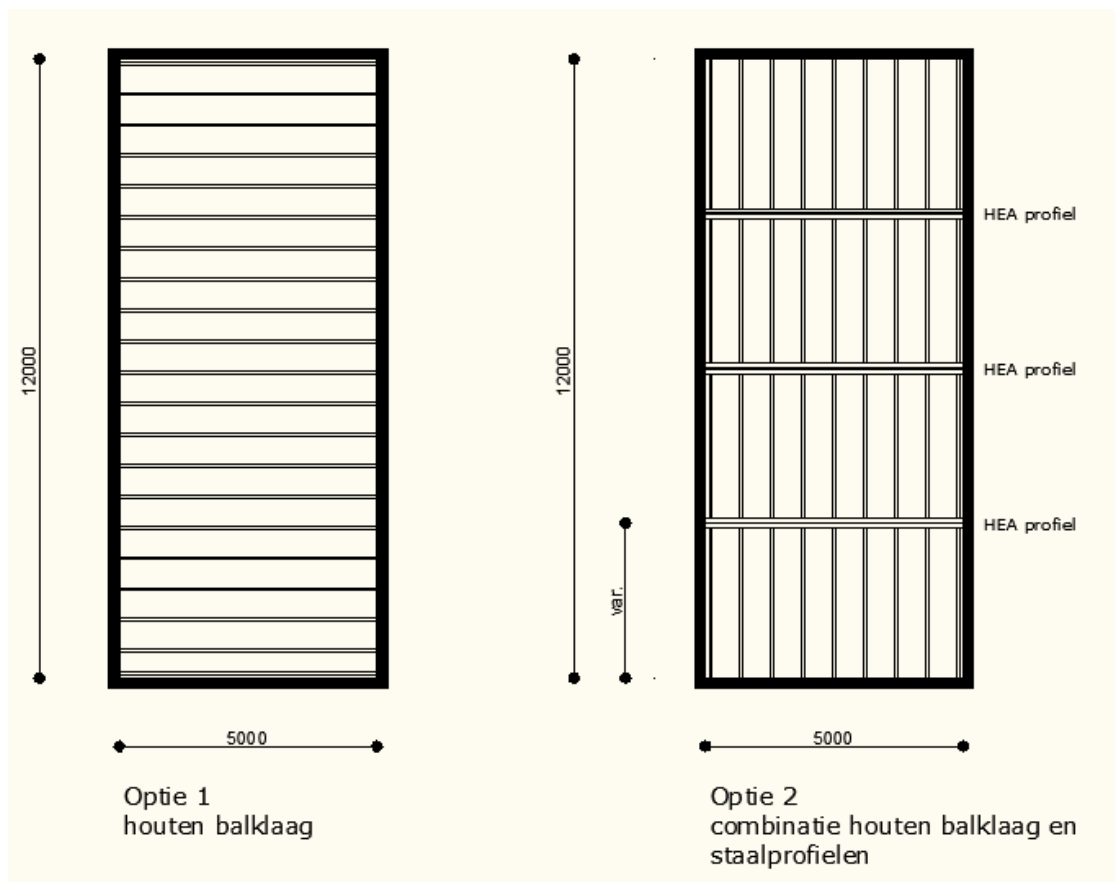
2.3 Veranderlijk

Onderdeel			Prep	Ψ	Opmerking
Vloeren			= 1,75	0,4	
Dak	Veranderlijk	= 1,00	= 1,00	0	Over 10m2
	Sneeuw	= 0,2 x 0,7	= 0,14	0	
	Wind druk	= (0,8+0,3) x 1,06 x 0,95	= 1,11	0	
	Wind zuiging	= (-0-0,3) x 1,06 x 0,95	= -0,30	0	
Wanden	Wind L druk	= (0,8+0,3) x 1,06 x 0,95	= 1,11	0	
	Wind L zuiging	= (-0,4-0,3) x 1,06 x 0,95	= -0,70	0	
	Wind //	= (-0,4-0,3) x 1,06 x 0,95	= -0,70	0	

3 Vloeren

3.1 Algemeen

Er moet een keus worden gemaakt in de overspanningsrichting van de vloeren. De eerste optie is een balklaag toe te passen over de korte overspanning. Optie 2 is een combinatie van stalen profielen en een houten balklaag.



Voor dit onderdeel worden de afmetingen van het referentieproject aangehouden, 5.0 bij 12.0 meter. Bij de combinatie stalen liggers en een balklaag worden verschillende hart op hart afstanden van de stalen liggers beschouwd.

De vloeren worden op 3 manieren gedimensioneerd. Als eerste op de ongewenste trillingen in vloeren. Daarna op de maximale doorbuigings eis. Als laatste op sterkte.

De volgende zaken worden met elkaar vergeleken, de eerste eigenfrequentie, de benodigde hoogte van de vloer en de materiaalkosten.

Volgens “Trillingen: eisen en methodiek” van TNO [10] mag de eerste eigenfrequentie bepaald worden met:

$$f_1 = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,49\mu l^4}}$$

Waarin: f = de eigenfrequentie [Hz]

E = De elasticiteitsmodulus [N/mm²]

I = Het traagheidsmoment van de ligger [mm⁴]

μ = De permanente belasting op de ligger [kg/m]

l = De overspanning van de ligger [mm]

Daarnaast mogen volgens Minimizing Floor Vibration by design and retrofit en NBCC's 1990 [9] de eigenfrequenties van de houten balken en de stalen liggers (gording) als volgt worden gecombineerd tot een eigenfrequentie van de vloer:

$$f_{1;system} = \sqrt{\frac{f_{1;balk}^2 \times f_{1;gording}^2}{f_{1;balk}^2 + f_{1;gording}^2}}$$

Waarin: $f_{1;system}$ = eigenfrequentie van het vloersysteem

$f_{1;balk}$ = eigenfrequentie van de houten balk

$f_{1;gording}$ = eigenfrequentie van de stalen ligger

3.2 Trillingseis

Om aan de trillingseisen te voldoen moet een vloer een minimale eerste eigenfrequentie hebben van 8 Hz. Daarnaast dient de vloer een maximale doorbuiging te hebben ten gevolge van een puntlast van 1 kN in het midden van de ligger. Deze maximale doorbuiging kan volgens Minimizing Floor Vibration by design and retrofit en NBCC's 1990 [9] worden beschreven door:

$$\text{If } l < 3m, \delta \leq 2mm$$

$$\text{If } l \geq 3m, \delta \leq \frac{8,0}{l^{1,3}}$$

Waarin: δ = De doorbuiging ten gevolge van een puntlast van 1 kN in het midden van de ligger [mm]

l = De overspanning van de vloer [m]

3.2.1 Houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal traagheidsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3.

L	U _{max}	F _{rep}	E	I _{ben}	W	h _{ben}	b	A _{tot}	μ	f ₁
[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm ⁴]	[mm ³]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
5000	0,99	1000	9000	2,93E+08	1,83E+06	320	107	34240	50	14,41

3.2.2 Combinatie stalen liggers en houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal traagheidsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3. Er worden een aantal verschillende overspanningen van de houten balklaag bekeken. Hierbij is als uitgangspunt gehanteerd dat de staalprofielen en de houten balklaag dezelfde hoogte dienen te hebben. Dit wordt bereikt door de doorbuigingseis van een ligger van 5 meter te hanteren (1,0 mm) en deze doorbuiging te verdelen over de stalen ligger en de houten balklaag.

Houten balklaag

L	U _{max}	F _{rep}	E	I _{ben}	W	h _{ben}	b	A _{tot}	μ	f _{1;balk}
[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm ⁴]	[mm ³]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
1500	0,35	1000	9000	2,23E+07	2,65E+05	168	56	9449	23	65,13
2000	0,50	1000	9000	3,70E+07	3,88E+05	191	64	12172	26	44,45
2500	0,70	1000	9000	5,17E+07	4,98E+05	208	69	14376	29	32,17
3000	0,80	1000	9000	7,81E+07	6,78E+05	230	77	17678	32	25,90
3500	0,85	1000	9000	1,17E+08	9,17E+05	255	85	21611	36	21,86
4000	0,90	1000	9000	1,65E+08	1,19E+06	277	92	25660	41	18,77
4500	0,93	1000	9000	2,27E+08	1,51E+06	301	100	30121	46	16,46
5000	0,95	1000	9000	3,05E+08	1,88E+06	324	108	34904	51	14,64

Stalen ligger

L	U _{max}	F _{rep}	I _{ben}	HEA	I	W	μ	μ _{tot}	f _{1;gording}
[mm]	[mm]	[N]	[mm ⁴]	[mm ³]	[mm ⁴]	[mm ³]	[kg/m]	[kg/m]	[Hz]
5000	0,65	1000	1,91E+07	HEA180	2,51E+07	2,94E+05	35,5	70	15,04
5000	0,50	1000	2,48E+07	HEA180	2,51E+07	2,94E+05	35,5	88	15,35
5000	0,30	1000	4,13E+07	HEA220	5,41E+07	5,15E+05	50,5	122	16,82
5000	0,20	1000	6,20E+07	HEA240	7,76E+07	6,75E+05	60,3	157	18,17
5000	0,15	1000	8,27E+07	HEA260	1,05E+08	8,36E+05	68,2	196	18,78
5000	0,10	1000	1,24E+08	HEA280	1,37E+08	1,01E+06	76,4	240	20,78
5000	0,07	1000	1,77E+08	HEA300	1,83E+08	1,26E+06	88,3	294	22,44
5000	0,05	1000	2,48E+08	HEA340	2,77E+08	1,68E+06	105,0	359	24,01

Systeem

$f_{1;balk}$ [Hz]	$f_{1;gording}$ [Hz]	$f_{1;system}$ [Hz]
65,13	15,04	14,66
44,45	15,35	14,51
32,17	16,82	14,91
25,90	18,17	14,87
21,86	18,78	14,24
18,77	20,78	13,93
16,46	22,44	13,27
14,64	24,01	12,50

3.3 Gebruikstoestand (BGT)

De vloeren worden ook gedimensioneerd aan de hand van de gebruikstoestand.

3.3.1 Houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal traagheidsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3.

L	U_{max}	q_{rep}	E	I_{ben}	h_{ben}	b	A_{tot}	μ	f_1
[mm]	[mm]	[kN/m]	[N/mm ²]	[mm ⁴]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
5000	20	1,02	9000	4,61E+07	202	67	13582	28	7,69

3.3.2 Combinatie stalen liggers en houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal traagheidsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3. Er worden een aantal verschillende overspanningen van de houten balklaag bekeken. Hierbij is het uitgangspunt gehanteerd dat de staalprofielen en de houten balklaag dezelfde hoogte dienen te hebben. Dit wordt bereikt door de doorbuigingseis van een ligger van 5 meter te hanteren (20 mm) en deze doorbuiging te verdelen over de stalen ligger en de houten balklaag.

Houten balklaag

L	U _{max}	q _{rep}	E	I _{ben}	h _{ben}	B	A _{tot}	μ	f _{1;balk}
[mm]	[mm]	[kN/m]	[N/mm ²]	[mm ⁴]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
1500	2,00	1,35	9000	4,94E+06	116	39	4447	18	35,00
2000	3,00	1,35	9000	1,04E+07	139	46	6455	20	26,98
2500	4,00	1,35	9000	1,91E+07	162	54	8735	22	22,04
3000	6,00	1,35	9000	2,64E+07	176	59	10270	24	17,37
3500	8,00	1,35	9000	3,66E+07	191	64	12106	26	14,46
4000	10,00	1,35	9000	5,00E+07	206	69	14142	28	12,42
4500	12,00	1,35	9000	6,67E+07	221	74	16339	31	10,89
5000	14,00	1,35	9000	8,72E+07	237	79	18675	33	9,69

Stalen ligger

L	U _{max}	q _{rep}	E	I _{ben}	HEA	I	μ	μ _{tot}	f _{1;goring}
[mm]	[mm]	[kN/m]	[N/mm ²]	[mm ⁴]		[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[Hz]
5000	18,00	3,375	210000	7,27E+06	HEA140	1,03E+07	24,7	51,4	12,95
5000	17,00	4,5	210000	1,03E+07	HEA160	1,67E+07	30,4	70,4	14,08
5000	16,00	5,625	210000	1,36E+07	HEA160	1,67E+07	30,4	86,6	12,70
5000	14,00	6,75	210000	1,87E+07	HEA180	2,51E+07	35,5	107,9	13,93
5000	12,00	7,875	210000	2,54E+07	HEA200	3,69E+07	42,3	133,7	15,18
5000	10,00	9	210000	3,49E+07	HEA200	3,69E+07	42,3	155,6	14,07
5000	8,00	10,125	210000	4,90E+07	HEA220	5,41E+07	50,5	188,7	15,47
5000	6,00	11,25	210000	7,27E+07	HEA240	7,76E+07	60,3	226,5	16,91

Systeem

f _{1;balk}	f _{1;goring}	f _{1;system}
[Hz]	[Hz]	[Hz]
35,00	12,95	12,14
26,98	14,08	12,49
22,04	12,70	11,00
17,37	13,93	10,87
14,46	15,18	10,47
12,42	14,07	9,31
10,89	15,47	8,90
9,69	16,91	8,41

3.4 Uiterste grenstoestand (UGT)

Als laatste wordt de uiterste grenstoestand bekeken, doorbuigingen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Daarnaast worden de hoogtes van de houten balken en stalen liggers niet op elkaar afgestemd.

3.4.1 Houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal weerstandsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3.

L	U _{max}	q _d	M _d	E	W _{ben}	h _{ben}	b	A _{tot}	μ	f ₁
[mm]	[mm]	[kN/m]	[kNm]	[N/mm ²]	[mm ³]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
5000	20	1,725	5,39	9000	5,13E+05	210	70	14679	29	8,13

3.4.2 Combinatie stalen liggers en houten balklaag

Bij het onderstaande overzicht wordt een minimaal weerstandsmoment berekend. Deze wordt omgezet in een benodigde hoogte en breedte van de balklaag met een aangenomen hoogte: breedte verhouding van 1:3.

Houten balklaag

L	q _d	M _d	E	W _{ben}	h _{ben}	b	A _{tot}	μ	f _{1;balk}
[mm]	[kN/m]	[kNm]	[N/mm ²]	[mm ³]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[kg/m]	[Hz]
1500	1,725	0,49	9000	4,62E+04	94	31	2948	16	24,34
2000	1,725	0,86	9000	8,21E+04	114	38	4326	18	19,23
2500	1,725	1,35	9000	1,28E+05	132	44	5825	19	15,86
3000	1,725	1,94	9000	1,85E+05	149	50	7428	21	13,45
3500	1,725	2,64	9000	2,52E+05	165	55	9123	23	11,64
4000	1,725	3,45	9000	3,29E+05	181	60	10901	25	10,23
4500	1,725	4,37	9000	4,16E+05	196	65	12755	27	9,09
5000	1,725	5,39	9000	5,13E+05	210	70	14679	29	8,16

Stalen ligger

L	q _d	M _d	E	W _{ben}	HEA	W	kg/m	μ _{tot}	f _{1;gording}
[mm]	[kN/m]	[kNm]	[N/mm ²]	[mm ³]	[mm ³]	[mm]	[kg/m]	[kg/m]	[Hz]
5000	4,3125	13,48	210000	5,73E+04	HEA100	7,30E+04	16,7	21,0	11,77
5000	5,75	17,97	210000	7,65E+04	HEA120	1,06E+05	19,9	25,7	14,04
5000	7,1875	22,46	210000	9,56E+04	HEA120	1,06E+05	19,9	27,1	13,66
5000	8,625	26,95	210000	1,15E+05	HEA140	1,55E+05	24,7	33,3	16,08
5000	10,0625	31,45	210000	1,34E+05	HEA140	1,55E+05	24,7	34,8	15,75
5000	11,5	35,94	210000	1,53E+05	HEA140	1,55E+05	24,7	36,2	15,43
5000	12,9375	40,43	210000	1,72E+05	HEA160	2,20E+05	30,4	43,3	17,95
5000	14,375	44,92	210000	1,91E+05	HEA160	2,20E+05	30,4	44,8	17,66

Systeem

$f_{1;balk}$ [Hz]	$f_{1;gording}$ [Hz]	$f_{1;system}$ [Hz]
24,34	11,77	10,60
19,23	14,04	11,34
15,86	13,66	10,35
13,45	16,08	10,32
11,64	15,75	9,36
10,23	15,43	8,52
9,09	17,95	8,11
8,16	17,66	7,41

3.5 Kosten

Voor de kosten worden de volgende prijzen aangehouden:

Hout: 700 €/m³

Staal: 1,20 €/kg

De prijzen per vierkante meter zijn berekend op het vloeroppervlak van 5,0 bij 12,0 meter. De benodigde kubieke meter hout en kilogram staal wordt over dit oppervlak bepaald. Daarna wordt het gedeeld door 60 m².

3.6 Overzichten

Hieronder volgen de berekende gegevens in tabellen.

Houten balklaag

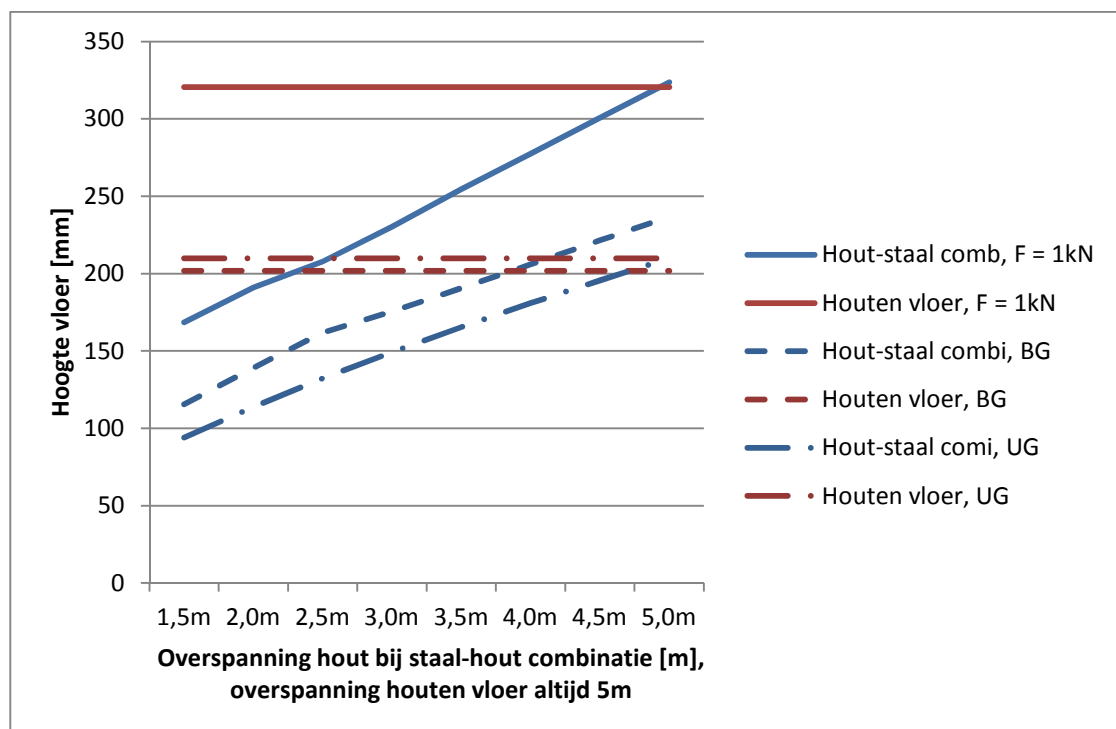
L	1,0kN			BG			UGT		
	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²
5,0m	320	14,41	39,95	202	7,69	€ 15,85	210	8,13	17,13

Combinatie stalen liggers en houten balklaag

L _{hout}	1,0kN			BG			UGT		
	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²	H [mm]	f ₁ [Hz]	€/m ²
1,5m	168	14,66	€ 39,42	116	12,14	€ 24,95	94	10,60	€ 16,80
2,0m	191	14,51	€ 35,50	139	12,49	€ 25,77	114	11,34	€ 16,99
2,5m	208	14,91	€ 41,01	162	11,00	€ 24,78	132	10,35	€ 16,35
3,0m	230	14,87	€ 44,74	176	10,87	€ 26,18	149	10,32	€ 18,55
3,5m	255	14,24	€ 48,60	191	10,47	€ 28,63	165	9,36	€ 19,11
4,0m	277	13,93	€ 52,86	206	9,31	€ 29,19	181	8,52	€ 20,13
4,5m	301	13,27	€ 58,69	221	8,90	€ 32,53	196	8,11	€ 22,99
5,0m	324	12,50	€ 65,92	237	8,41	€ 36,26	210	7,41	€ 24,42

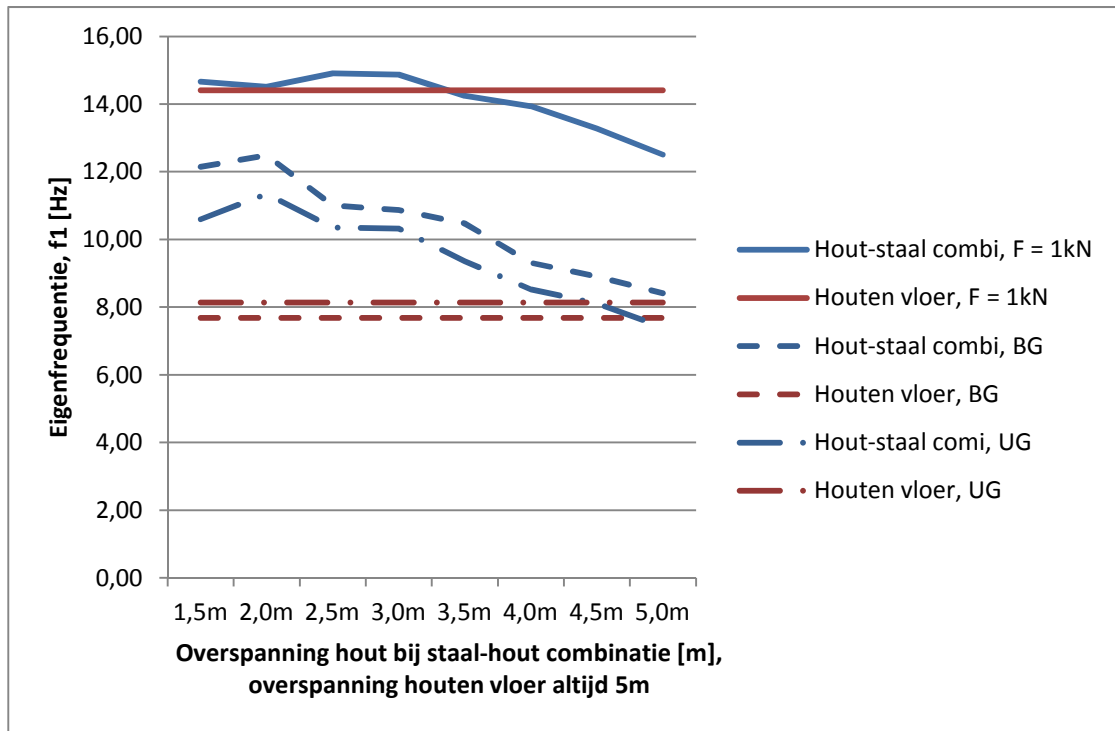
3.6.1 Overzicht vloerhoogte

Hieronder volgt een overzicht van de benodigde vloerhoogte van beide systemen.



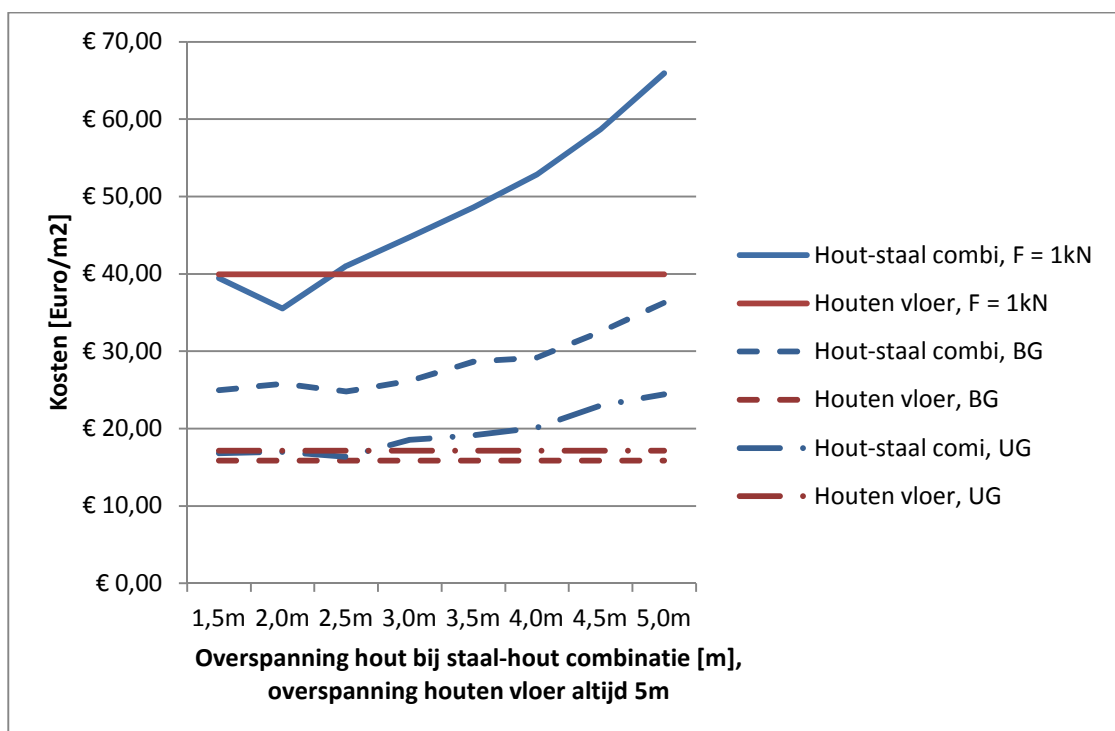
3.6.2 Overzicht eigen frequentie

Hieronder volgt een overzicht van de eigenfrequentie van beide systemen.



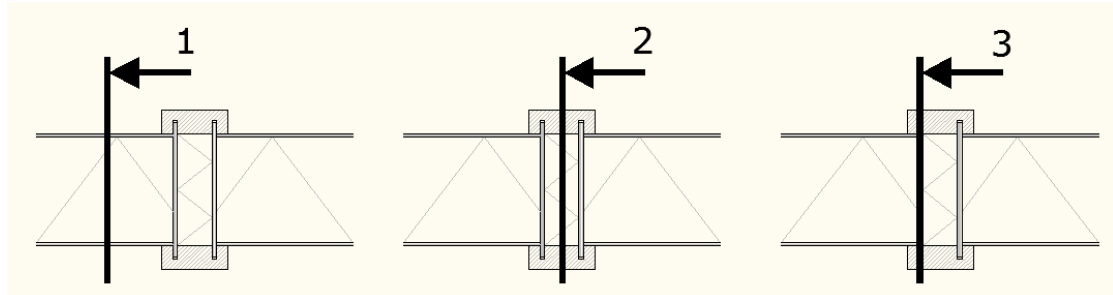
3.6.3 Overzicht kosten

Hieronder volgt een overzicht van de kosten van beide systemen.



4 Vocht

Om de constructie te beoordelen op inwendige condensatie wordt gebruik gemaakt van de methode Glaser. Er worden drie doorsneden bekeken, een ter plaatse van de Isobouw sandwichpanelen (1), een in het hart van een I-profiel (2) en een ter plaatse van de Okoumé multiplex platen in de I-profielen (3).



Voor de condensatieperiode wordt aangehouden:

- Buitenklimaat: - 10 °C en 80% R.V.
- Binnenklimaat: 20 °C en 50% R.V.
- Tijdsduur: 60 dagen

Voor de drogingsperiode wordt aangehouden:

- Buitenklimaat: 12 °C en 70% R.V.
- Binnenklimaat: 12 °C en 70% R.V.
- Op condensatieplaats: 12 °C en 100% R.V.
- Tijdsduur: 90 dagen

Er wordt geen rekening gehouden met een eventueel buitenblad omdat deze onbekend is. Er wordt wel rekening gehouden met een gipsplaat van 12mm aan de binnenzijde inclusie de luchtspouw van 21mm.

4.1 Ter plaatse van Isobouw sandwichpaneel

	Rekenwaarde warmtegeleidingscoëfficiënt [W/m.K]	Dikte [mm]	Warmteweerstand in [m ² .K/W]	Relatieve dampdiffusieweerstand (μd-waarde) [m]
Rse			0,04	0
Spaanplaat	0,16	3	0,02	0,045
EPS	0,03	92	3,07	1,9
Spaanplaat	0,16	3	0,02	0,045
Luchtspouw		21	0,15	0
Gipsplaat	0,29	12	0,04	0,06
Rsi			0,13	0

Winter	d	λ	r	ΔT	T	P_{max}	μd	Δp_w	p_w
	m	w/mK	m ² K/w	°C	°C	Pa	m	Pa	Pa
Lucht buiten					-10	260			208
Rse			0,04	0,35			0	0	
					-9,65	292			208
Spaanplaat	3	0,16	0,02	0,16			0,045	21	
					-9,49	296			229
EPS	92	0,03	3,07	26,55			1,9	892	
					17,06	1943			1121
Spaanplaat	3	0,16	0,02	0,16			0,045	21	
					17,22	1963			1142
Luchtspouw	21		0,15	1,30			0	0	
					18,52	2130			1142
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,36			0,06	28	
					18,87	2179			1170
Rsi			0,13	1,13			0	0	
Lucht binnen					20	2340			1170
Totaal			3,47	30			2,05	962	962

Winter	Condensatieperiode, 60 dagen				
	g_{in}	g_{uit}	g_{in-uit}	s	g_{tot}
Spaanplaat					
	6,27E-05	3,68E-04	-3,05E-04	5184000	-1583
EPS					
	-1,76E-03	1,68E-04	-1,93E-03	5184000	-10010
Spaanplaat					
	-3,15E-03	1,66E-04	-3,31E-03	5184000	-17180
Luchtspouw					

Zomer	d	λ	r	ΔT	T	P_{max}	μd	Δp_w	p_w
	m	w/mK	m ² K/w	°C	°C	Pa	m	Pa	Pa
Lucht buiten					12	1401			981
Rse			0,04	0,00			0	0	
					12	1401			981
Spaanplaat	3	0,16	0,02	0,00			0,045	0	
					12	1401			981
EPS	92	0,03	3,07	0,00			1,9	0	
					12	1401			981
Spaanplaat	3	0,16	0,02	0,00			0,045	0	
					12	1401			981
Luchtspouw	21		0,15	0,00			0	0	
					12	1401			981
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,00			0,06	0	
					12	1401			981
Rsi			0,13	0,00			0	0	
Lucht binnen					12	1401			981
Totaal			3,47	0			2,05	0	0

Zomer	Droogperiode, 90 dagen				
	g_{in}	g_{uit}	g_{in-uit}	s	g_{tot}
Spaanplaat	-1,32E-04	1,76E-03	-1,89E-03	7776000	-14715
EPS	-2,52E-03	4,07E-05	-2,56E-03	7776000	-19887,3
Spaanplaat	-4,40E-03	3,98E-05	-4,44E-03	7776000	-34558,1
Luchtspouw					

4.2 Ter plaatse van I-profiel

	Rekenwaarde		Warmteweerstand		Relatieve dampdiffusieweerstand
	warmtegeleidingscoëfficiënt [W/m.K]	Dikte [mm]	in [m ² .K/W]		(μ d-waarde) [m]
Rse			0,04		0
Hout	0,14	21	0,15		2,31
EPS	0,03	98	3,27		2,02
Hout	0,14	21	0,15		2,31
Luchtspouw		21	0,15		0
Gipsplaat	0,29	12	0,04		0,06
Rsi			0,13		0

Winter	d m	λ w/mK	r m ² K/w	ΔT °C	T °C	P_{max} Pa	μd m	Δp_w Pa	p_w Pa
Lucht buiten					-10	260			208
Rse			0,04	0,31			0	0	208
Hout	21	0,14	0,15	1,15			2,31	331	208
EPS	98	0,03	3,27	24,95			2,02	290	539
Hout	21	0,14	0,15	1,15			2,31	331	830
Luchtspouw	21		0,15	1,15			0	0	1161
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,32			0,06	9	1161
Rsi			0,13	0,99			0	0	1170
Lucht binnen					20	2340			1170
Totaal			3,928046	30			6,703913	962	962

Winter	Condensatieperiode, 60 dagen				
	g_{in}	g_{uit}	g_{in-uit}	s	g_{tot}
Spaanplaat	2,76E-05	9,04E-06	1,86E-05	5184000	96
EPS	-7,18E-05	7,21E-05	-1,44E-04	5184000	-746
Spaanplaat	-3,28E-03	5,10E-05	-3,33E-03	5184000	-17252
Luchtspouw					

Zomer	d	λ	r	ΔT	T	P_{max}	μd	Δp_w	p_w
	m	w/mK	m^2K/w	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	Pa	m	Pa	Pa
Lucht buiten					12	1401			981
Rse			0,04	0,00			0	0	
					12	1401			981
Hout	21	0,14	0,15	0,00			2,31	0	
					12	1401			981
EPS	98	0,03	3,27	0,00			2,02	0	
					12	1401			981
Hout	21	0,14	0,15	0,00			2,31	0	
					12	1401			981
Luchtspouw	21		0,15	0,00			0	0	
					12	1401			981
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,00			0,06	0	
					12	1401			981
Rsi			0,13	0,00			0	0	
Lucht binnen					12	1401			981
Totaal			3,928046	0			6,703913	0	0

Zomer	Droogperiode, 90 dagen				
	g_{in}	g_{uit}	g_{in-uit}	s	g_{tot}
Spaanplaat	-6,01E-05	3,43E-05	-9,44E-05	7776000	-734
EPS	-1,12E-04	1,83E-05	-1,30E-04	7776000	-1009
Spaanplaat	-4,40E-03	1,19E-05	-4,42E-03	7776000	-34341
Luchtspouw					

4.3 Ter plaatse van multiplex in I-profiel

	Rekenwaarde warmtegeleidingscoëfficiënt [W/m.K]	Dikte [mm]	Warmteweerstand in [m ² .K/W]	Relatieve dampdiffusieweerstand (μd-waarde) [m]
Rse			0,04	0
Hout	0,14	21	0,15	2,31
EPS	0,03	98	3,27	2,02
Hout	0,14	21	0,15	2,31
Luchtspouw		21	0,15	0
Gipsplaat	0,29	12	0,04	0,06
Rsi			0,13	0

Winter	d m	λ w/mK	r m ² K/w	ΔT °C	T °C	P _{max} Pa	μd m	Δp _w Pa	p _w Pa
Lucht buiten					-10	260			208
Rse			0,04	0,31			0	0	
					-9,69	291			208
Hout	21	0,14	0,15	1,15			2,31	331	
					-8,55	319			539
EPS	98	0,03	3,27	24,95			2,02	290	
					16,40	1864			830
Hout	21	0,14	0,15	1,15			2,31	331	
					17,55	2004			1161
Luchtspouw	21		0,15	1,15			0	0	
					18,69	2154			1161
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,32			0,06	9	
					19,01	2197			1170
Rsi			0,13	0,99			0	0	
Lucht binnen					20	2340			1170
Totaal			3,928046	30			6,703913	962	962

Winter	Condensatieperiode, 60 dagen				
	g _{in}	g _{uit}	g _{in-uit}	s	g _{tot}
Spaanplaat					
	2,76E-05	9,04E-06	1,86E-05	5184000	96
EPS					
	-7,18E-05	7,21E-05	-1,44E-04	5184000	-746
Spaanplaat					
	-3,28E-03	5,10E-05	-3,33E-03	5184000	-17252
Luchtspouw					

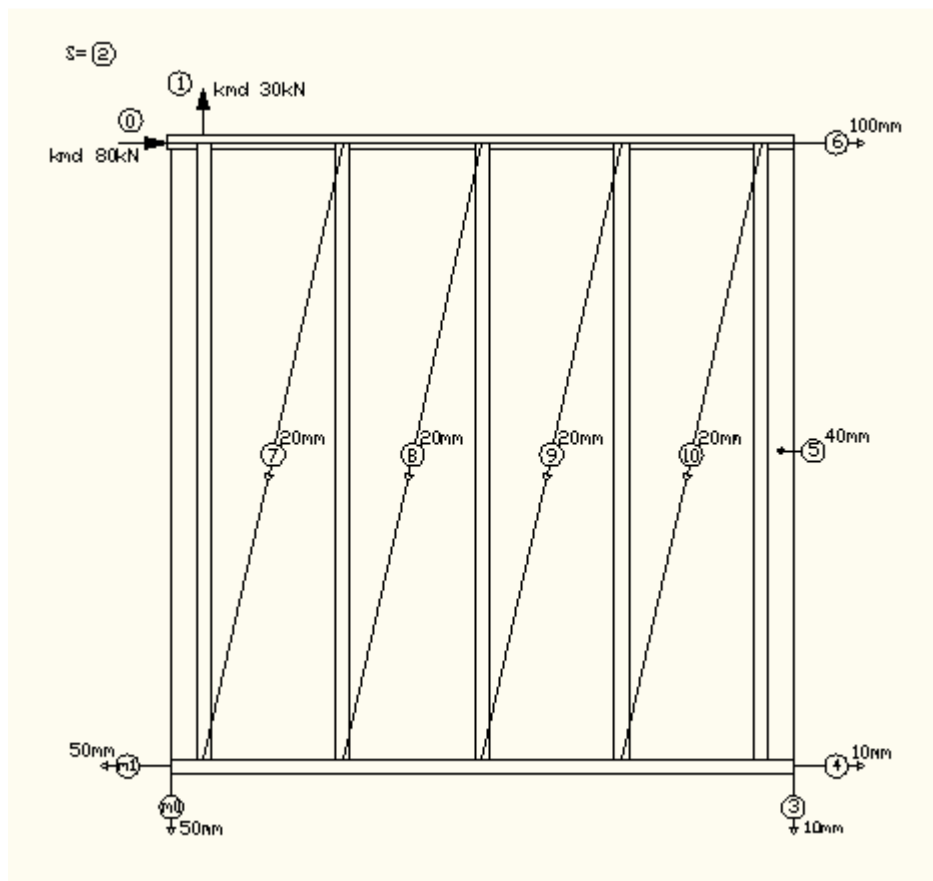
Zomer	d m	λ w/mK	r m ² K/w	ΔT °C	T °C	P_{max} Pa	μd m	Δp_w Pa	p_w Pa
Lucht buiten					12	1401			981
Rse			0,04	0,00			0	0	
					12	1401			981
Hout	21	0,14	0,15	0,00			2,31	0	
					12	1401			981
EPS	98	0,03	3,27	0,00			2,02	0	
					12	1401			981
Hout	21	0,14	0,15	0,00			2,31	0	
					12	1401			981
Luchtspouw	21		0,15	0,00			0	0	
					12	1401			981
Gipsplaat	12	0,29	0,04	0,00			0,06	0	
					12	1401			981
Rsi			0,13	0,00			0	0	
Lucht binnen					12	1401			981
Totaal			3,928046	0			6,703913	0	0

Zomer	Droogperiode, 90 dagen				
	g_{in}	g_{uit}	g_{in-uit}	s	g_{tot}
Spaanplaat					
	-6,01E-05	3,43E-05	-9,44E-05	7776000	-734
EPS					
	-1,12E-04	1,83E-05	-1,30E-04	7776000	-1009
Spaanplaat					
	-4,40E-03	1,19E-05	-4,42E-03	7776000	-34341
Luchtspouw					

