

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Tutkimus ultralujien rakenne- ja kulutusterästen jännitys-venymäkäyttäytymisestä

Advanced Strain Analysis

Jouni Rissanen

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö
Tuotekehitys
Insinööri (AMK)

KEMI 2011

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Jouni Rissanen
Opinnäytetyön nimi	Tutkimus ultralujien rakenne- ja kulutusterästen jännitys-venymäkäyttäytymisestä
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	20.2.2011
sivumäärä	36 + 94 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	DI Mari-Selina Kantanen
Yritys	K-TAMK/Ruukki Metals Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Jukka Joutsenvaara/DI Juha Kuoppala

Tämä opinnäytetyö on jatkotutkimus Rautaruukin tekemälle selvitykselle Gom/Aramis 5M -venymäanalyysointin soveltuvuudesta ultralujien terästen materiaaliominaisuuksien tarkasteluun. Työ suoritettiin toimeksiantona Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun T & K -yksikössä materiaalien käytettävyyden ryhmän tekemänä. Työn lähtökohtana oli Rautaruukin tarve saada tarkempaa tietoa terästen materiaalikäyttäytymisestä vetokokeiden aikana ja siitä, voidaanko nämä muutokset tallentaa Aramis-kuvauslaitetta käyttäen.

Työ aloitettiin opettelemalla käyttämään Zwick & Roell -vetokonetta ja sen ohjelmistoa sekä tutustumalla Aramis-kameraan kuvaamalla Rautaruukin toimittamille näyteteräksille tehtäviä vetokokeita. Tavoitteena oli kehittää malli Aramis-laitteen mittausdatan käsittelyyn, jotta siitä saadaan piirrettyä $d\sigma/de$ -käyrä ja määritettyä voimamaksimi sekä muokkauslujittumiseksponentti.

Vetokoneen ja Aramoksen mittaamaa tulosdataa käsitellessä huomattiin, että laitteiden tulokset poikkesivat hieman toisistaan. Suurimmat erot näkyivät $d\sigma/de$ -käyrien muodoissa ja niiden arvoissa. Myös voimamaksimin kuvaajat erosivat toisistaan, mutta antoivat tuloksena saman maksimivoiman. Muokkauslujittumiseksponentit eivät poikenneet toisistaan juuri ollenkaan. Eroavuuksien voidaan arvella johtuvan Aramoksen asetuksista tai vika voi olla käyttäjäperäinen.

Asiasanat: ultraluja, rakenne, teräs, venymä, jännitys.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Bachelor of Engineering
Name	Jouni Rissanen
Title	Study of the stress-strain behaviour of high-strength structural and wear-resistant steels
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	20 February 2011
Pages	36 + 94 appendices
Supervisor	Mari-Selina Kantanen, M.Sc. (Tech.)
Company	K-TAMK/Ruukki Metals Oy
Contact Person/Instructor	Jukka Joutsenvaara, M.Sc. (Tech.)/Juha Kuoppala, M.Sc. (Tech.)

This Bachelor's Thesis is a follow-up study for the report on the suitability of the Gom/Aramis 5M deformation analyzer for observation of high-strength steels attributes conducted by Rautaruukki. The study was assigned by Kemi-Tornio University of Applied Sciences R & D department carried out by the Advanced Strain Analysis Team. The premise of the study was Rautaruukki's requirement for more accurate information on the behaviour of steels during tensile tests and if these deformations can be recorded by using the Aramis analyzer.

The study begun by learning how to use Zwick & Roell tensile tester and its software, and by familiarizing with the Aramis camera by recording the tensile tests performed on the specimens provided by Rautaruukki. The objective was to develop a pattern for processing measurement data, for the purpose of forming a $d\sigma/d\varepsilon$ curve and determining the maximum force work and hardening exponent.

While processing the result data measured by the tensile tester and Aramis analyzer it turned out that the results provided by the devices varied. The Greatest variation was visible in the forms and values of the $d\sigma/d\varepsilon$ curves. Also the graphs of maximum force differed but gave the same maximum force as the result. The Work hardening exponents did not vary notably. The variations are thought to be due to either the Aramis analyzer's settings or the operator of the device.

Keywords: high-strength, steel, structural, strain, stress.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ULTRALUJAT TERÄKSET	2
2.1. Raex	2
2.2. Optim MC	3
2.3. Laser.....	4
2.4. Multisteel	5
2.5. X70.....	5
3. GOM ARAMIS 5M VENYMÄANALYSAATTORI.....	7
4. ZWICK & ROELL VETOKONE 250KN	11
5. VETOKOKEET JA TESTIKAPPALEIDEN KUVAUS	15
5.1. Vetosauvat.....	15
5.2. Vetokokeet	17
5.3. Vetokokeiden kuvaaminen.....	21
6. VETOKOKEIDEN ANALYSOINTI	25
6.1. Vetokoneella saadut mittaustulokset.....	25
6.1.1. $d\sigma/d\epsilon$ -käyrien määrittäminen	25
6.1.2. Voimamaksimin määrittäminen	26
6.1.3. MuokkauslujittumisekspONENTIN n määrittäminen	27
6.2. Aramoksen tulosten tilastollinen tarkastelu	28
6.2.1. $d\sigma/d\epsilon$ -käyrien vertailu	28
6.2.2. Voimamaksimien vertailu	30
6.2.3. MuokkauslujittumisekspONENTTIEN vertailu	31
6.3. Loppupäätelmät.....	33
7. YHTEENVETO	34
8. LÄHDELUETTELO	35
9. LIITELUETTELO	36

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ASA	Advanced Strain Analysis
ε	todellinen venymä
$d\varepsilon$	venymän muutos
GOM	Gesellschaft für Optische Messtechnik
n	muokkauslujittumiseksponentti
R_{eH}	ylempi myötöraja
R_{eL}	alempi myötöraja
R_m	murtolujuus
$R_{p0,2}$	plastiseen pitenemään perustuva venymisraja 0,2 % kohdalla, l. myötöraja
σ	jännitys
$d\sigma$	jännityksen muutos

1. JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun Tutkimus & Kehitys-yksikössä materiaalien käytettävyyden ryhmässä Advanced Strain Analysis-projektille eli ASA:lle. ASA tutkii venymäanalysoinnin mittaussovelluksia, jotka liittyvät materiaalin muovaukseen ja muodonmuutokseen. Projekti käyttää GOM Aramis 5M-venymäanalysointia voidakseen tutkia tarkemmin materiaaleja testattaessa tapahtuvia muodonmuutoksia. Aramis-laitetta voidaan käyttää mm. hitsisaumojen muodonmuutosten mittaamiseen, vetokokeissa tapahtuvien muodonmuutosten tutkimiseen, muovattujen tuotteiden venymäanalysointiin, roping-pintavikojen havainnointiin, FEM-mallien arviointiin ja rasitusten alaisten muodonmuutosten mittaamiseen.

Tämä työ keskittyy tutkimaan vetokokeiden materiaalien muodossa ja rakenteessa tapahtuvia muutoksia. Opinnäytetyö toimii jatkotutkimuksena Rautaruukille Aramis-laitteen soveltuvuudesta ultralujien terästen ominaisuuksien tarkasteluun vetokokeissa. Työn tarkoituksena oli kehittää Aramis-laitteelle toimiva mittausdatan käsittelymalli siten, että jännityksestä σ ja venymästä ϵ saadaan erotettua mittauskohina ja määritettyä muokkaus-lujittumiseksponentin n arvo, maksimivoiman F_{\max} arvo sekä $d\sigma/d\epsilon$ -käyrät.

Työtä varten Rautaruukki toimitti Kemi-Tornion ammattikorkeakoululle 32 tuotetta sisältävän erän ultralujia terässauvoja vedettäväksi Zwick & Roell -vetokoneella ja kuvattavaksi tarvittavan mittausdatan saamiseksi Aramis-venymisanalysointilaitteella.

2. ULTRALUJAT TERÄKSET

Tässä tutkimuksessa on käytetty ultralujia rakenne- ja kulutusteräksiä testaamaan Aramis-venymäanalyysointilaitteen solvetuvuutta Rautaruukin terästen mekaanisten ominaisuuksien tutkimista. Tutkimus suoritetaan kuvaamalla Aramiksella teräksille tehtäviä vetokokeita.

Vetokokeissa tutkitaan materiaalien mekaanisia ominaisuuksia. Teollisuudessa jokaisesta valmistetusta tuote-erästä tutkitaan mekaaniset ominaisuudet, jottei markkinoille pääse vääriä ominaisuuksia omaavia tuotteita. Vetokokeista saadaan tulokseksi esimerkiksi materiaalien suurin kestävä voima, myötölujuus, murtolujuus, kimmomoduuli, alempi- ja ylempi myötöraja, materiaalin jännitys sekä muokkauslujittumiseksponentti. Tämän työn koevetosauvoina on käytetty Rautaruukin Raex-, Optim MC-, Laser-, Multisteel- sekä X70-terästuotteita.

2.1. Raex

Raex on erittäin kova ja luja kulutusteräs. Raex kestää hyvin hankaavaa kulutusta ja kovaa pintapainetta. Teräs ehkäisee rakennekomponenttien kulumista pidentäen koneiden käyttöikä ja säästää näinollen kustannuksissa. Tyypillisiä käyttökohteita Raexille ovat kauhat ja säilöt, maansiirtokoneiden jysinterät, kaivoskoneiden, betonimyllyjen ja puunjalostuskoneiden kulumisosat, alusrakenteet sekä kuormaimet ja kaatosuppilot. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty Raexin mekaaniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.

/5/

Taulukko 1. Raexin mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Paksuus [mm]	Myötölujuus $R_{p0,2}$ [Mpa]	Murtolujuus R_m [Mpa]
Raex 450	6,0 - 30,0	1200	1450
	Tuotemuoto	Hiiliäkvivalenttiarvo (CEV)	Murtovenymä $A_5\%$
	Kvarttolevy	0,47	8,0

	Kovuus (HBW)	Mitta- ja muototoleranssit
	420 - 500	EN 10029

Taulukko 2. Raexin kemiallinen koostumus

Teräslaji	Lisä-ainepitoisuus %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Raex 450	0,260	0,800	1,700	0,025	0,015	1,000	1,000	1,000	0,005

2.2. Optim MC

Optim MC on kylmämuovattavaa terästä, joka on termomekaanisesti valssattua. Se on helposti muokattava ja hitsattava rakenneteräs, joka keventää runkorakenteiden painoa. Yleisesti Optimin MC-laatuja käytetään liikkuvan kaluston runkorakenteissa, hyötyajoneuvojen päälirakenteissa, metsäkoneiden puomeissa ja rungoissa sekä monissa muissa teollisuuden kuljetuskalusteissa. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty Optim MC:n mekaaniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus. /5/

Taulukko 3. Optim MC:n mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Paksuus [mm]	Myötölujuus $R_{p0,2}$ [Mpa]	Murtolujuus R_m [Mpa]
Optim 500 MC	2,0 - 12,0	500	560 - 690
Optim 550 MC	2,2 - 10,0	550	600 - 760
	Tuotemuoto	Hiiliekvivalenttiarvo (CEV)	Murtovenymä A_5%
	Nauhalevy	0,32	18,0
	Nauhalevy	0,33	17,0
	Mitta- ja muototoleranssit		
	EN 10051		
	EN 10051		

Taulukko 4. Optim MC:n Kemiallinen koostumus

Teräslaji	Lisä-ainepitoisuus %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Optim 500 MC	0,100	0,200	1,500	0,020	0,010	0,015
Optim 550 MC	0,100	0,200	1,700	0,020	0,010	0,015

2.3. Laser

Laser on konepajoihin soveltuva rakenneteräs, jota on helppo kylmämuovata, särmätä, hitsata ja hioa. Laseria käytetään koteloiden, konekomponenttien, asennusvalmiiden komponenttien sekä särmättävien komponenttien valmistukseen. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty Laserin mekaaniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus. /5/

Taulukko 5. Laserin mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Paksuus [mm]	Myötölujuus ReH [N/mm ²]	Murtolujuus R _m [Mpa]
Laser 250 C	2,0 - 15,0	240	360 - 460
Laser 355 MC	2,0 - 15,0	355	430 - 530
Laser 420 MC	2,0 - 13,0	420	490 - 590
	Tuotemuoto	Hiliekvivalenttisarvo (CEV)	Murtovenymä A₅%
	Nauhalevy	0,24	30,0
	Kvarttolevy	0,34	24,0
	Kvarttolevy	0,38	21,0
	Mitta- ja muototoleranssit		
	EN 10051		
	EN 10029		
	EN 10029		

Taulukko 6. Laserin kemiallinen koostumus

Teräslaji	Lisä-ainepitoisuus %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Laser 250 C	0,120	0,030	1,200	0,020	0,020	0,015
Laser 355 MC	0,120	0,030	1,500	0,020	0,015	0,015
Laser 420 MC	0,120	0,030	1,600	0,020	0,015	0,015

2.4. Multisteel

Multisteel on hyvin konepajatuotteisiin ja teräsrakenteisiin soveltuva yleisrakenneteräs, jolla on hyvä muovattavuus. Multisteelia käytetään koneiden ja rakennusten runkorakenteisiin, siltanostureiden palkkeihin, kaivinkoneiden puomeihin, siirto- ja kuljetuslaitteiden runkoihin, murskainten runkoihin sekä tuulivoimaloiden toimirakenteisiin. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty Multisteelin mekaaniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus. /5/

Taulukko 7. Multisteelin mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Paksuus [mm]	Myötölujuus ReH [N/mm ²]	Murtolujuus R _m [Mpa]
Multisteel	2,0 - 15,0	355	470 - 630
	Tuotemuoto	Hiilikvivalenttiarvo (CEV)	Murtovenymä A₅%
	Nauhalevy	0,40	20,0
	Mitta- ja muototoleranssit		
	EN 10051		

Taulukko 8. Multisteelin kemiallinen koostumus

Teräslaji	Lisä-ainepitoisuus %					
	C	Si	Mn	P	S	Nb
Multisteel	0,180	0,500	1,600	0,025	0,020	0,050

2.5. X70

X70 on rakenneputkiteräs, jota käytetään Rautaruukin omista putkituotteissa. X70 voidaan käyttää teräspankkipaaluihin perustuvissa tukiseinärakenteissa. Tuotteet on tarkoitettu rakennustyömaille. Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty X70:n mekaaniset ominaisuudet ja kemiallinen koostumus.

Taulukko 9. X70:n mekaaniset ominaisuudet

Teräslaji	Paksuus [mm]	Myötölujuus ReH [N/mm ²]	Murtolujuus R _m [Mpa]
X70	8,0 - 18,0	485	≥570
	Hiiliekvivalenttiarvo (CEV)		Murtovenymä A₅%
	0,43		19,0

Taulukko 10. X70:n kemiallinen koostumus

Teräslaji	Lisä-ainepitoisuus %			
	C	Mn	P	S
X70	0,190	2,000	0,030	0,030

3. GOM ARAMIS 5M -VENYMÄANALYSAATTORI

Aramis 5M venymäanalyysointilaitte (kuva 1.) on kolmiulotteisia pinnanmuotoja kuvaava laite. Laitteeseen sisältyy kaksi viiden megapikselin kameraa ja mittausdataa käsittelevä tietokone, siihen kuuluvine ohjelmistoineen. Aramis kuvaa testejä, joissa tapahtuu liikettä ja materiaalin muodonmuutosta sekä mittaa venymää ja jännitystä. Laite määrittää myös materiaalien ominaisuuksia. /2/, /6/



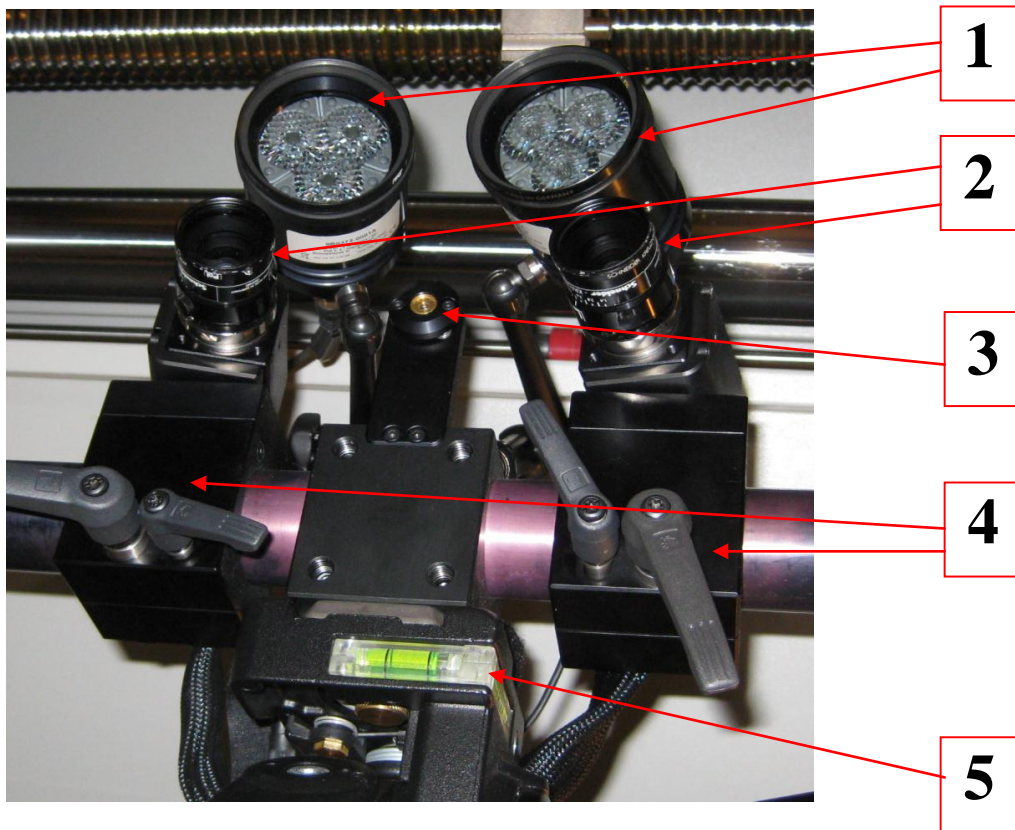
Kuva 1. Aramis venymäanalyysointilaitte

Kamera asetetaan kuvattavan näytteen eteen kuvan 1 osoittamalla tavalla. /6/



Kuva 2. Vetosauvan kuvaaminen Aramis-kameralla

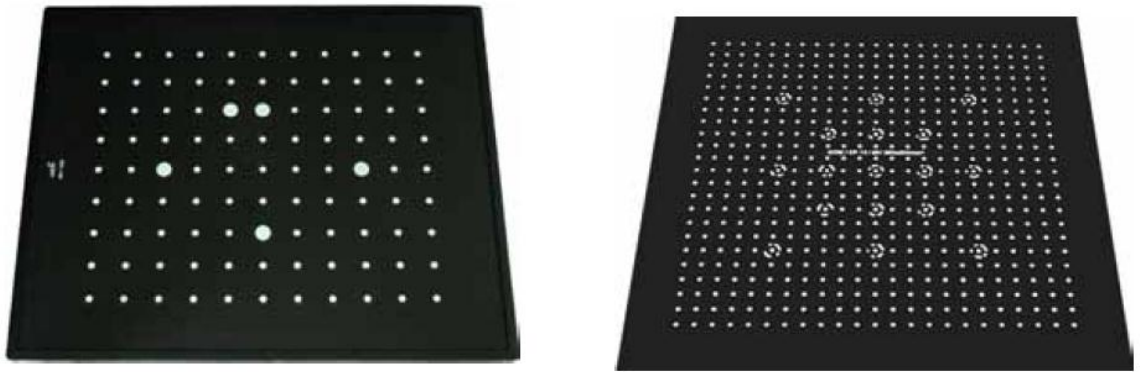
Kamera kootaan sille tarkoitetulle jalustalle. Painavia kameran osia (kuva 2.) käsiteltäessä on oltava varovainen ja tarkistettava jalustan kiinnitys ja tasapaino, ettei kamera tipu lattialle. /6/



Kuva 3. Kameran osat

1. Valot
2. Kameran linssit
3. Lasertähtäin
4. Säättöruuvit
5. Vesivaaka

Kamera kytketään tietokoneeseen ja kalibroidaan näytteen kuvaamista varten tarkoitukseen soveltuvilla kalibrointilevyillä (kuva 4.), jonka jälkeen säädetään kuvan tarkkuus ja valaistus ympäristöön sopivaksi. /6/



Kuva 4. Aramis-kameran kalibrointilevyjä

Kamera käynnistetään, kun vetokoneen ekstensometrit kiinnittyvät näytteeseen. /6/

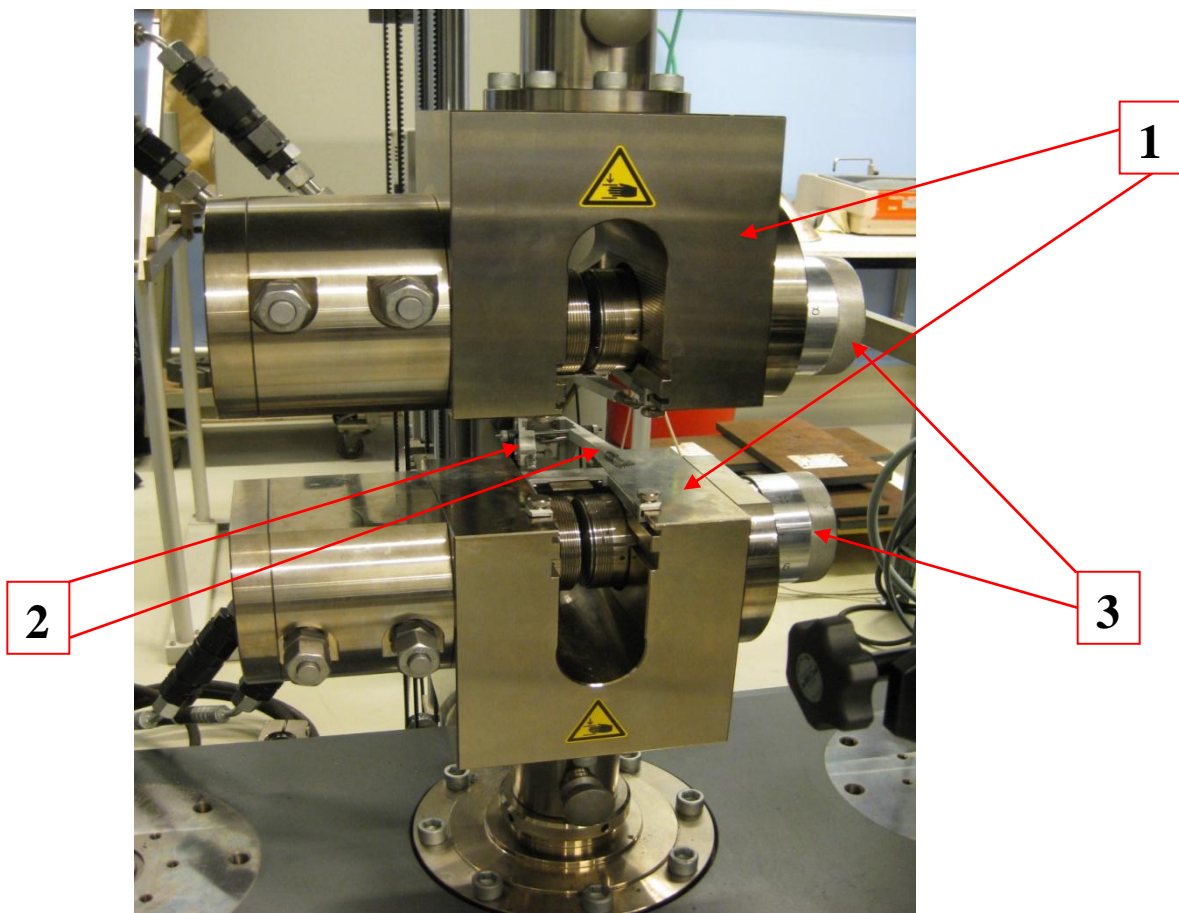
4. ZWICK & ROELL VETOKONE 250kN

Zwick & Roell vetokone 250kN on materiaalien vetämiseen ja taivuttamiseen tarkoitettu testilaite (kuva 5.). Laitteeseen sisältyvät liukuva suojaovi, vetotestihin tarkoitetut, paineilmalla toimivat kiinnitysleuat sekä erilliset taivutuskokeisiin tarkoitetut leuat, vaihdettavat ekstensometrit, lämmitettävien testikappaleiden vetämiseen tarkoitettu lämpökaappi, manuaaliohjausyksikkö ja tietokone-ohjausyksikkö. Koneella tehdään vetotestejä latta- ja pyörösauvoille ja taivutustestejä palkeille ja putkille. Yleisimpiä testimateriaaleja ovat ruostumattomat teräkset ja rakenneteräkset. Laitteella voi tarvittaessa myös taivuttaa puuta, muovia sekä komposiittimateriaaleja jne. Laitteen maksimiteho on 250 kN /7/