5 Uitkomsten schuifproeven

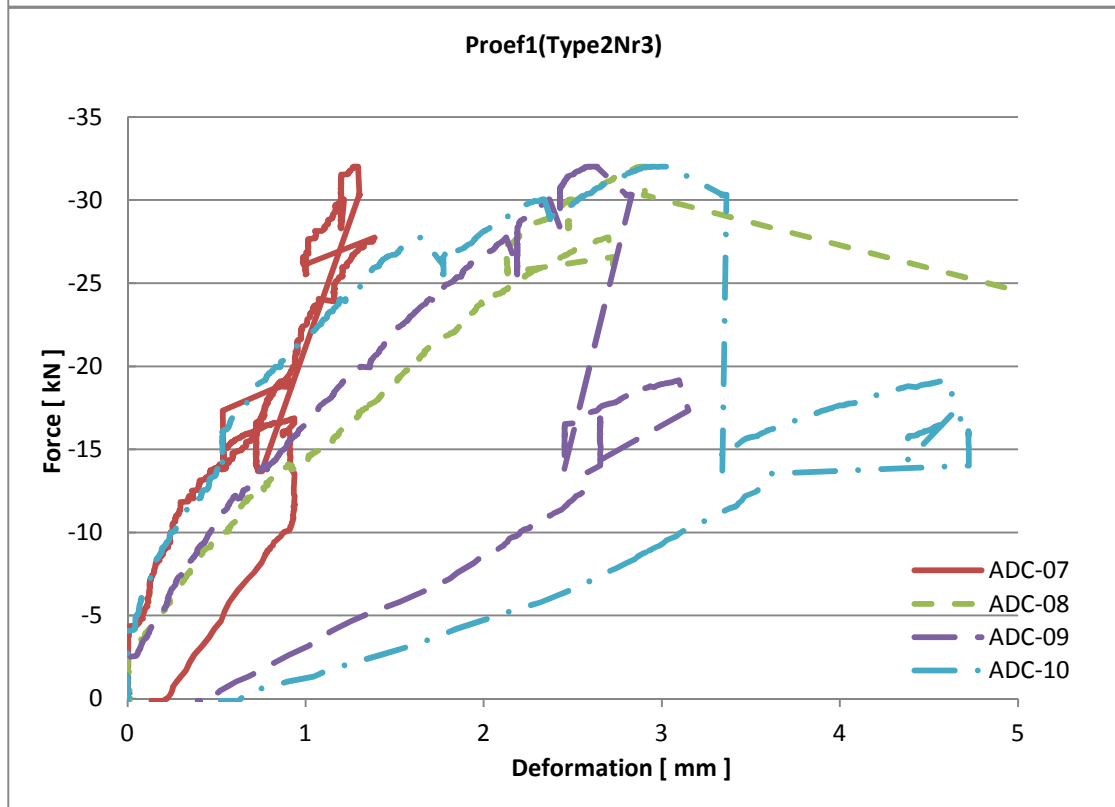
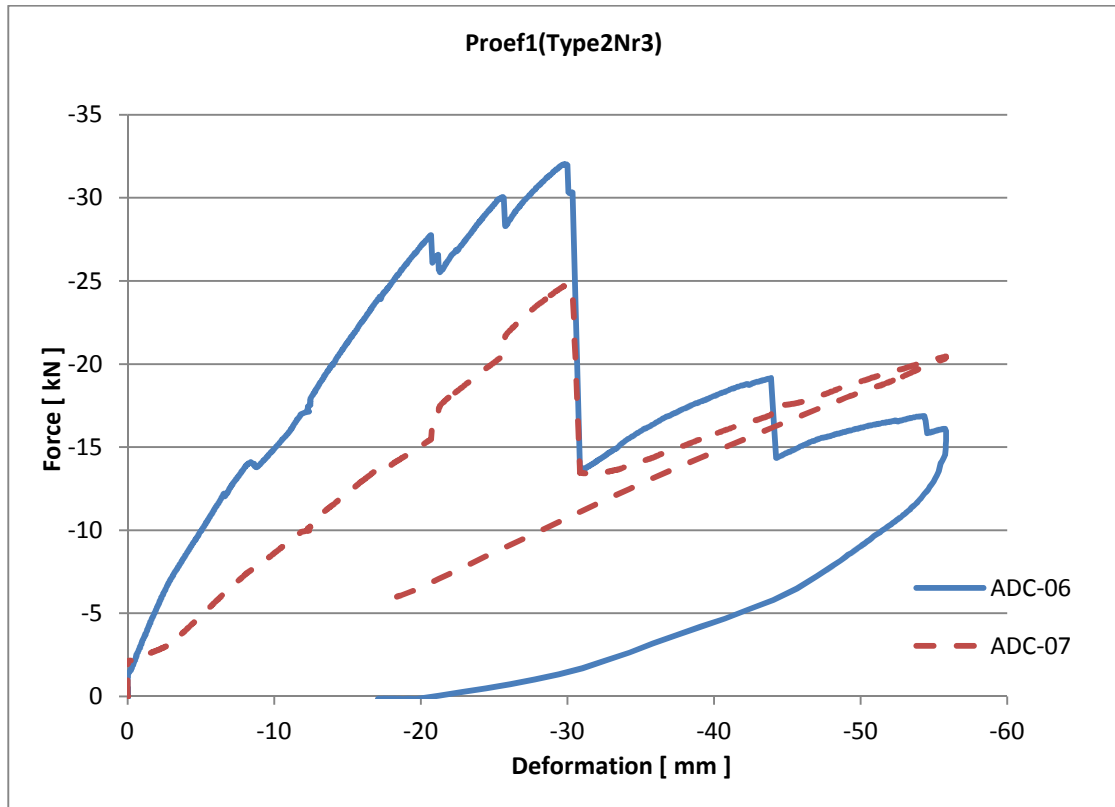
5.1 Proeven elementtype 1

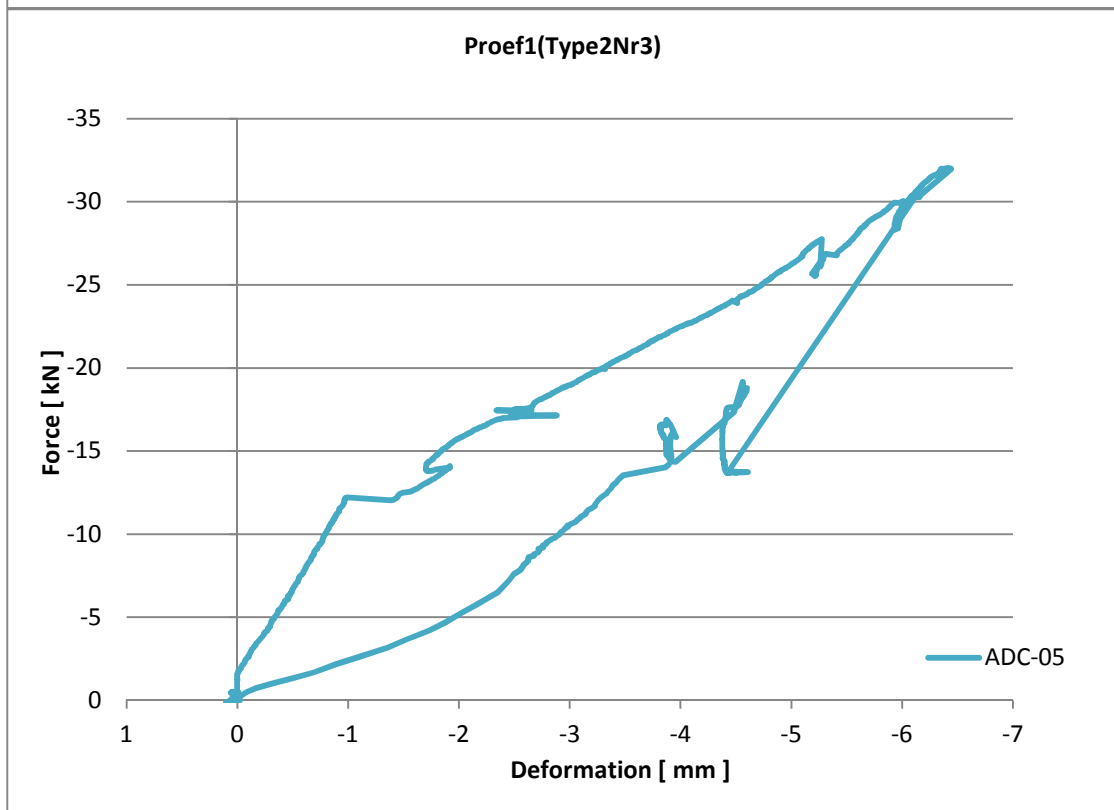
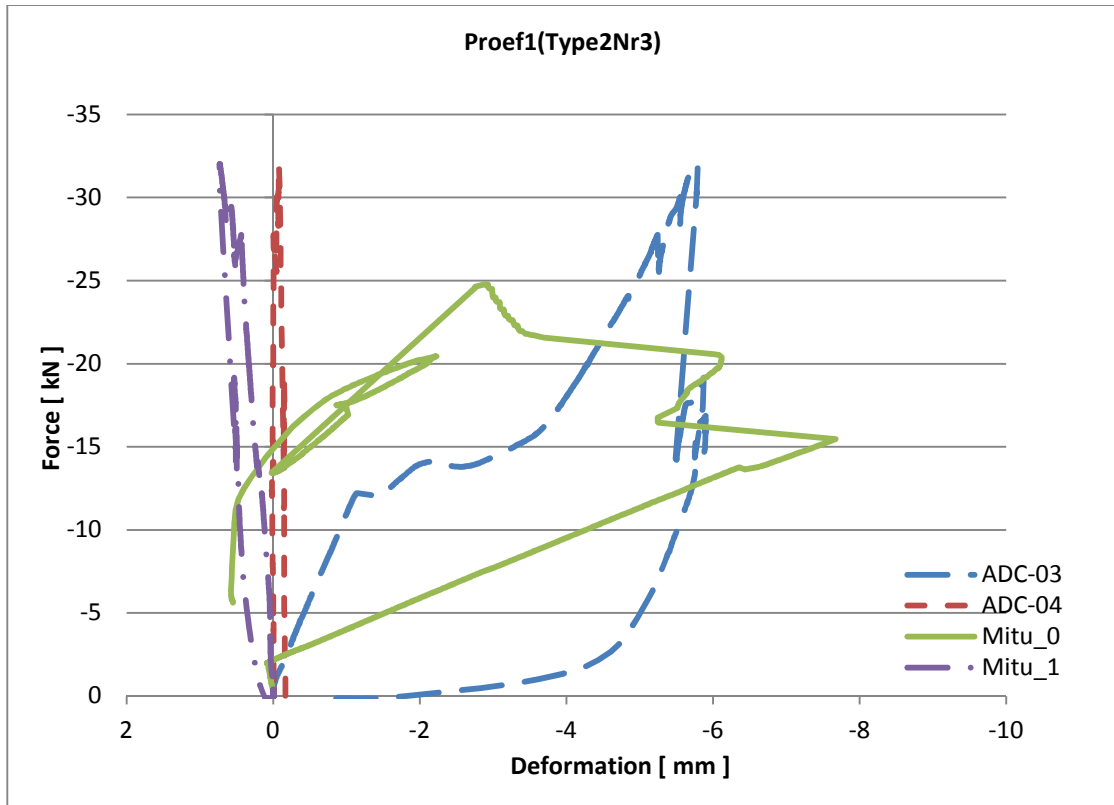
5.1.1 Overzicht meetinstrumenten



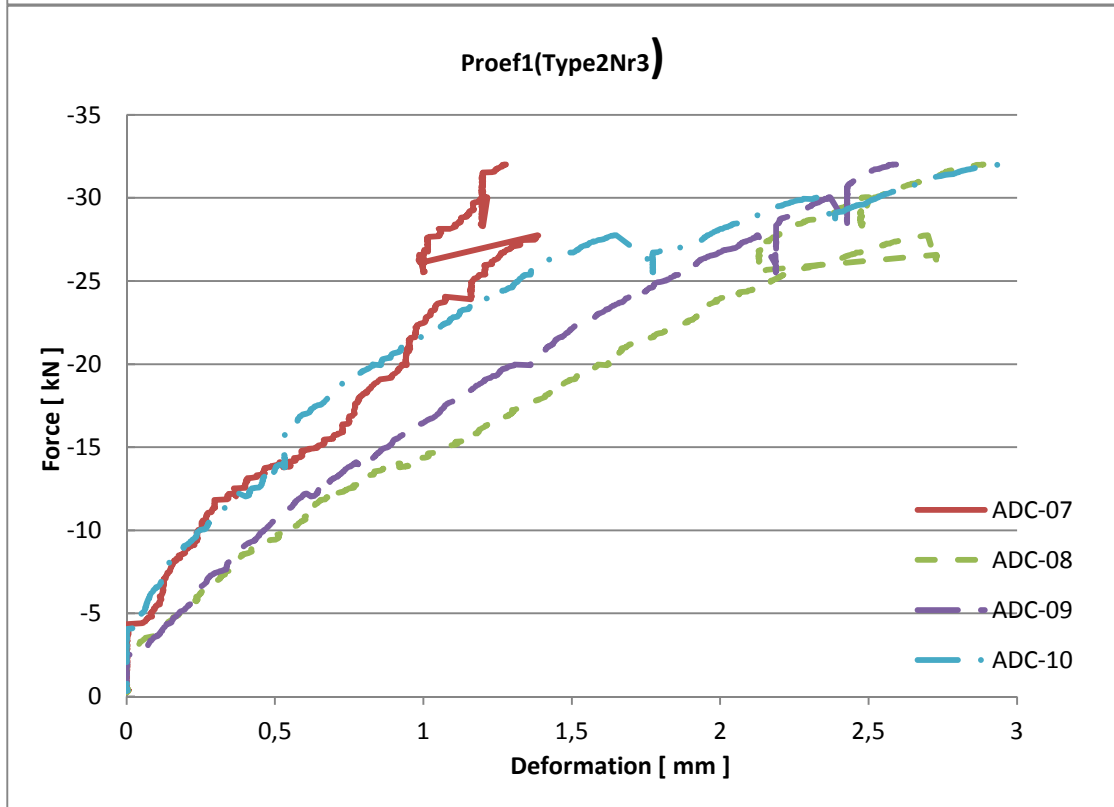
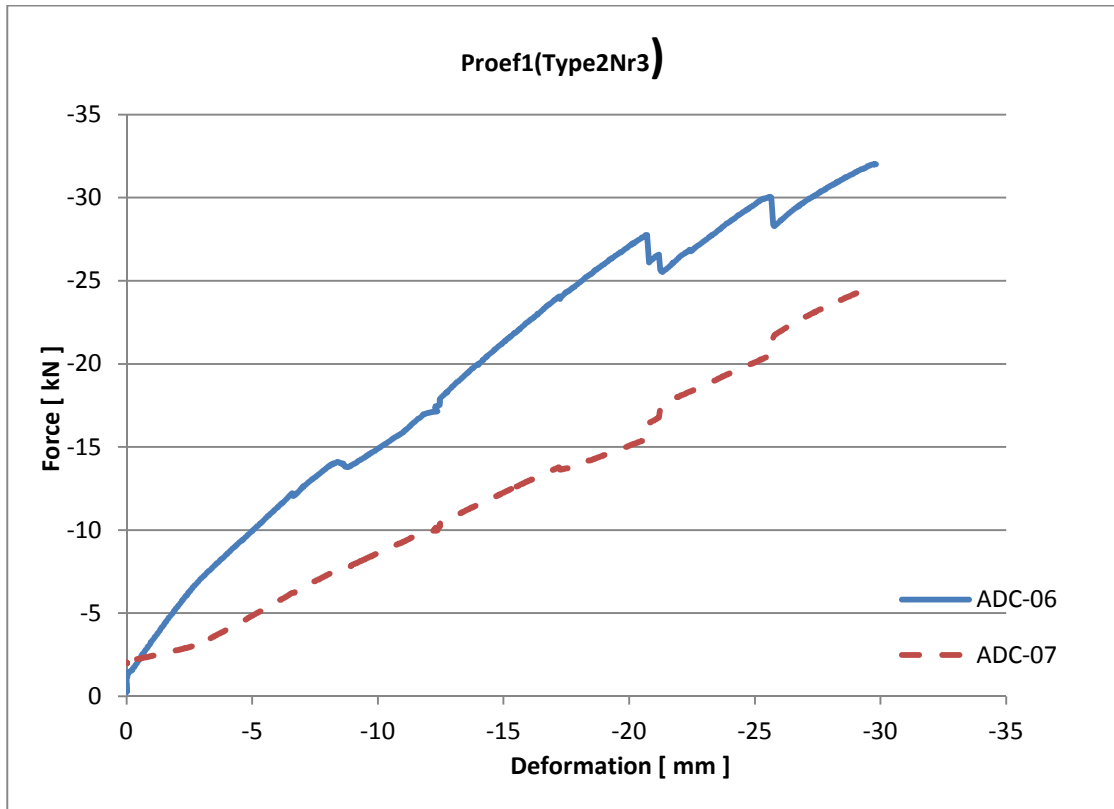
5.1.2 Proef 1

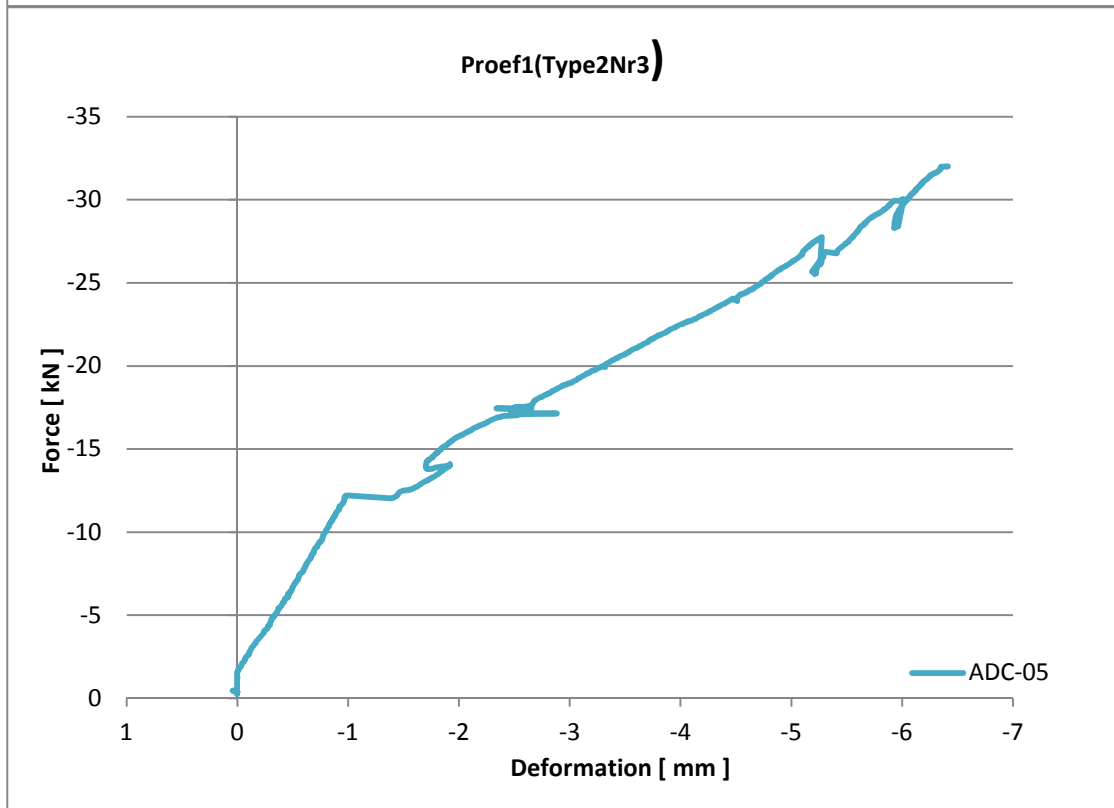
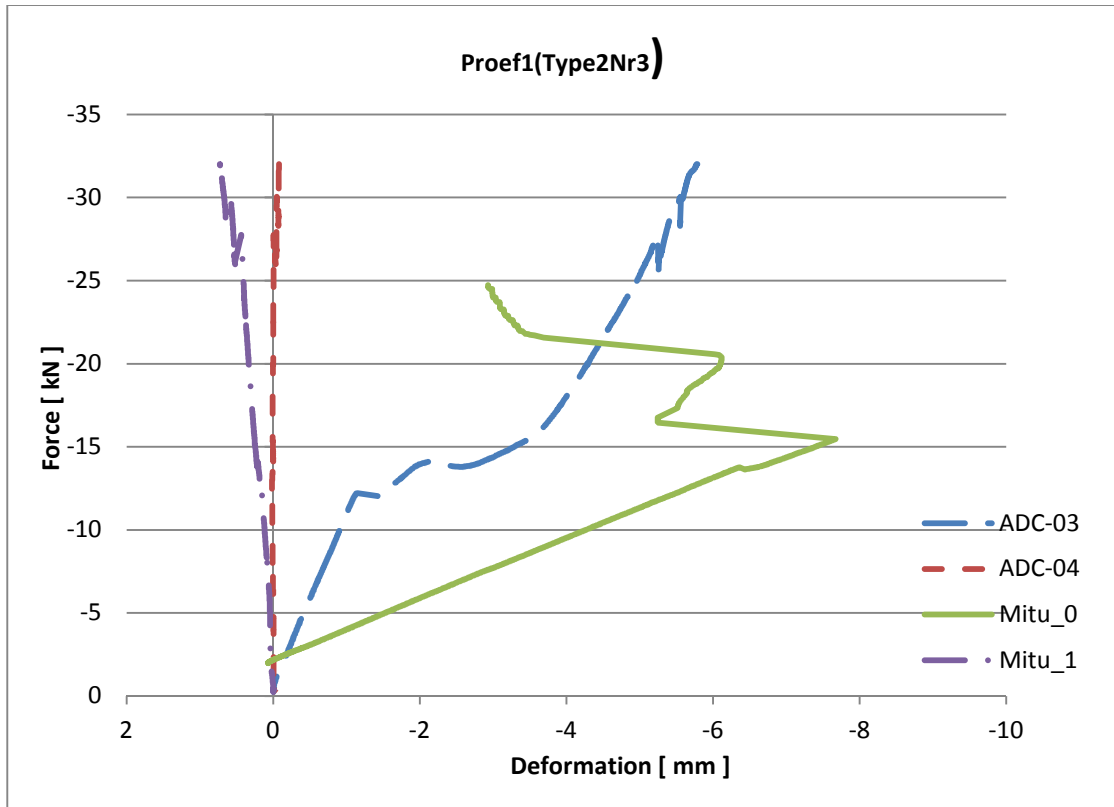
5.1.2.1 Metingen

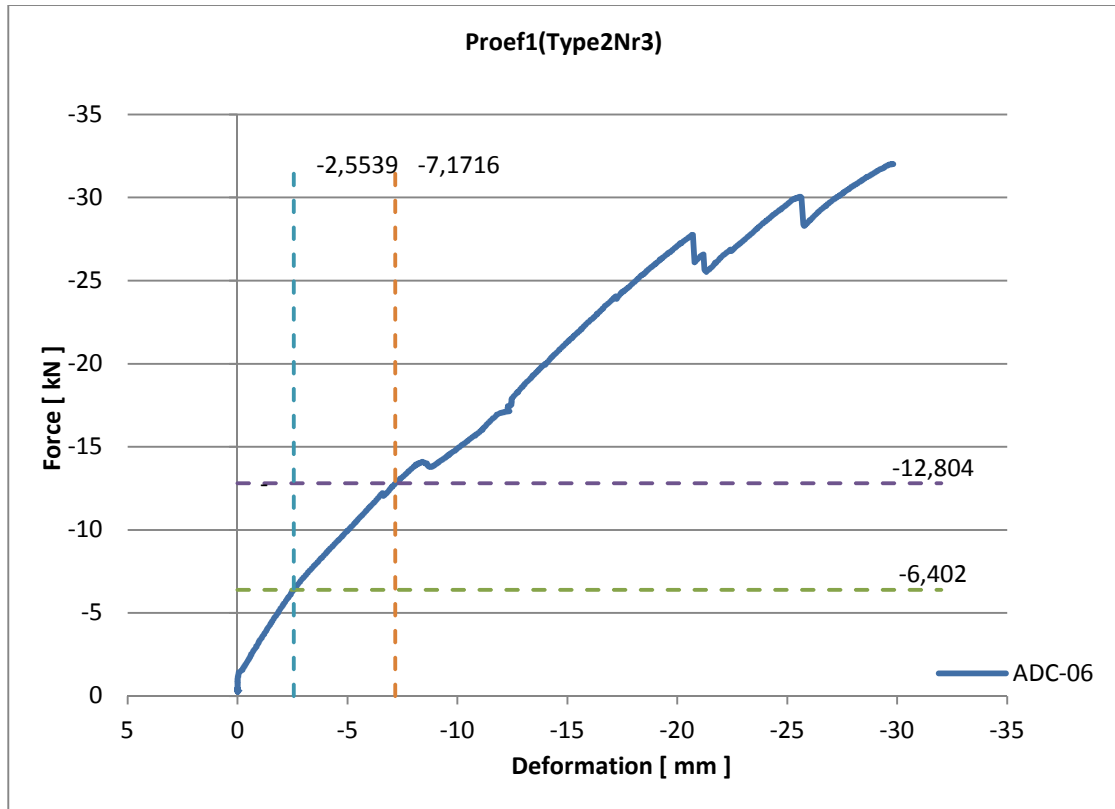




5.1.2.2 Bijgewerkte metingen

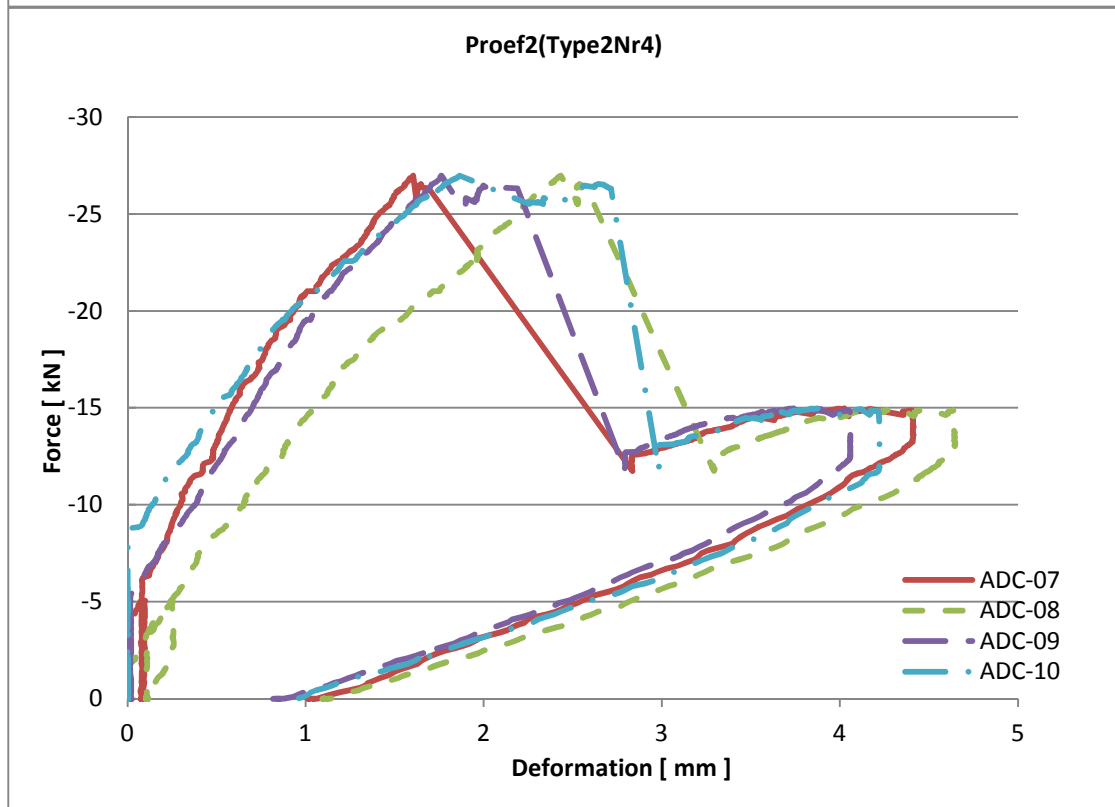
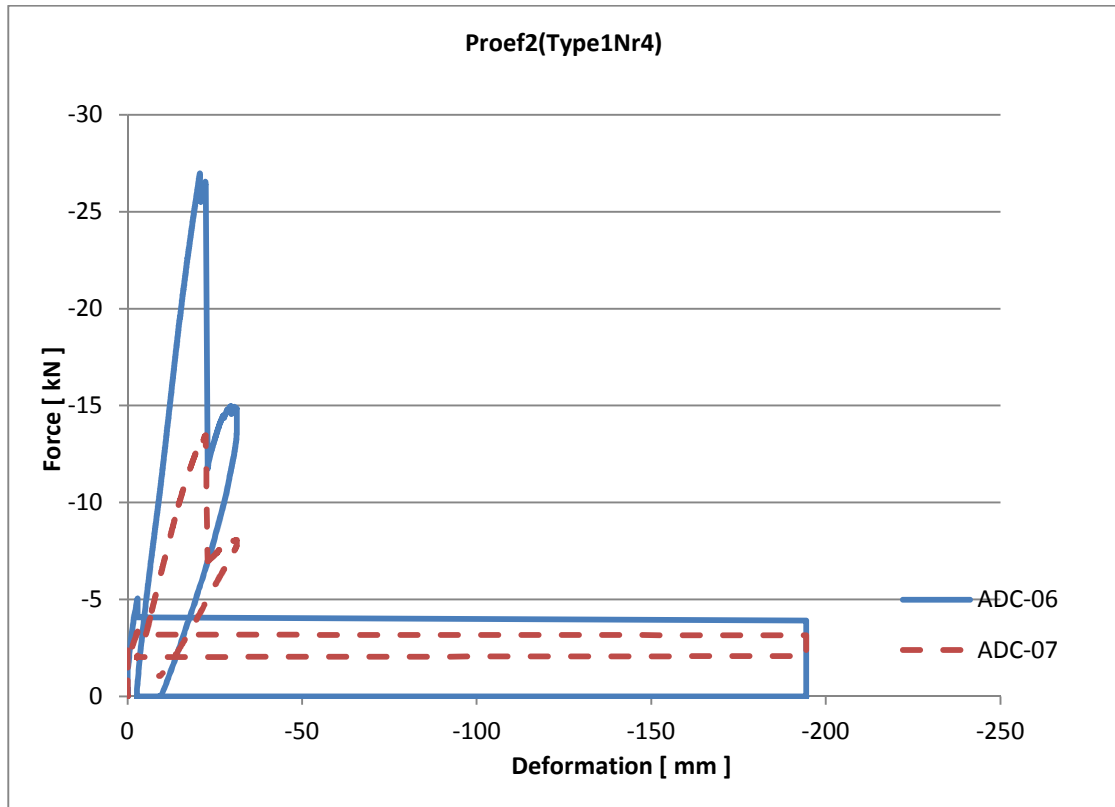


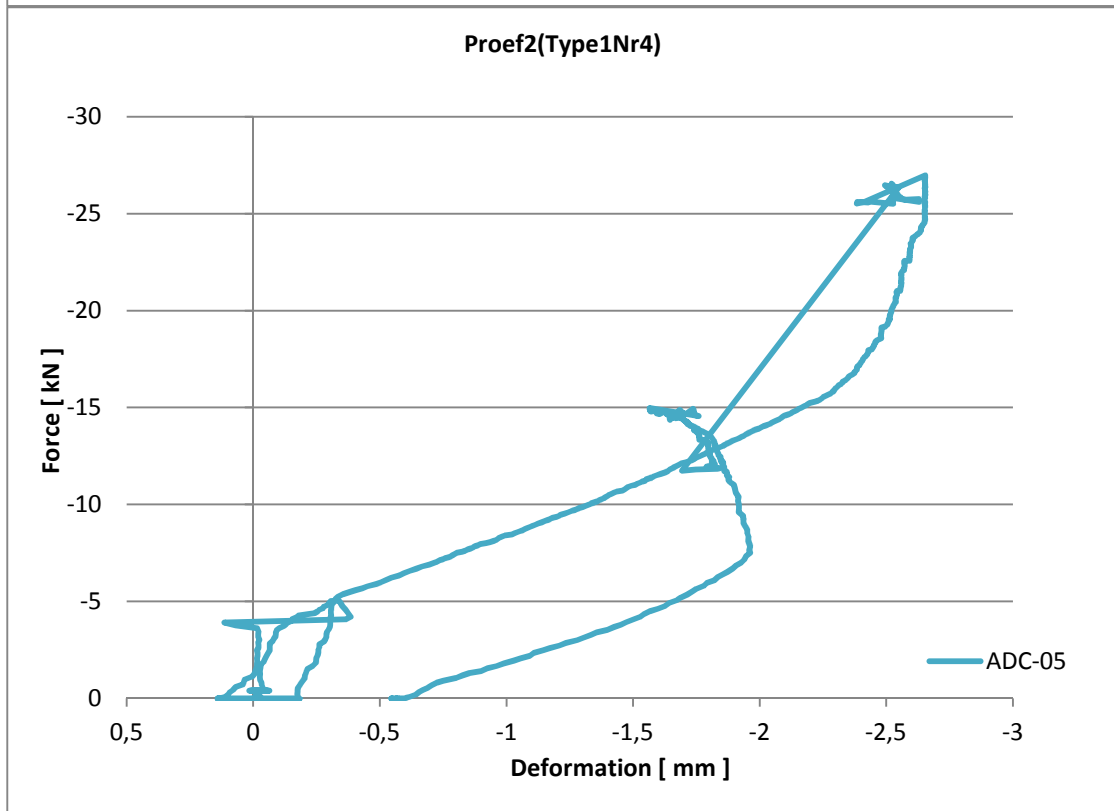
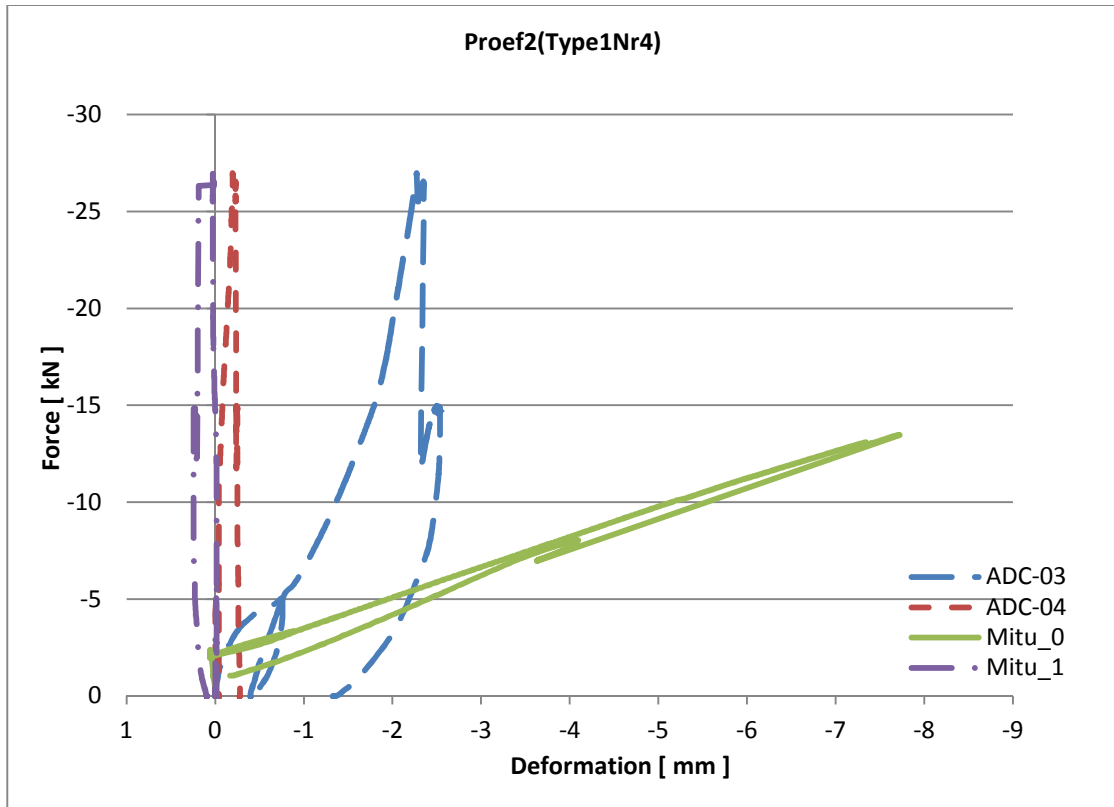




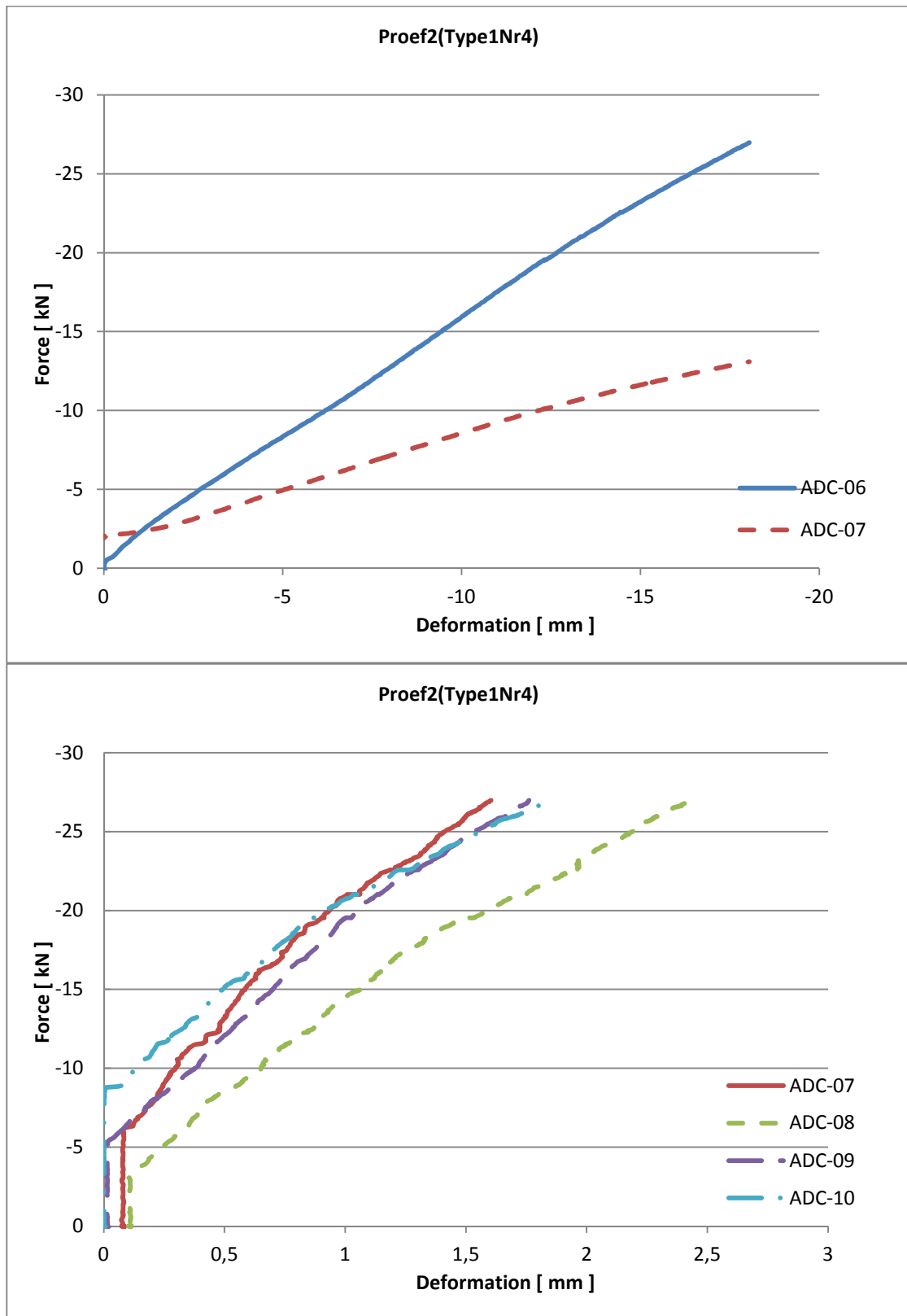
5.1.3 Proef 2

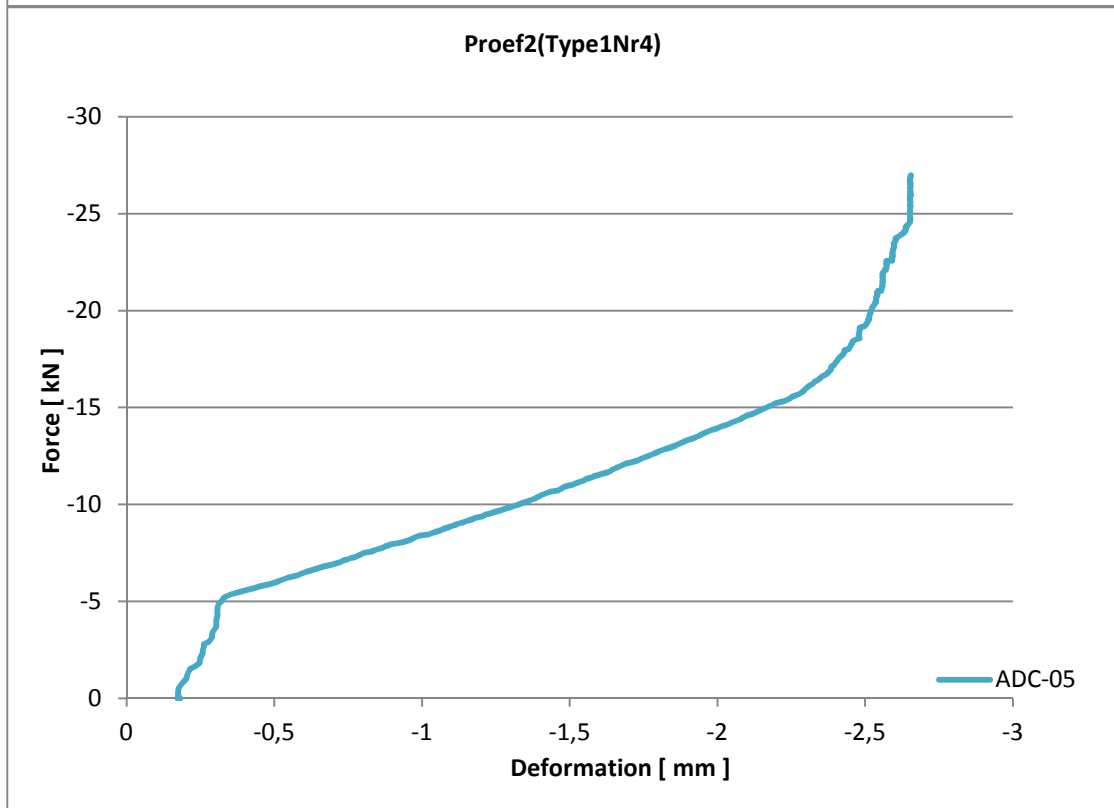
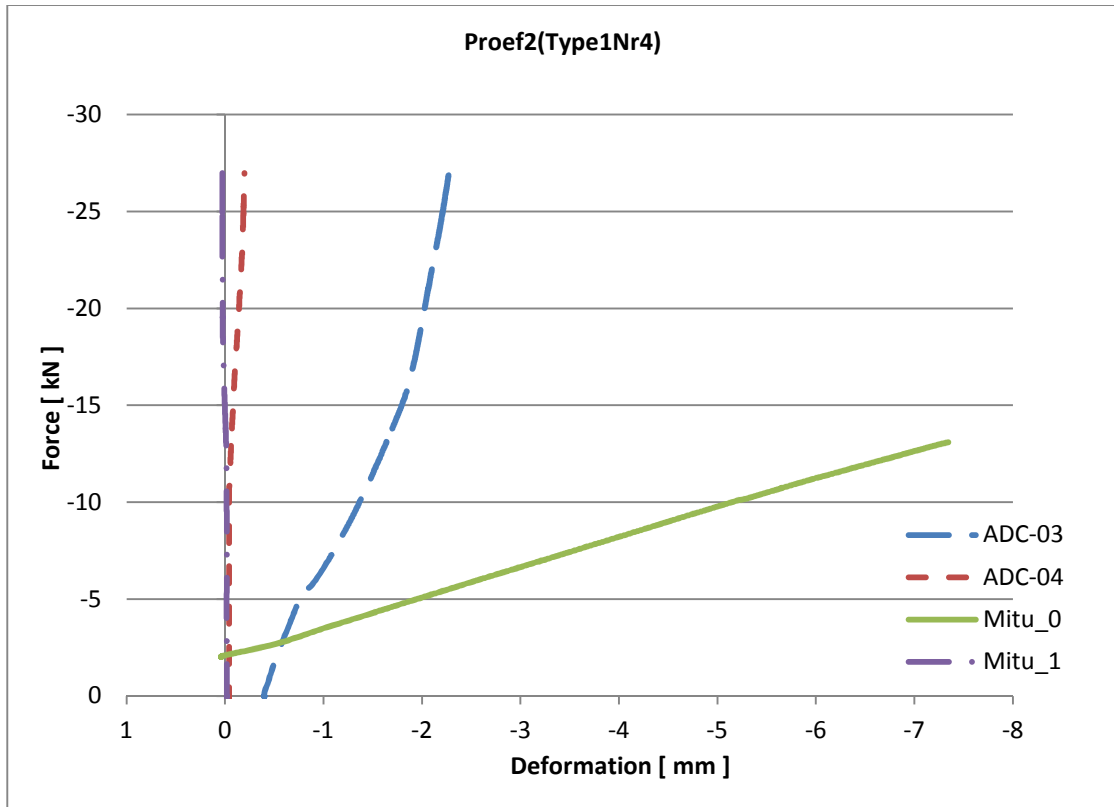
5.1.3.1 Metingen

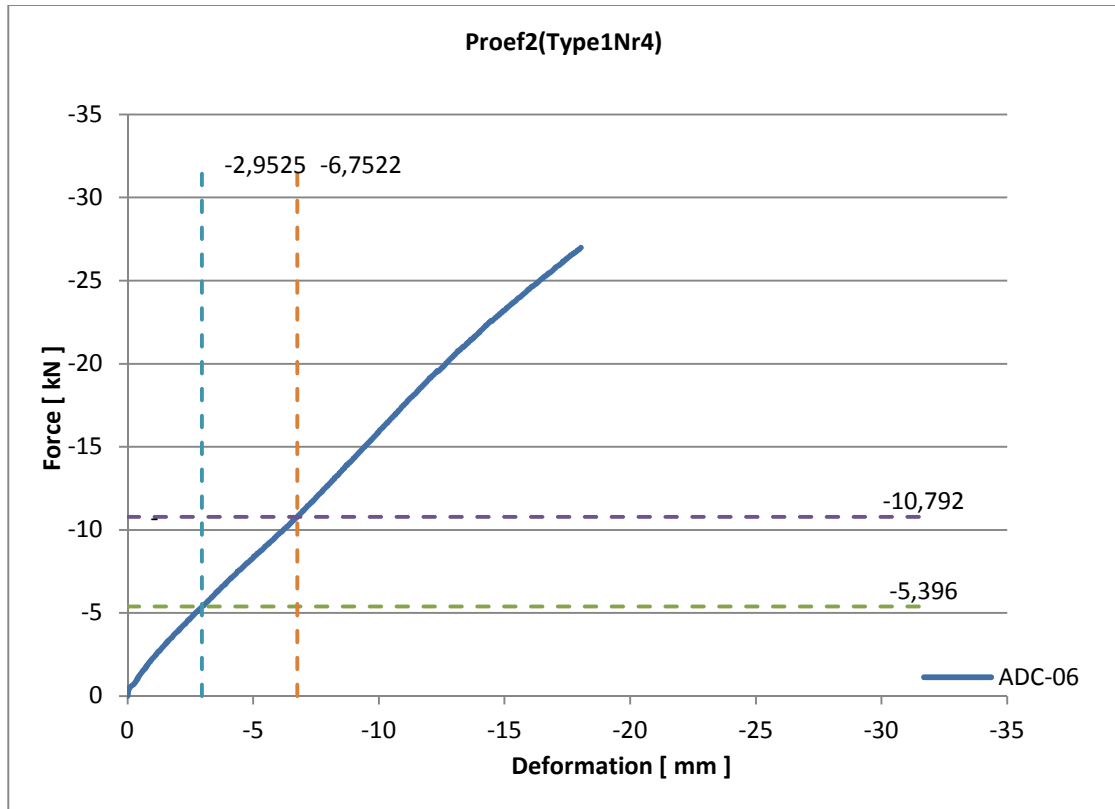




5.1.3.2 Bijgewerkte metingen

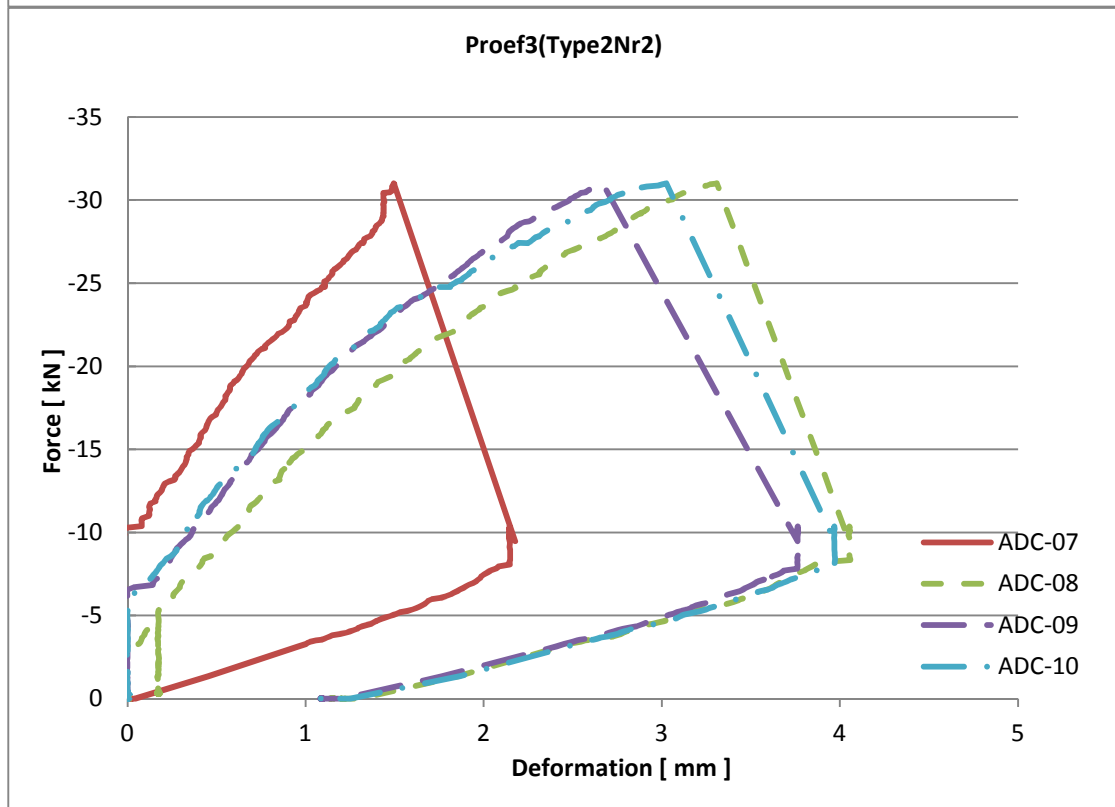
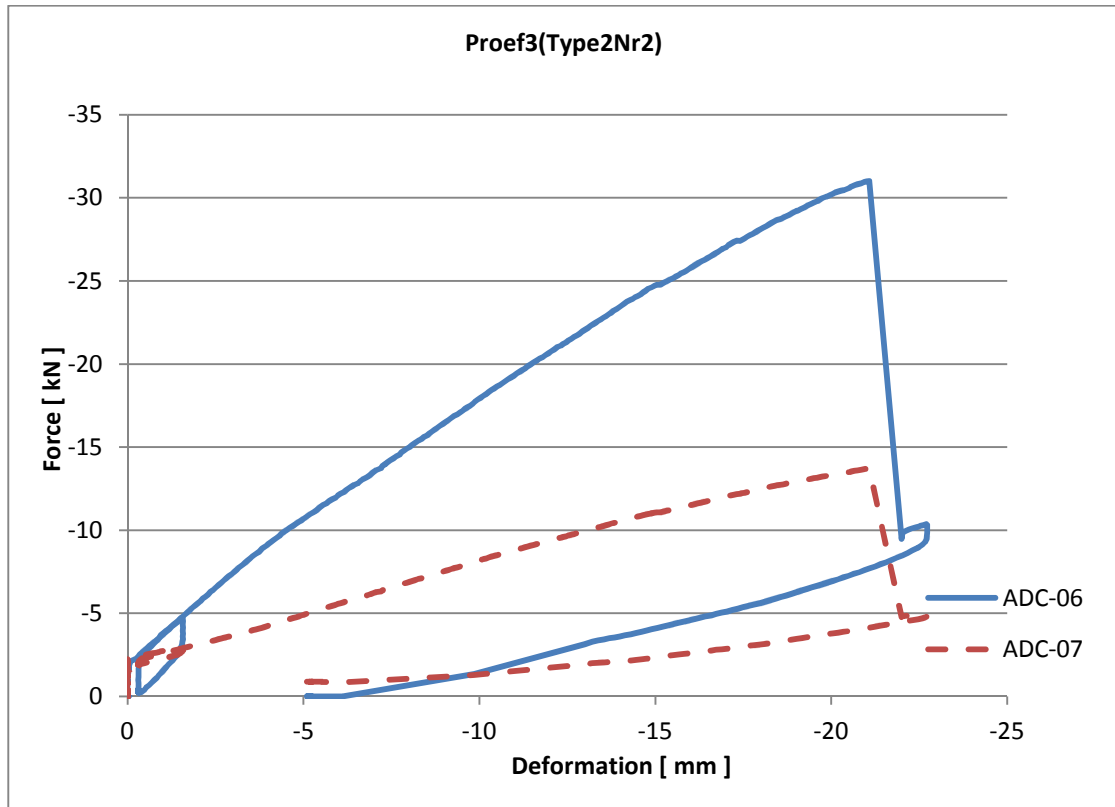


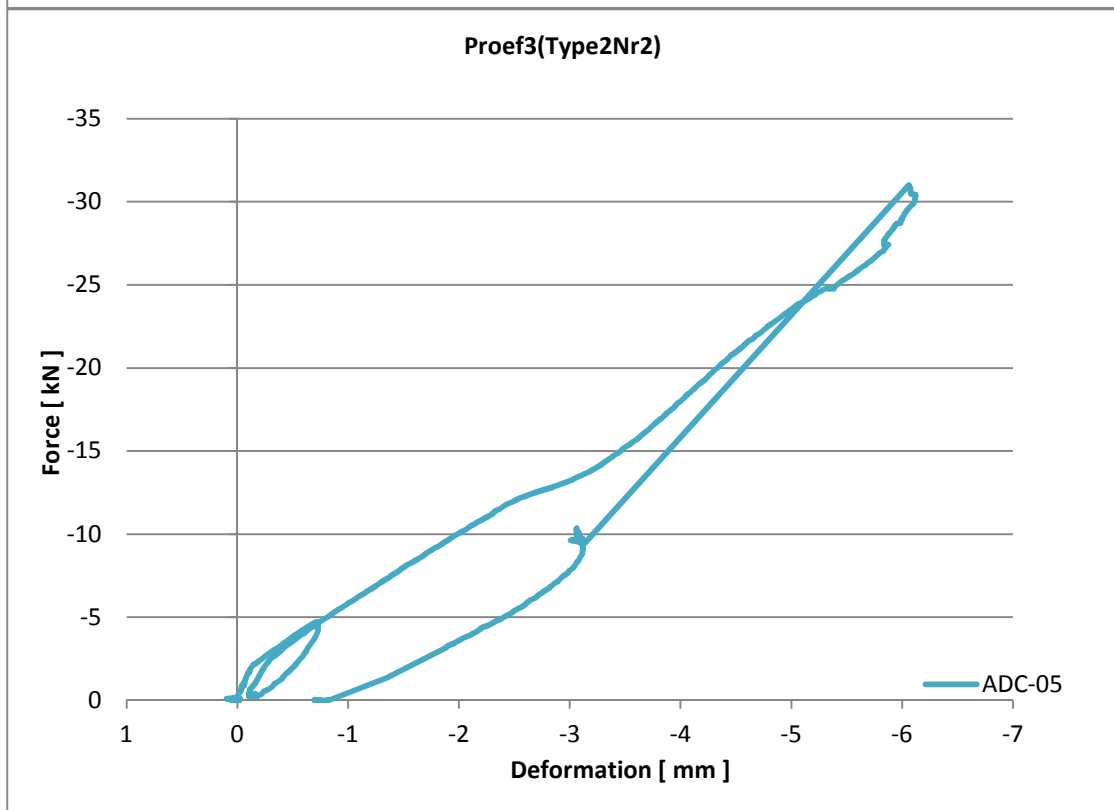
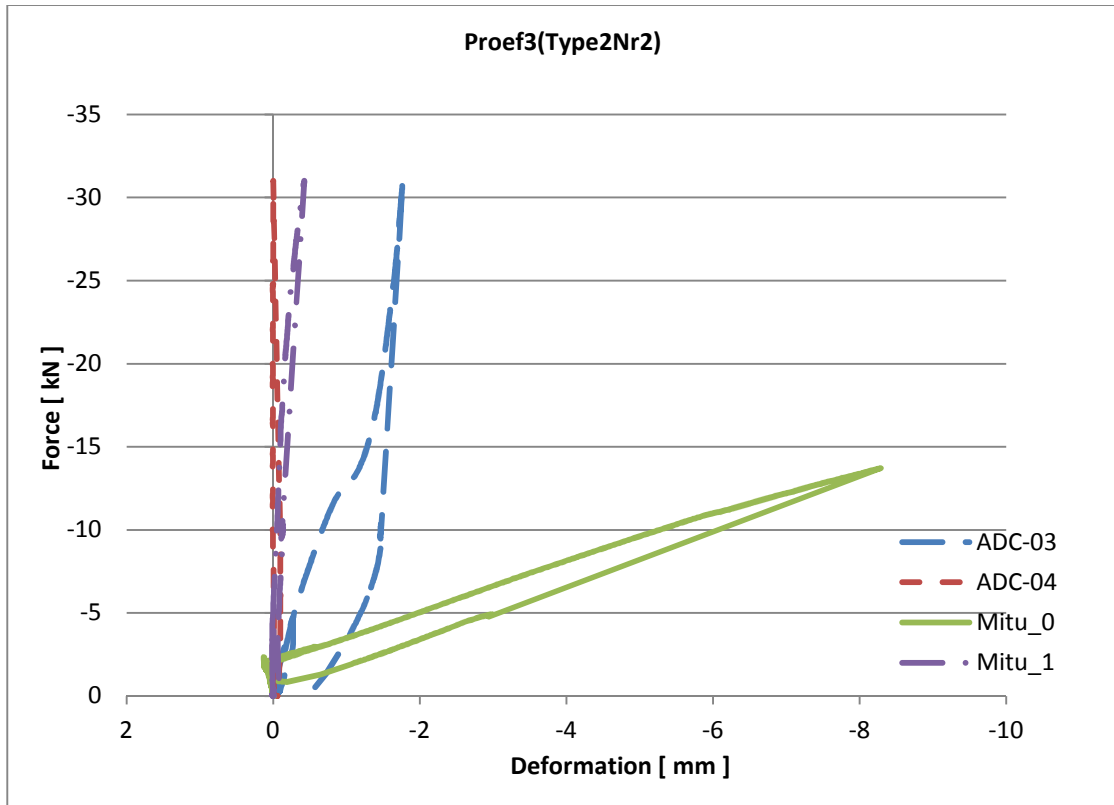




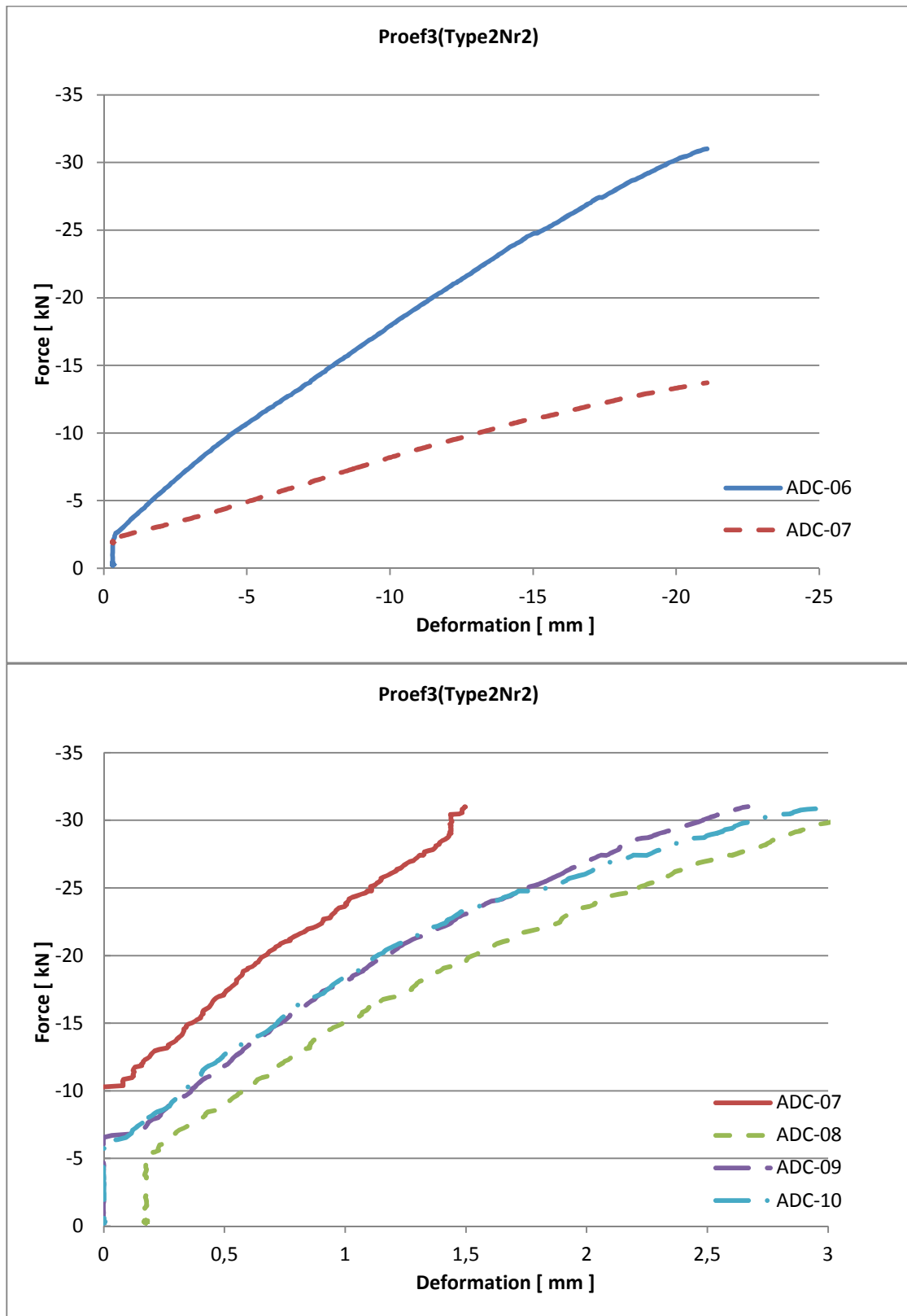
5.1.4 Proef 3

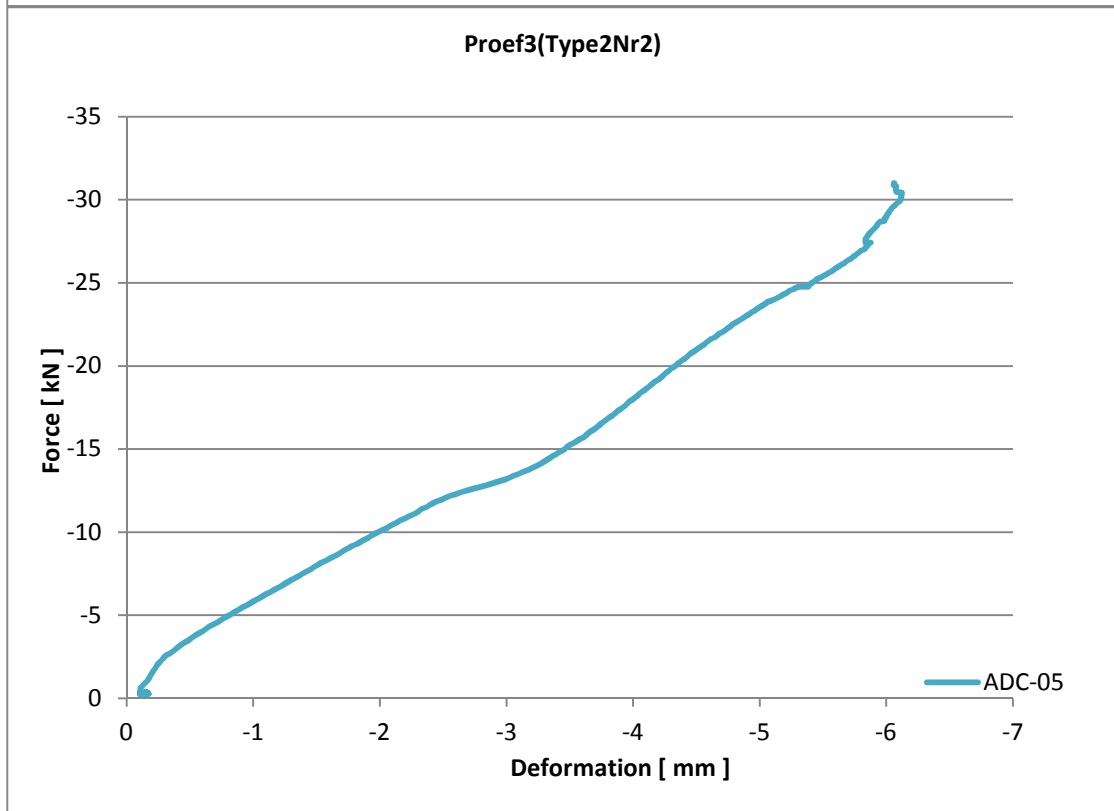
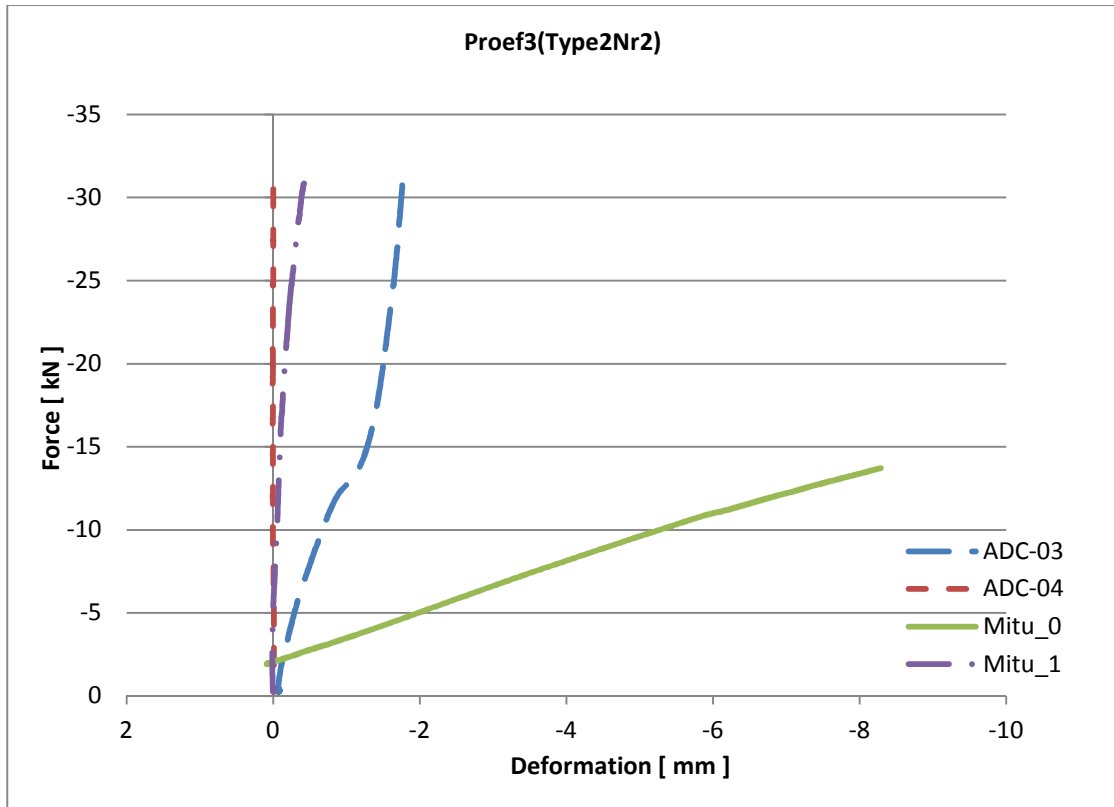
5.1.4.1 Metingen

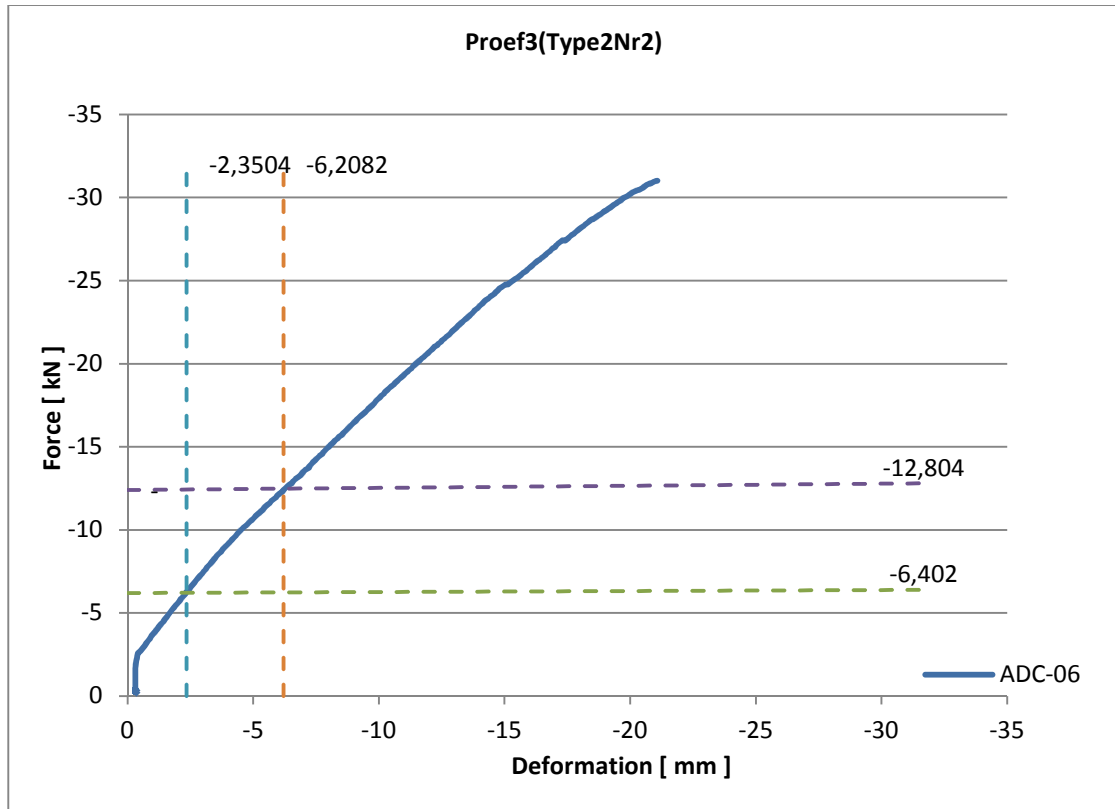




5.1.4.2 Bijgewerkte metingen

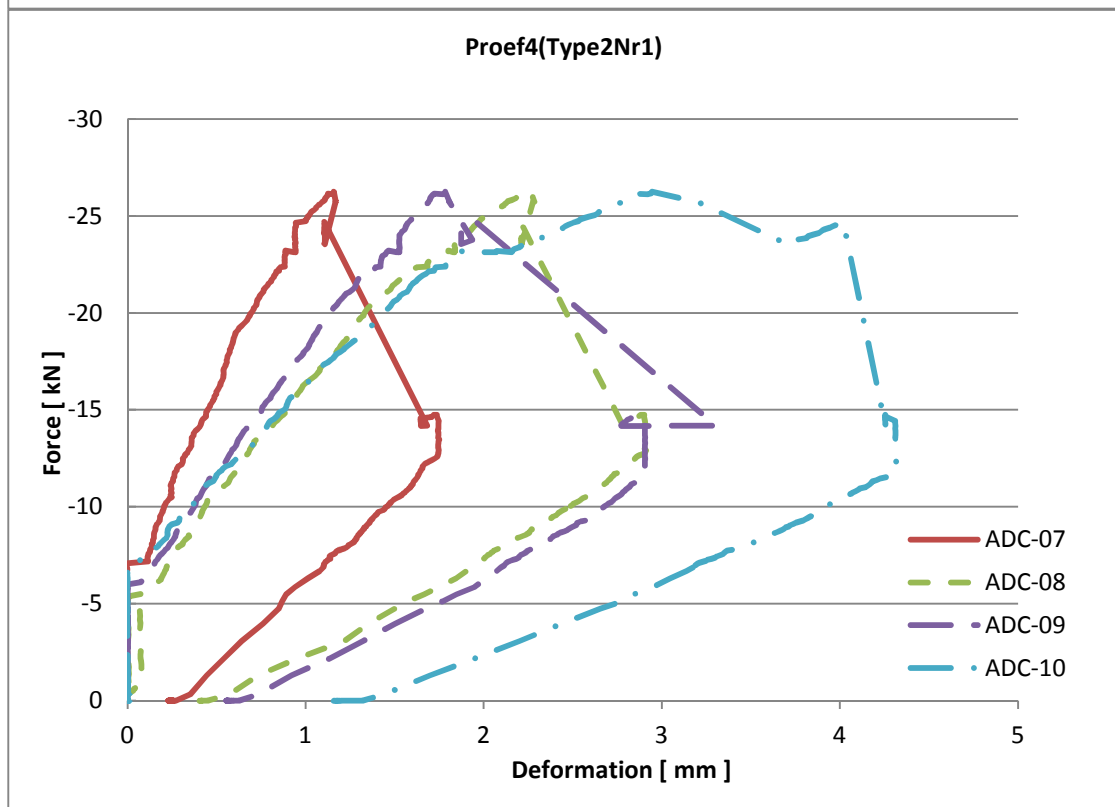
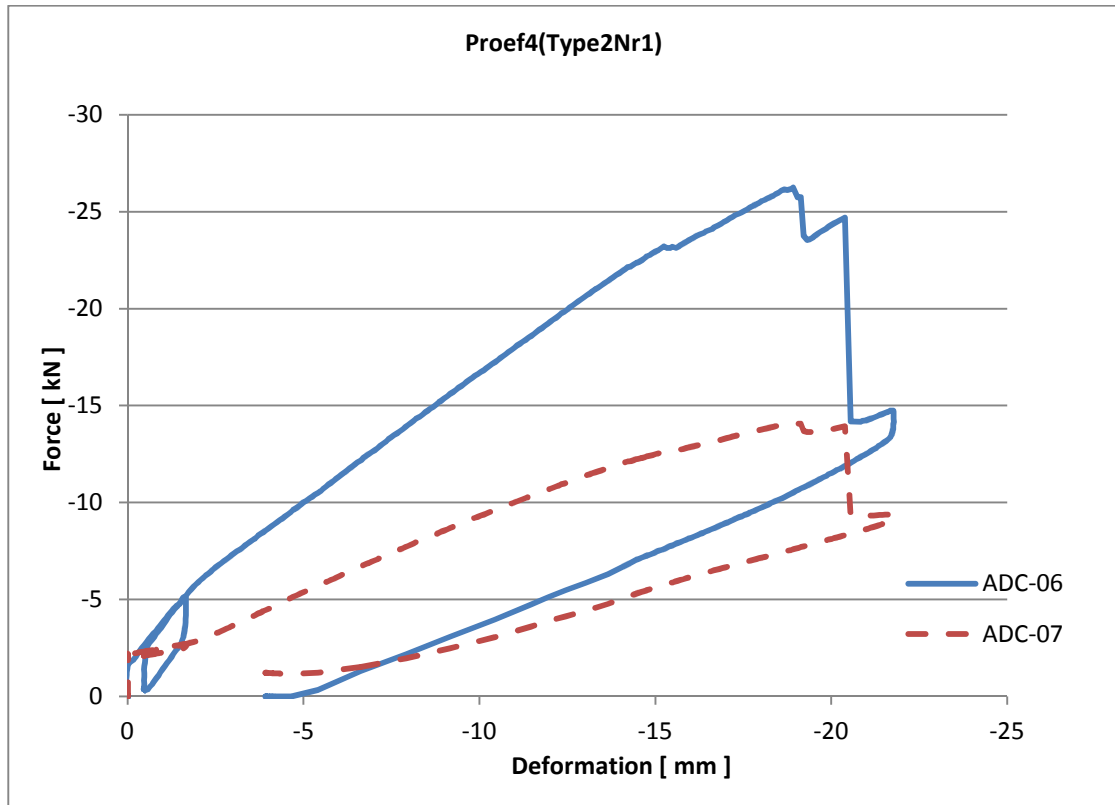