Kuva 5. Zwick & Roell vetokone

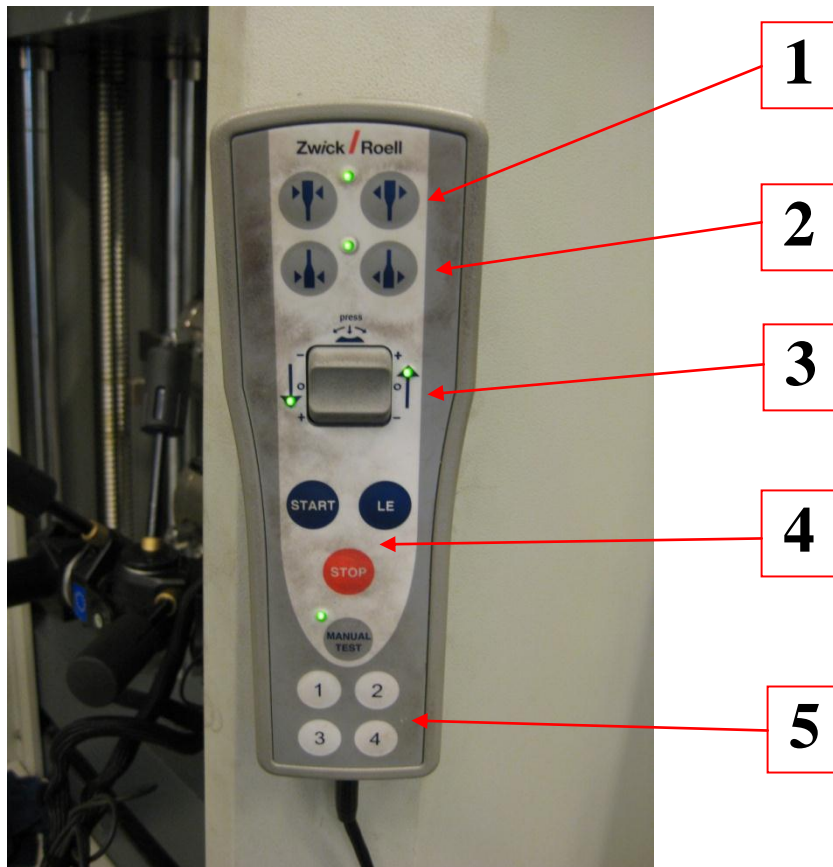
Laitteeseen kuuluva suojaovi on aina suljettava ennen testien aloitusta. Testaukset vaativat normaalit suojavarustukset ja tarvittaessa kuulosuojaimet. Testikappaleita asetettaessa paikalleen täytyy olla varovainen, etteivät sormet jää puristuksiin pneumaattisesti toimivien leukojen väliin (kuva 6.). Ajettaessa kiinnitysleukoja oikealle vetoetäisyydelle on huomioitava ettei aja leukoja liian lähelle toisiaan, jolloin ekstensometrit saattaisivat rikkoutua. /7/



Kuva 6. Kiinnitysleuat

1. Pneumaattisesti toimivat kiinnitysleuat
2. Ekstensometrit
3. Leukojen säätimet

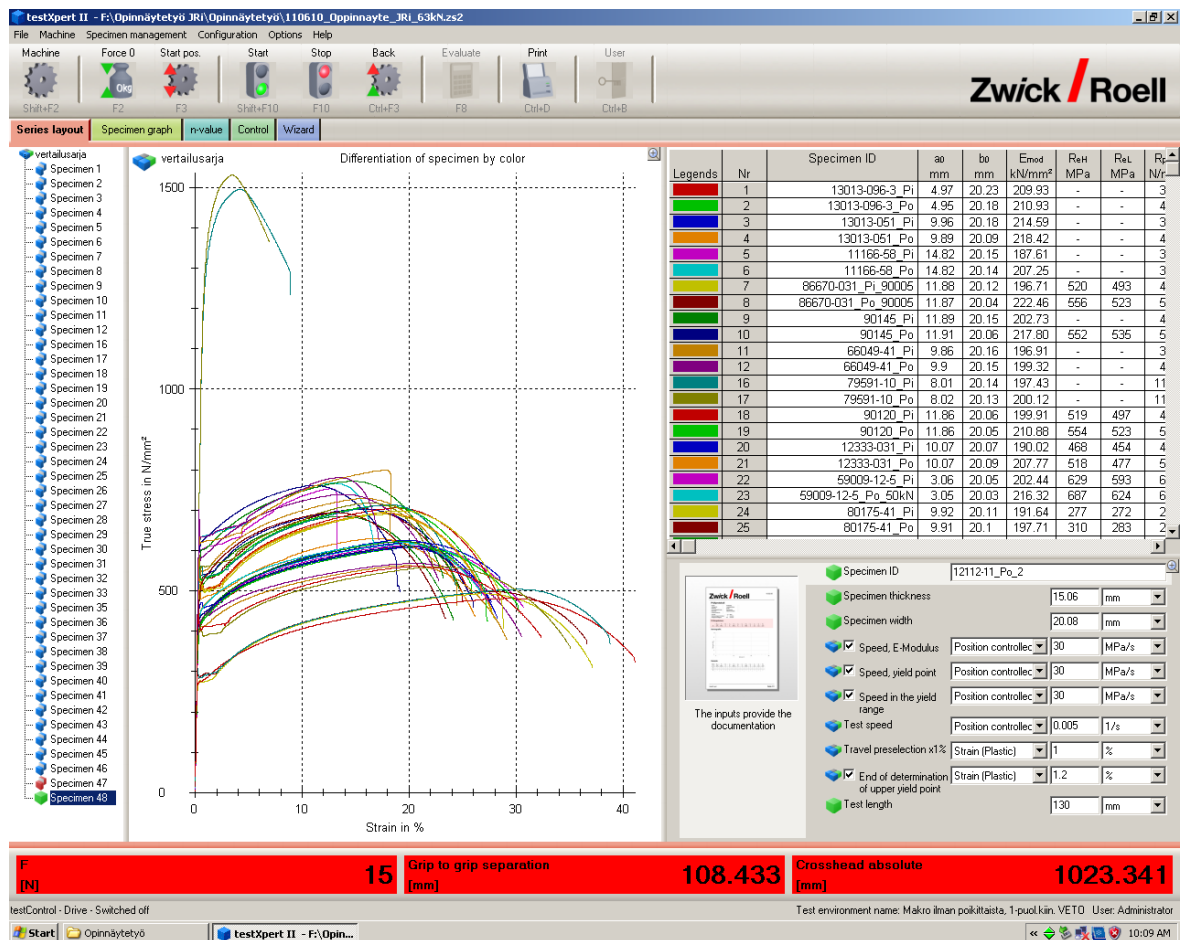
Leukoja voidaan ohjata manuaalisesti kaukosäätimellä (kuva 7.). /7/



Kuva 7. Manuaalikaukosäädin

1. Yläleuan kiinnitys ja aukaisu
2. Alaleuan kiinnitys ja aukaisu
3. Leukojen etäisyyden säätö
4. Testin käynnistys ja pysäytys
5. Pikavalintanäppäimet

Vetokone käyttää testaamiseen TestXpert-ohjelmaa (kuva 8.), joka listaa automaattisesti testatut materiaalit samaan tiedostopohjaan. /7/



Kuva 8. TestXpert-ohjelma

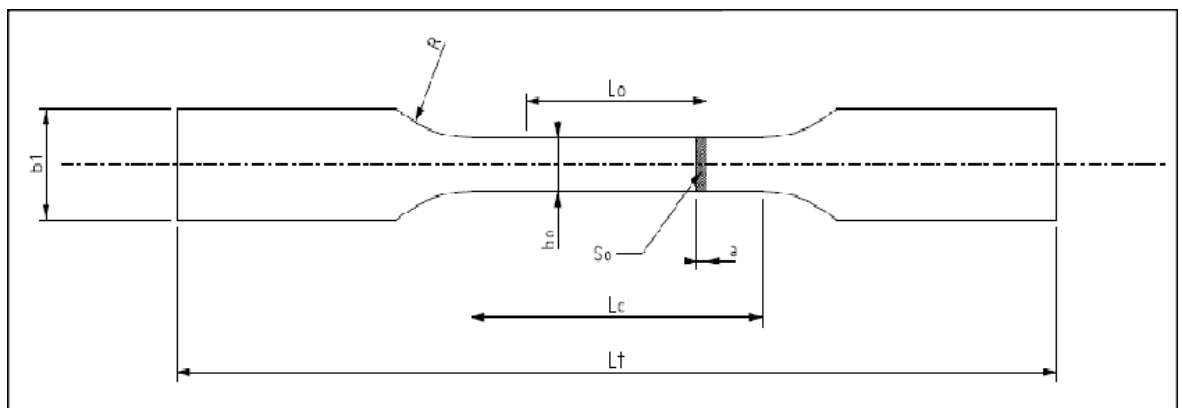
Ohjelma laskee testauksen aikana saatavat arvot alemmalle ja ylemmälle myötörajalalle, käytetylle maksimivoimalle, pituudenmuutokselle, jännitykselle ja venymälle jne. TestXpert myös piirtää käyrän asetettujen arvojen mukaan. /7/

5. VETOKOKEET JA TESTIKAPPALEIDEN KUVAUS

Seuraavissa kappaleissa on esitetty vaihe vaiheelta testikappaleiden vetäminen ja vetokokeen kuvaus Aramis-kameralla.

5.1. Vetosauvat

Zwick & Roell -vetokoneella testataan materiaalien ominaisuuksia. Testikappaleina käytetään latta- ja pyörökoesauvoja. Tässä työssä testattiin Rautaruukin ultralujia rakenne- ja kulutusteräksiä. Kaikki tässä työssä testatut koemetallit olivat lattasauvoja. Jokaiselle koesauvalle on määritelty standardissa SFS 6892-1 tietyt mitat (kuva 9.). Koesauvojen paksuus ja pituus vaihtelee koemateriaalin mukaan. /7/



Kuva 9. Lattakoesauvan mainittavat mitat

Ennen testaamista sauvoista otetaan tarkat mitat, jotka syötetään Zwick & Roellin TestXpert-ohjelmistoon. Koesauvoista puhdistetaan valmistusvaiheessa tulleet valssihilseet ja muut epäpuhtaudet sekä pinnan epätasaisuudet. Hioessa on varottava sauvan liiallista kuumenemista materiaalin kiderakenteen muodonmuutoksen välttämiseksi. Hionnan jälkeen sauvoista pestään etanolilla loput epäpuhtaudet ja pöly pois. Mikäli vetokoetta kuvataan Aramis-kameralla, sauvat maalataan ennen testauksen aloittamista. /6/, /7/

Taulukossa 11 on lueteltu tässä työssä testatut materiaalit. Testattavia vetosauvoja oli 64 kappaletta, mitkä oli jaettu kahteen erään. Kumpaankin kuului 32 testimateriaalia. Alunperäinen tarkoitus oli testata vain ensimmäinen erä, toisen erän ollessa varalla, mikäli jotkin ensimmäisen erän vedot menisivät pieleen.