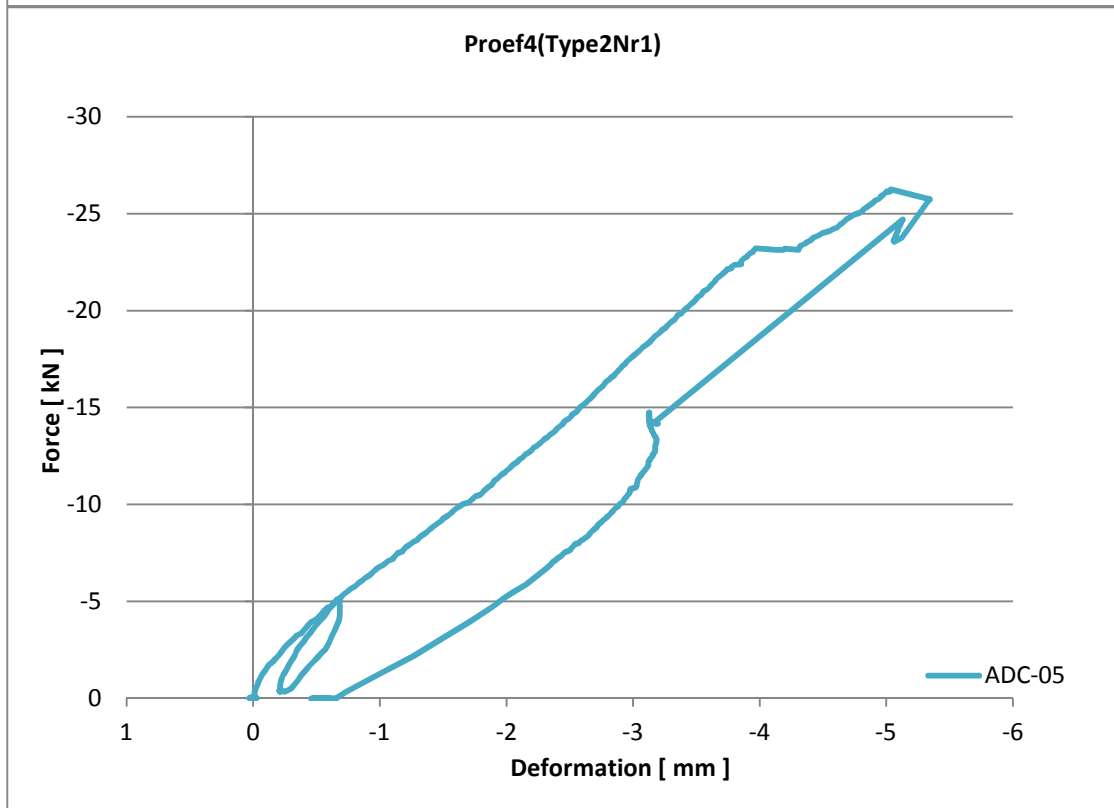
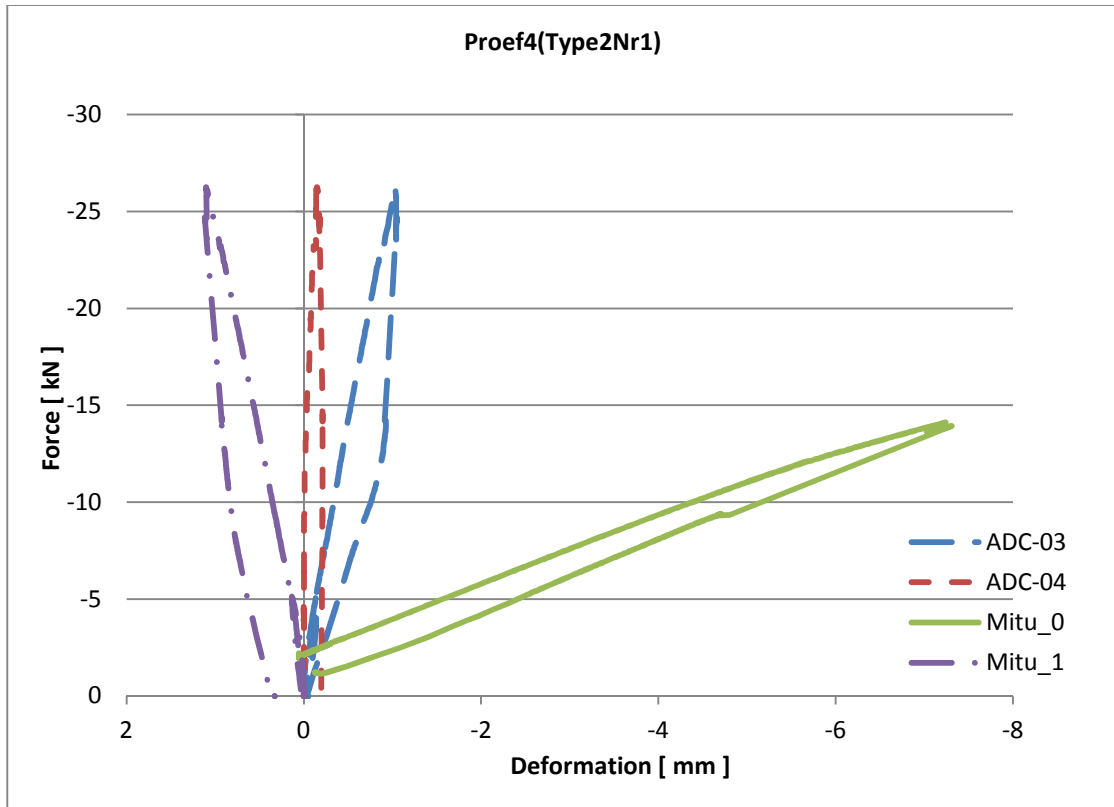




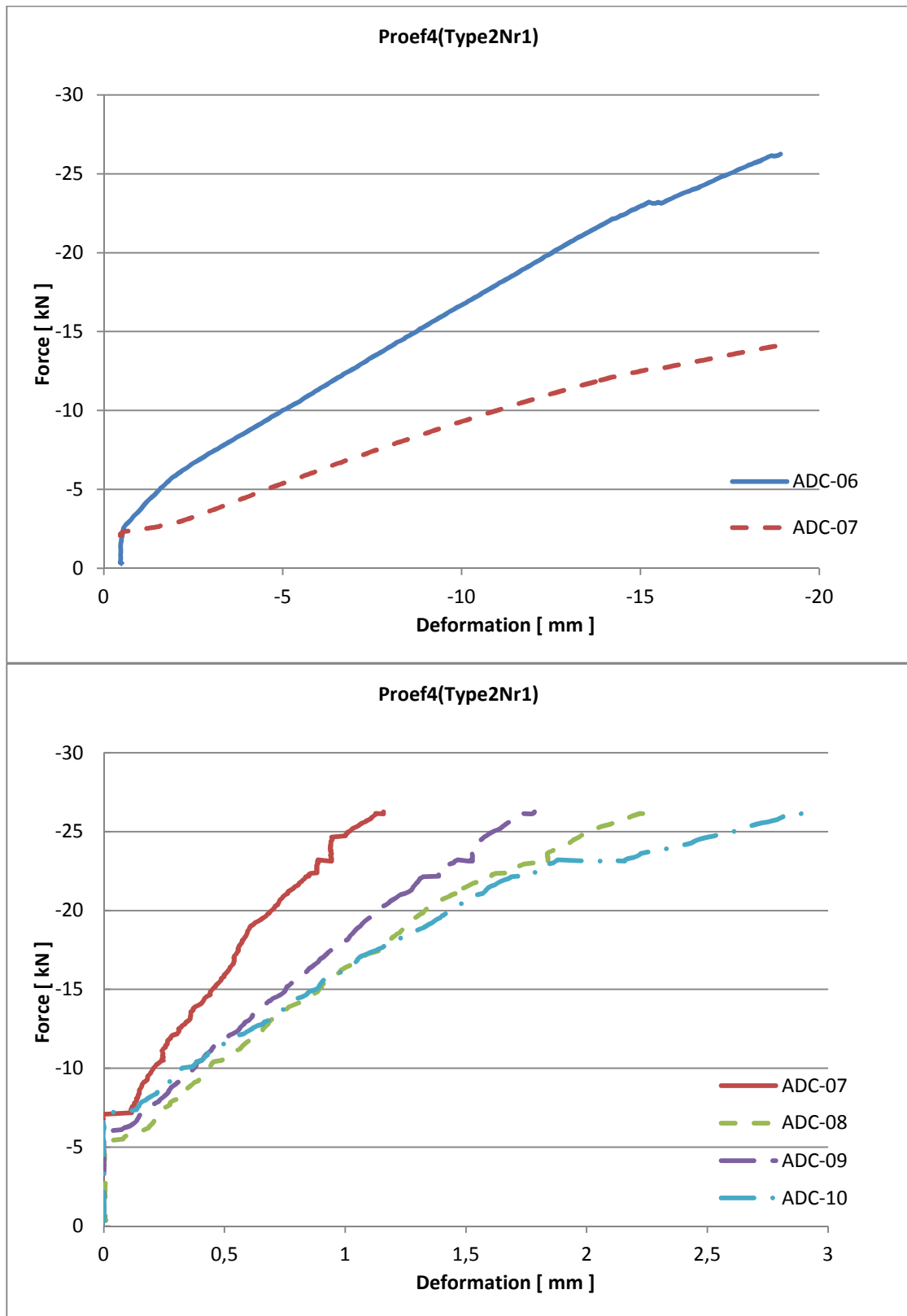
5.1.5 Proef 4

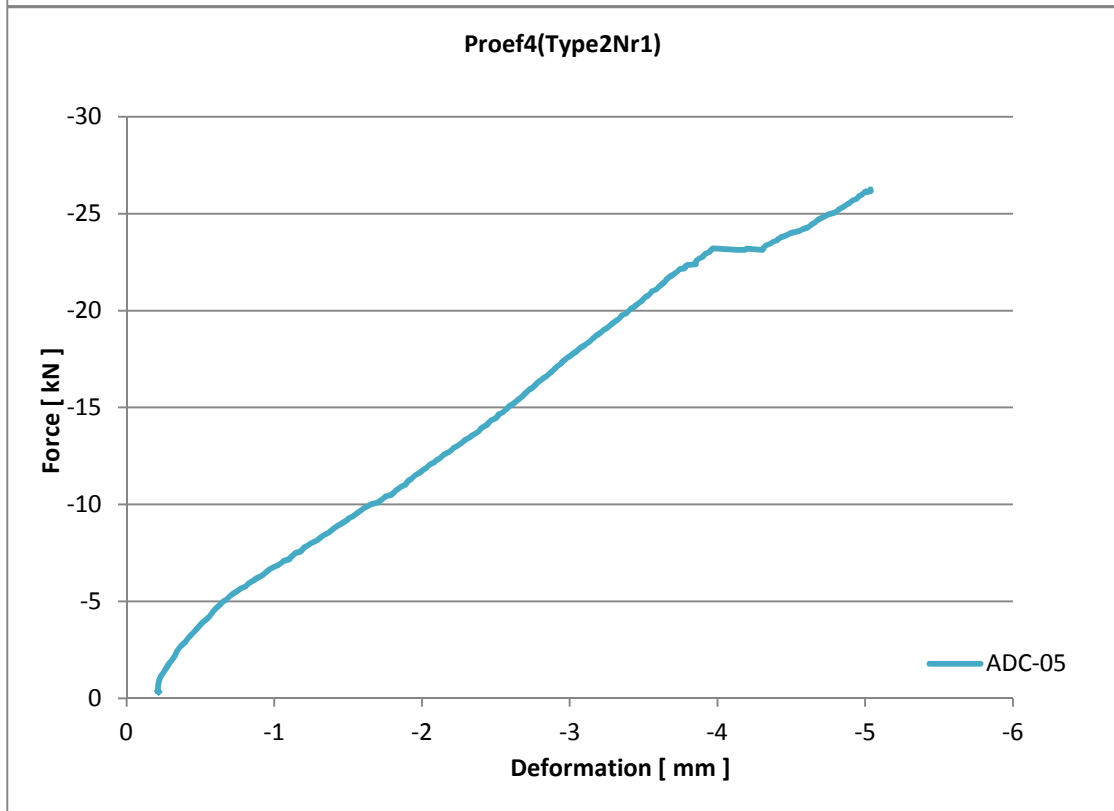
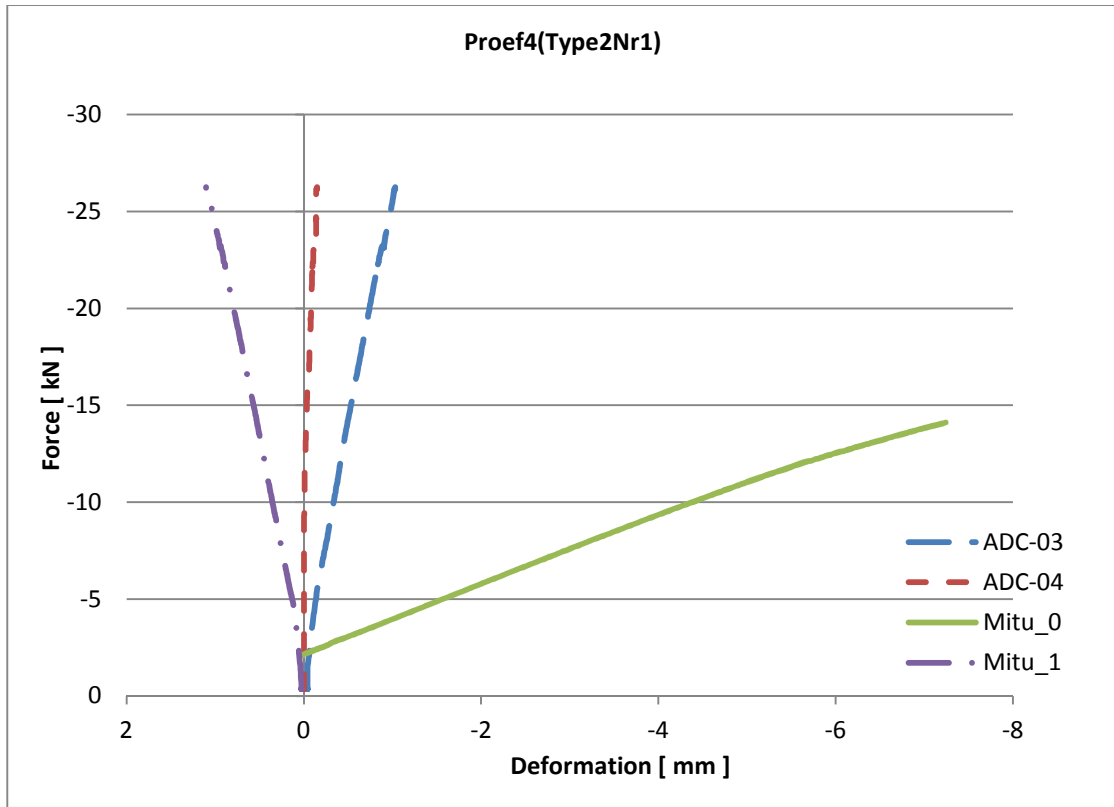
5.1.5.1 Metingen

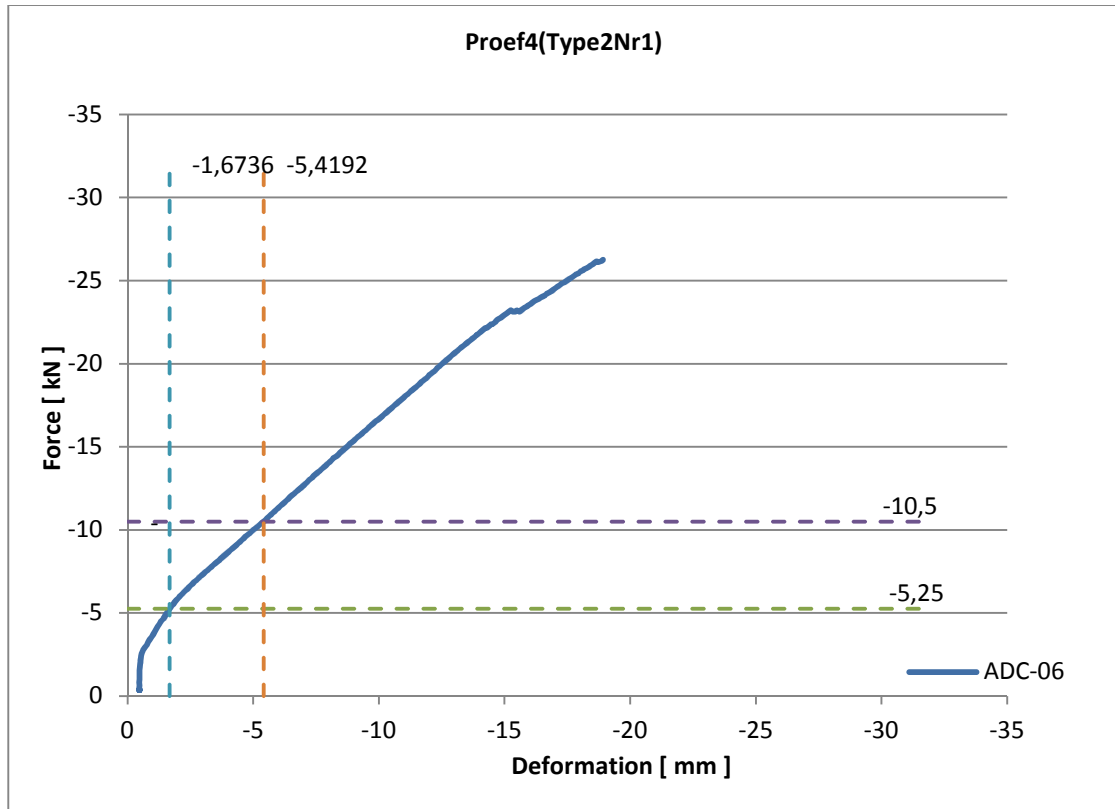




5.1.5.2 Bijgewerkte metingen

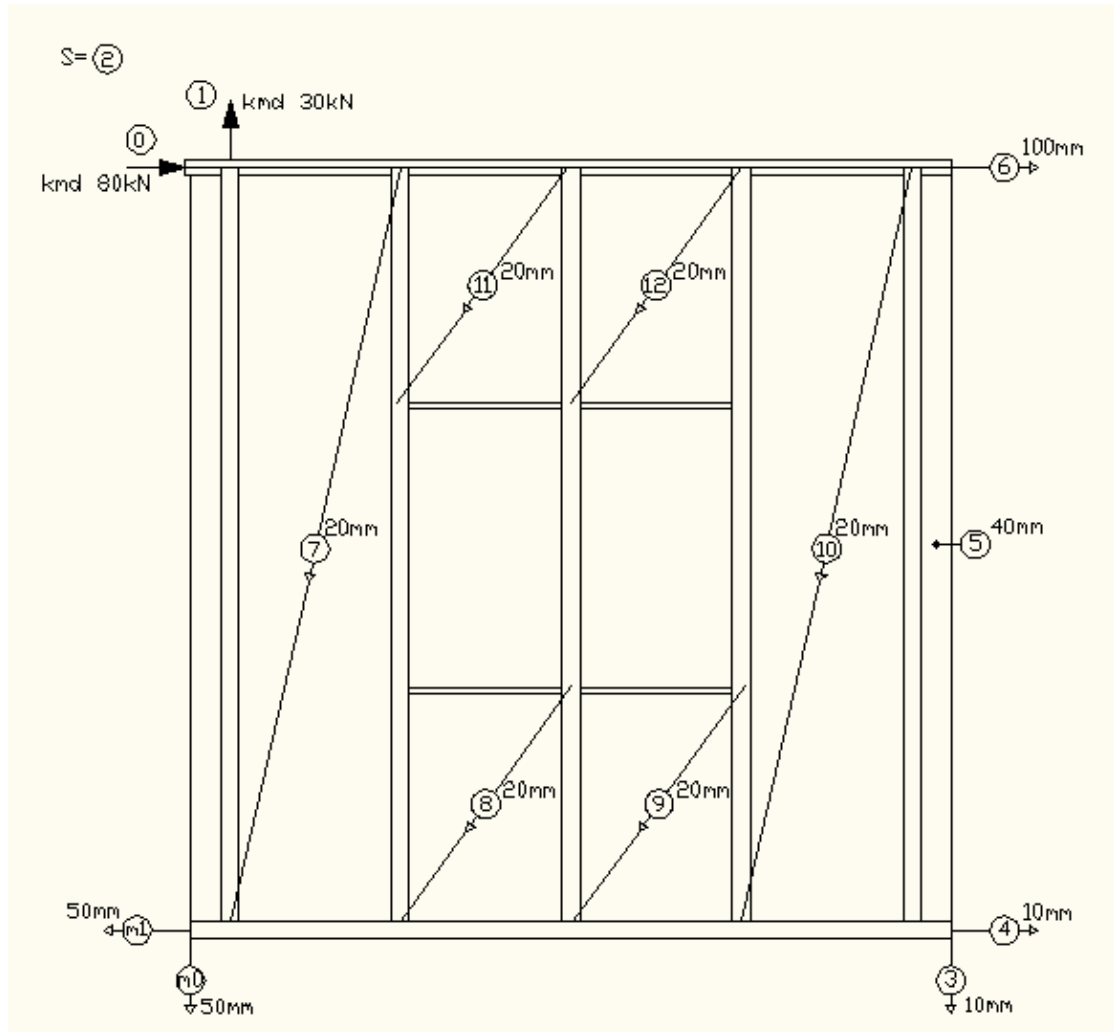






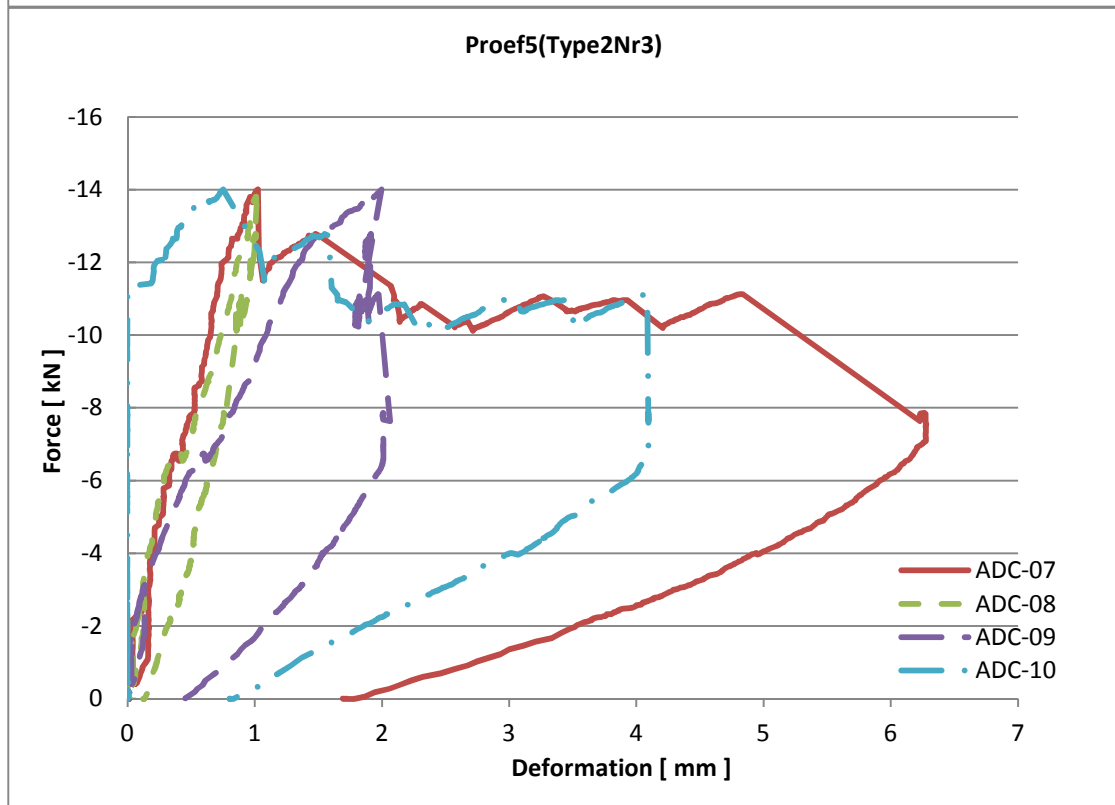
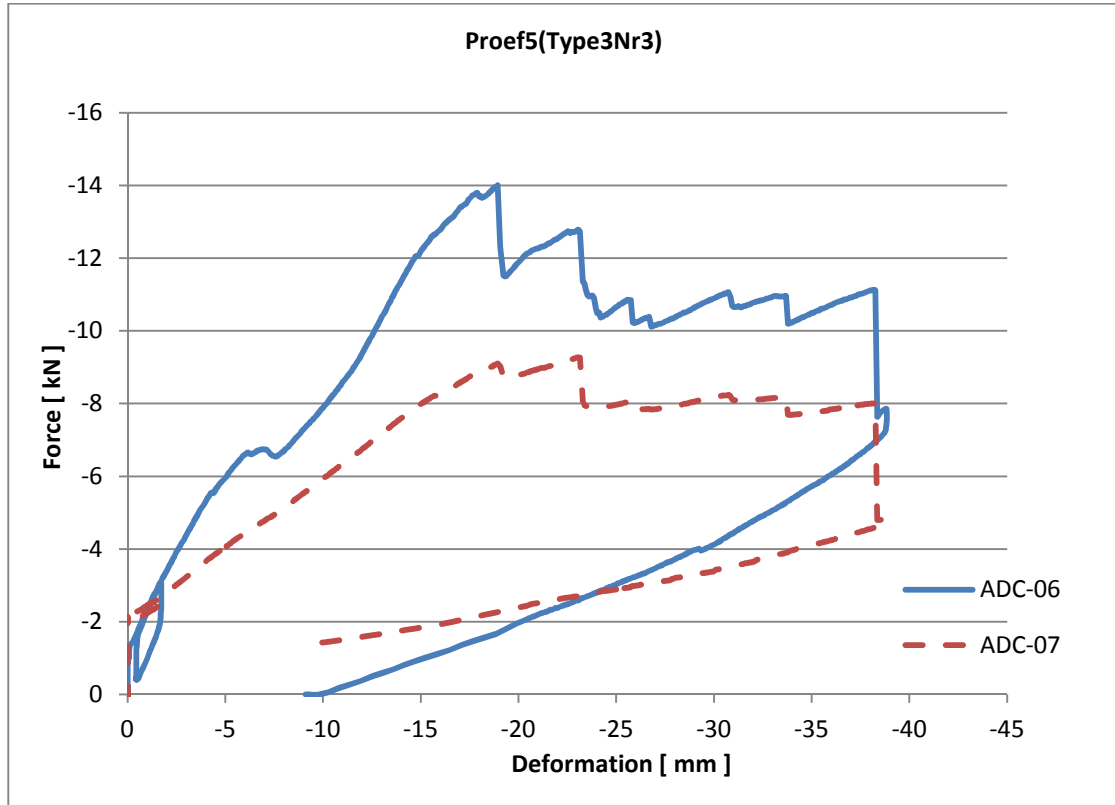
5.2 Proeven elementtype 2

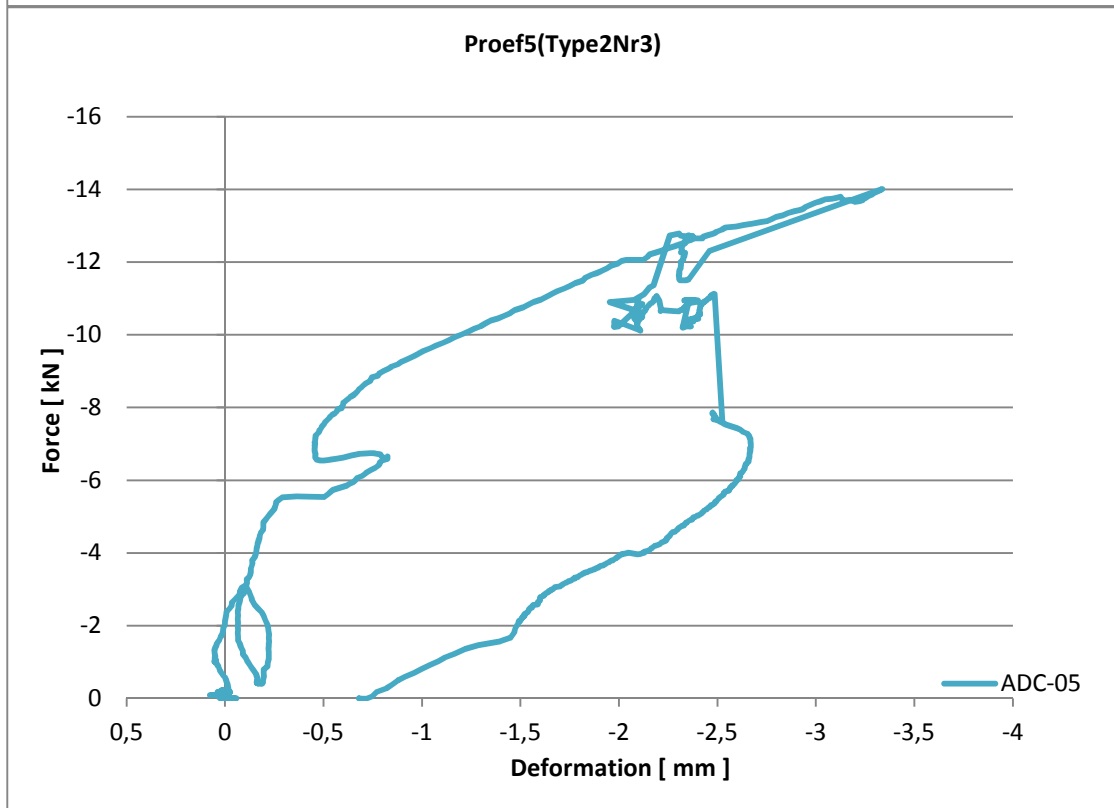
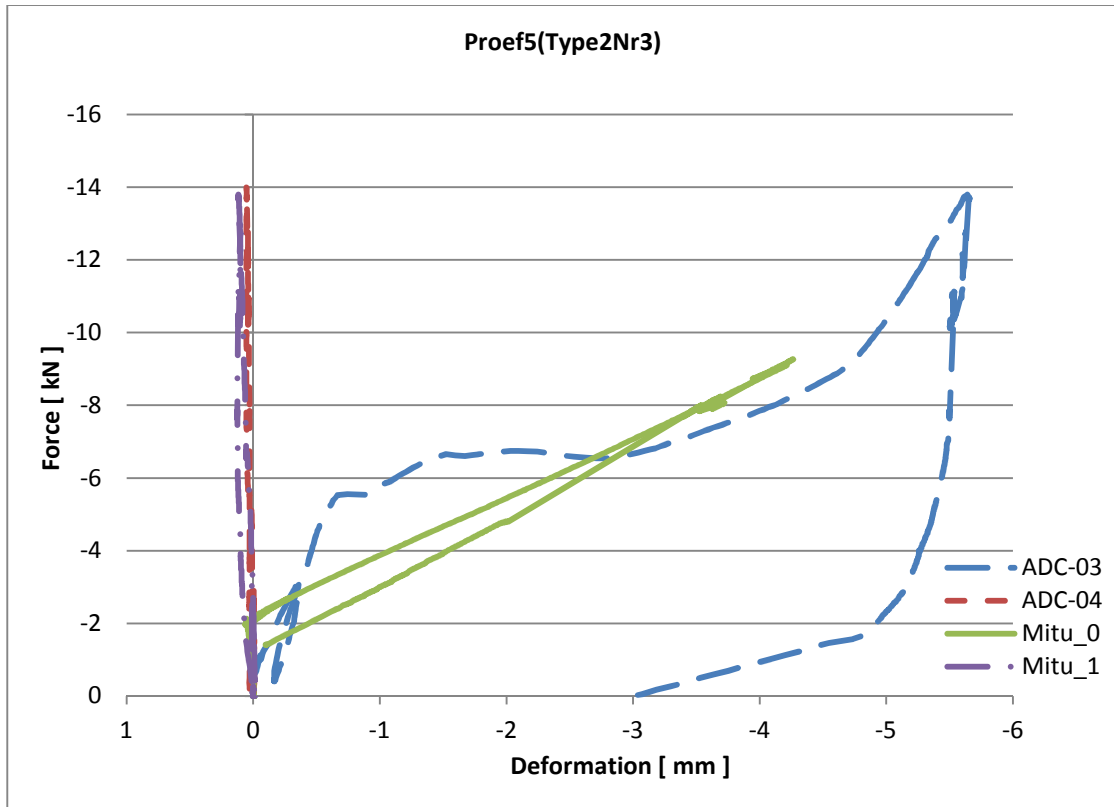
5.2.1 Overzicht meetinstrumenten



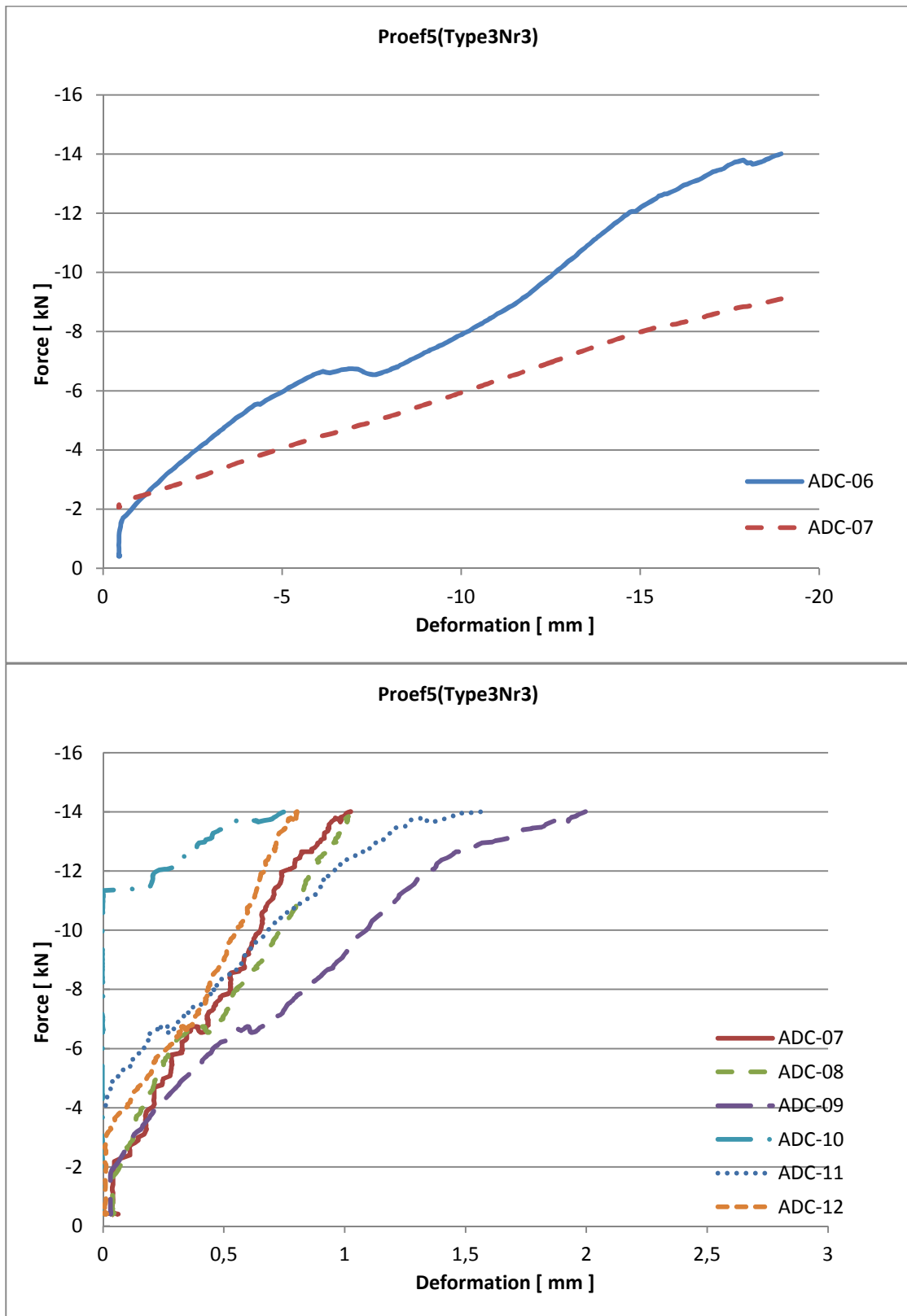
5.2.2 Proef 5

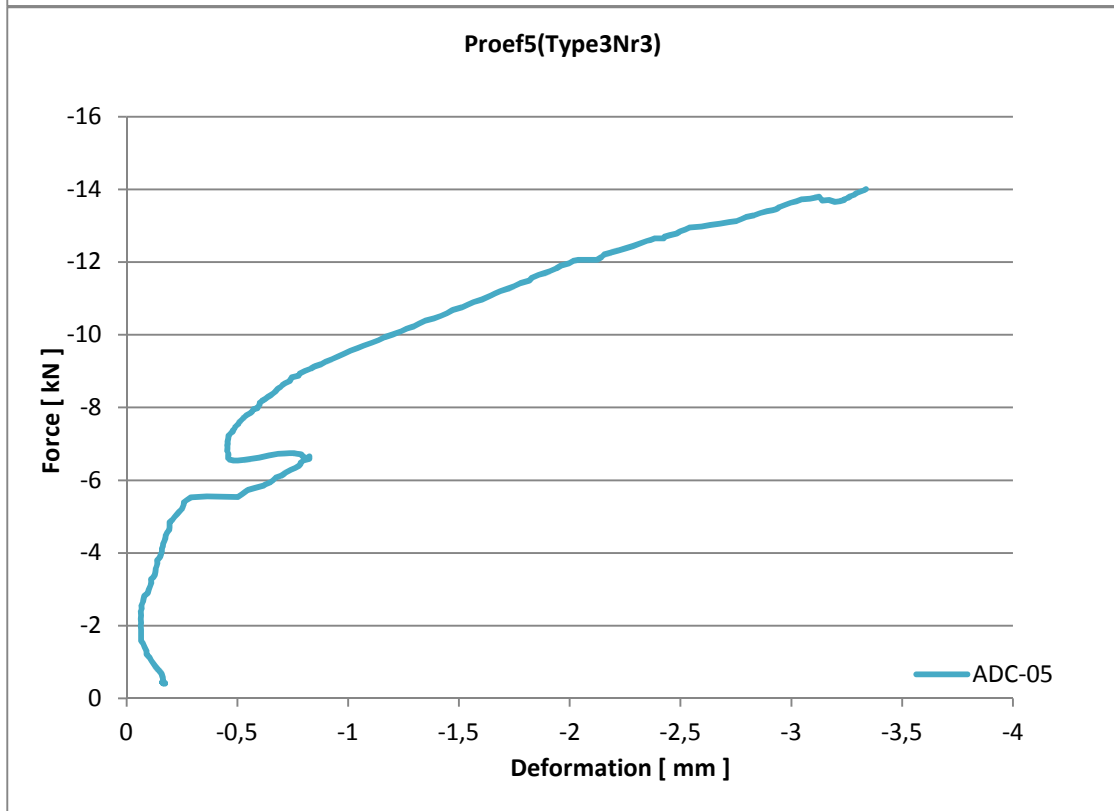
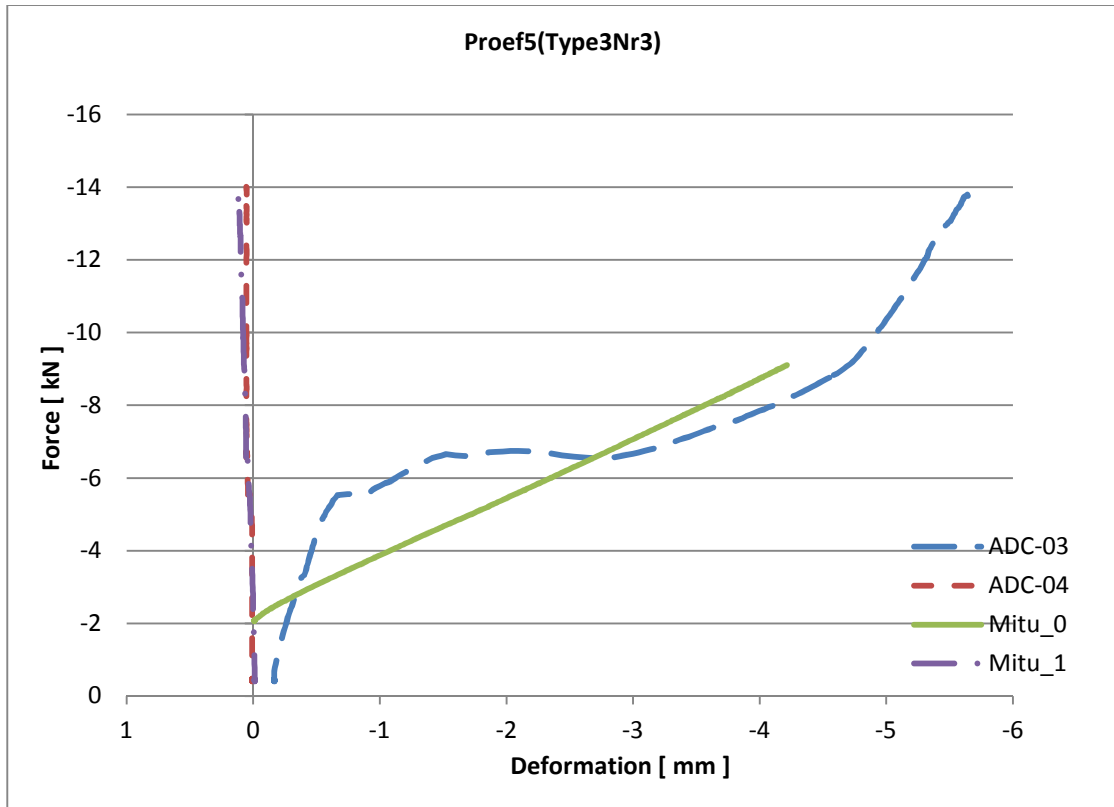
5.2.2.1 Metingen

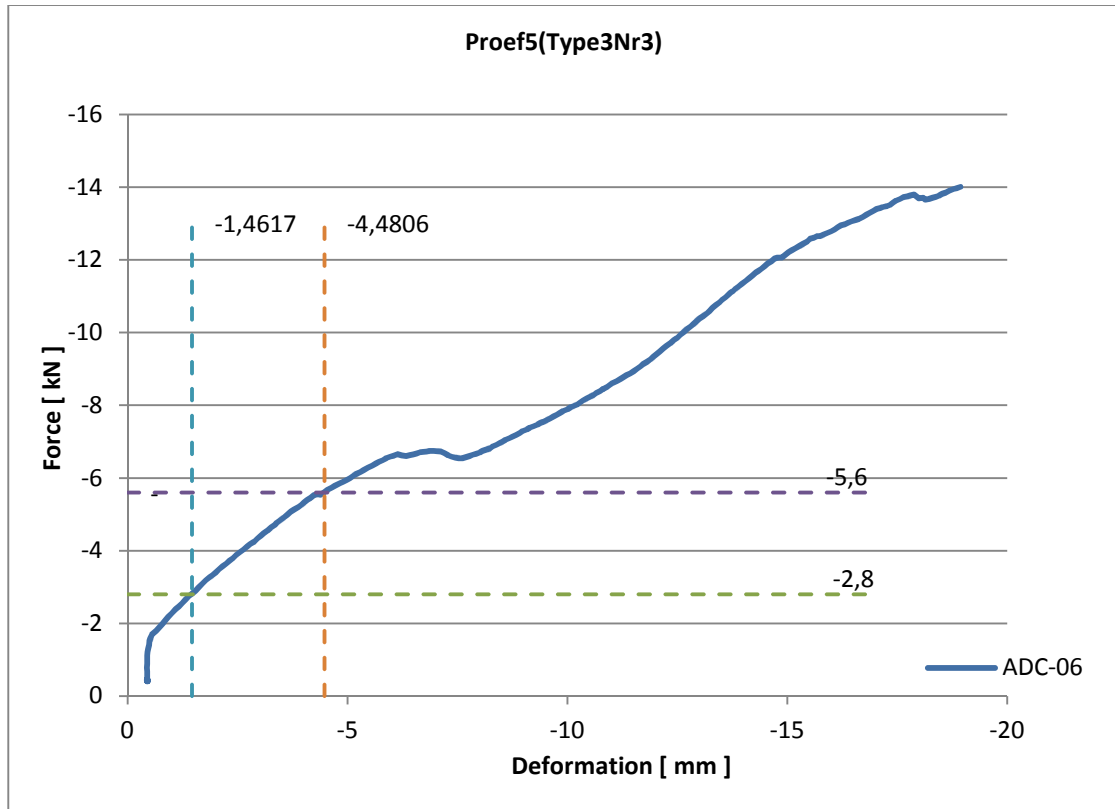




5.2.2.2 Bijgewerkte metingen

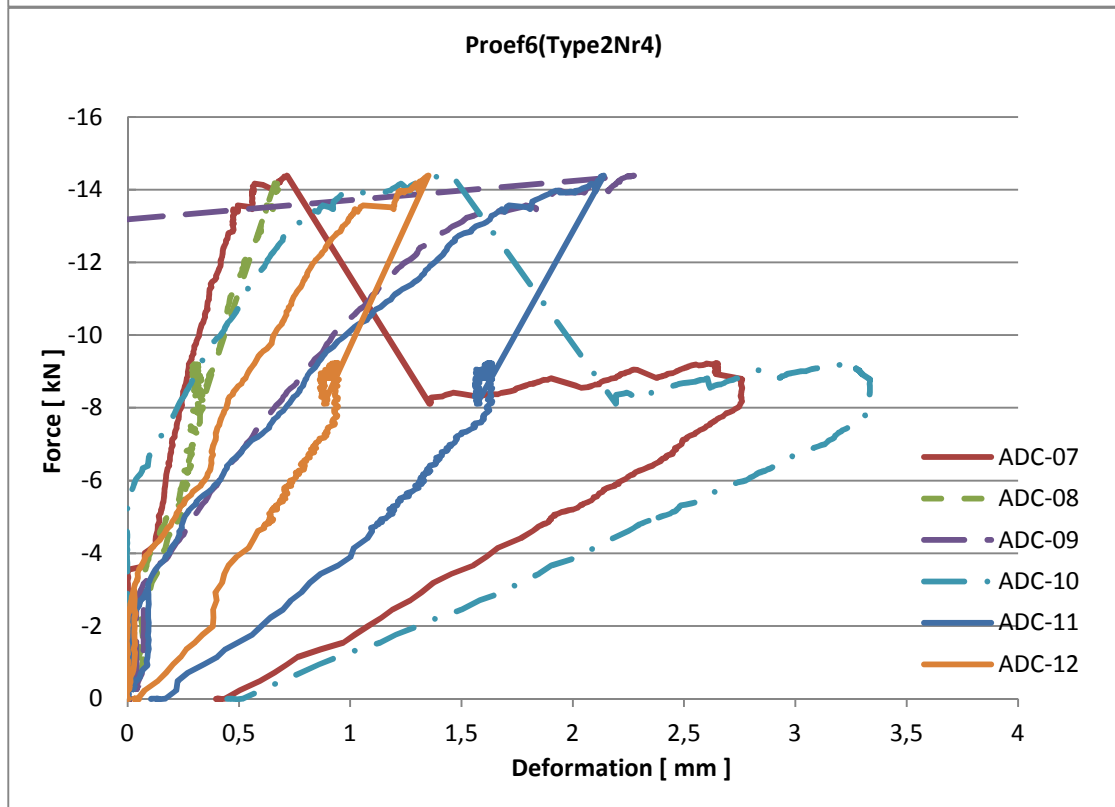
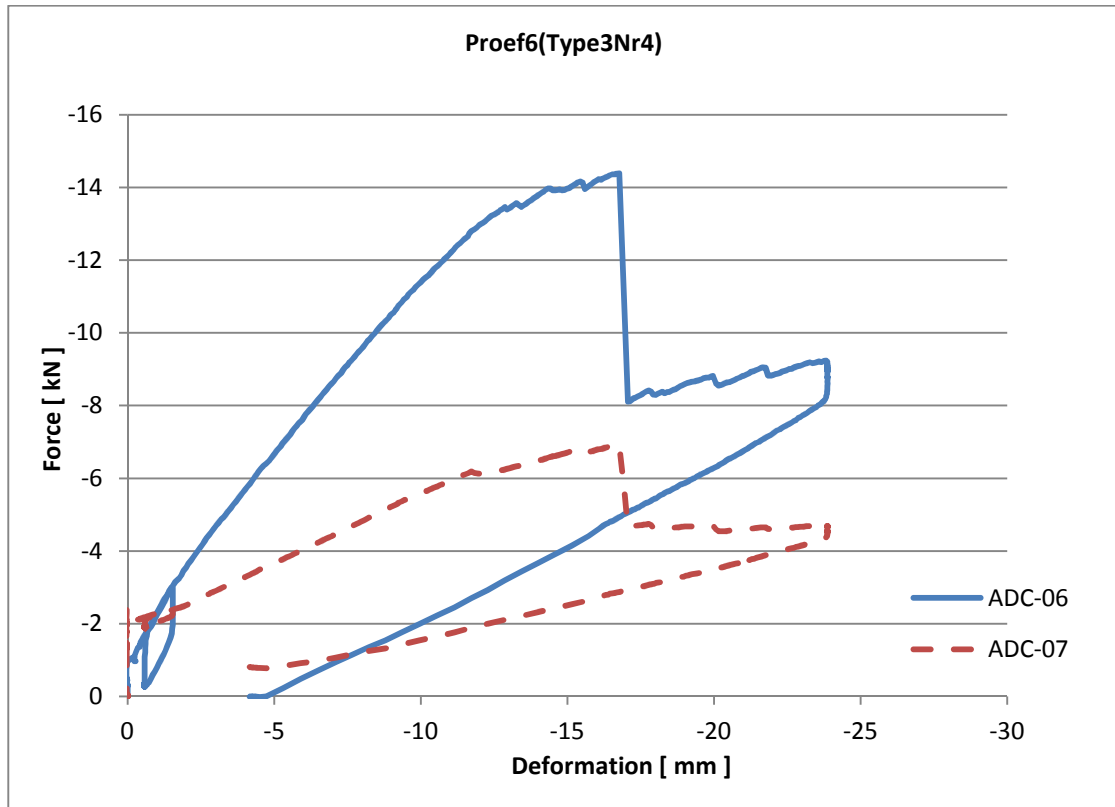


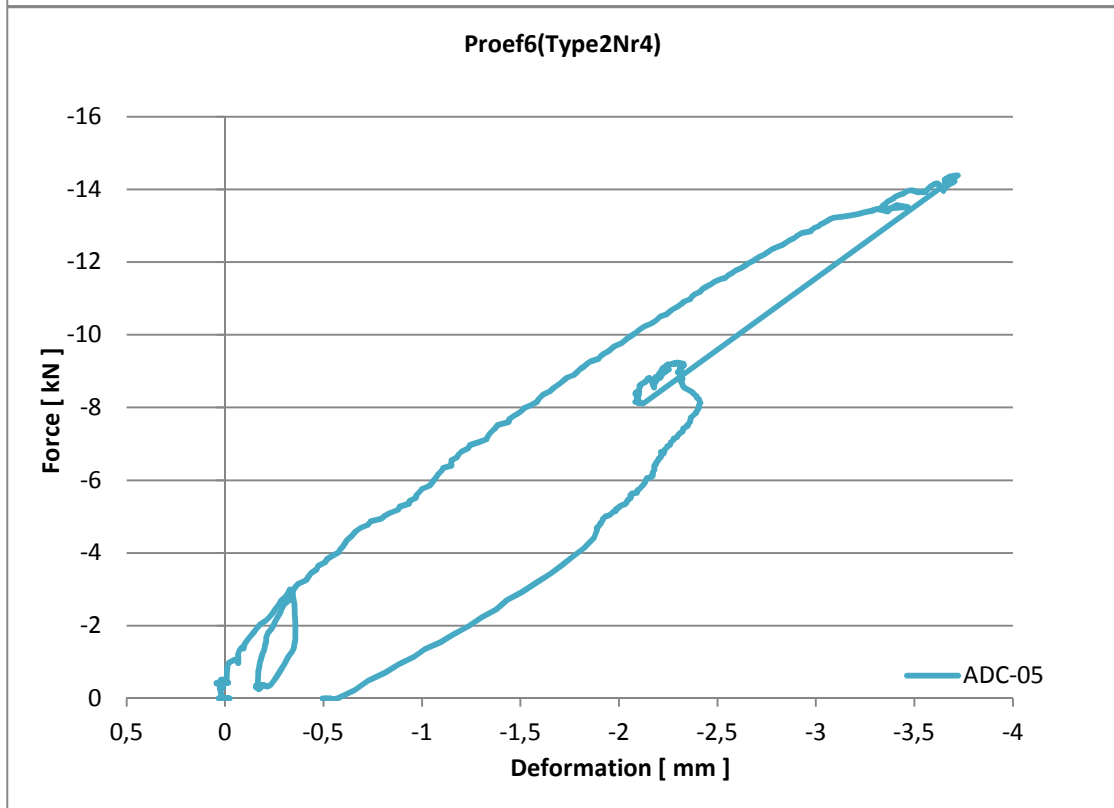
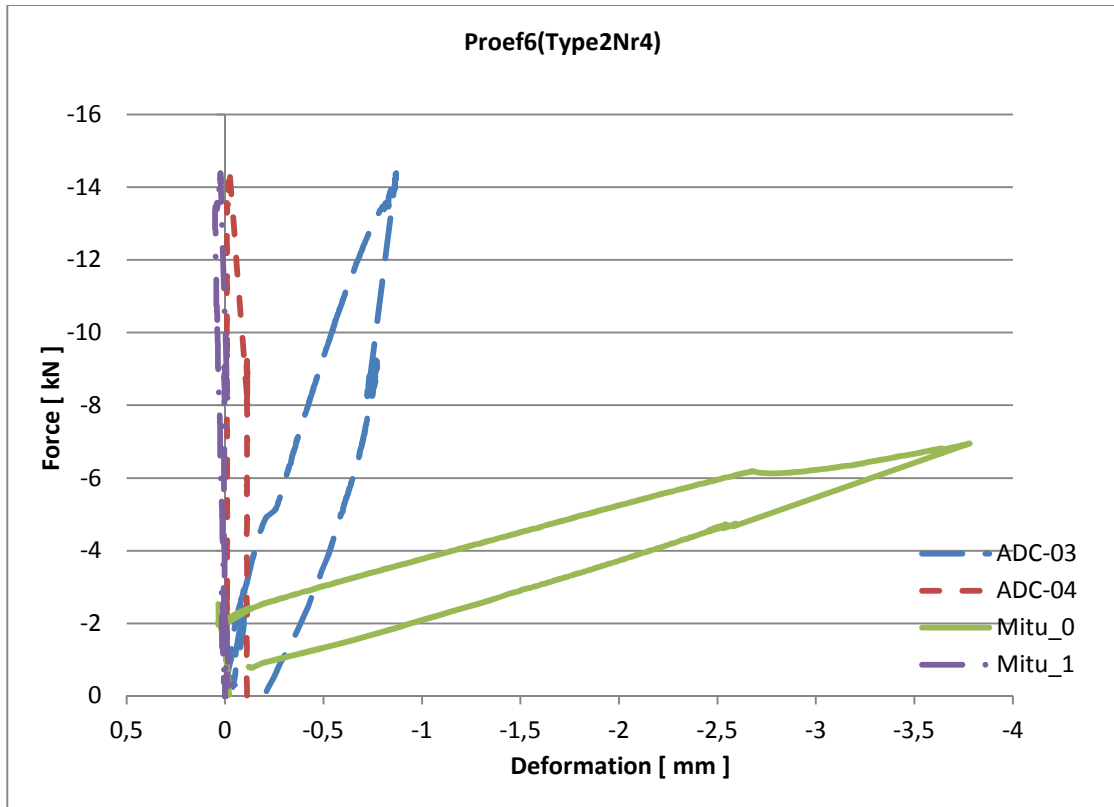




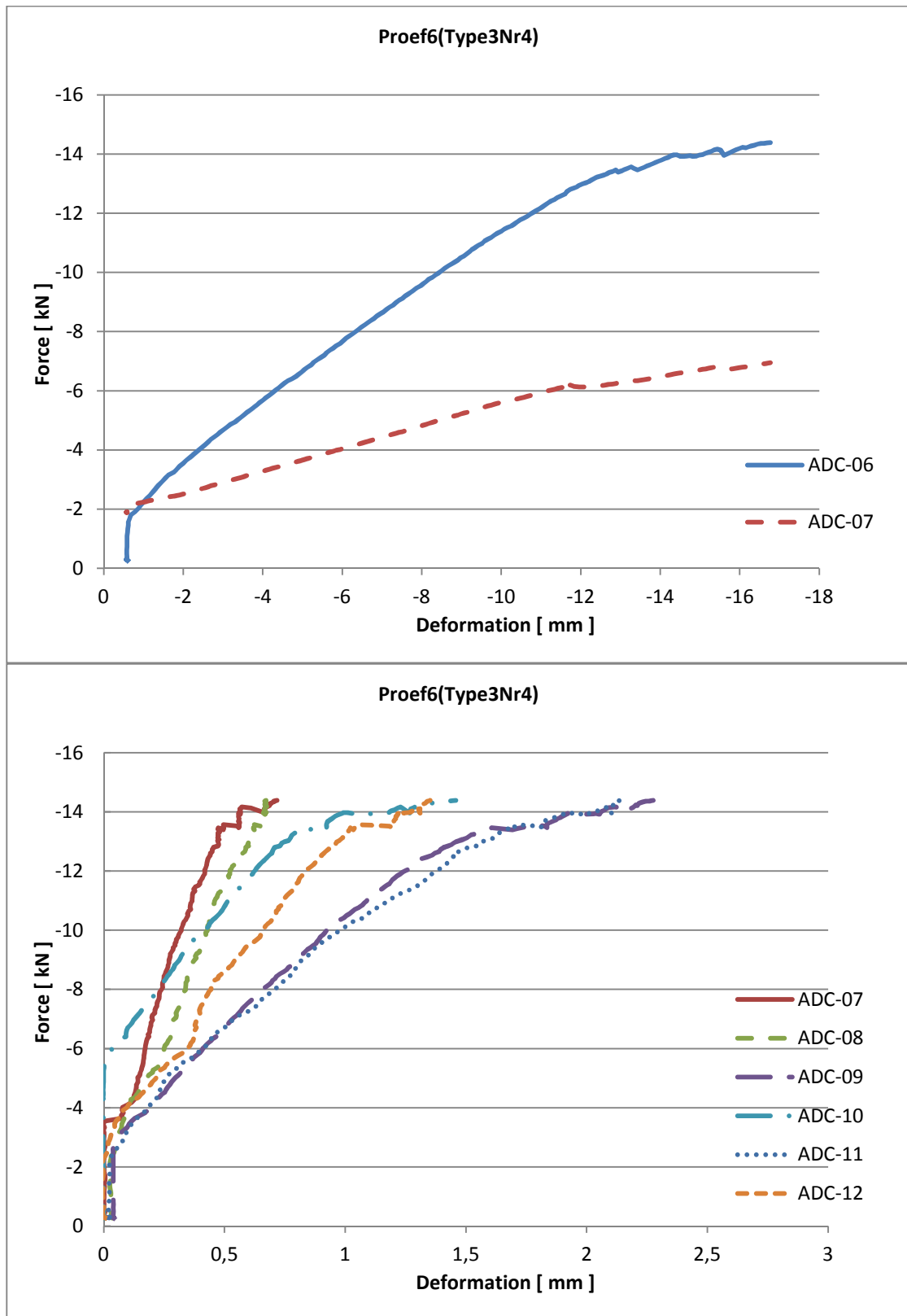
5.2.3 Proef 6

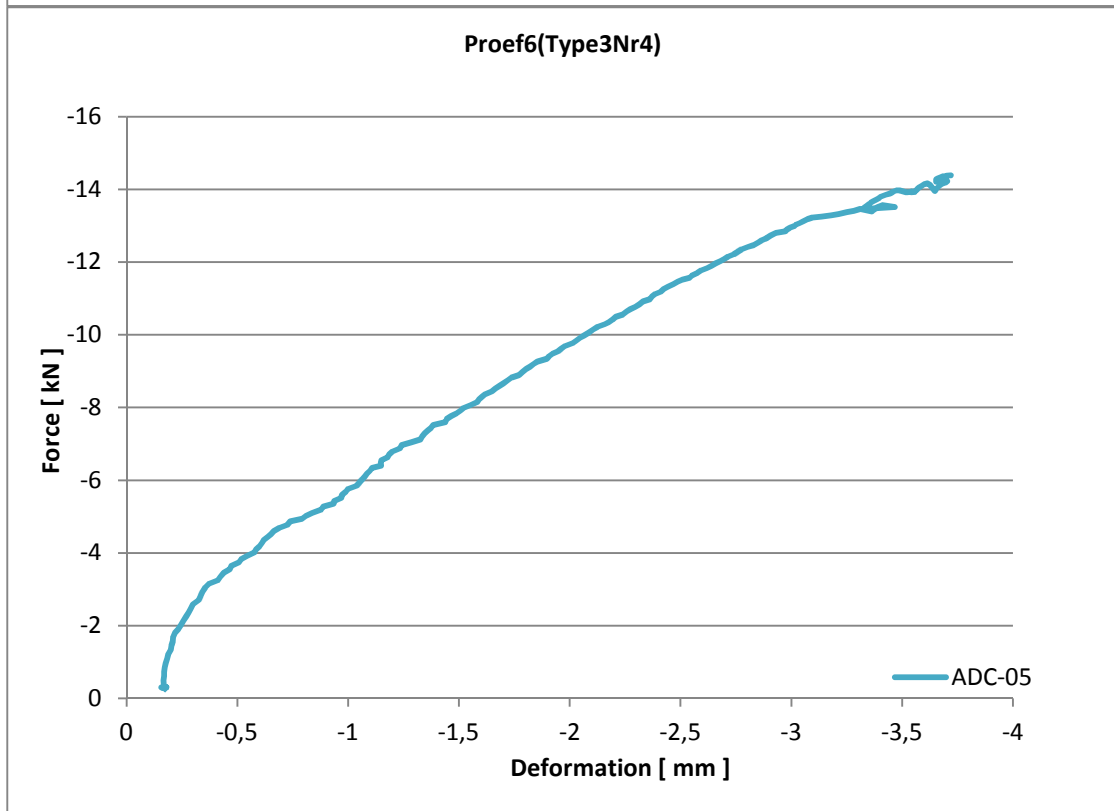
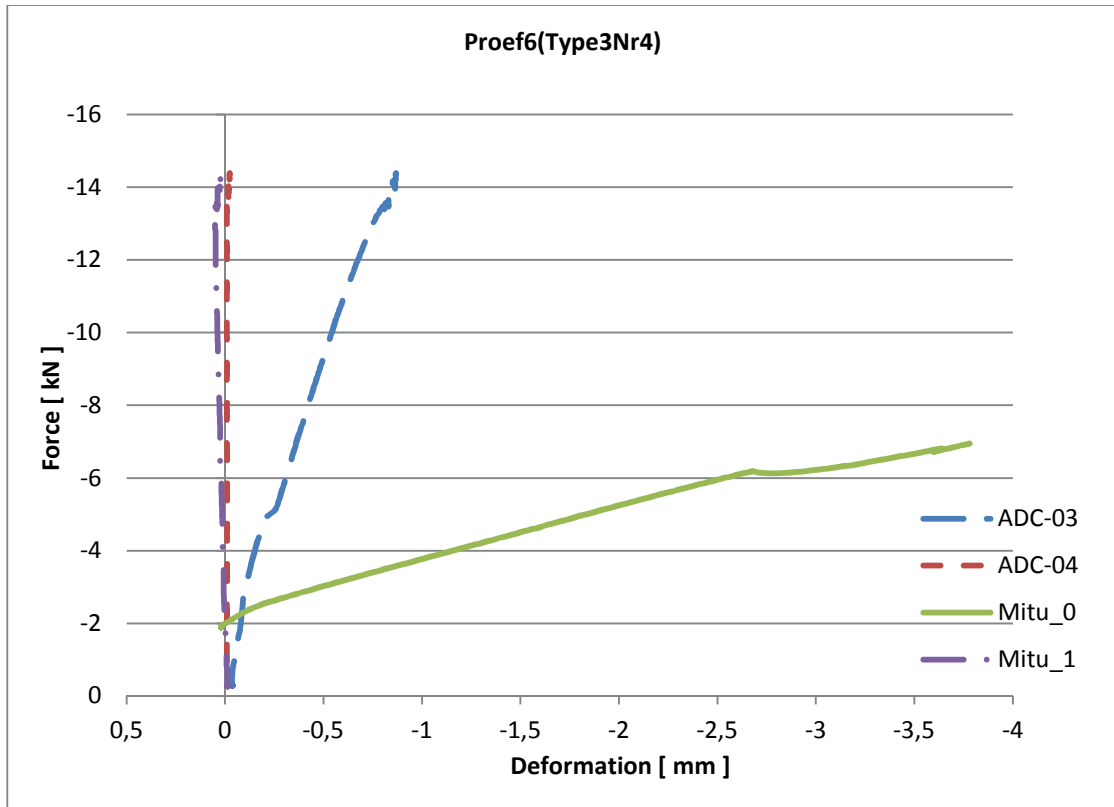
5.2.3.1 Metingen

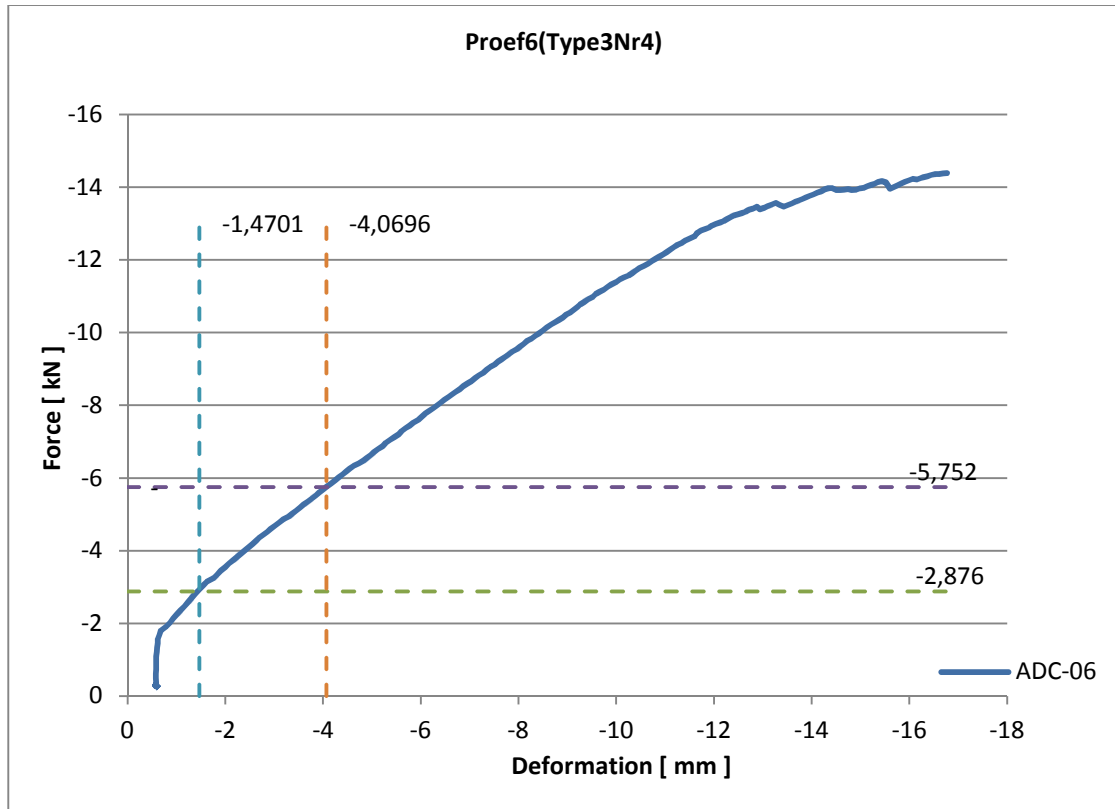




5.2.3.2 Bijgewerkte metingen

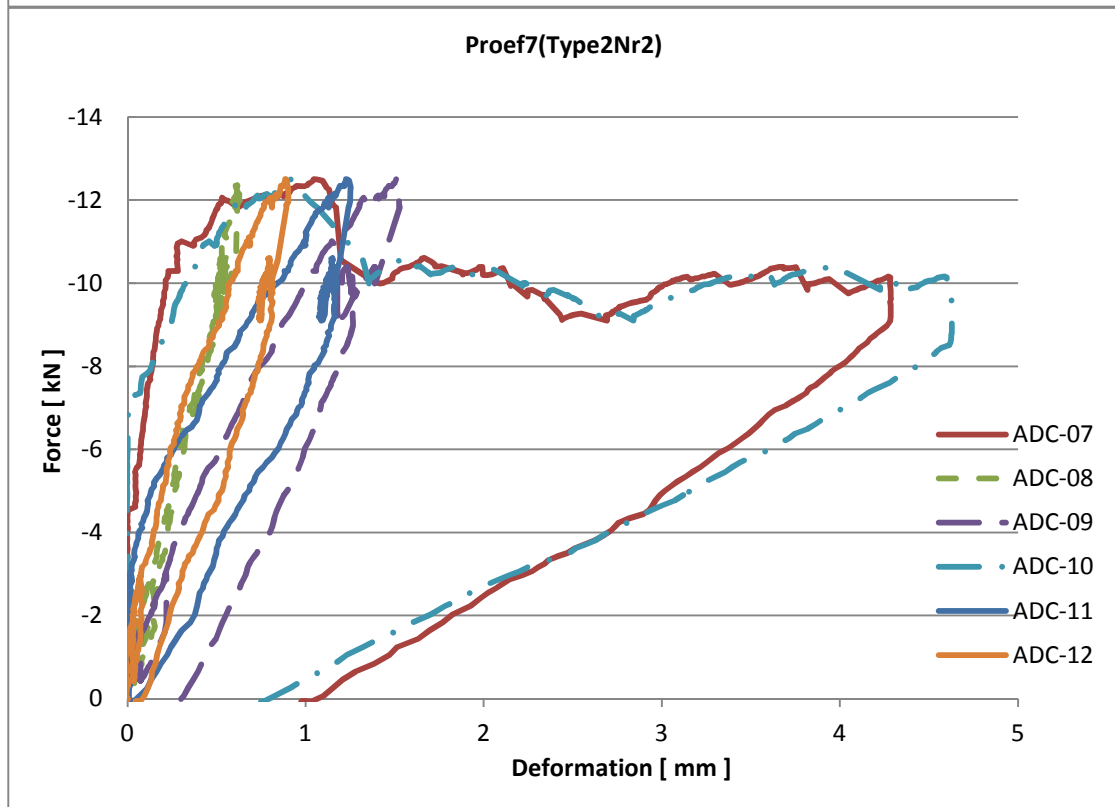
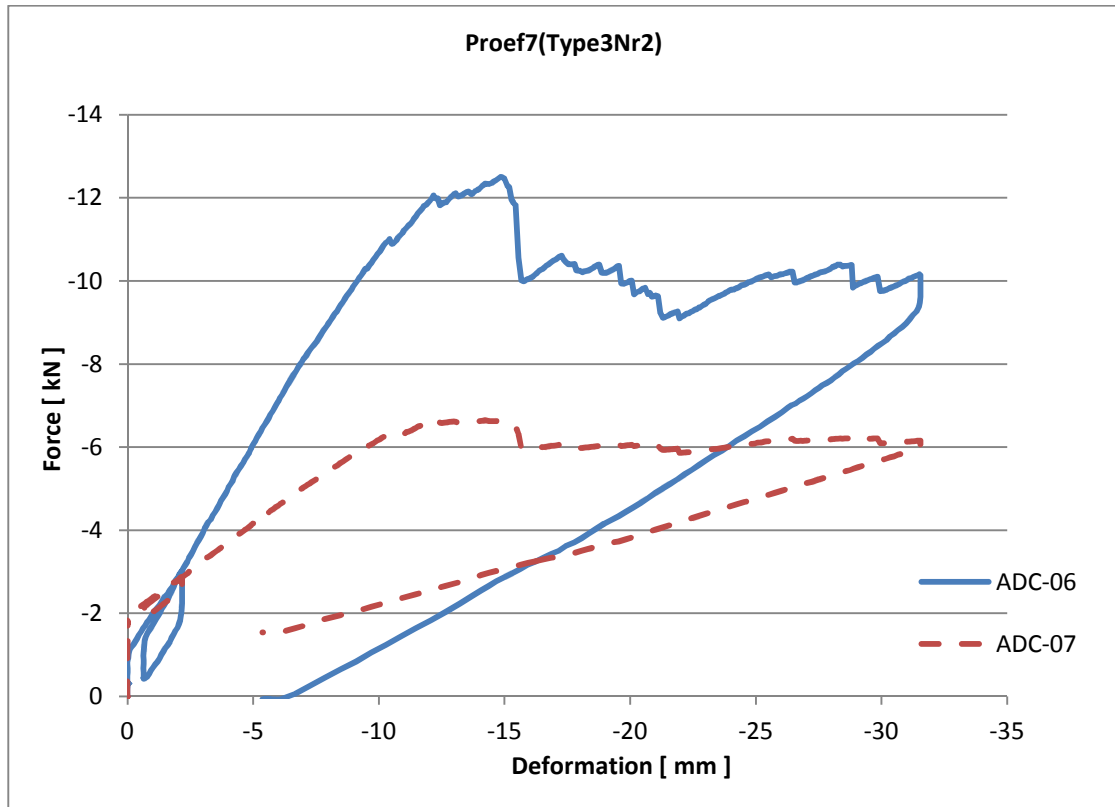


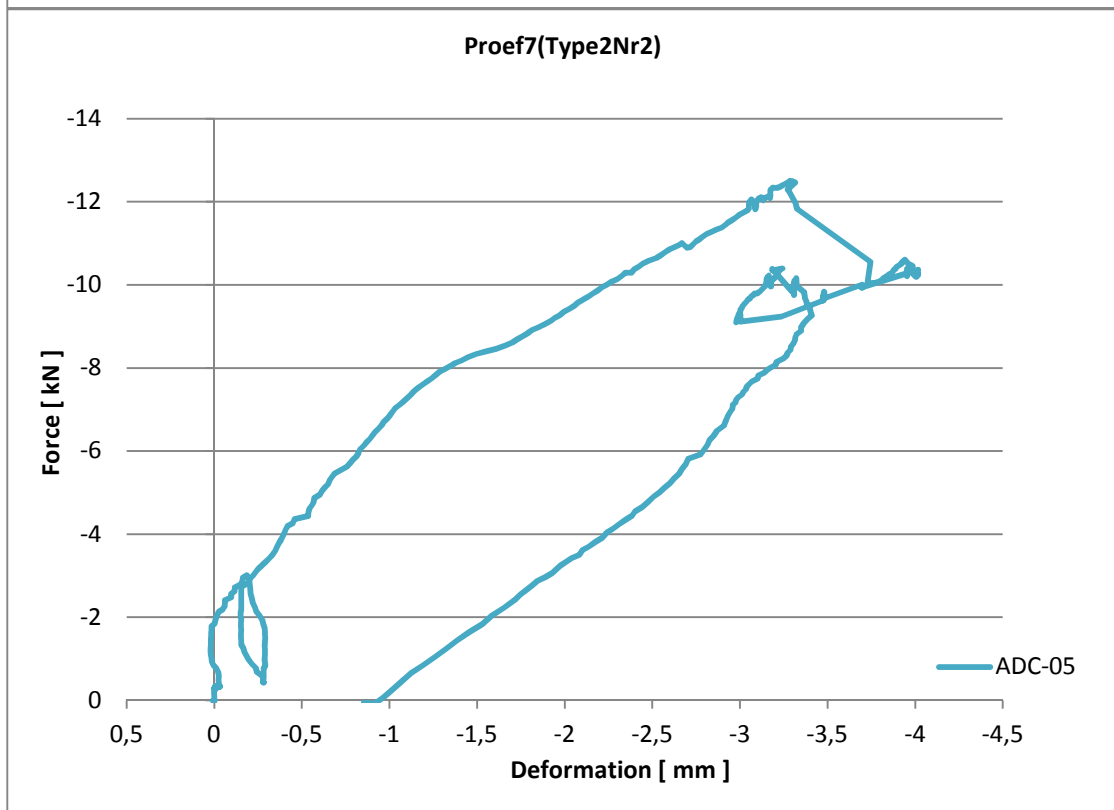
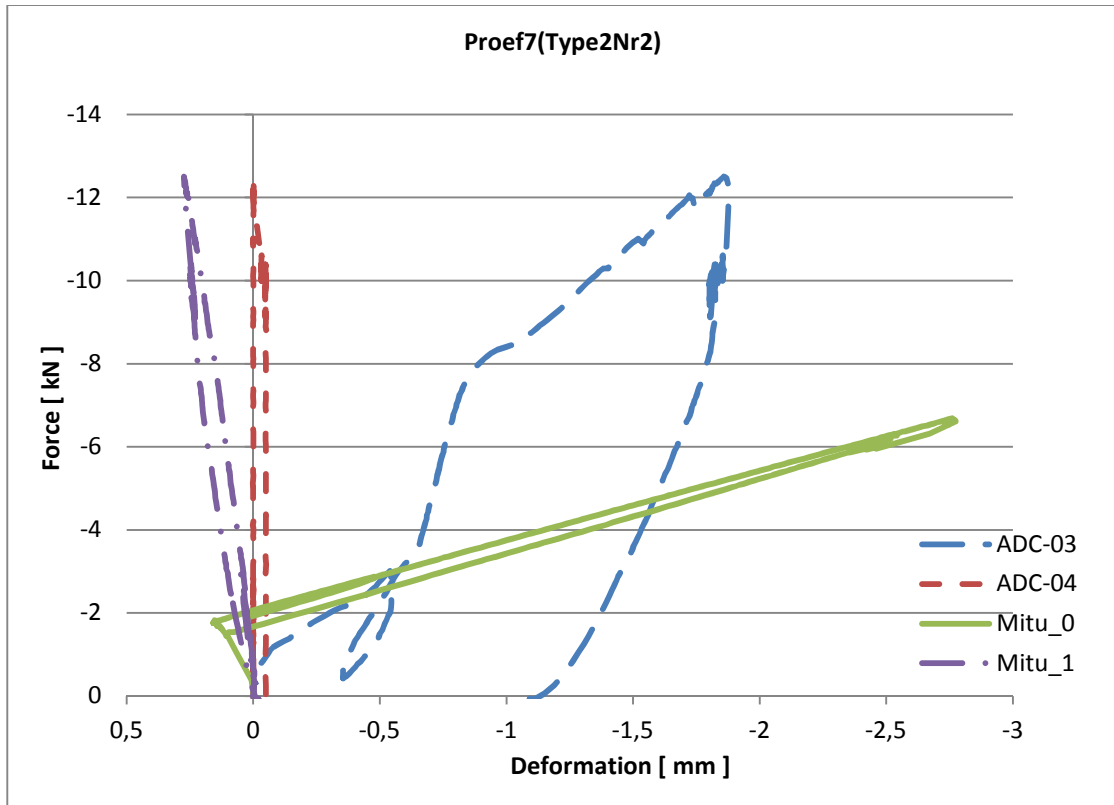