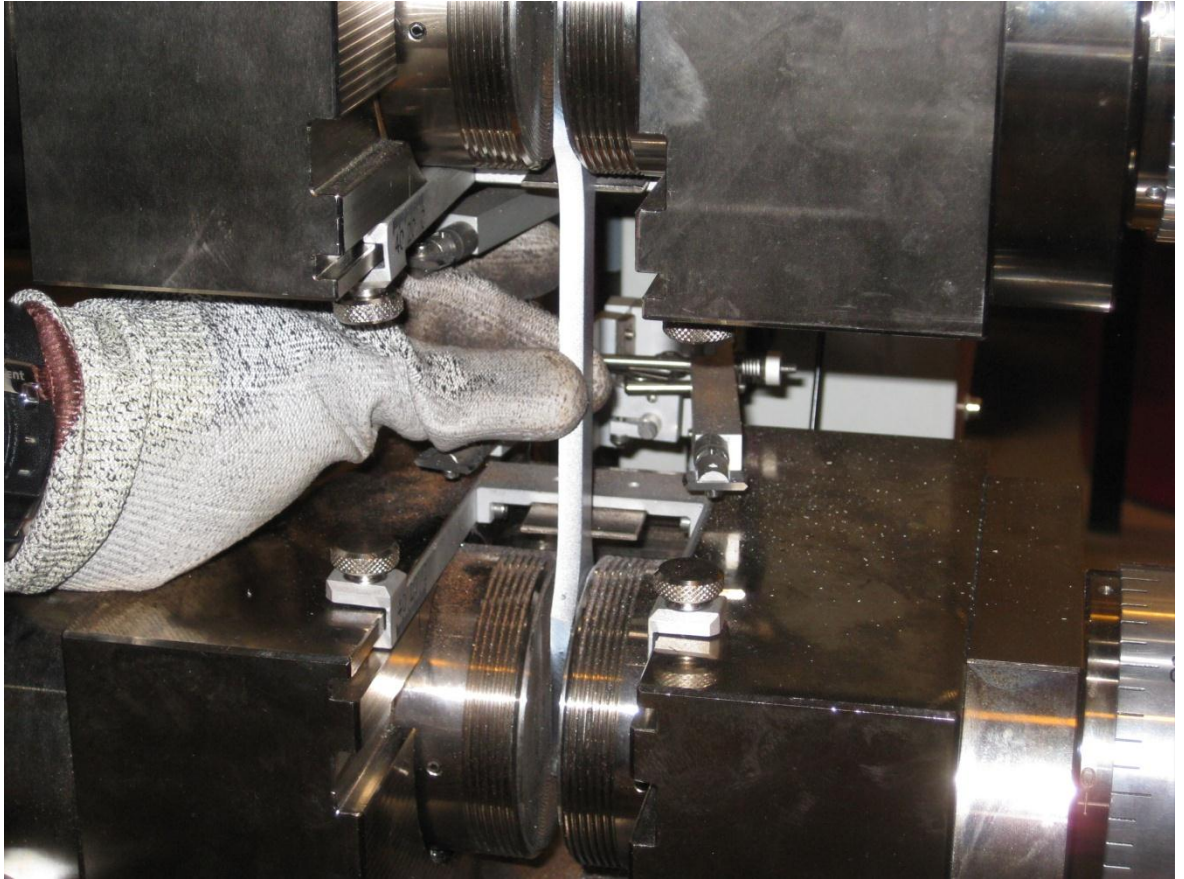
Taulukko 11. Koesauvojen materiaalit

Numero	Materiaalit	Näyte nro.	Valssaussuunta
1	Laser 250	67881-11	Pi
2	Laser 250	67881-11	Po
3	Laser 250	80175-41	Pi
4	Laser 250	80175-41	Po
5	Laser 355 MC	12112-11	Pi
6	Laser 355 MC	12112-11	Po
7	Laser 355 MC	66049-41	Pi
8	Laser 355 MC	66049-41	Po
9	Laser 420 MC	12333-031	Pi
10	Laser 420 MC	12333-031	Po
11	Multisteel	11166-58	Pi
12	Multisteel	11166-58	Po
13	Multisteel	13013-051	Pi
14	Multisteel	13013-051	Po
15	Multisteel	13013-069-3	Pi
16	Multisteel	13013-069-3	Po
17	Optim 500 MC	65820-12	Pi
18	Optim 500 MC	65820-12	Po
19	Optim 500 MC	73290-041	Pi
20	Optim 500 MC	73290-041-3	Po
21	Optim 550 MC	11433-21	Pi
22	Optim 550 MC	11433-21	Po
23	Optim 550 MC	59009-12-5	Pi
24	Optim 550 MC	59009-12-5	Po
25	Raex 450	79591-10	Pi
26	Raex 450	79591-10	Po
27	X70	86670-031 90005	Pi
28	X70	86670-031 90005	Po
29	X70	90120	Pi
30	X70	90120	Po
31	X70	90145	Pi
32	X70	90145	Po

Taulukosta näkyy, että jokaista materiaalia on aina kaksi kappaletta: yksi pitkittäin valssaussuuntaan nähden ja toinen poikittain valssaussuuntaan nähden.

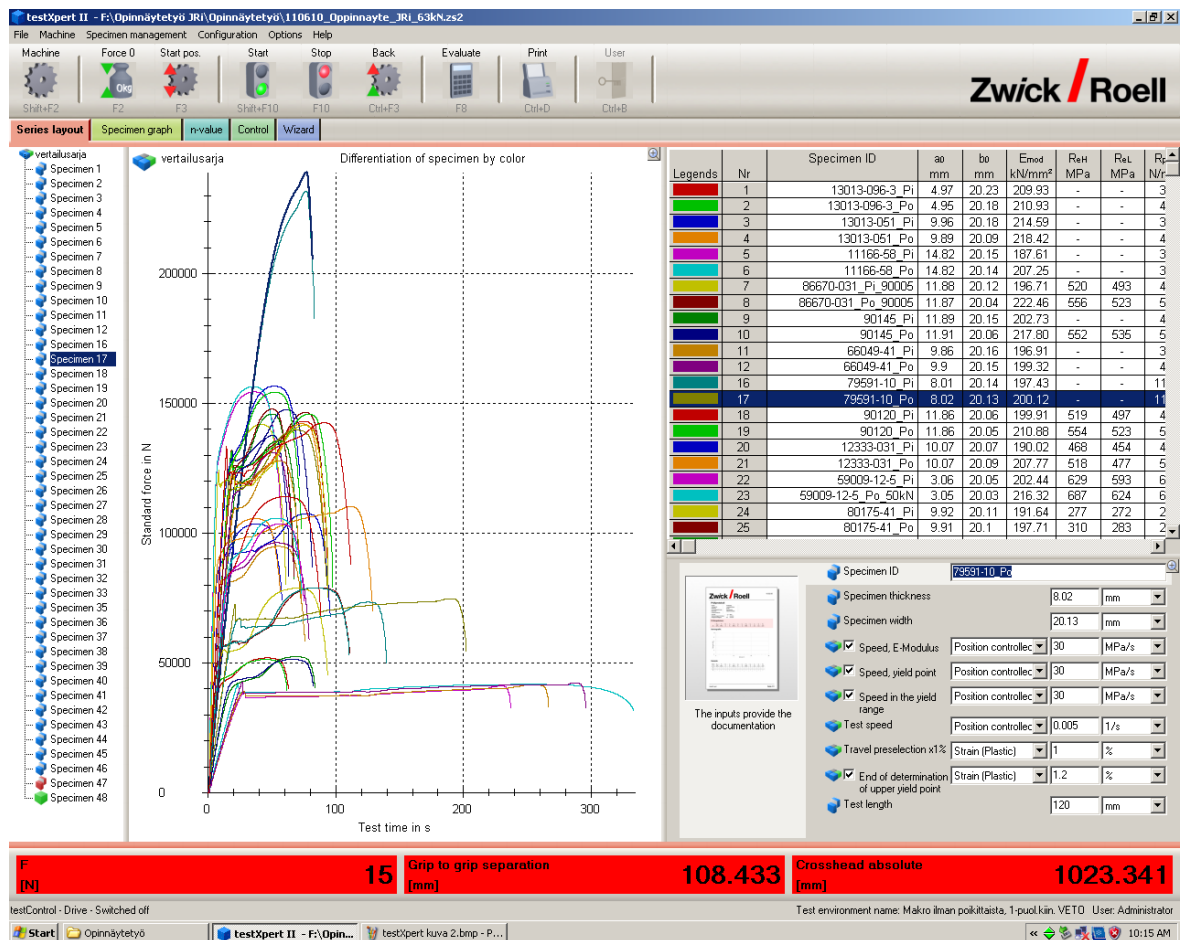
5.2. Vetokokeet

Koesauva asetetaan vetokoneen leukojen väliin kuvan 10 osoittamalla tavalla. /7/



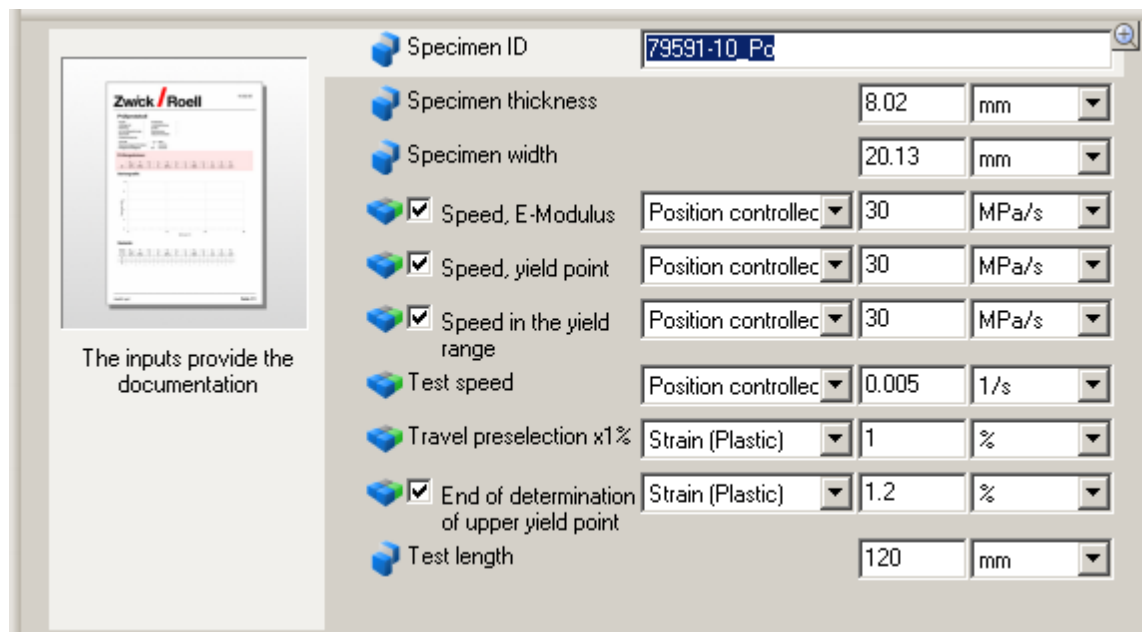
Kuva 10. Koesauvan asettaminen paikalleen

Näytettä pidetään paikallaan käsin ja säädetään sille keskitys. Sen jälkeen säädetään leukojen etäisyys sopivaksi ja kiinnitetään näyte yläleukaan. Koneen voima nollataan TestXpert-ohjelman ylälaidan Force 0 -kohdasta (kuva 11.). Sitten säädetään alaleuan keskitys ja kiinnitetään näyte alaleukaan. /7/



Kuva 11. Testiohjelman aloitusnäky

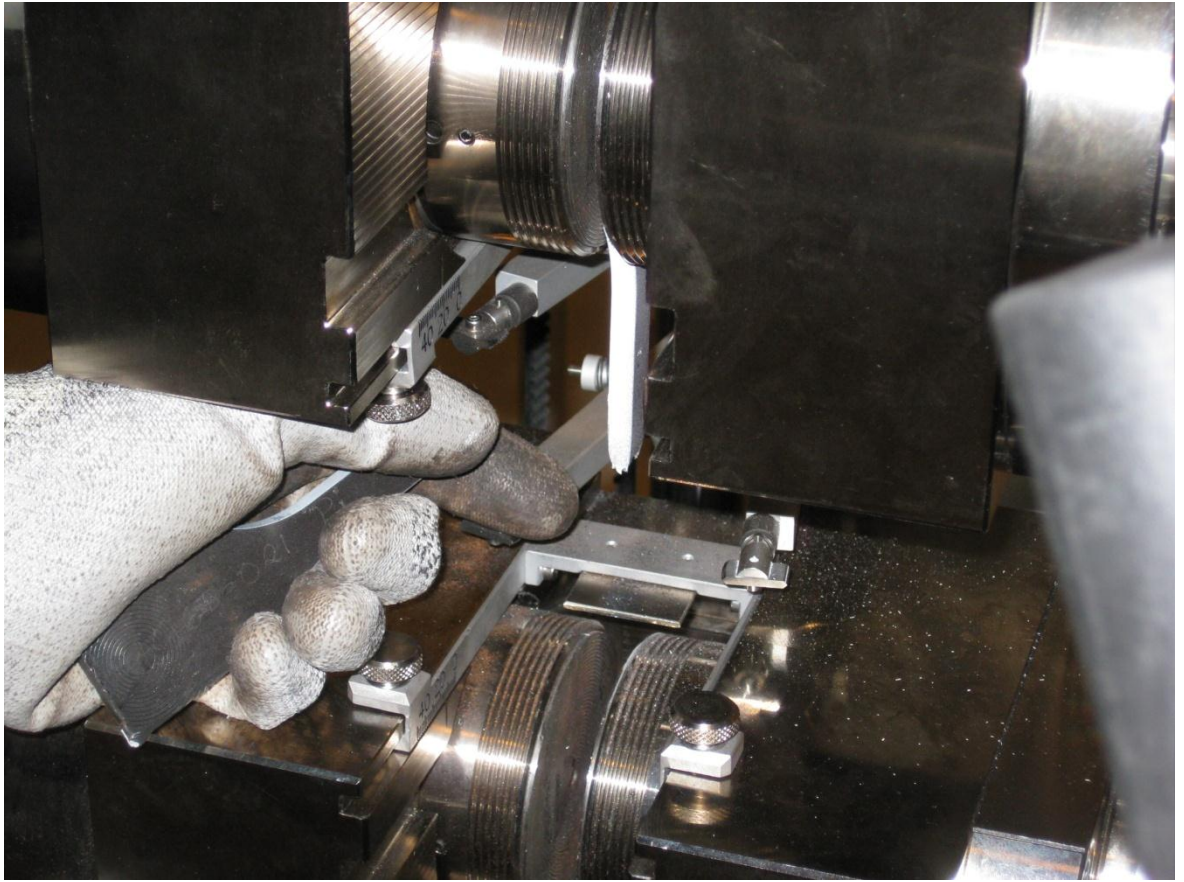
Tämän jälkeen syötetään ohjelmalle näytteen tarkat mitat (kuva 12.). /7/