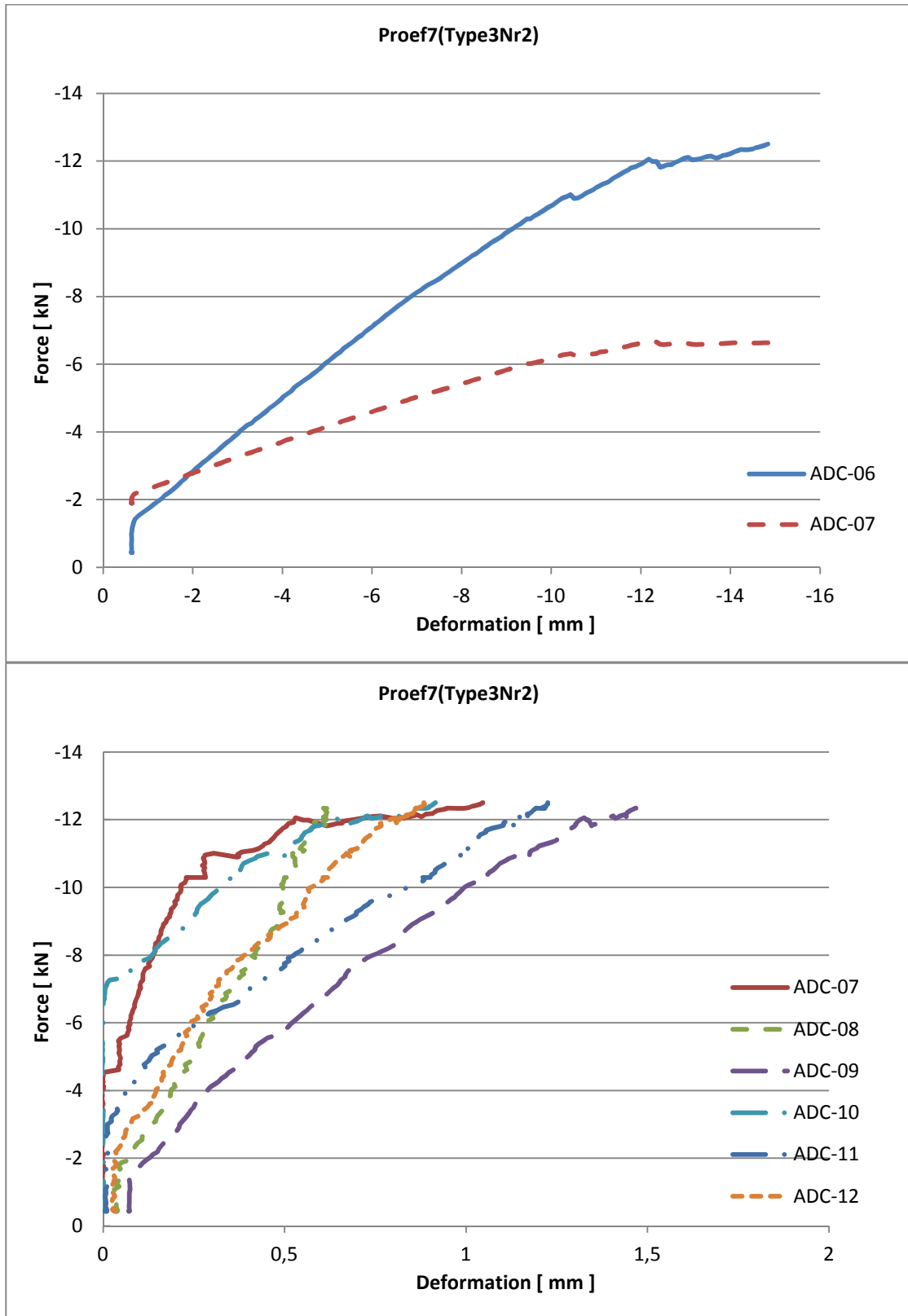
5.2.4 Proef 7

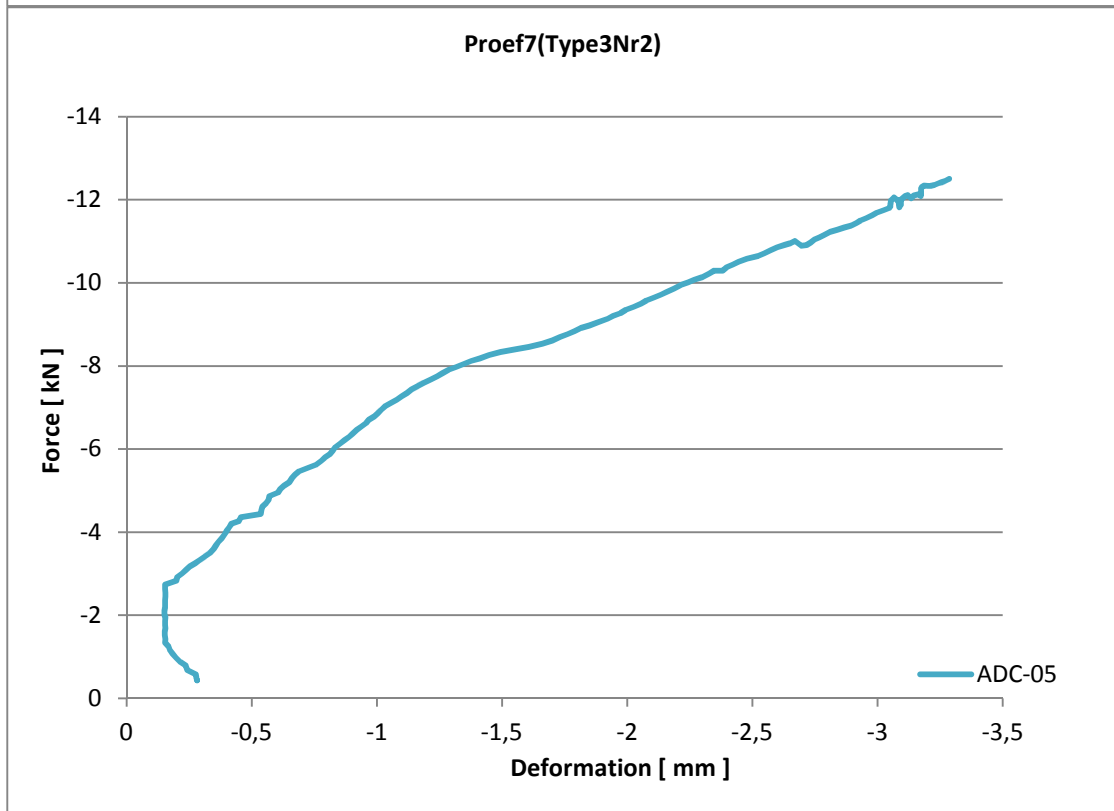
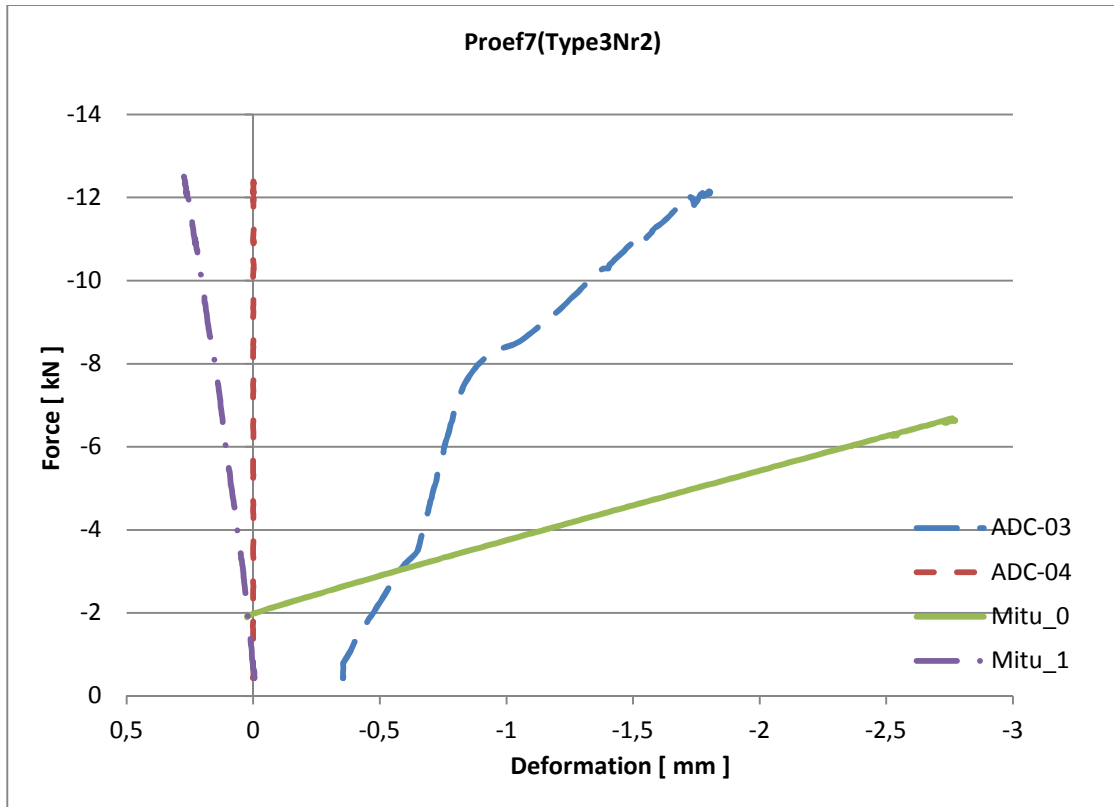
5.2.4.1 Metingen

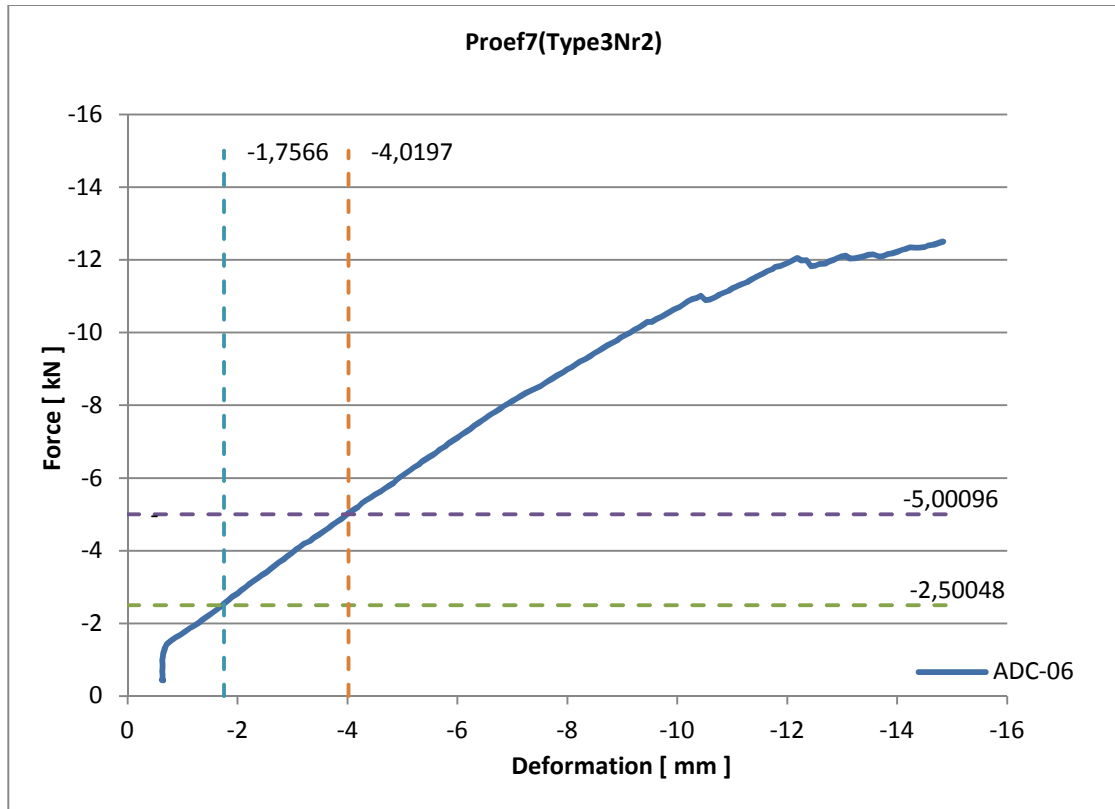




5.2.4.2 Bijgewerkte metingen

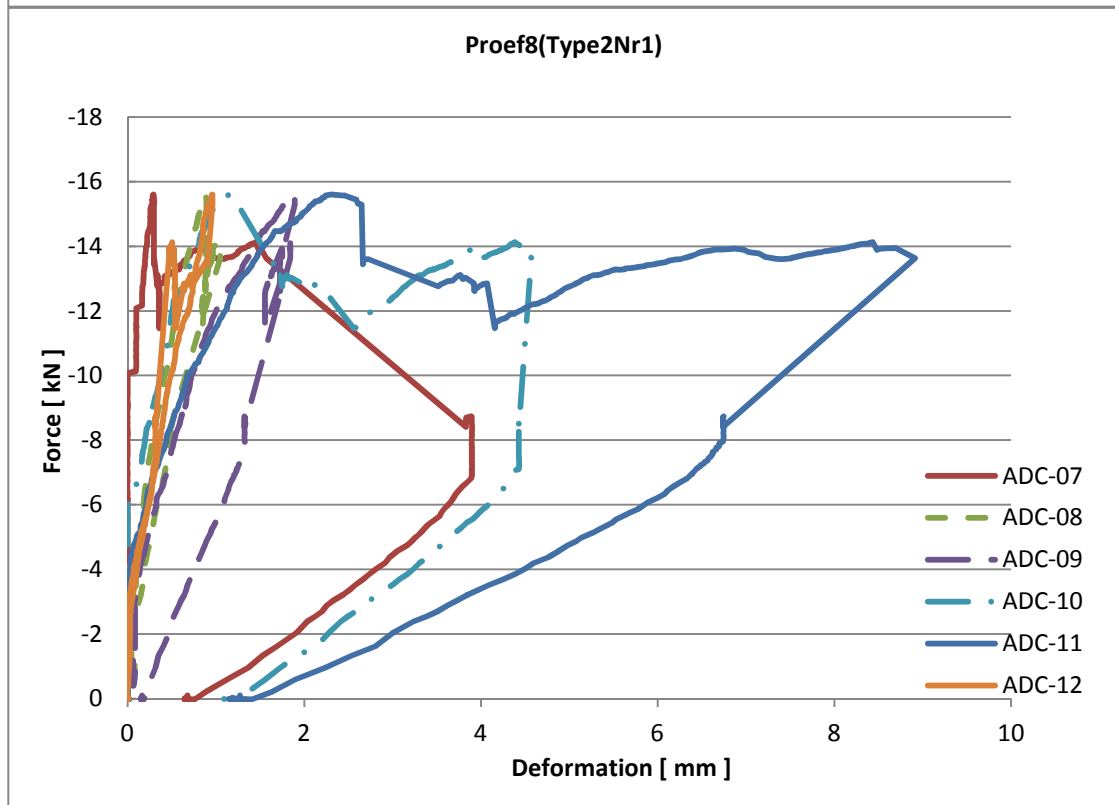
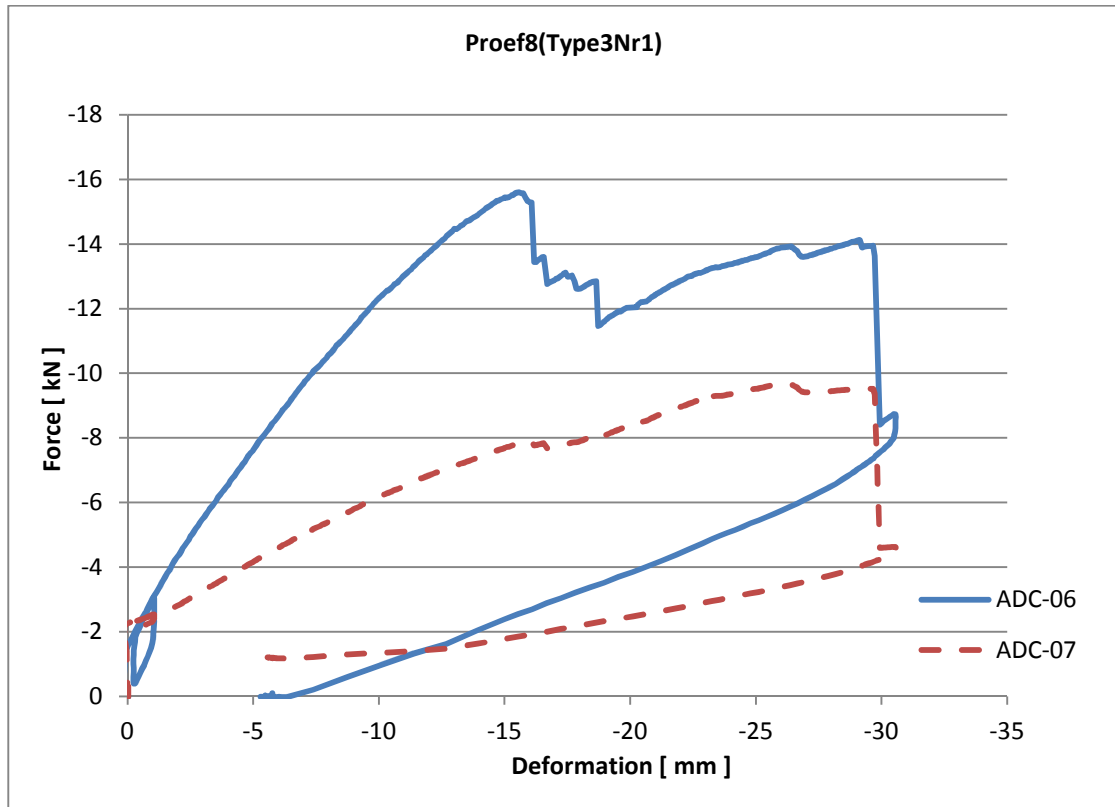


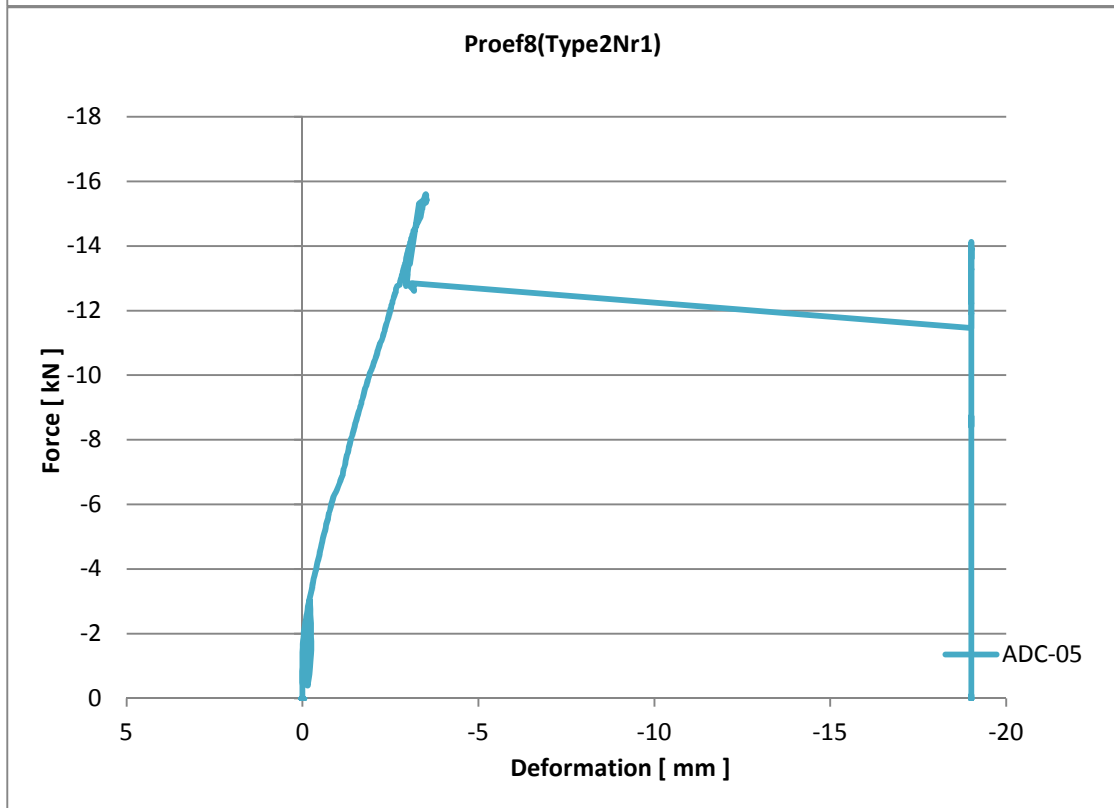
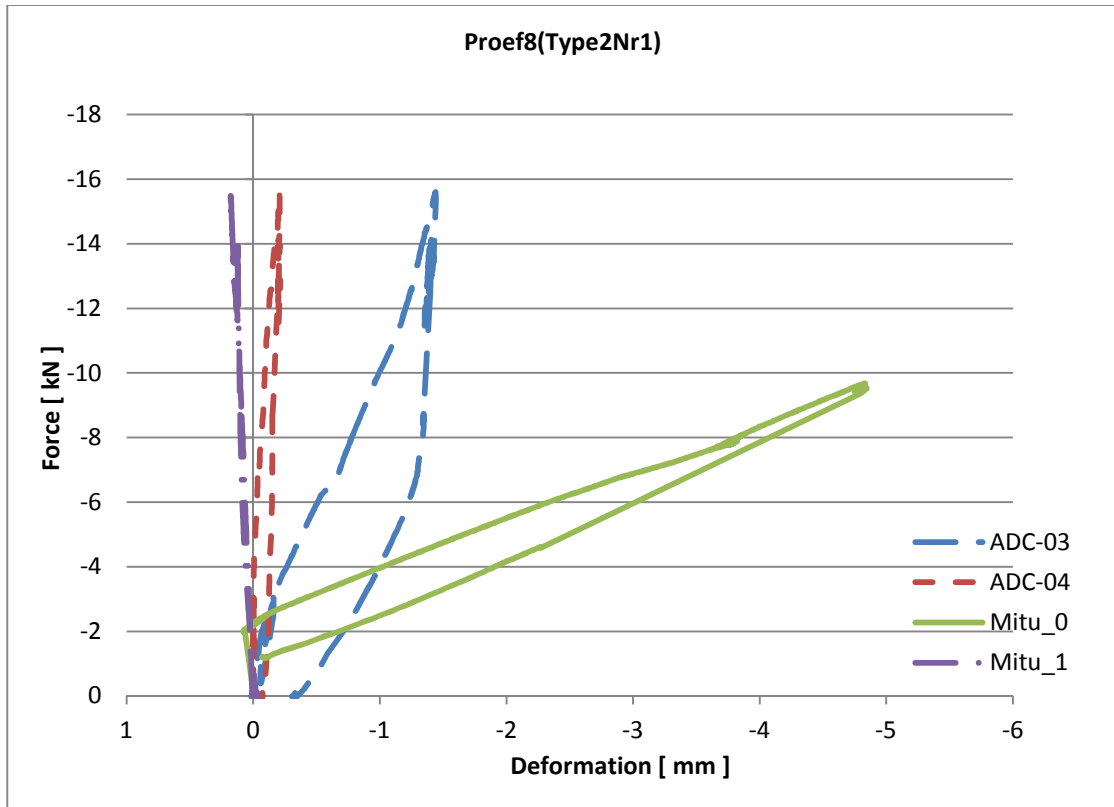




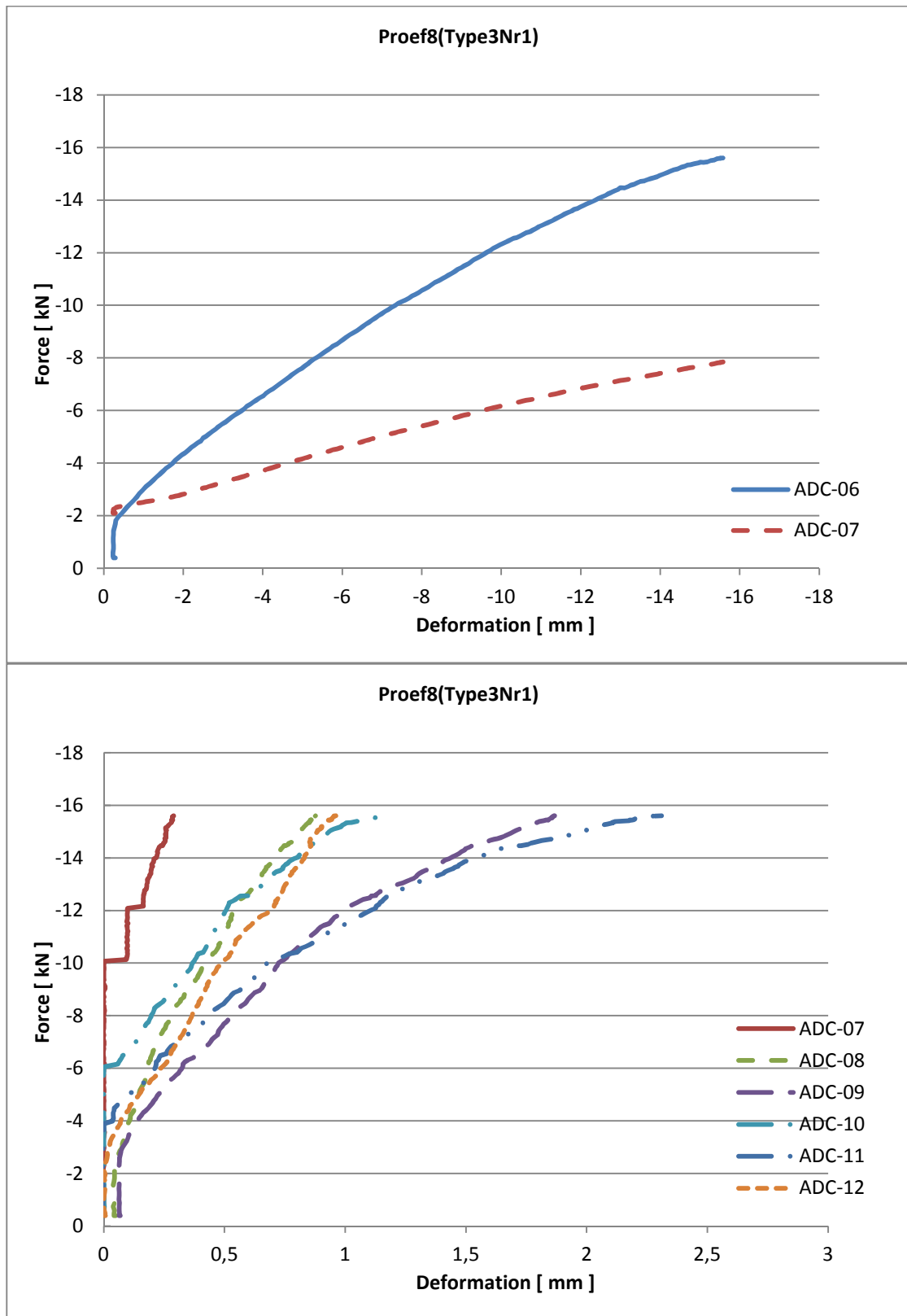
5.2.5 Proef 8

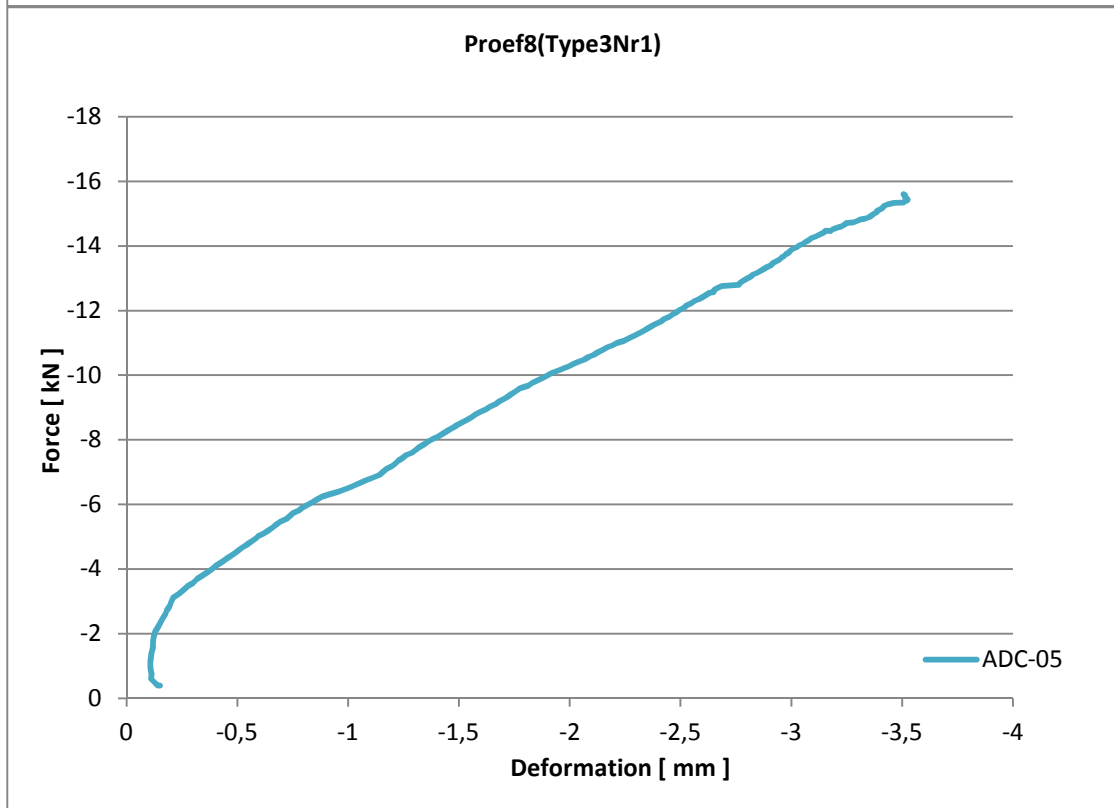
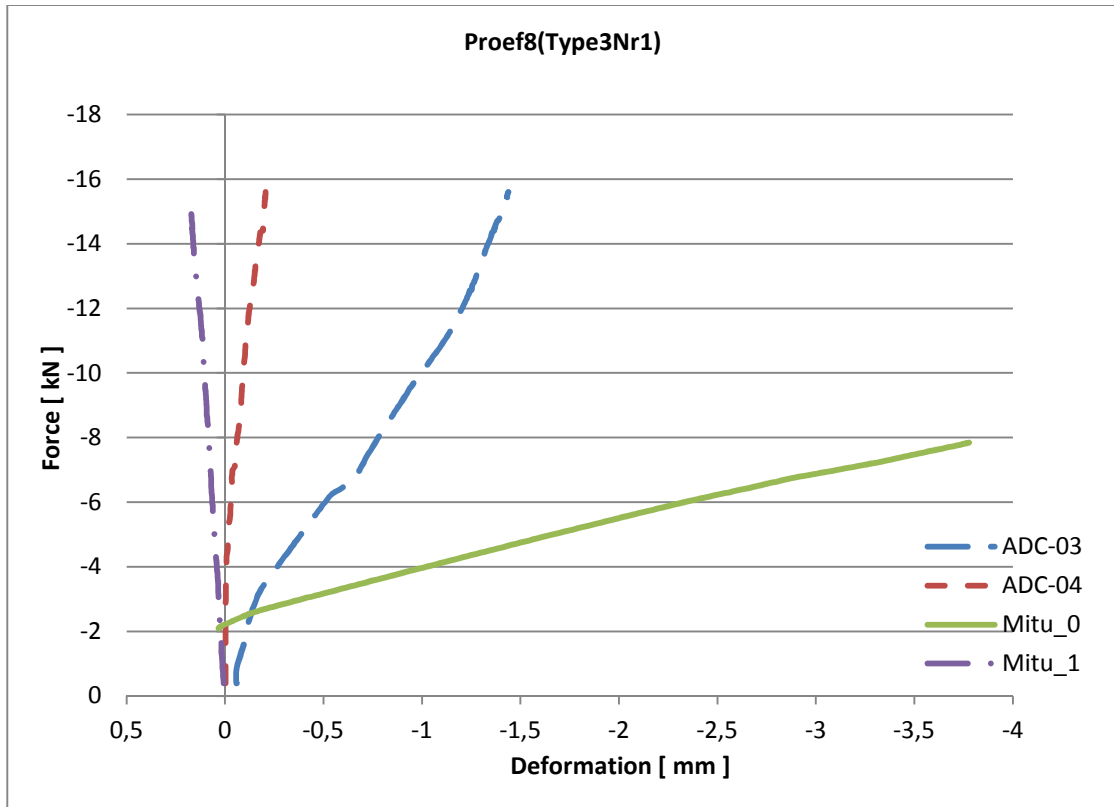
5.2.5.1 Metingen

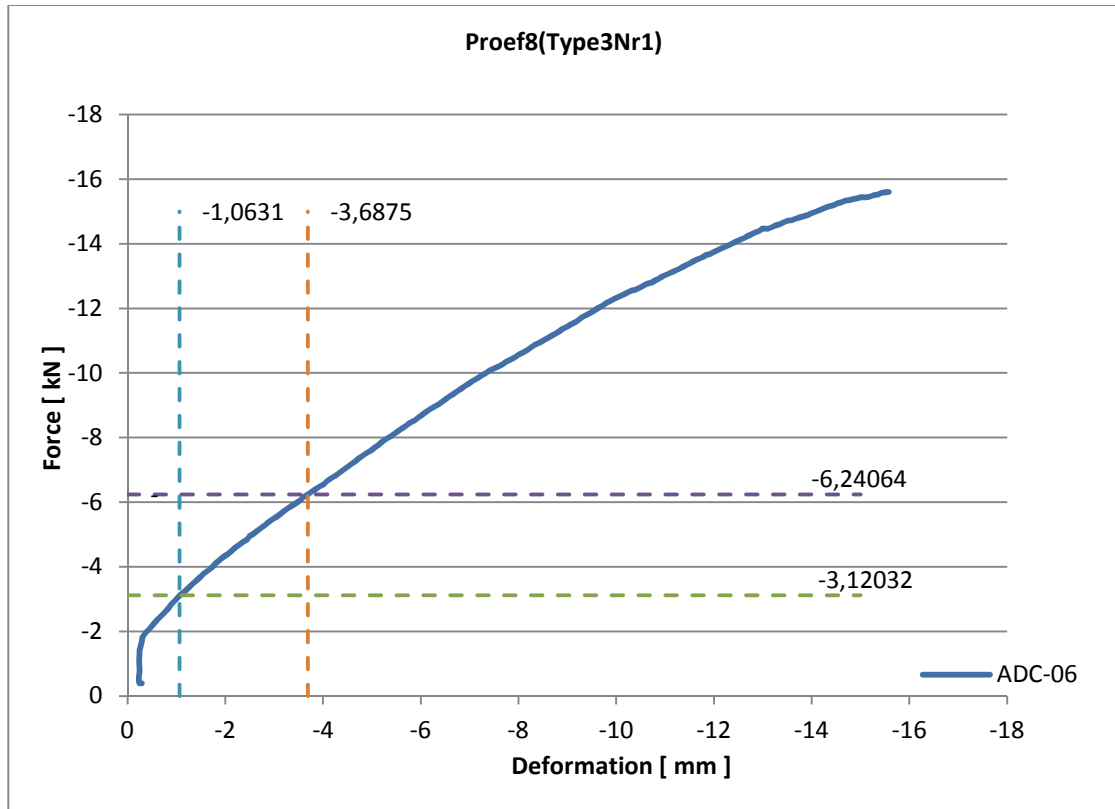




5.2.5.2 Bijgewerkte metingen

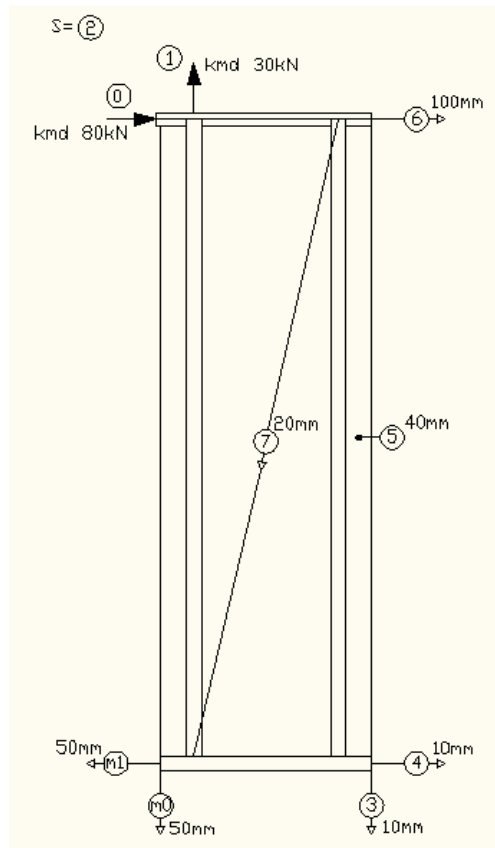






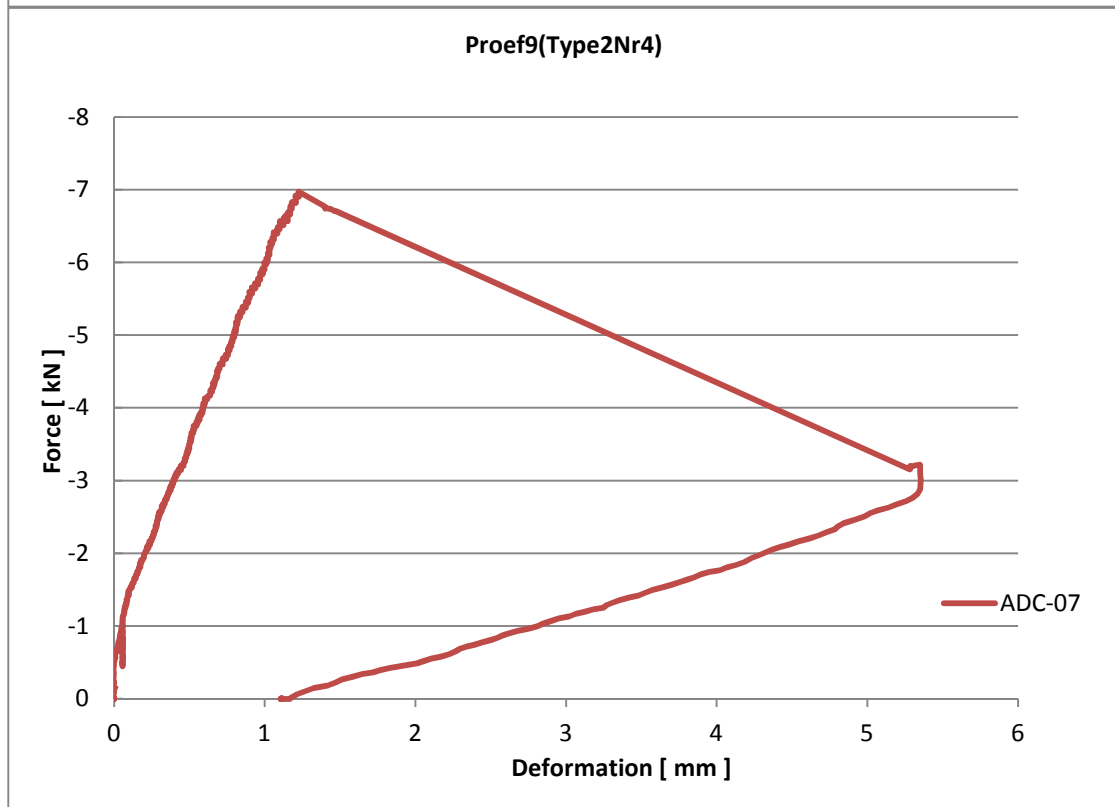
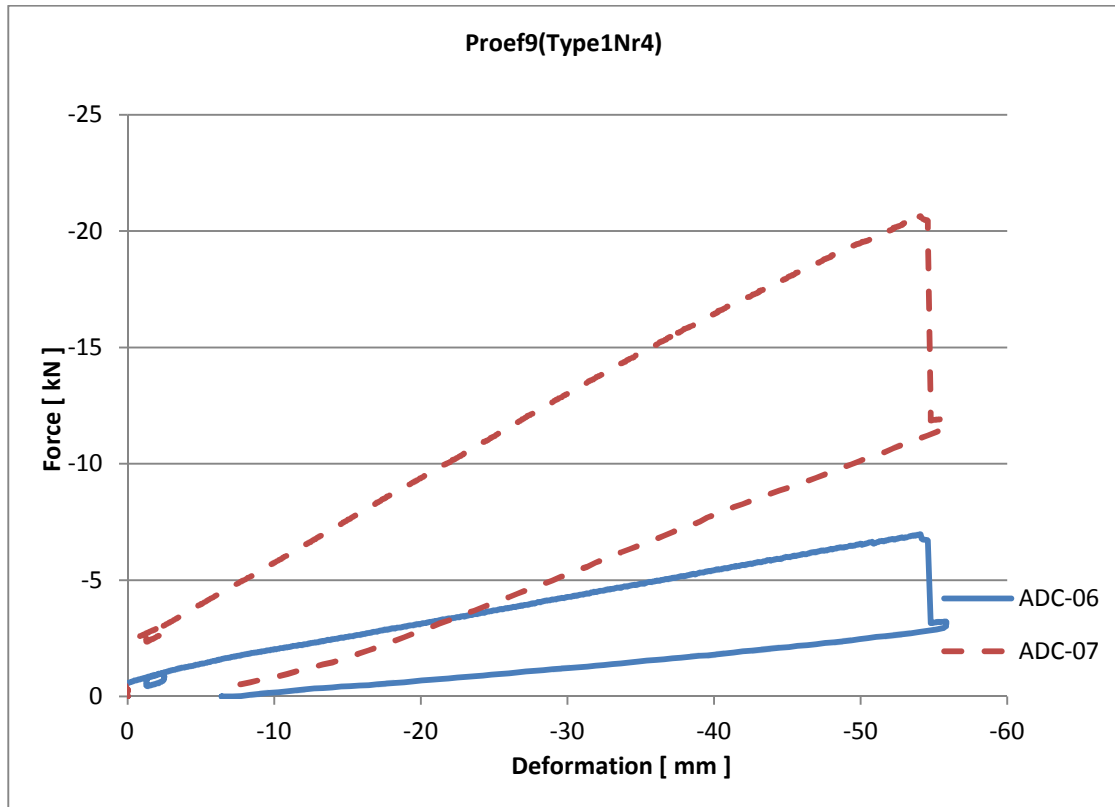
5.3 Proeven elementtype 3