Kuva 12. Näytteen mittojen syöttö

Kun näyte on paikallaan ja tarpeelliset tiedot syötetty ohjelmalle, suljetaan vetokoneen suojaovi ja käynnistetään testaus joko TestXpertin Start-kuvakkeesta tai kaukosäätimen start-napista. Testattaessa lujia materiaaleja on hyvä käyttää kuulosuojaimia, koska katkeava koesauva aiheuttaa tällöin kovaa meteliä. /7/

Vetokone pysähtyy automaattisesti, kun koesauva on katkennut tunnistaessaan vetovoiman katoamisen. Katkenneen sauvan palaset poistetaan leukojen välistä (kuva 13.), minkä jälkeen painetaan TestXpert -ohjelman Start Position -kuvaketta palauttamaan leuat alkuperäiselle etäisyydelle toisistaan ja asetetaan seuraava testisauva paikalleen. /7/

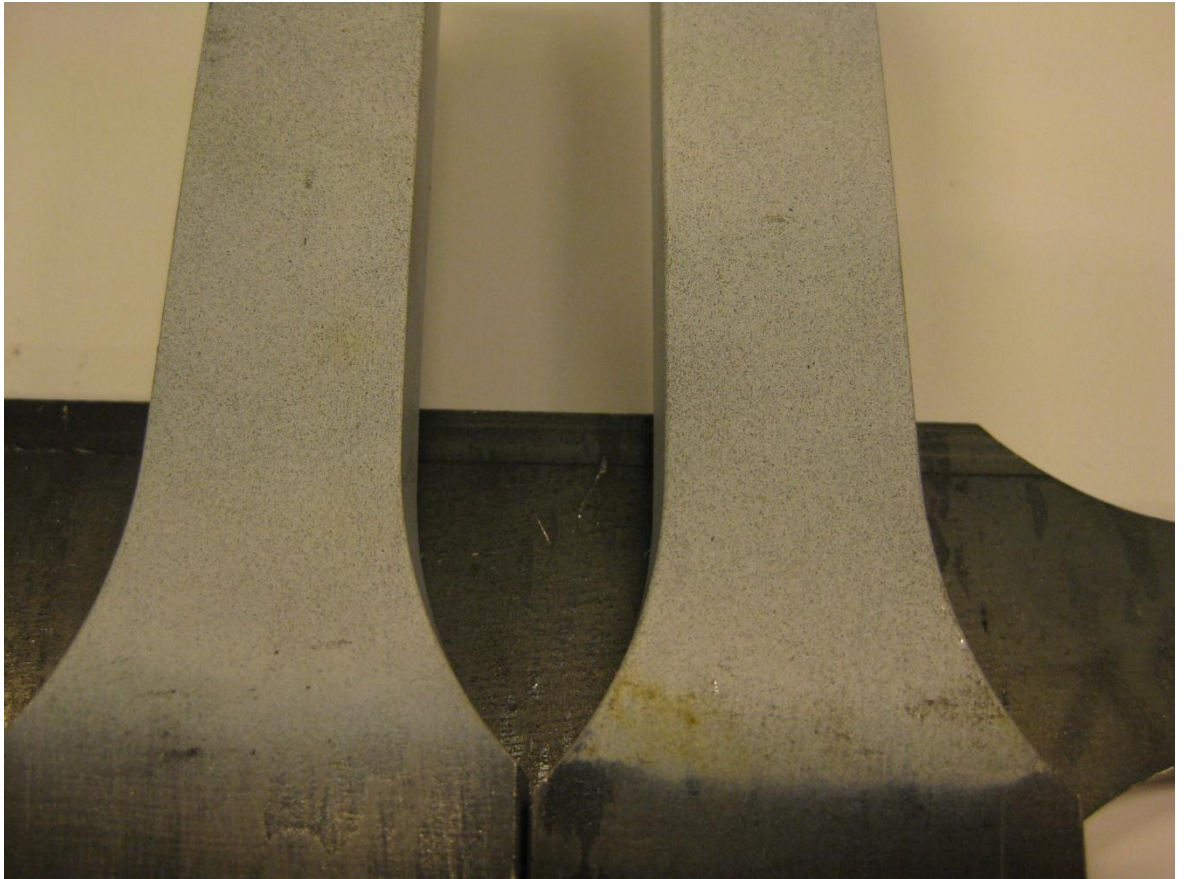


Kuva 13. Katkaistu koesauva

5.3. Vetokokeiden kuvaaminen

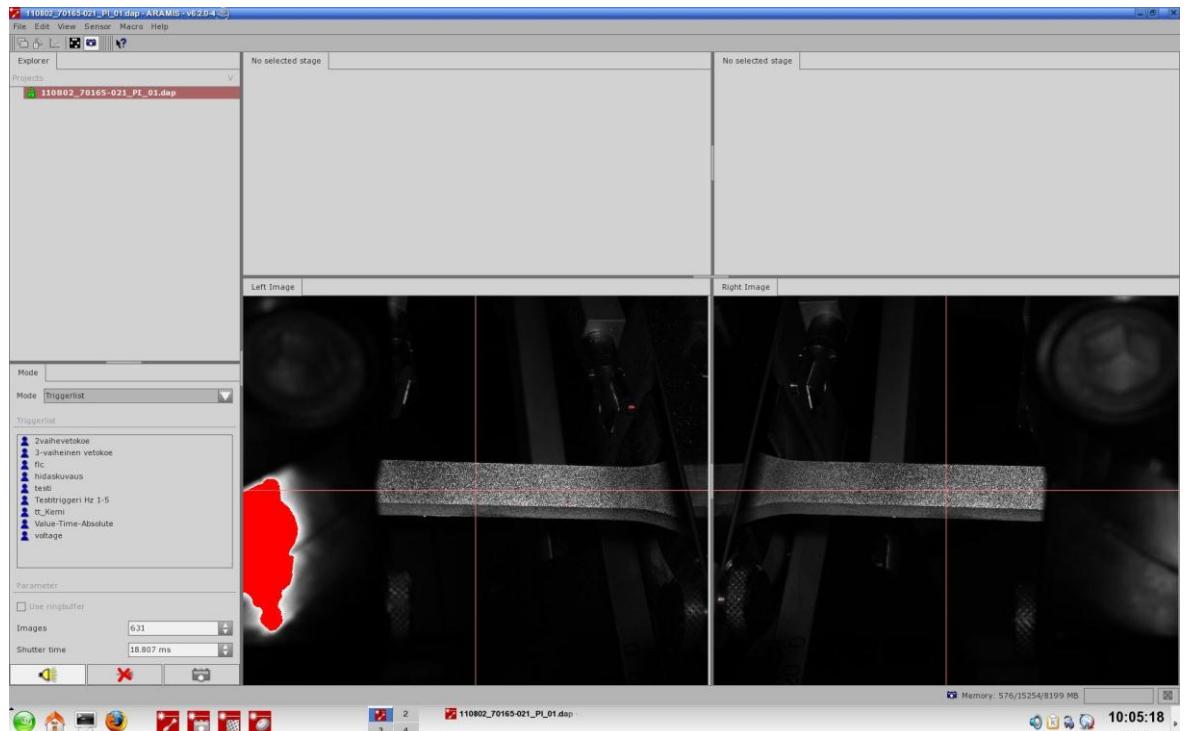
Vetokokeet kuvataan Aramis-kamerajärjestelmällä. Kameralla nähdään ennen kaikkea pinnan muodonmuutokset ja jännitysalueet. /6/

Koesauvat puhdistetaan ja maalataan valkoisella maalilla. Maalin pitää antaa kuivua, muttei kovettua, jottei se ratkeile vetokokeen aikana, muuten kuvaus voi epäonnistua. Valkoisen maalin päälle suihkutetaan mustalla maalilla stokastinen kuvio (kuva 14.). /6/



Kuva 14. Aramis-kuvausta varten maalatut vetosauvat

Näytteet asetetaan paikalleen vetokoneeseen ja kamera kootaan kuvausvalmiiksi. Kamera linkitetään vetokoneeseen, jotta kameran kuvattuja arvoja voidaan vertailla TestXpertin arvojen kanssa. Kamera käyttää kuvaamiseen Aramis-ohjelmaa (kuva 15.). /6/



Kuva 15. Aramis-ohjelma

Ohjelmassa on mahdollisuus valita aiemmin tehtyjä kuvaussarjoja tai tehdä itse uusia, esim. 1 kuva sekunnissa, 5 kuvaa sekunnissa tai 10 kuvaa sekunnissa. Kuvaustapoja voi valita myös monivaiheisina, esim. aloitetaan kuvaus vetokokeen alussa yhdellä kuvalla sekunnissa edeten aina suurempiin kuvamääriin sekunnissa kokeen loppua kohden. /6/

Kuvausohjelma asetetaan kuvausvalmiiksi tietokoneruudun alalaidassa olevasta kameraikkunasta. Kuvaus käynnistetään erillisestä kytkimestä (kuva 16) tai muun ulkoisen signaalin avulla. /6/



Kuva 16. Aramis-kameran keskusyksikkö ja käynnistyskytkin

Kytkimestä painamalla kamera siirtyy ohjelmassa määritettyyn seuraavaan kuvausvaiheeseen, esim. kuvauksen käynnistys, kuva sekunnissa, 5 kuvaa sekunnissa ja lopetus. /6/

Kuvauksen loputtua otetut kuvat ajetaan laskennan läpi. Ohjelma laskee muodonmuutokset koesauvan pinnalla, tallentaa kuvattavasta kohteesta 3D-koordinaatit. Jännitys-venymä käyrä saadaan erityisen laskentakaavan avulla. /6/

6. VETOKOKEIDEN ANALYSOINTI

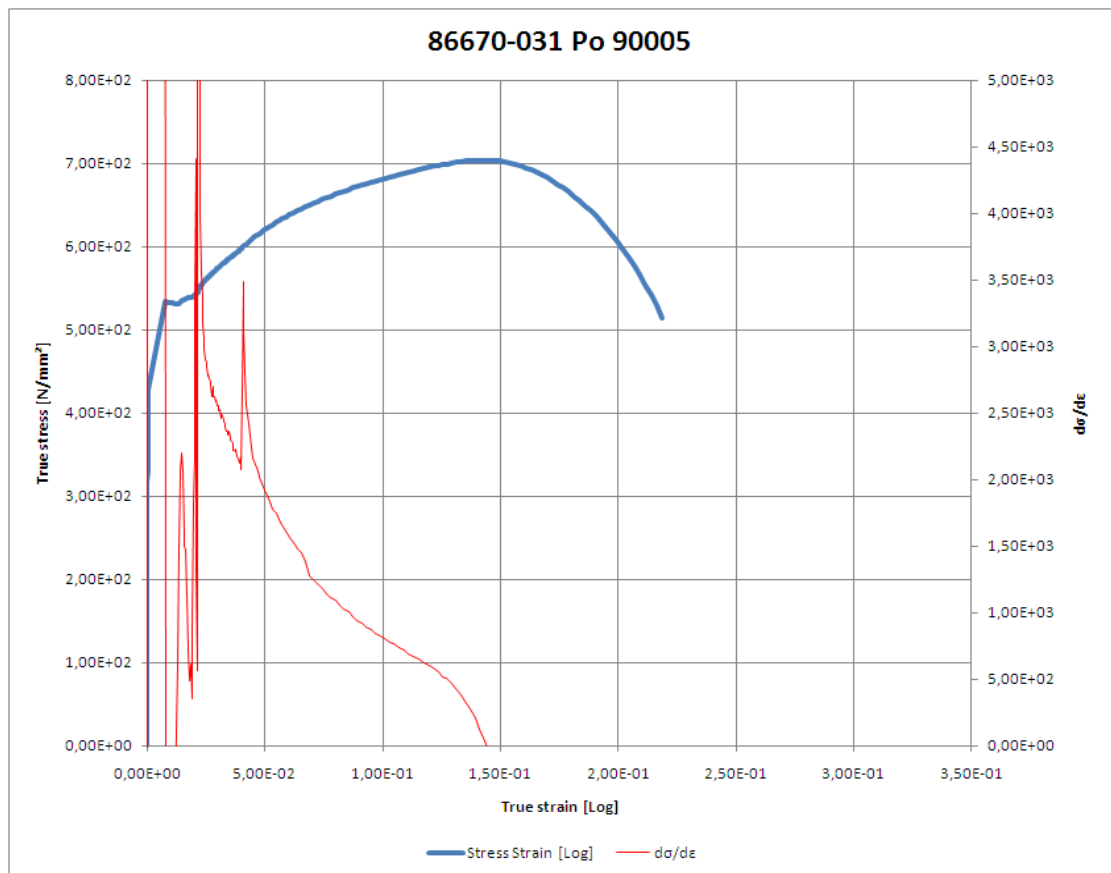
Tutkimuksessa on tarkoitus verrata Aramiksen mittaamia tuloksia vetokoneen oikeellisiin tuloksiin. Aramiksella pyritään määrittämään $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrät, voimamaksimi F_{\max} sekä muokkauslujittumisekspONENTTI n todellisen jännitys ja -venymä -käyrän pohjalta.