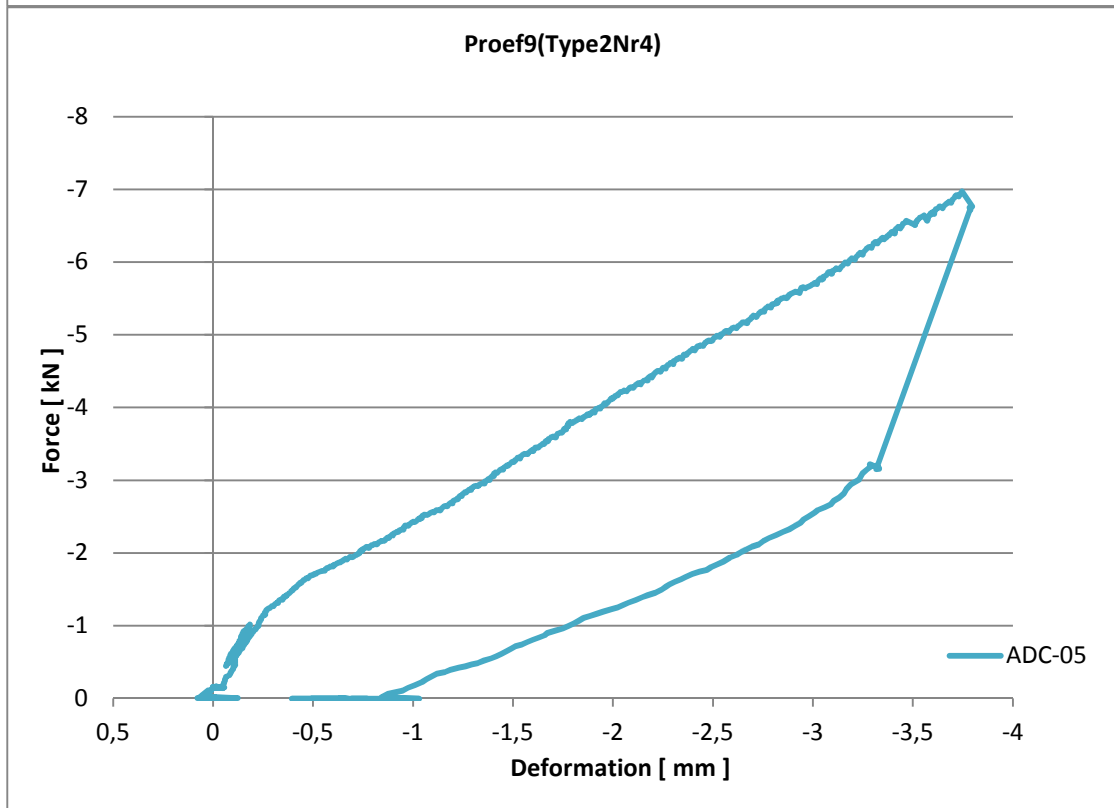
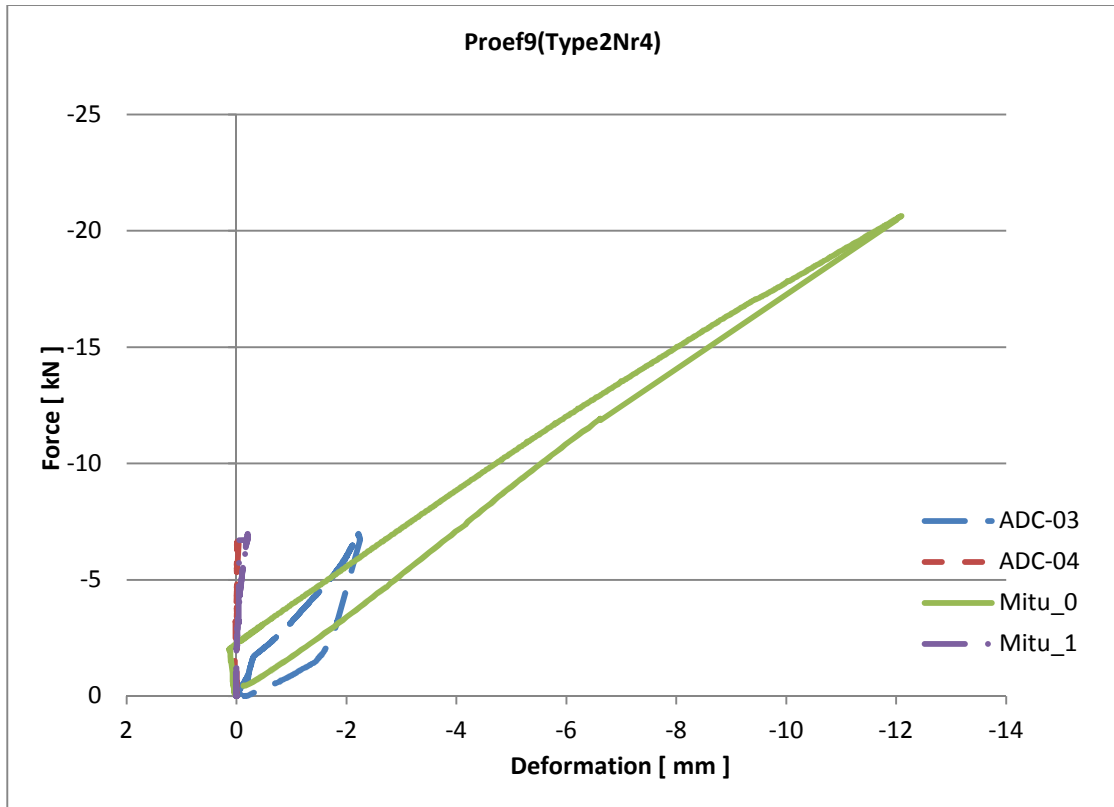
5.3.1 Overzicht meetinstrumenten



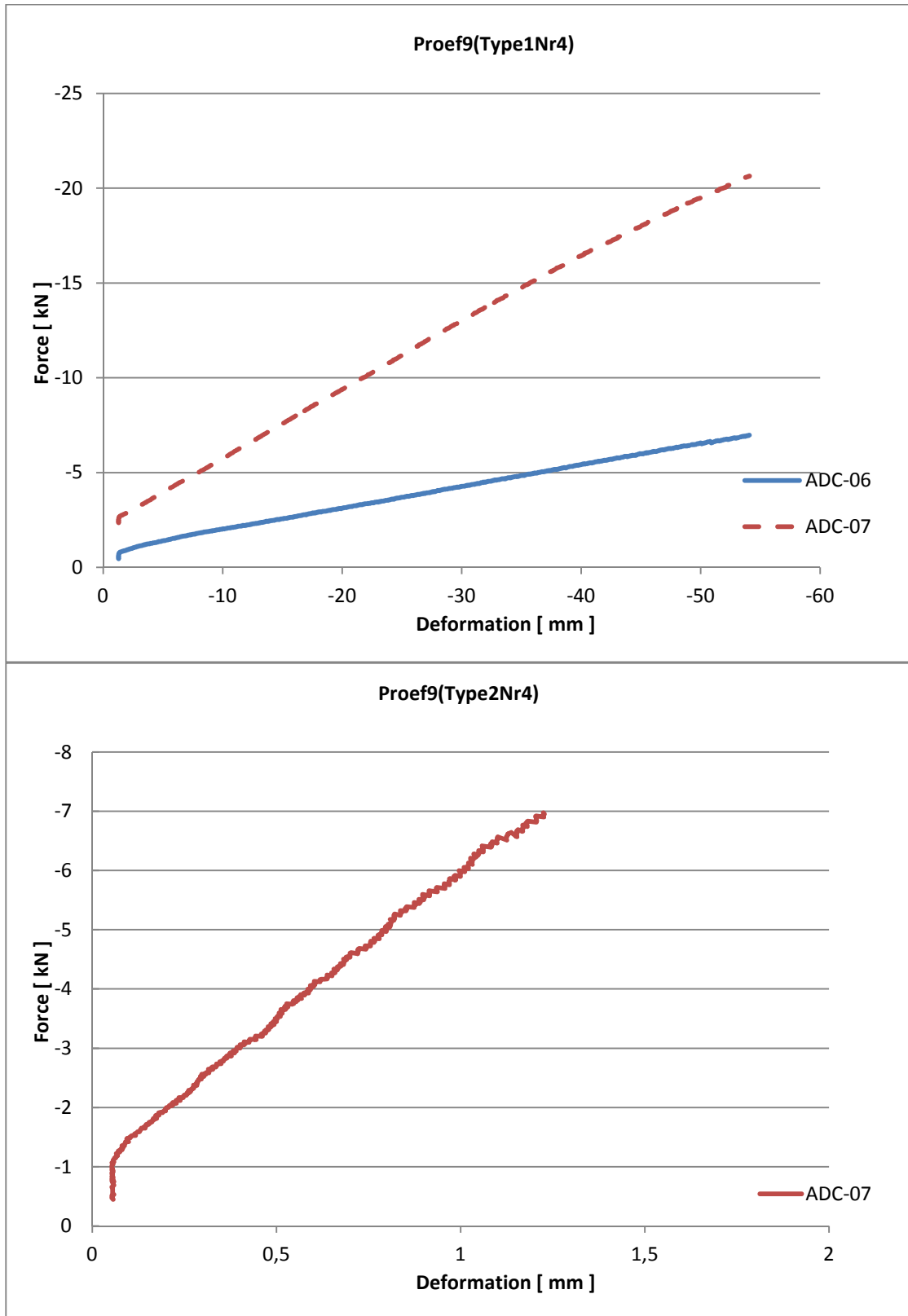
5.3.2 Proef 9

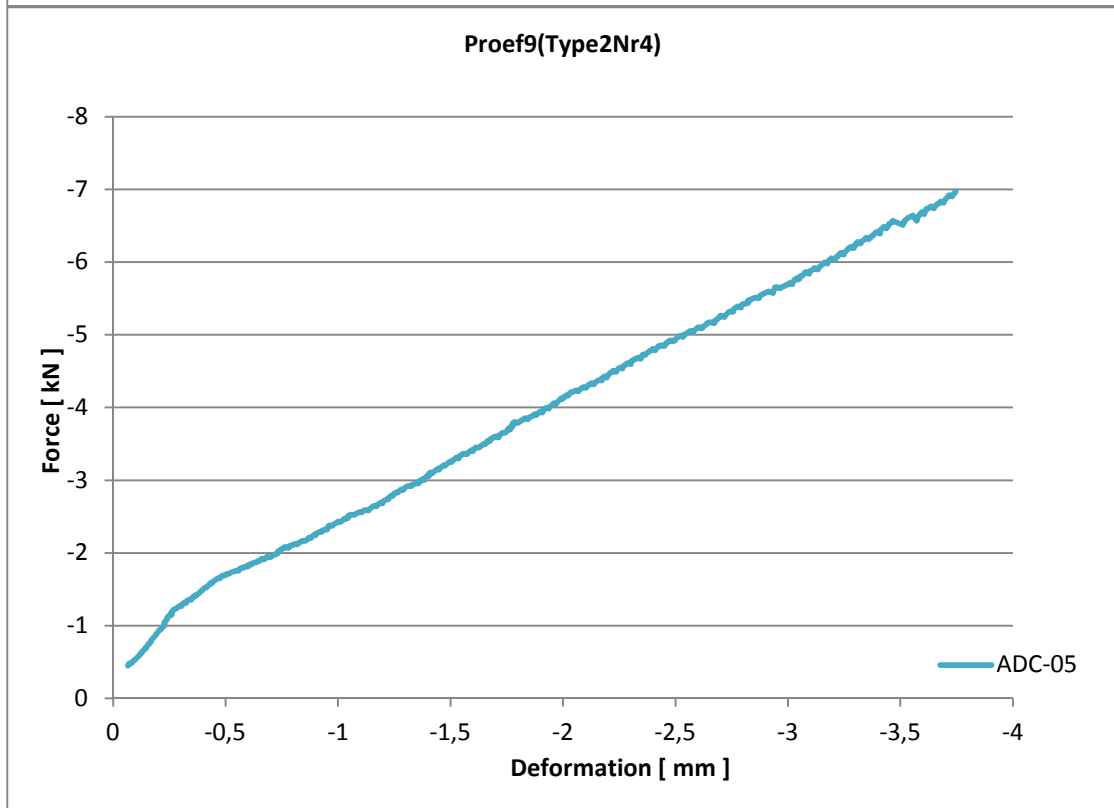
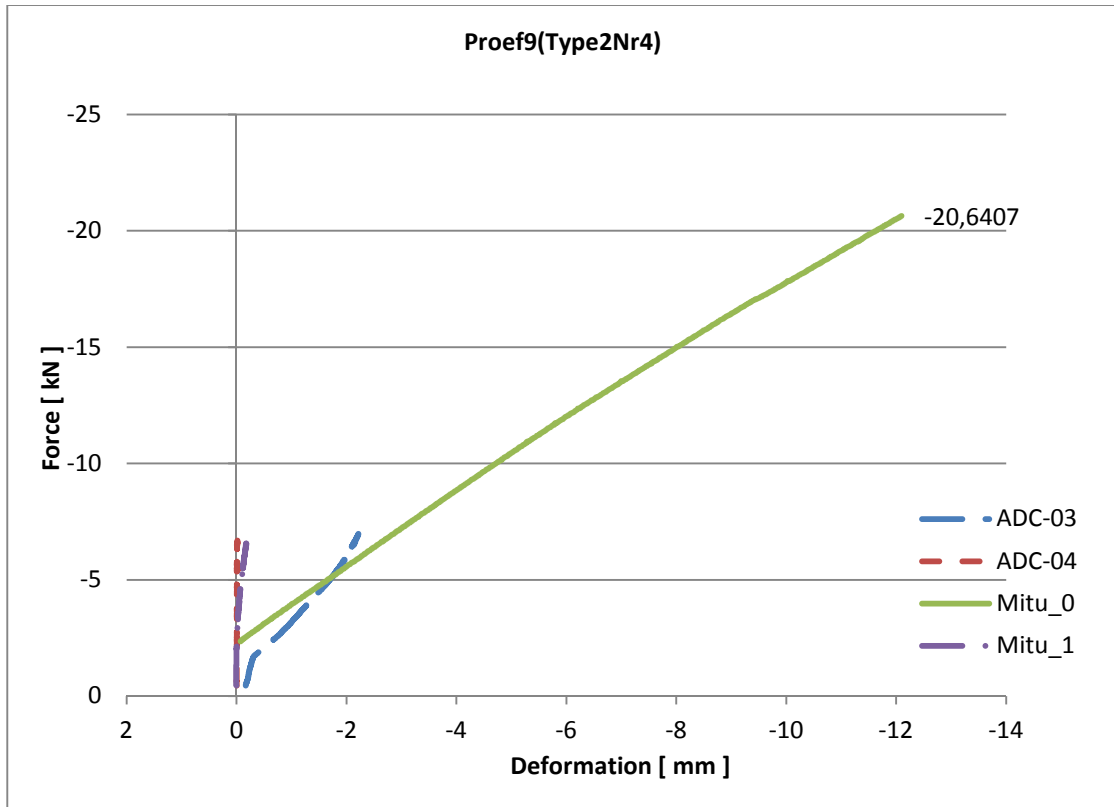
5.3.2.1 Metingen

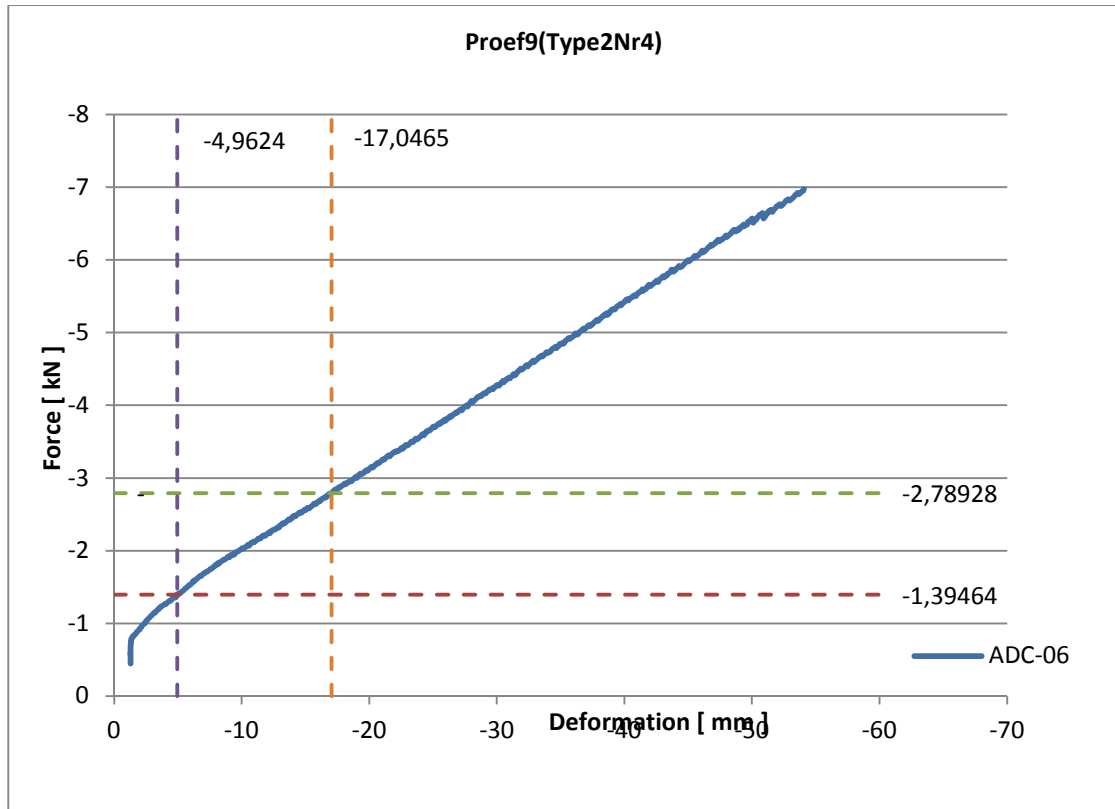




5.3.2.2 Bijgewerkte metingen

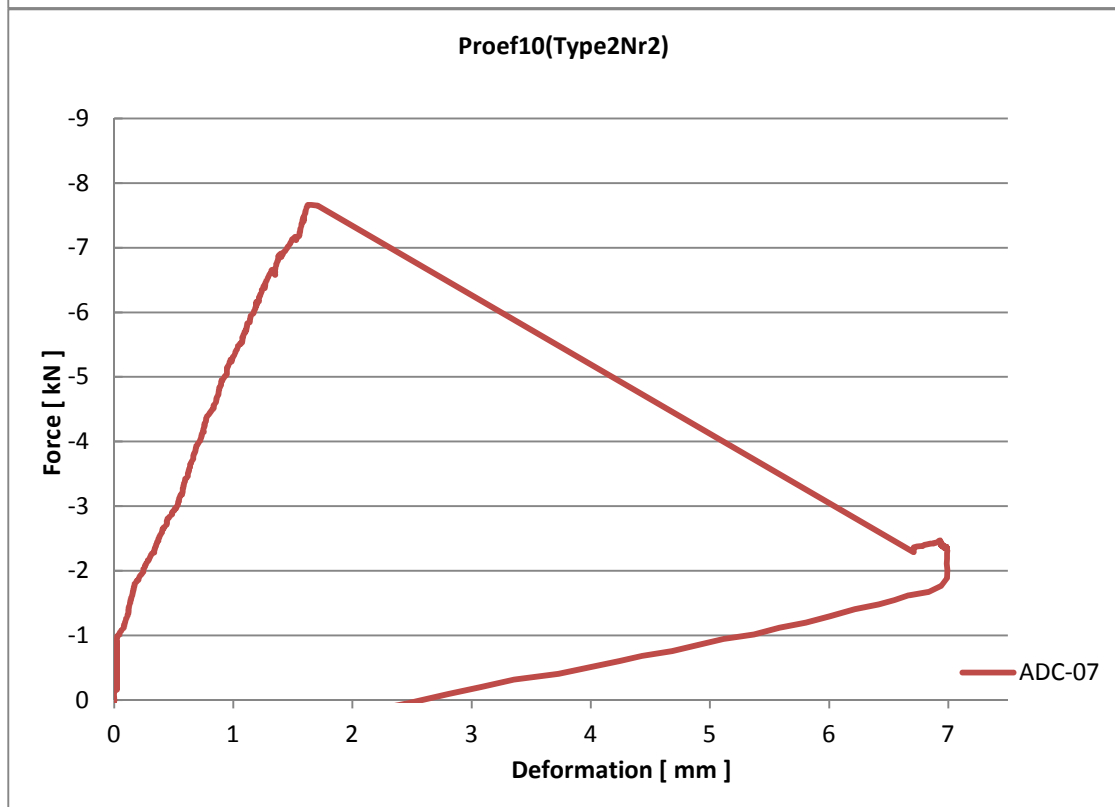
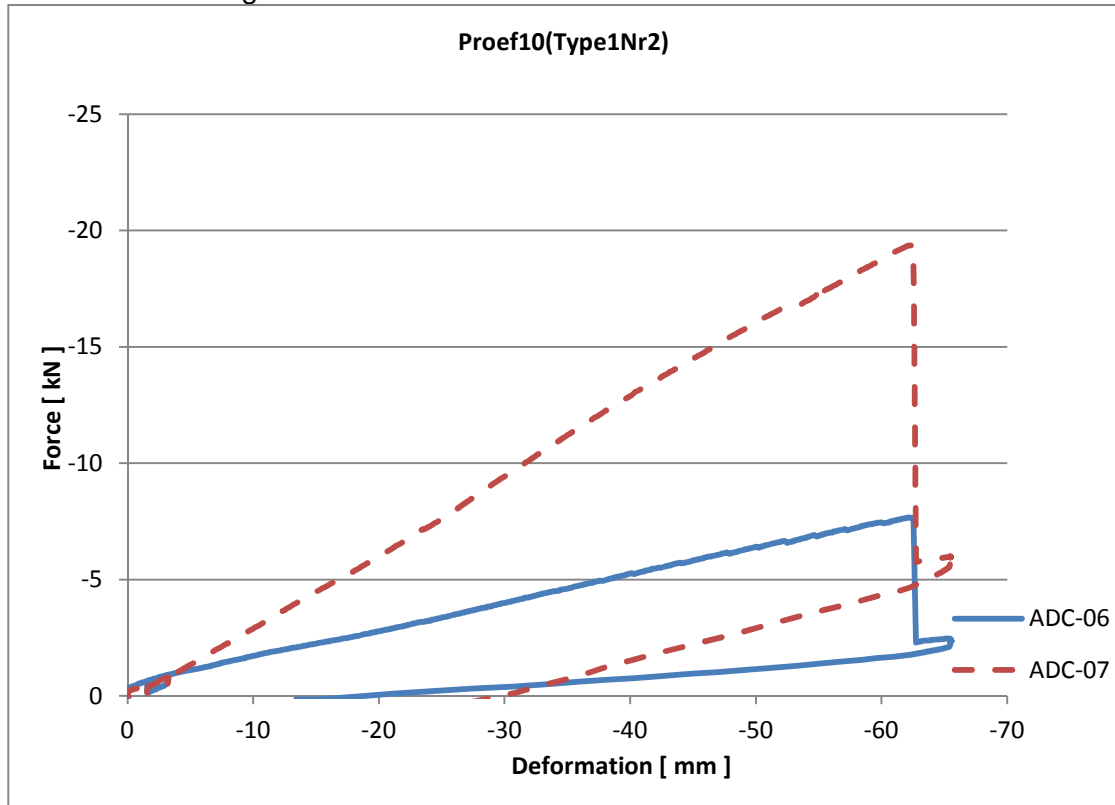


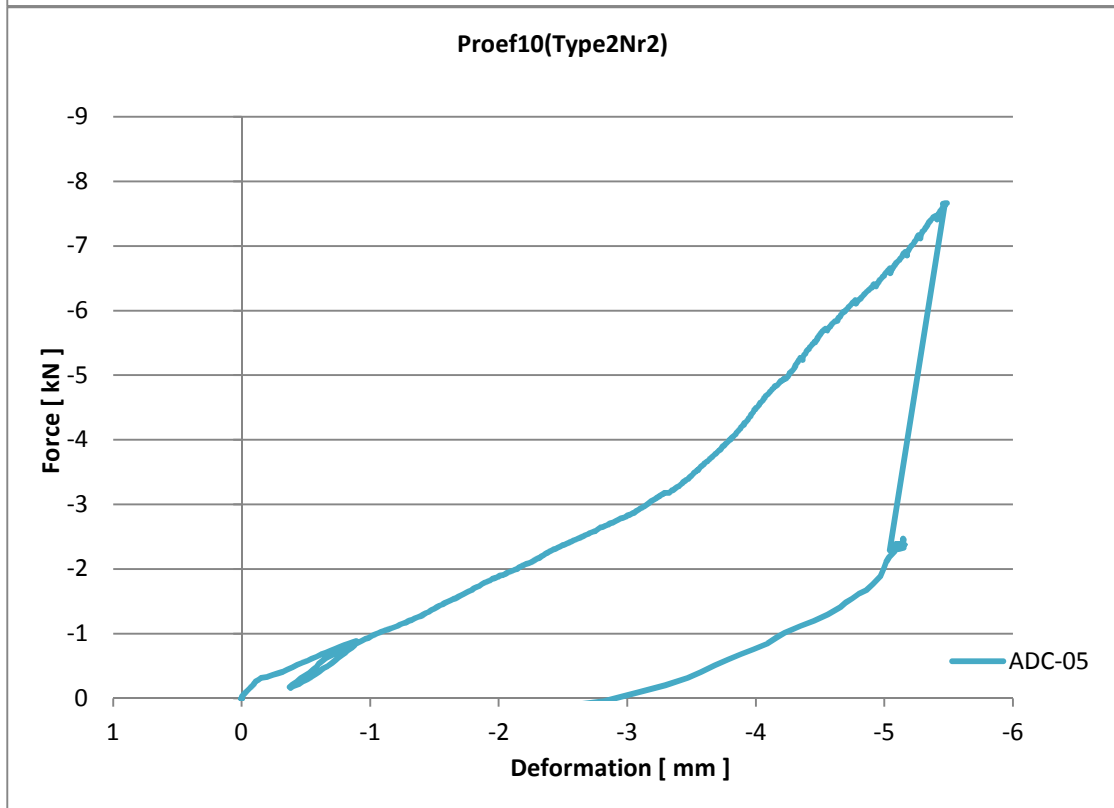
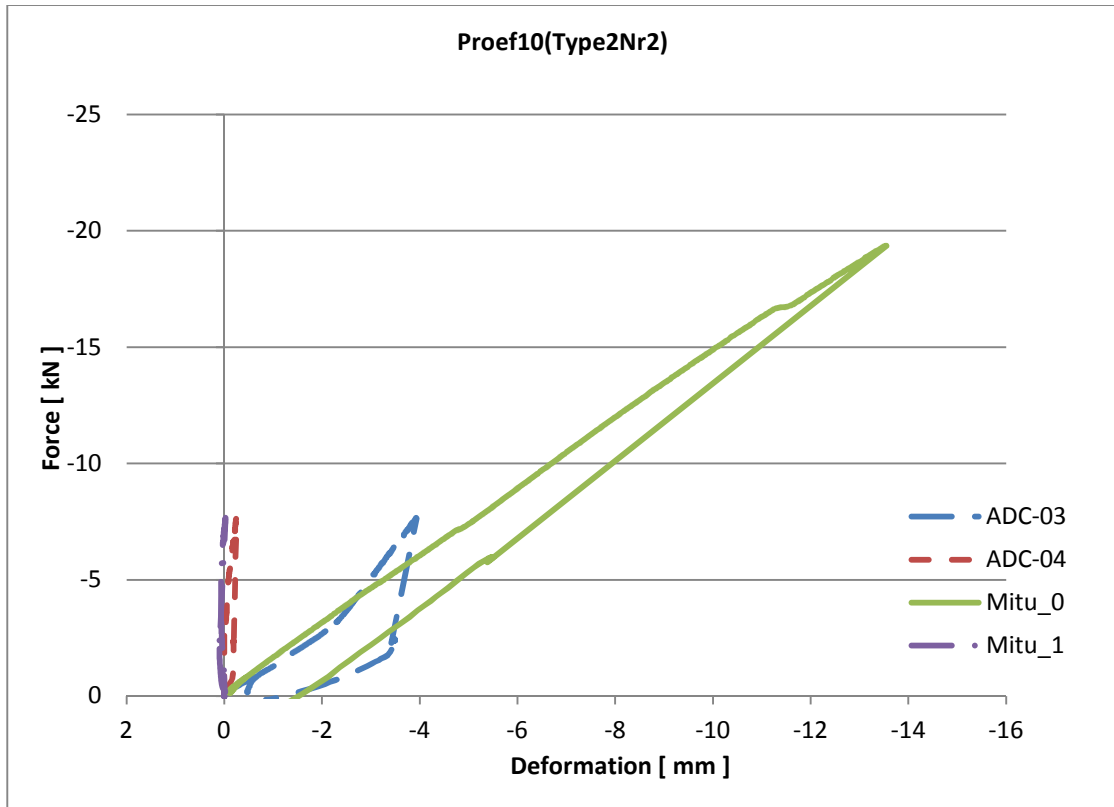




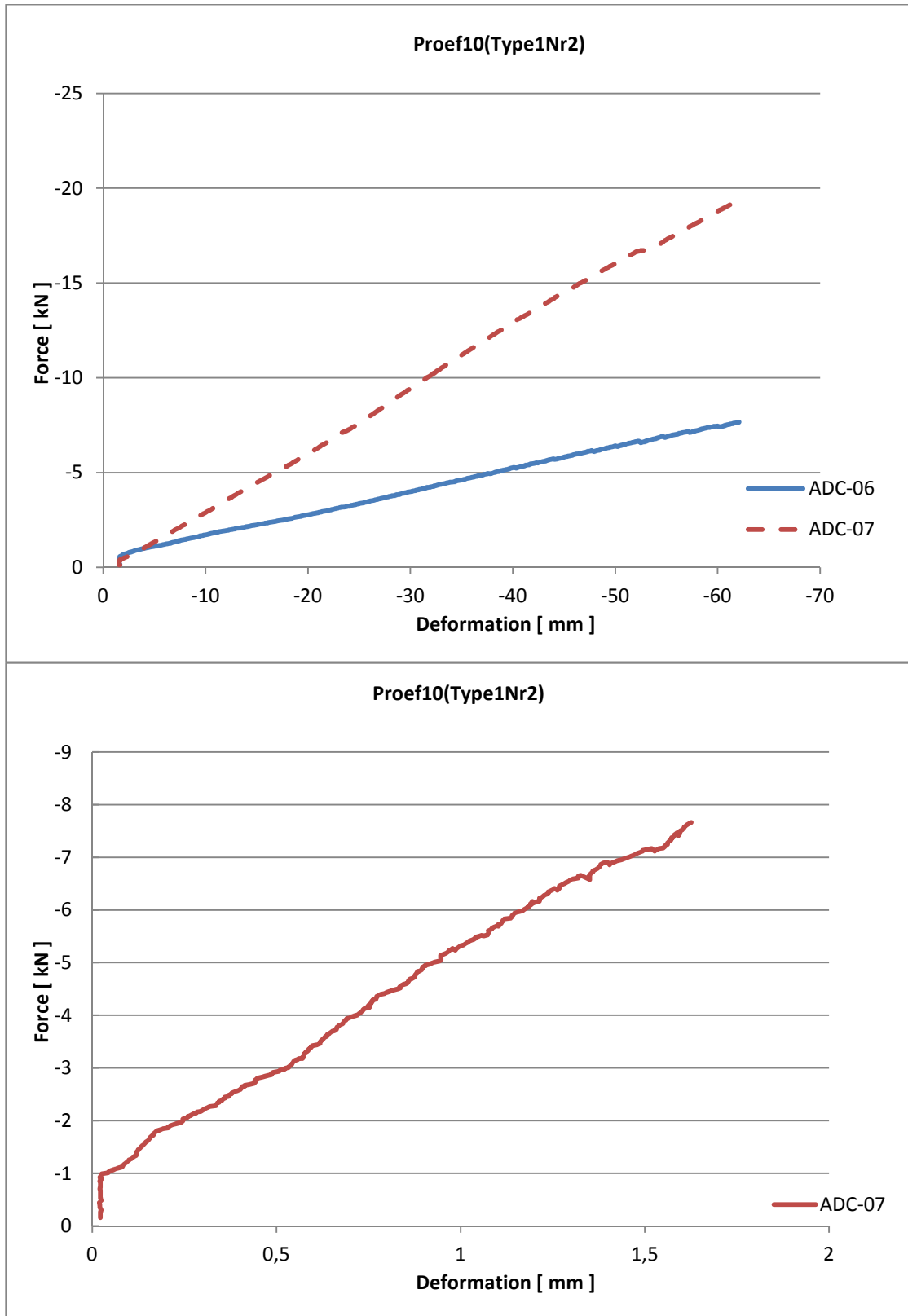
5.3.3 Proef 10

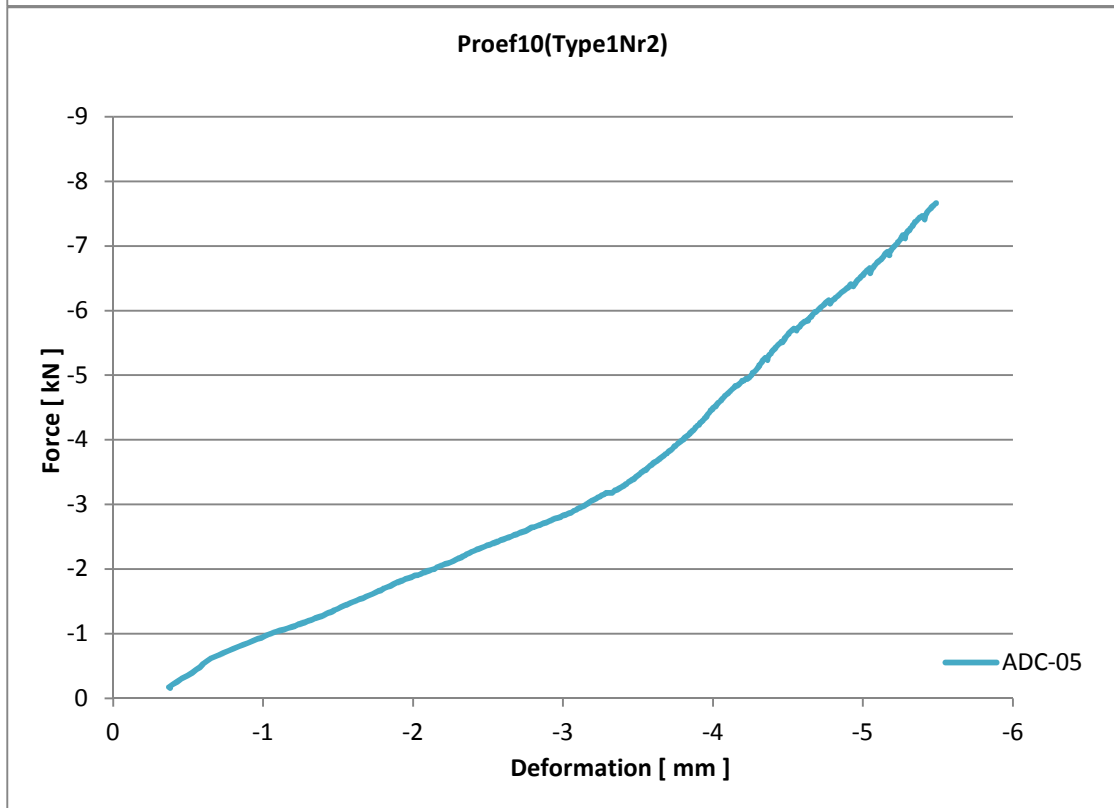
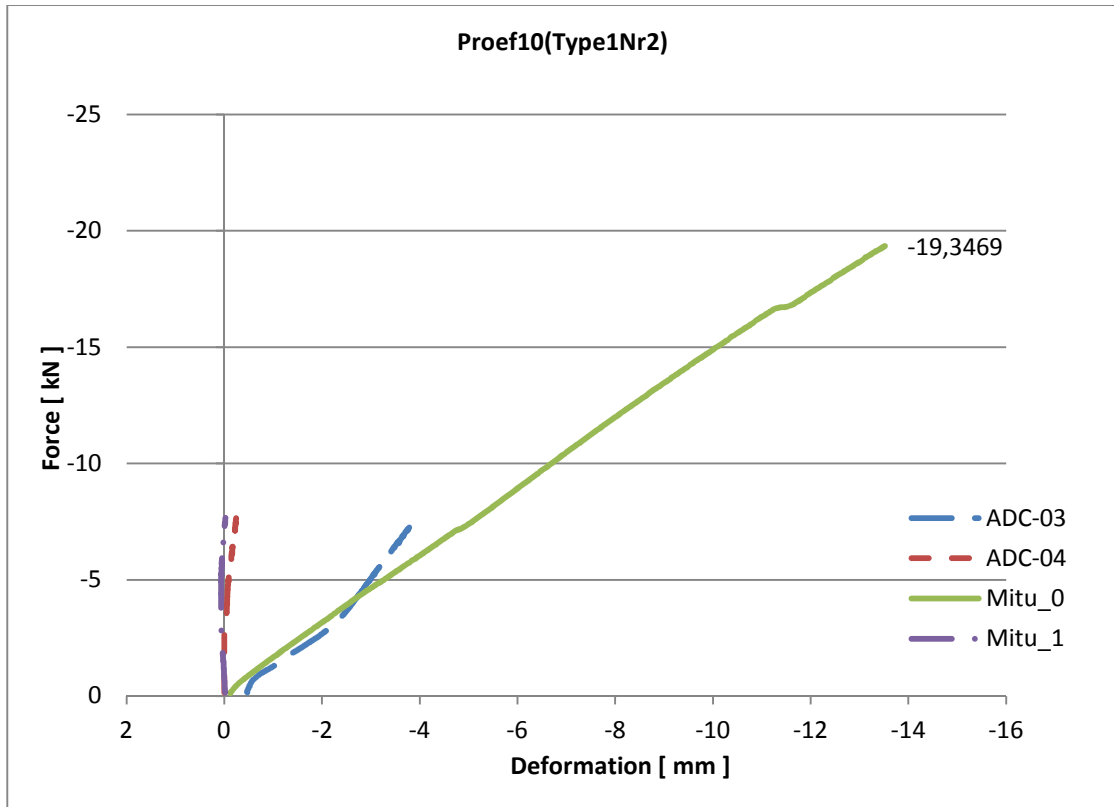
5.3.3.1 Metingen

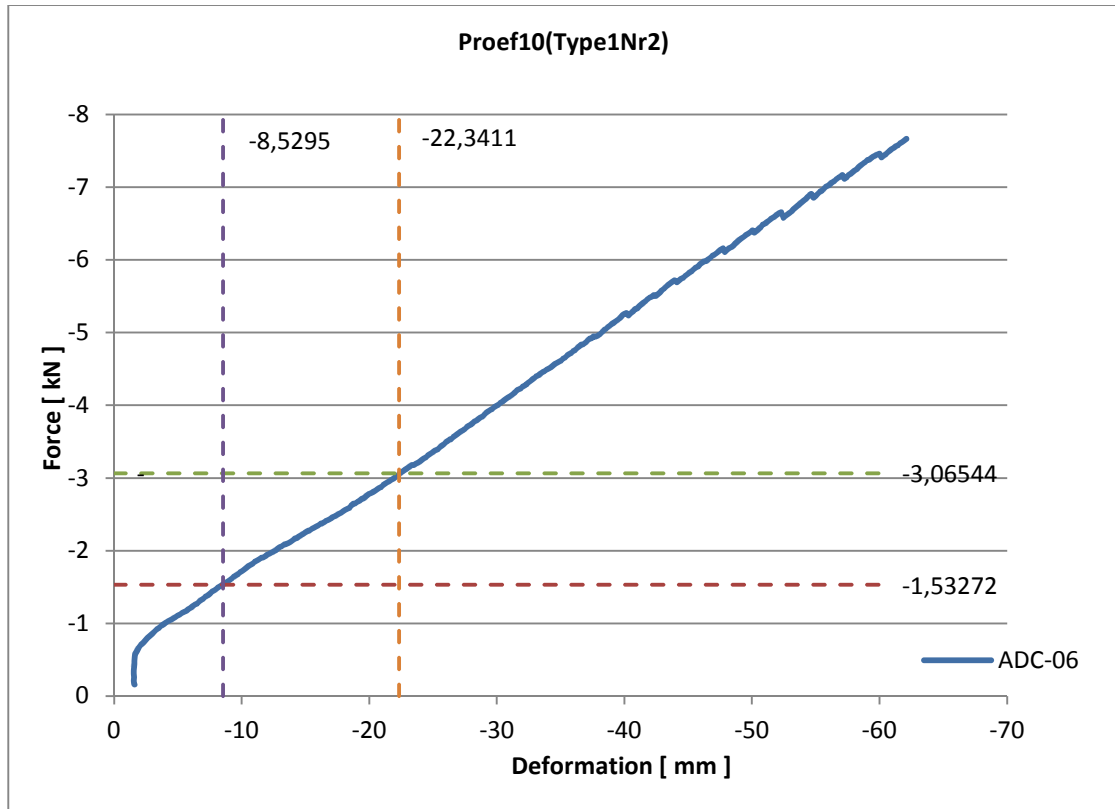




5.3.3.2 Bijgewerkte metingen

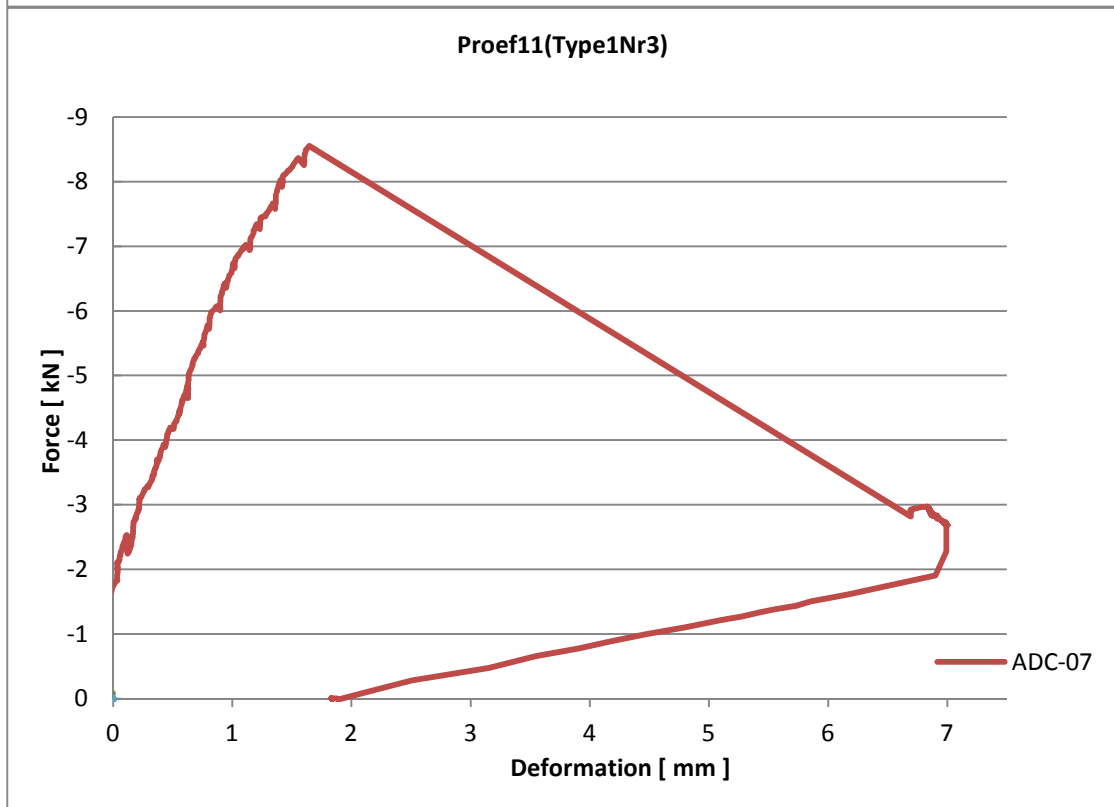
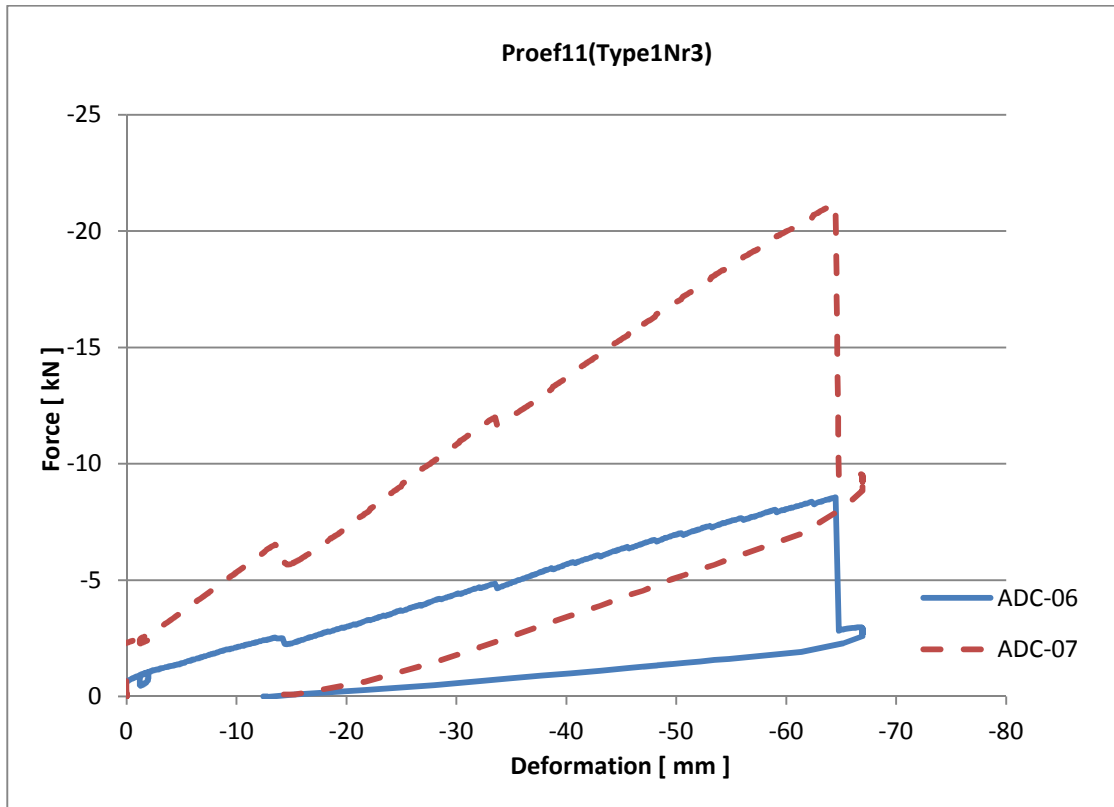


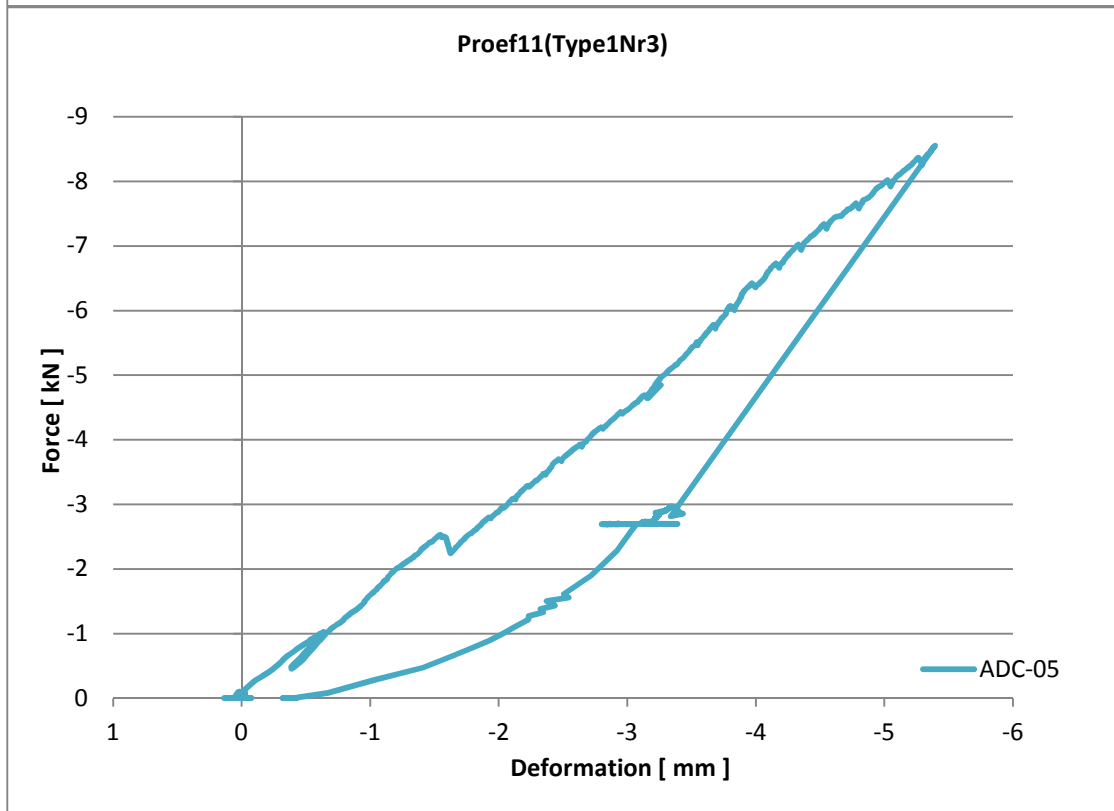
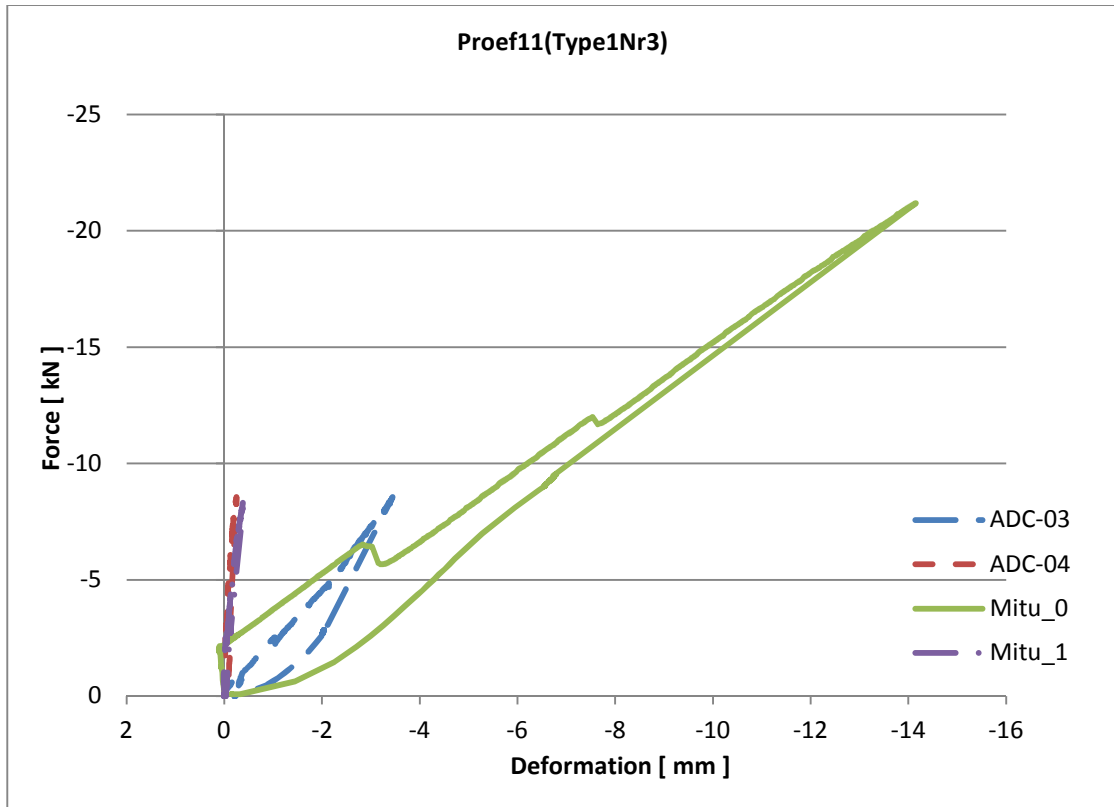




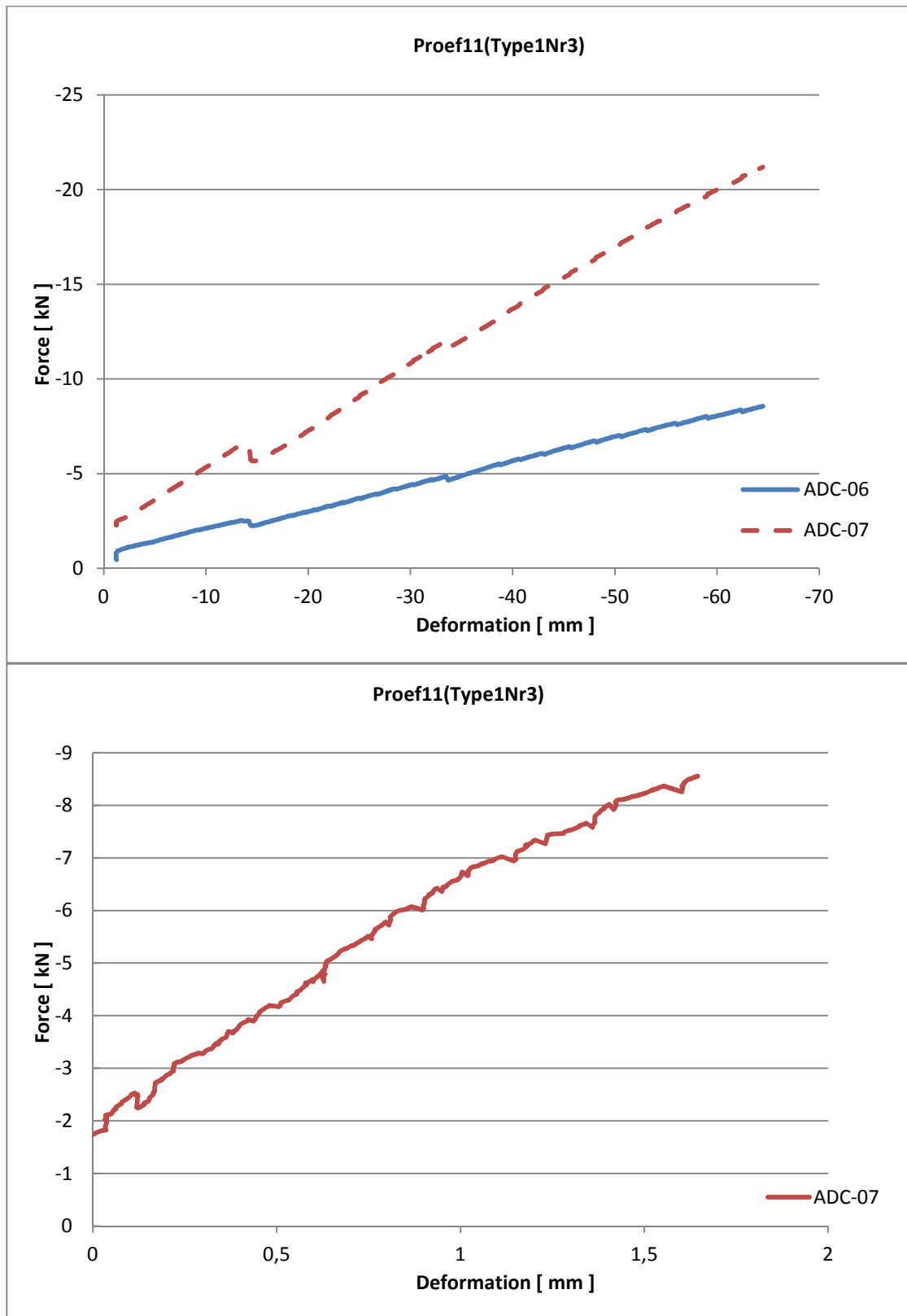
5.3.4 Proef 11

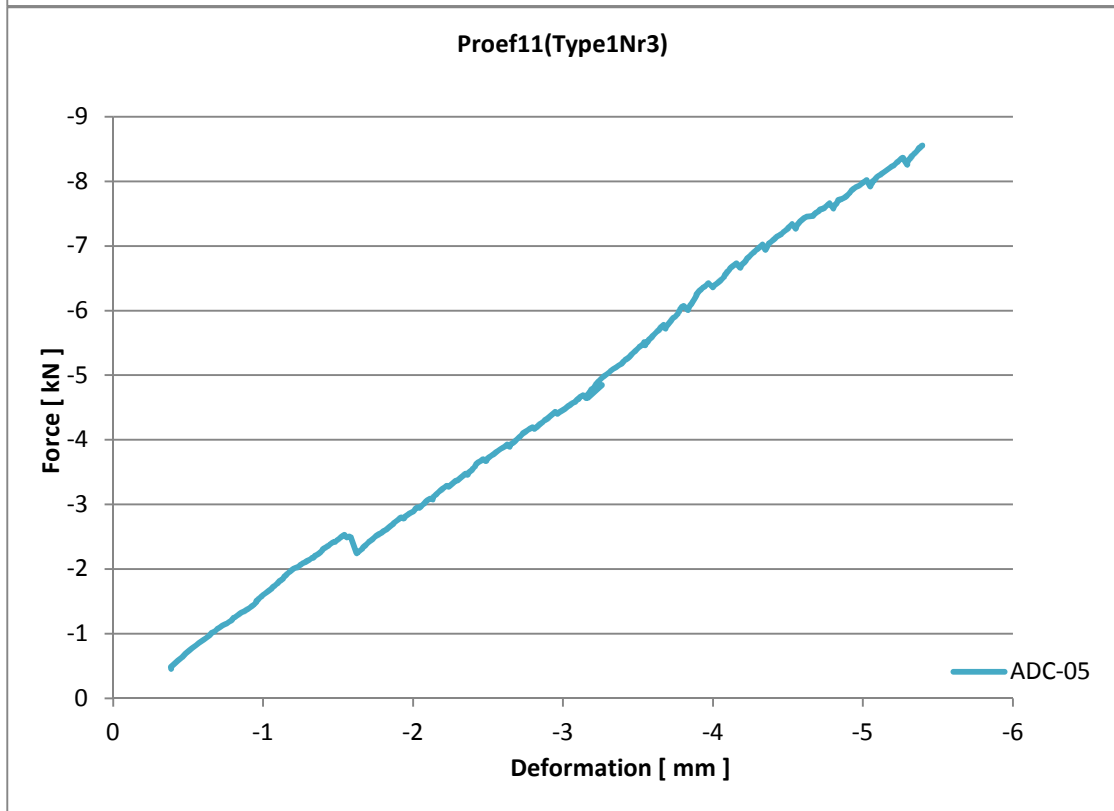
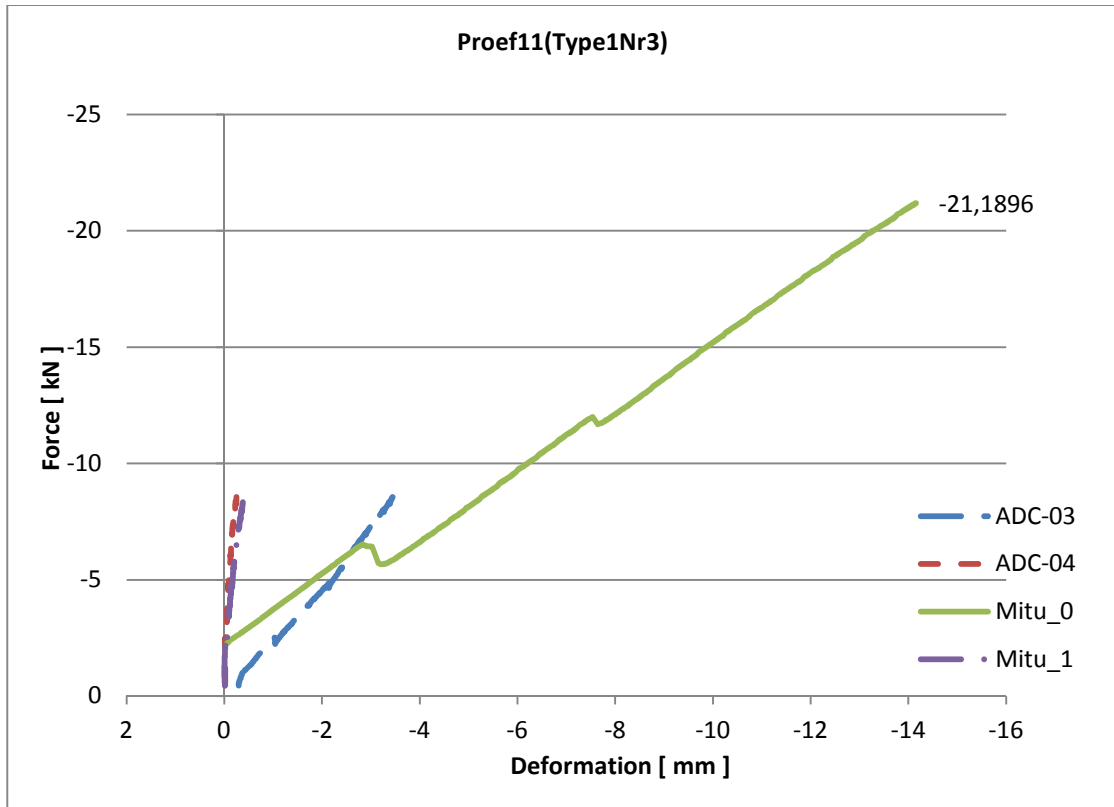
5.3.4.1 Metingen

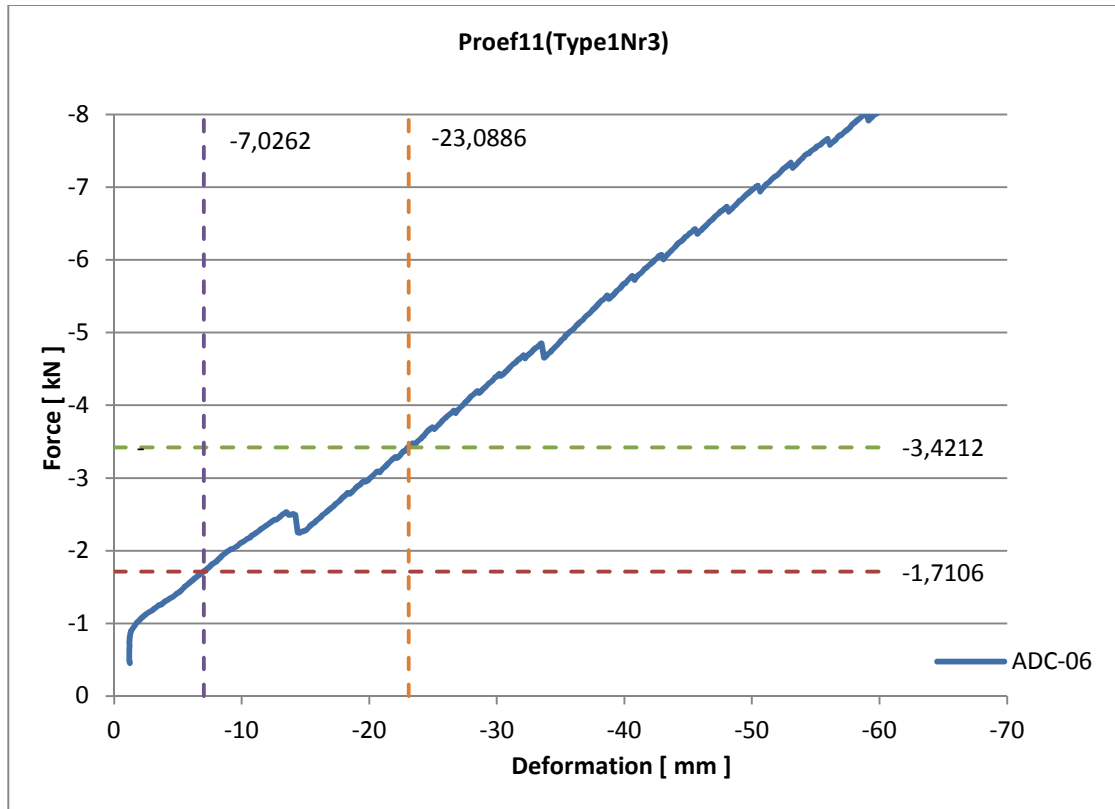




5.3.4.2 Bijgewerkte metingen

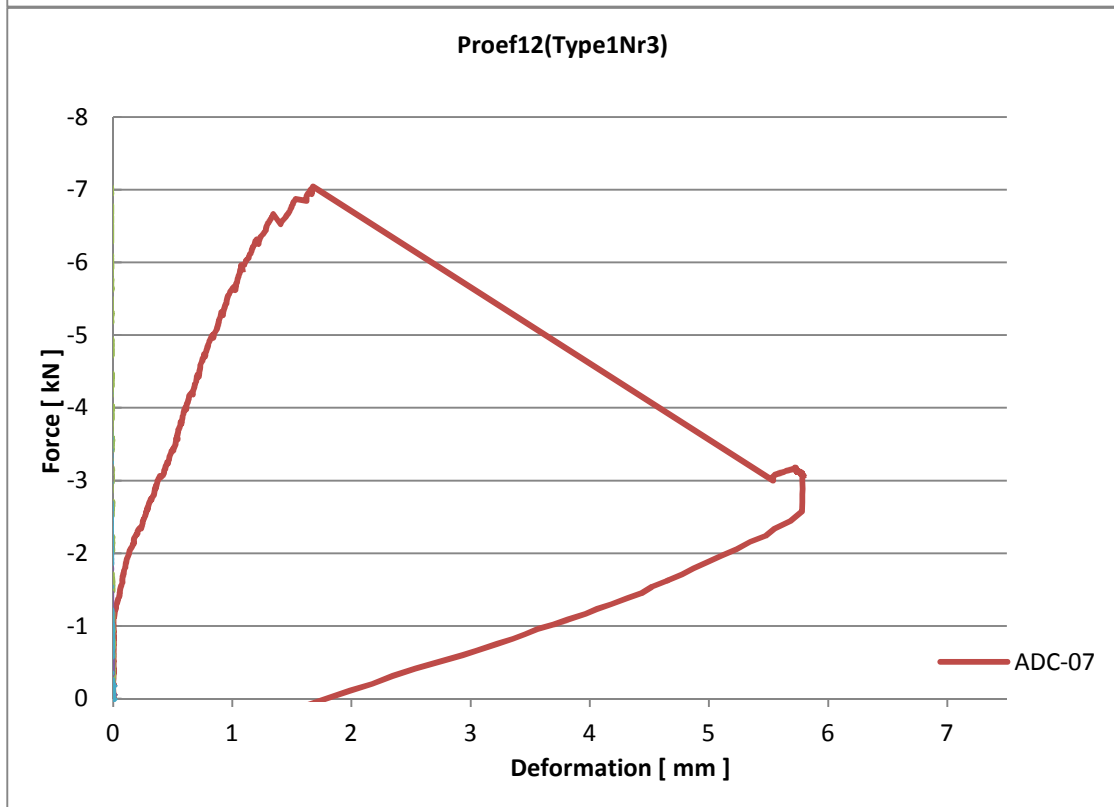
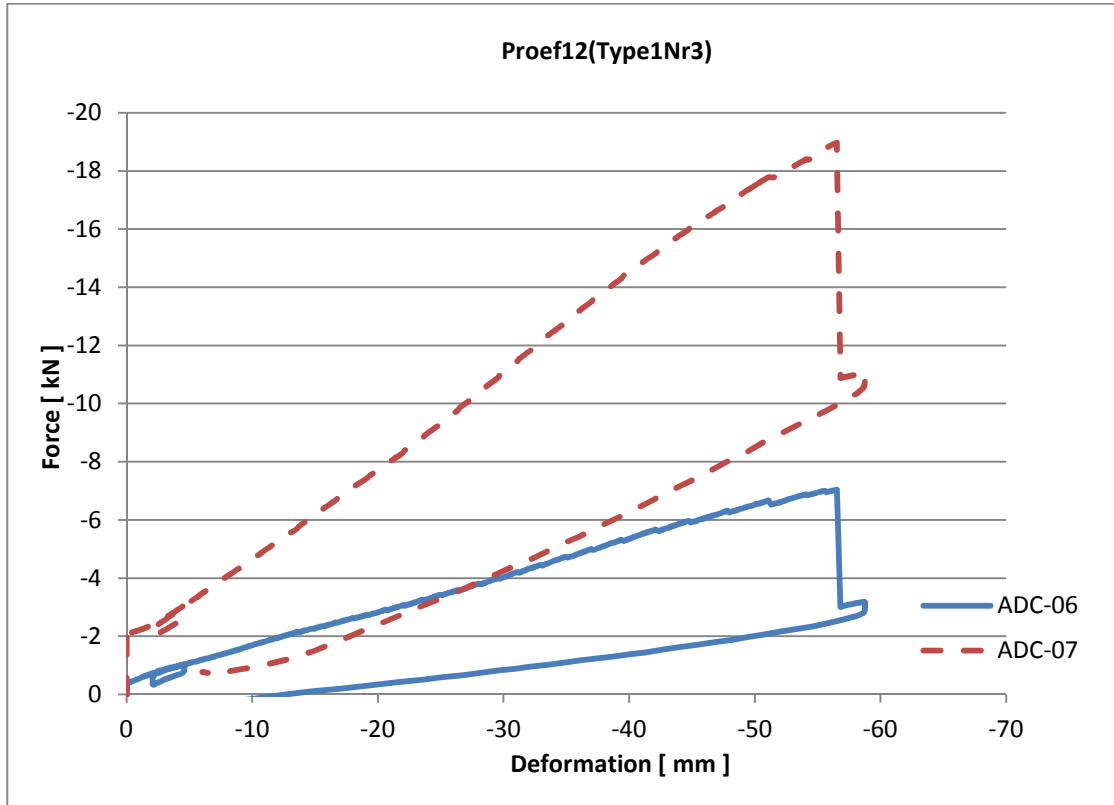


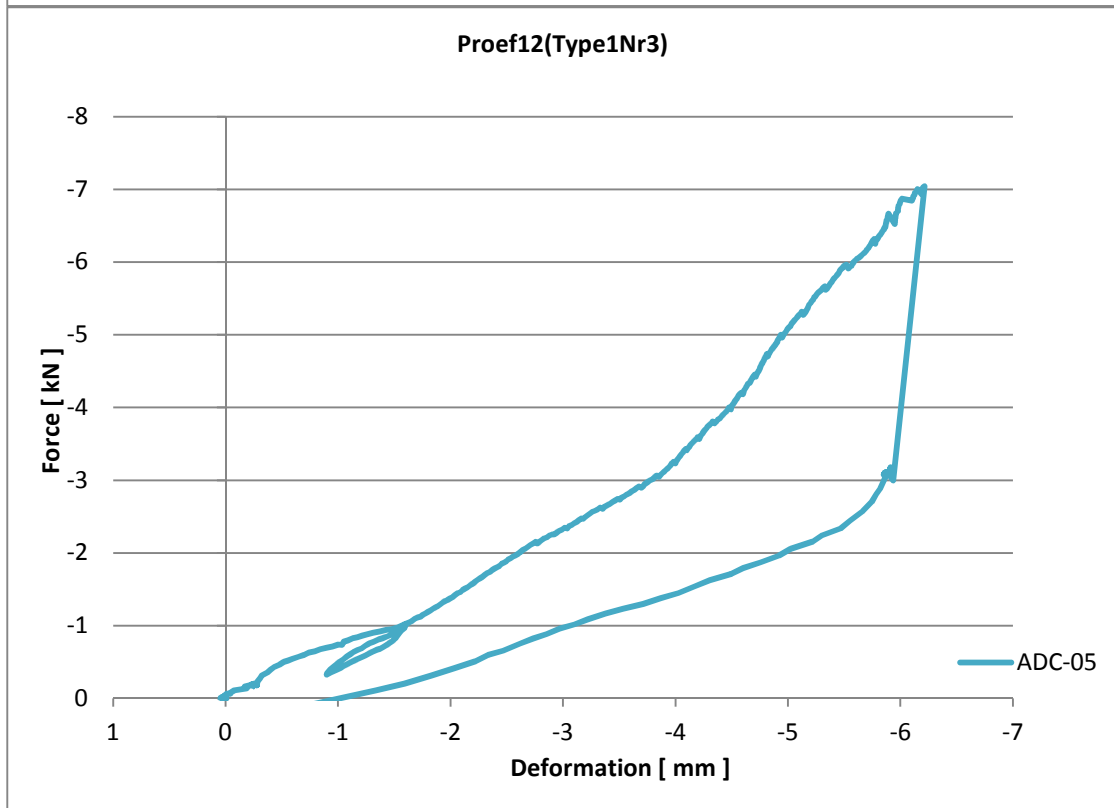
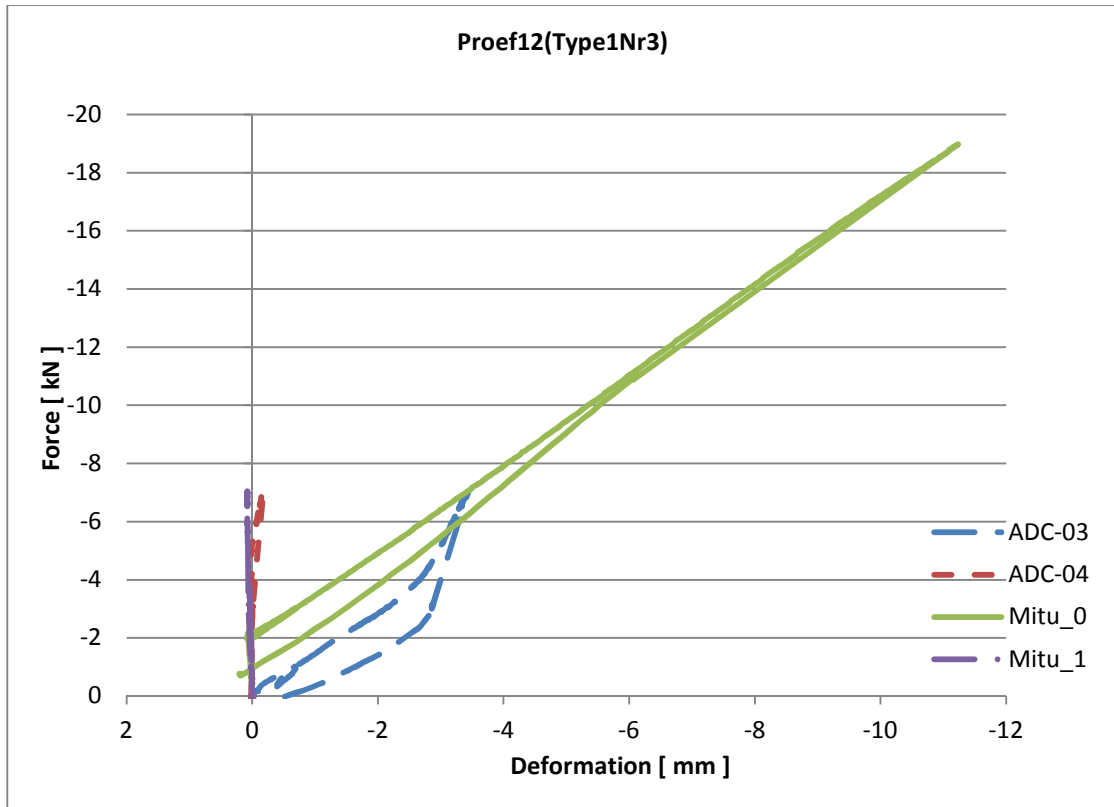




5.3.5 Proef 12

5.3.5.1 Metingen





5.3.5.2 Bijgewerkte metingen