6.1. Vetokoneella saadut mittaustulokset

Seuraavissa luvuissa on tarkasteltu vetokoneella saavutettuja tuloksia, joita tullaan vertaamaan Aramiksen saamiin tuloksiin.

6.1.1. $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrien määrittäminen

TestXpert antaa vetokokeen tuloksena logaritmisen todellisen jännityksen ja venymän kuvaajan, joka on kuvattu kuvassa 17. sinisellä käyrällä. Todellisen jännityksen ja venymän käyrästä voidaan määrittää kaavalla 1. $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä, joka on esitetty taulukossa punaisella käyrällä (Liite 1).



Kuva 17. Esimerkki $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrästä

Käyrien leikkauskohdassa materiaali saavuttaa tasavenymää vastaavan jännityksen. $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrän yhtälölle on voimassa kaava 1., jossa $d\sigma$:lle ja $d\varepsilon$:lle lasketaan arvoja todellisen jännityksen ja todellisen venymän saamien peräkkäisten arvojen erotuksesta. /4/

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\sigma_n - \sigma_m}{\varepsilon_n - \varepsilon_m} \quad (1.)$$

6.1.2. Voimamaksimin määrittäminen

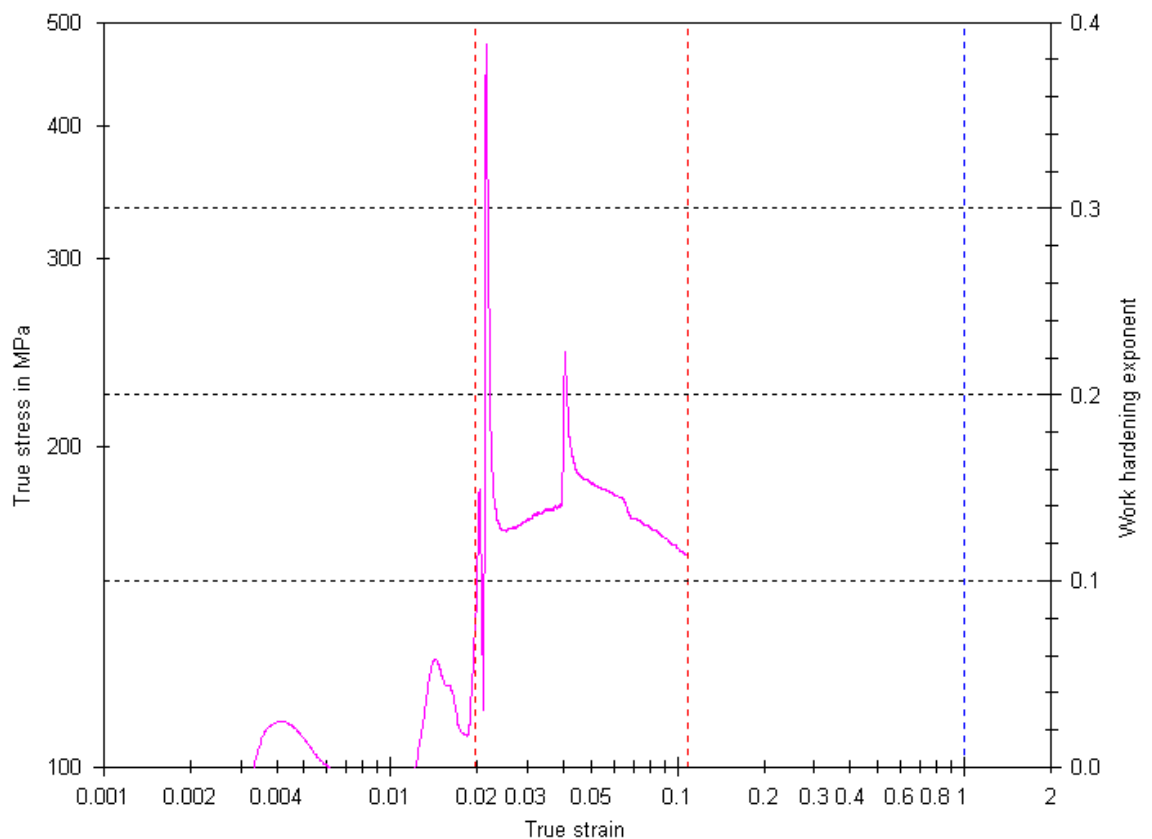
Voimamaksimilla tarkoitetaan suurinta testimateriaalin kestämiä vetovoiman määrää. Voimamaksimi määrittyy todellisen jännityksen ja -venymän käyrästä kuvaajan korkeimpana kohtana. Liitteessä 3 on ilmoitettu jokaisen testatun materiaalin voimamaksimi niille piirrettyjen todellisen jännityksen ja venymän -käyrien huippuina. /4/

6.1.3. MuokkauslujittumisekspONENTIN n määrittäminen

MuokkauslujittumisekspONENTTI kuvaa muovattavan materiaalin kykyä kestää venytysmuovausta murtumatta. Mitä suurempi n-arvo on sitä ohuemaksi materiaalin voi muovata ilman että materiaali murtuu. MuokkauslujittumisekspONENTTI n määritetään todellisen jännityksen ja -venymän käyrältä kaavan 2. avulla. /1/

$$n = \frac{\varepsilon}{\sigma} \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (2.)$$

Kuvassa 18. on esitetty malli n-arvon käyrästä. Tässä tutkimuksessa käytetyille teräksille tarkastellaan n-arvoja standardin ASTM E646-07 mukaisella 10% - 20% venymäväliltä, joka on merkitty kuvaan punaisten katkoviivojen väliin. TestXpert laskee n-arvot tältä väliltä.



Kuva 18. MuokkauslujittumisekspONENTIN käyrä

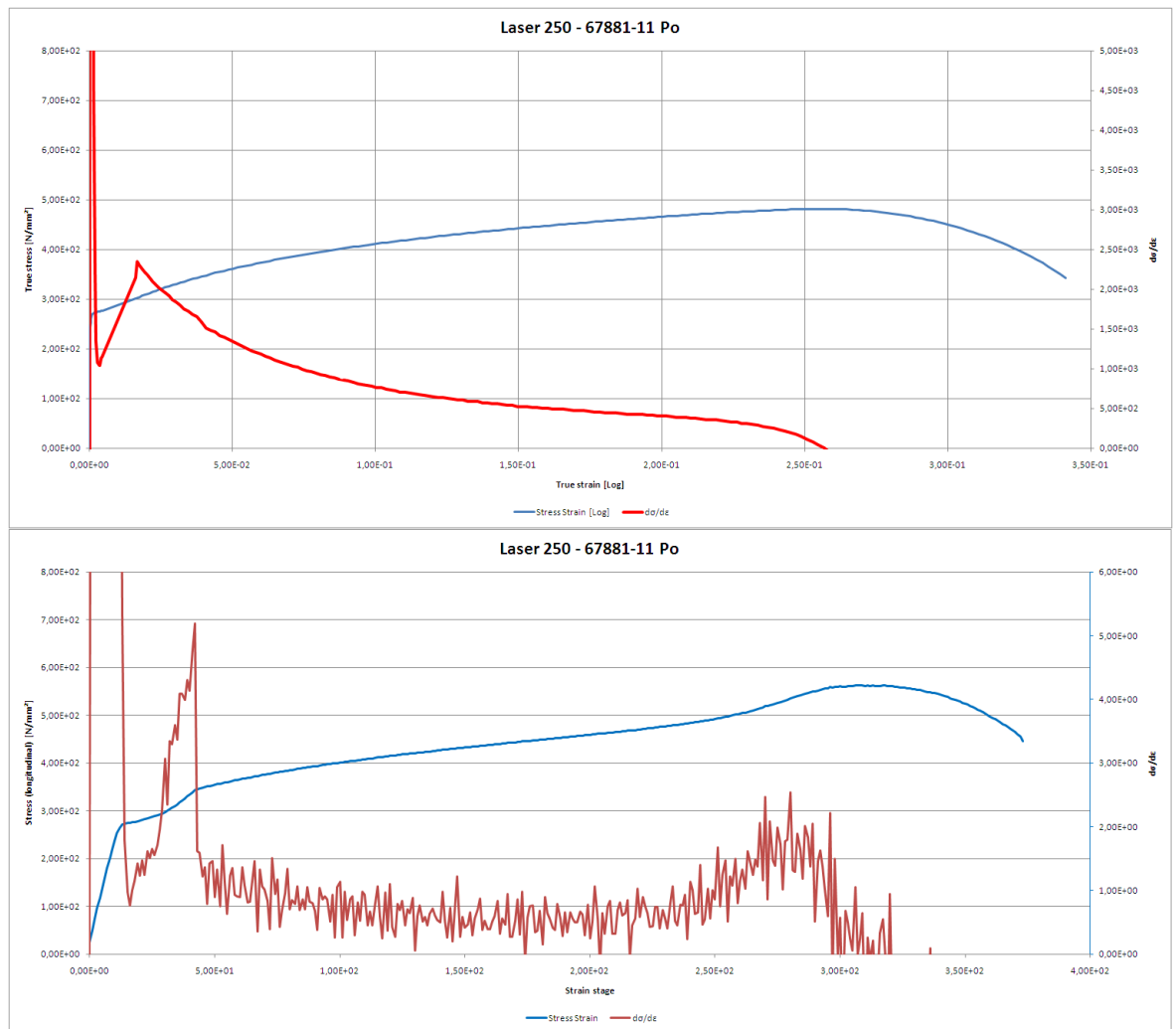
TestXpert laskee myös muokkauslujittumiseksponentille numeerisen arvon. Tässä työssä testattujen koesauvojen muokkauslujittumiseksponentin arvot on listattu taulukkoon 12.

6.2. Aramixen tulosten tilastollinen tarkastelu

Aramis piirtää omalla ohjelmallaan käyrät todelliselle jännitykselle ja -venymälle, voimamaksimille sekä muokkauslujittumiseksponentille. Kaikkien käyrien saamat arvot on siirretty sen jälkeen numeerisina tietokoneelle, jolla niistä on piirretty Excel-ohjelmalla kuvaajat.

6.2.1. $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrien vertailu

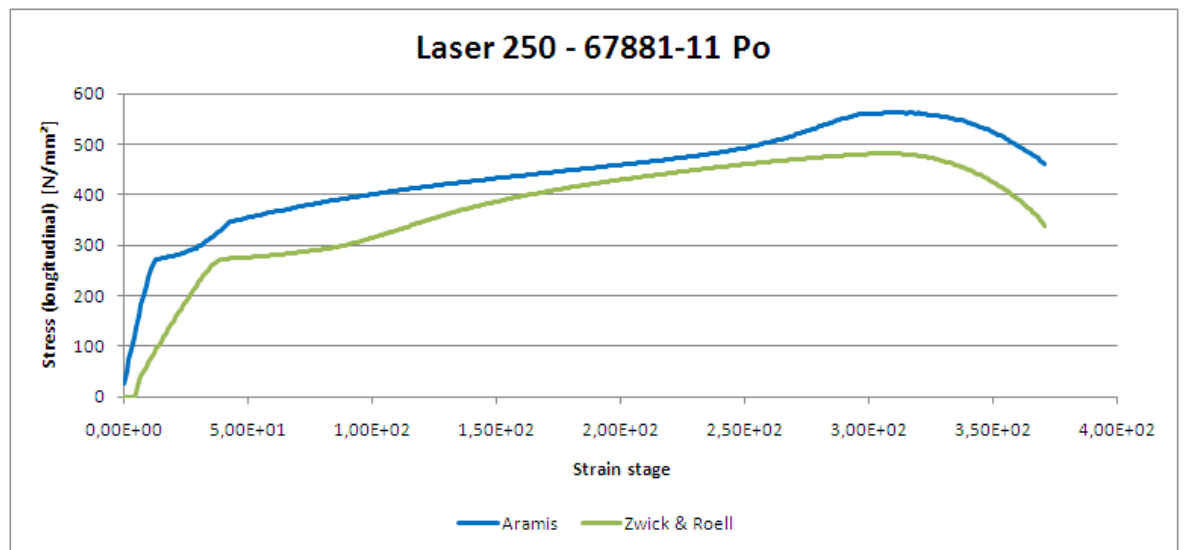
Kuvassa 19. on vertailtu vetokoneen ja Aramixen tuottamia $d\sigma/d\varepsilon$ -käyriä.



Kuva 19. Excelillä piirretyt $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrät, Zwick Roellin (yllä) ja Aramiksen (alla)

Kuten kuvasta nähdään, vetokoneen ja Aramiksen tuottamat käyrät eroavat toisistaan jonkin verran. Kuvaajien punaiset käyrät ($d\sigma/d\varepsilon$) noudattavat samaa muotoa, mutta Aramiksen piirtämä käyrä (alla) on hieman tarkempi kun taas Zwick Roellin (yllä) on tasotellumpi. Sininen käyrä (jännitys-venymä) taas on Aramiksen piirtämänä jyrkempi nousu- ja lasku kohdissaan verrattuna Zwick Roellin käyrään.

Kun Aramiksen ja Zwick Roellin piirtämiä jännitys-venymä -käyriä tarkastellaan rinnakkain (kuva 20.), huomataan, että Aramiksen piirtämällä käyrällä on paljon suuremmat jännityksen arvot.

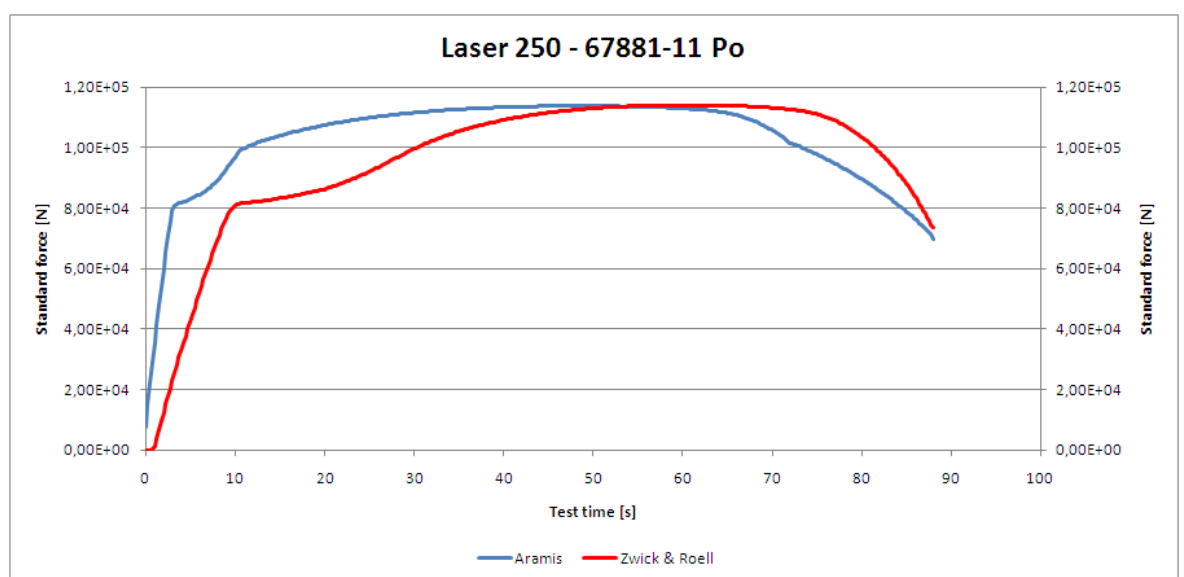


Kuva 20. Aramiksensa ja vetokoneen tuottamat jännitys-venymä -käyrät rinnakkain

Ideaalitilanteessa käyrien kuuluisi olla kaaviossa samalla tasolla, mutta jonkin määrittelemättömän virheen vuoksi Aramis tuottaa jännitykselle eri arvot.

6.2.2. Voimamaksimien vertailu

Kuvassa 21. on esitetty Zwick Roellin ja Aramiksensa tuottamat voimamaksimin kuvaajat.

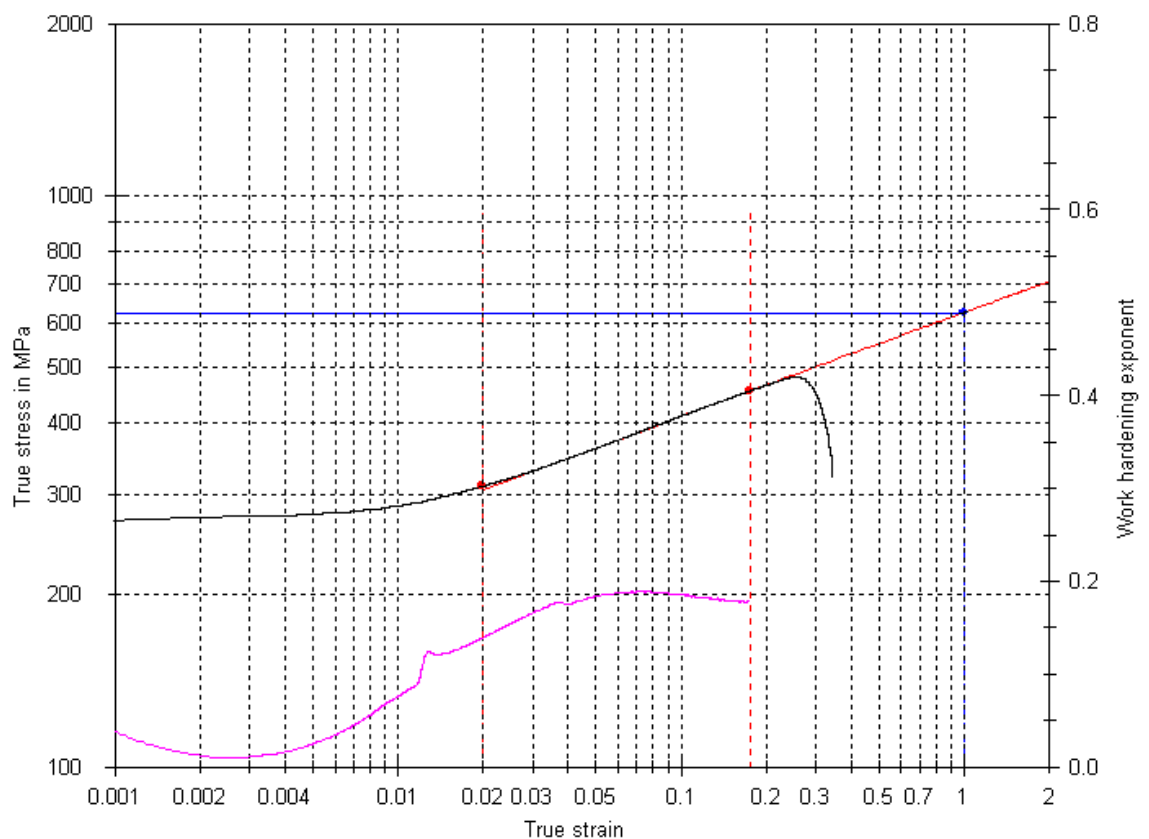


Kuva 21. Voimamaksimi-käyrät Aramiksella ja vetokoneella

Kuvasta nähdään, että Aramixen ja Zwickin mittaamat voimamaksimit saavuttavat saman korkeuden, vaikka eivät olekaan ajallisesti synkronoidut. Käyristä määrittyvät voimamaksimin arvot (käyrien korkeimmat kohdat) ovat kuitenkin samat.

6.2.3. Muokkauslujittumiseksponenttien vertailu

Zwick Roellin oma ohjelma TestXpert piirtää muokkauslujittumiseksponentille n oman käyrän ja laskee sille valmiiksi n -arvot. Kuvassa 22. näkyy TestXpertin esittämä n -arvon kuvaaja violettina käyränä.



Kuva 22. Muokkauslujittumiseksponentin kuvaaja TestXpert-ohjelmassa

Aramis laskee muokkauslujittumiseksponentille vain yhden arvon, joka kuvaajaksi piirrettyinä näkyy pelkkänä suorana viivana. Taulukossa 12. on listattu Aramixen mittaamat n -arvot. Kun näitä arvoja vertaa Zwick Roellin saavuttamiin arvoihin, voidaan

todeta arvojen täsmäävän toistensa kanssa. Alaindeksit merkkäavat prosentuaalista venymäaluetta, jolta n-arvot on saatu. Tässä tutkimuksessa materiaaleille on valittu 10-20%:n tarkastelu alue.

Taulukko 12. Vetokoneen ja Aramiksien n-arvot

Materiaali	Zwick & Roell				Aramis
	$n_{4-6/Ag}$	$n_{10-15/Ag}$	$n_{2-20/Ag}$	$n_{10-20/Ag}$	$n_{10-20/Ag}$
Laser 250 - 67881-11 Po	0,182	0,183	0,182	0,181	0,182
Laser 250 - 80175-41 Pi	0,222	0,191	0,210	0,187	0,196
Laser 250 - 80175-41 Po	0,222	0,189	0,208	0,185	0,187
Laser 355 MC - 12112-11 Pi	0,164	0,148	0,159	0,148	0,154
Laser 355 MC - 12112-11 Po	0,143	0,145	0,151	0,145	0,156
Laser 355 MC - 66049-41 Pi	0,109	0,125	0,112	0,125	0,138
Laser 355 MC - 66049-41 Po	0,097	0,114	0,099	0,114	0,127
Laser 420 MC - 12333-031 Pi	0,146	0,133	0,141	0,133	0,143
Laser 420 MC - 12333-031 Po	0,128	0,131	0,125	0,131	0,151
Multisteel - 11166-58 Pi	0,124	0,126	0,123	0,126	0,134
Multisteel - 11166-58 Po	0,125	0,123	0,124	0,123	0,131
Multisteel - 13013-051 Pi	0,117	0,124	0,117	0,124	0,134
Multisteel - 13013-051 Po	0,106	0,115	0,106	0,115	0,128
Multisteel - 13013-069-3 Pi	0,124	0,128	0,125	0,128	0,138
Multisteel - 13013-069-3 Po	0,114	0,126	0,116	0,126	0,138
Optim 500 MC - 65820-12 Pi	0,159	0,129	0,142	0,129	0,135
Optim 500 MC - 65820-12 Po	0,133	0,157	0,133	0,157	0,160
Optim 500 MC - 73290-041 Pi	0,117	0,111	0,114	0,111	0,124
Optim 500 MC - 73290-041 Po	0,101		0,099		0,113
Optim 550 MC - 11433-21 Pi	0,107	0,104	0,104	0,104	0,118
Optim 550 MC - 11433-21 Po	0,095		0,091		0,113
Optim 550 MC - 59009-12-5 Po	0,175	0,206	0,116	0,206	0,161
Raex 450 - 79591-10 Pi			0,043		0,048
Raex 450 - 79591-10 Po			0,036		0,055
X70 - 86670-031 Pi 90005	0,167	0,127	0,159	0,127	0,133
X70 - 86670-031 Po 90005	0,160	0,117	0,145	0,117	0,129
X70 - 90120 Pi	0,168	0,140	0,162	0,140	0,146
X70 - 90120 Po	0,165	0,128	0,146	0,128	0,136
X70 - 90145 Pi	0,114		0,111		0,114
X70 - 90145 Po	0,126	0,100	0,123	0,100	0,107

6.3. Loppupäätelmät

Aramiksen ja Zwick Roellin tuloksia vertaillaessa voidaan todeta, että osa tuloksista oli yhteneviä ja osa ei. MuokkauslujittumisekspONENTIN arvot olivat kummallakin laitteella lähes samat. Molemmat laitteet saavuttivat saman voimamaksimin arvon, vaikka niiden kuvaajat eivät olleet täysin yhteneviä. Sen sijaan $d\sigma/de$ käyrät olivat jonkin verran eriäviä toisistaan. Kumpikin käyrä näytti noudattavan samankaltaista muotoa, mutta tuntemattomasta syystä Aramis oli mitannut $d\sigma/de$ -käyrälle suuremmat jännityksen arvot kuin Zwick Roell. Virhe voi johtua huonosta laitteen kalibroinnista tai siitä, että Aramis laskee käyrälle tarkempia arvoja kuin Zwick Roell.

Mittaustulosten eroavaisuuksista huolimatta Aramis havainnollistaa hyvin mitä materiaalin pinnoilla tapahtuu ja antaa riittävän tarkkoja arvoja materiaalien ominaisuuksista. Laitteen käyttämisessä kuitenkin riittää vielä opittavaa. Todennäköisimmin laitteiden tietotekniikasta johtuen tutkimustuloksissa esiintyi eroavaisuuksia. Näitä eroja voisi selvittää tekemällä Aramikselle ja vetokoneelle tietotekniikan jatkotutkimuksen, jossa selvitetään laitteiden ohjelmistojen toimintaa sekä vertaillaan ohjelmistojen laskentatapoja vetokokeiden yhteydessä.

7. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kehittää malli Gom/Aramis -venymäanalyysointin mittausdatan käsittelyyn jatkotutkimuksena Rautaruukin selvitykselle Aramiksella soveltuvuudesta materiaalin ominaisuuksien muutoksiin niille tehtävien vetokokeiden yhteydessä. Työ aloitettiin opettelemalla käyttämään Zwick & Roell -vetokonetta sekä Aramista, kuvaamalla vetokokeita.

Saaduista tuloksista tuli piirtää todellisen jännityksen ja -venymän käyrä, laskea $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrät ja määrittää voimamaksimi sekä muokkauslujittumiseksponentti. Mittaustulokset kerättiin sekä vetokoneen käyttämältä TestXpert-ohjelmalta sekä vetokoetta kuvanneelta Aramikselta ja niitä verrattiin keskenään.

Vertailussa kävi ilmi, että $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrät poikkesivat toisistaan. Jostain syystä Aramis laski käyrälle suuremmat jännityksen arvot kuin vetokoneen ohjelma. Käyrät noudattivat suurin piirtein samaa muotoa, mutta vetokoneen käyrä vaikutti tasoitellummalta Aramiksella piirtämään käyrään verrattuna.

Myös voimamaksimien kuvaajat erosivat toisistaan. Poikkeavuudestaan huolimatta molemmat saavuttivat saman korkeimman arvon maksimivoimalle. Voimamaksimin käyrät muistuttivat toisiaan enemmän kuin $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrät, mutta ne eivät olleet ajallisesti yhteneviä keskenään.

Muokkauslujittumiseksponenttia laskiessa laitteet saivat tulokseksi samat arvot, jotka poikkesivat toisistaan enimmillään vain sadasosan tarkkuudella. Syy muiden tulosten poikkeavuuteen jäi epäselväksi.

8. LÄHDELUETTELO

- /1/ Arola, Anna-Maija, Ultralujan teräksen särmättävyyden FEM-mallinnus, Oulun Yliopisto, Konetekniikan diplomityö, Oulu, 17.5.2010.

- /2/ GOM Optical Measuring Techniques, [WWW-dokumentti],
<<http://www.gom.com/metrology-systems/digital-image-correlation.html>> 17.8.2011

- /3/ Juntunen, Päivi, Tutkimus teräksen EN 1.4512 rajamuovattavuudesta, Kemi-Tornion amk, Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö, Kemi, 9.12.2011

- /4/ Pallaspuro, Sakari, Vetokokeet Gom Aramis 5M -laitteiston kanssa, Rautaruukki Oyj, Tutkimusraportti, 3.9.2010.

- /5/ Rautaruukki Oyj – Historia [WWW-dokumentti], <<http://www.ruukki.com/About-Ruukki/Ruukki-from-the-1960s-to-the-present-day>> 16.8.2011

- /6/ Rissanen Tiina / Joutsenvaara Jukka, Aramis Venymäanalysaattorin käyttöohje, Kemi-Tornion amk, Tekninen raportti, Kemi, 2.2.2011

- /7/ Zwick & Roell, Instruction manual for materials testing machines BS1-FR250SW.A4K.010, Käyttöopas, Kesäkuu 2009

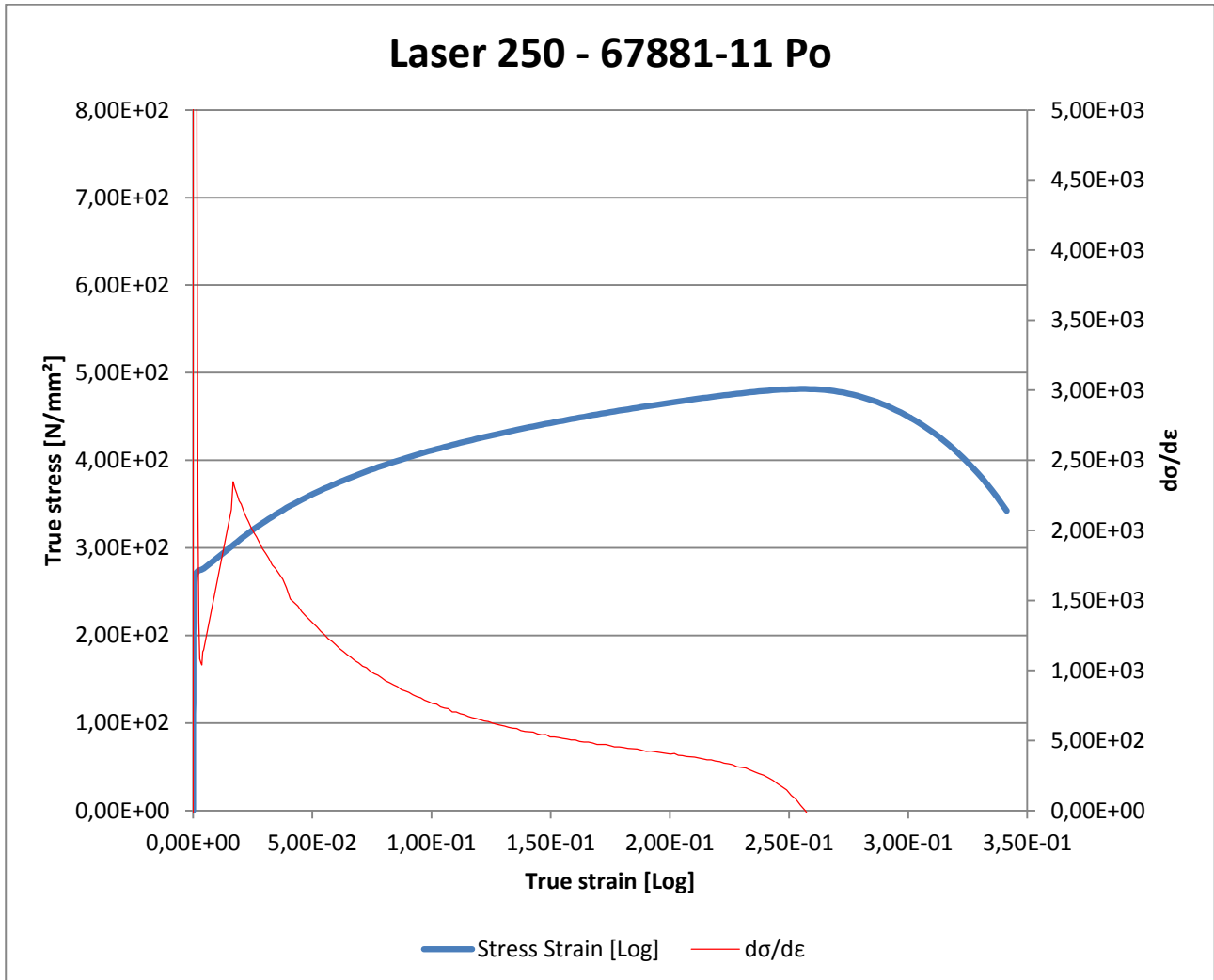
9. LIITELUETTELO

- LIITE 1 Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella
- LIITE 2 Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Aramis – venymäanalysaattorilla
- LIITE 3 Materiaalille määritetty F_{\max} – käyrä
- LIITE 4 Materiaalien ominaisuudet

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 250 - 67881-11 Po

Taulukko 1. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 250 - 67881-11 Po

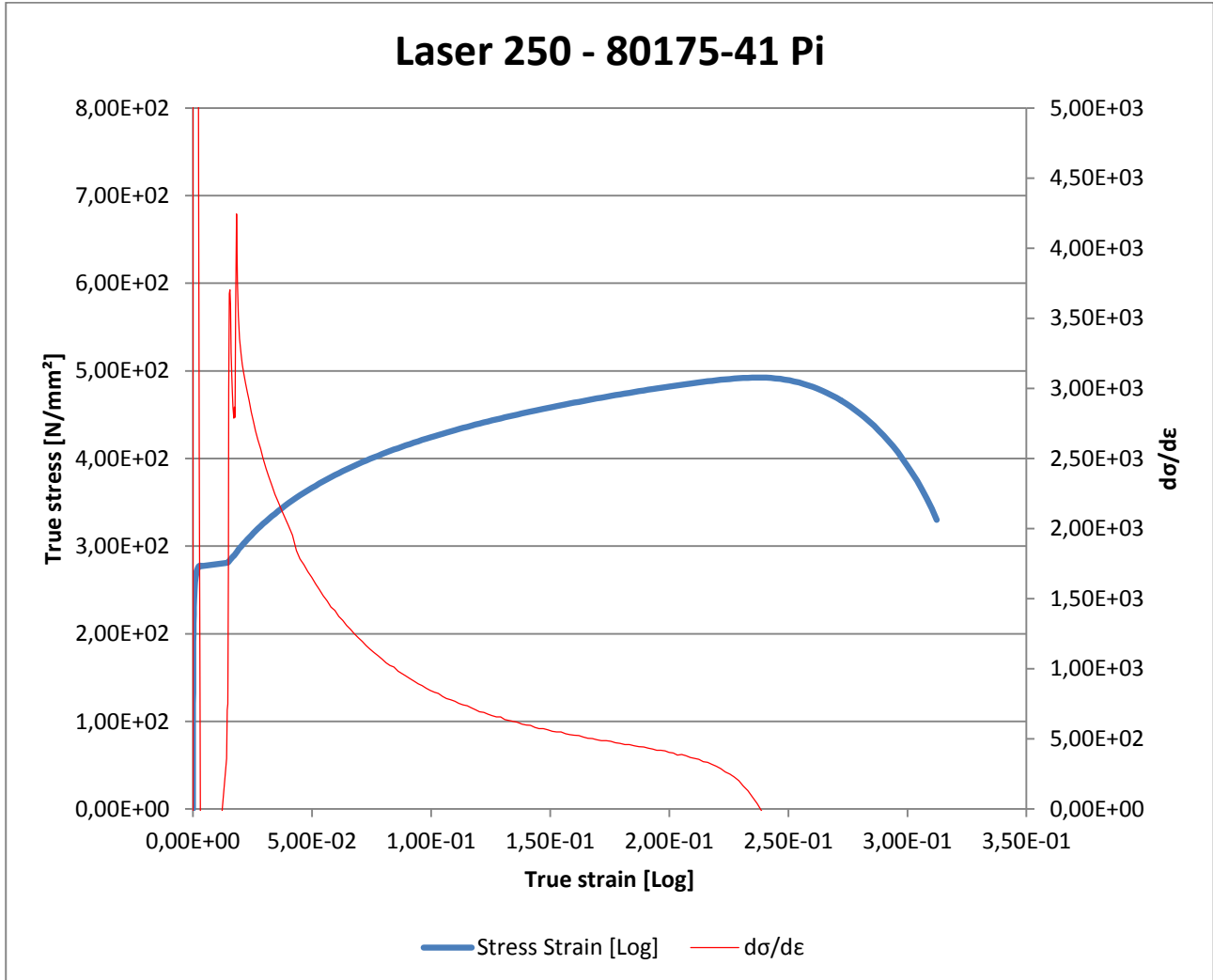


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Pi

Taulukko 2. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Pi

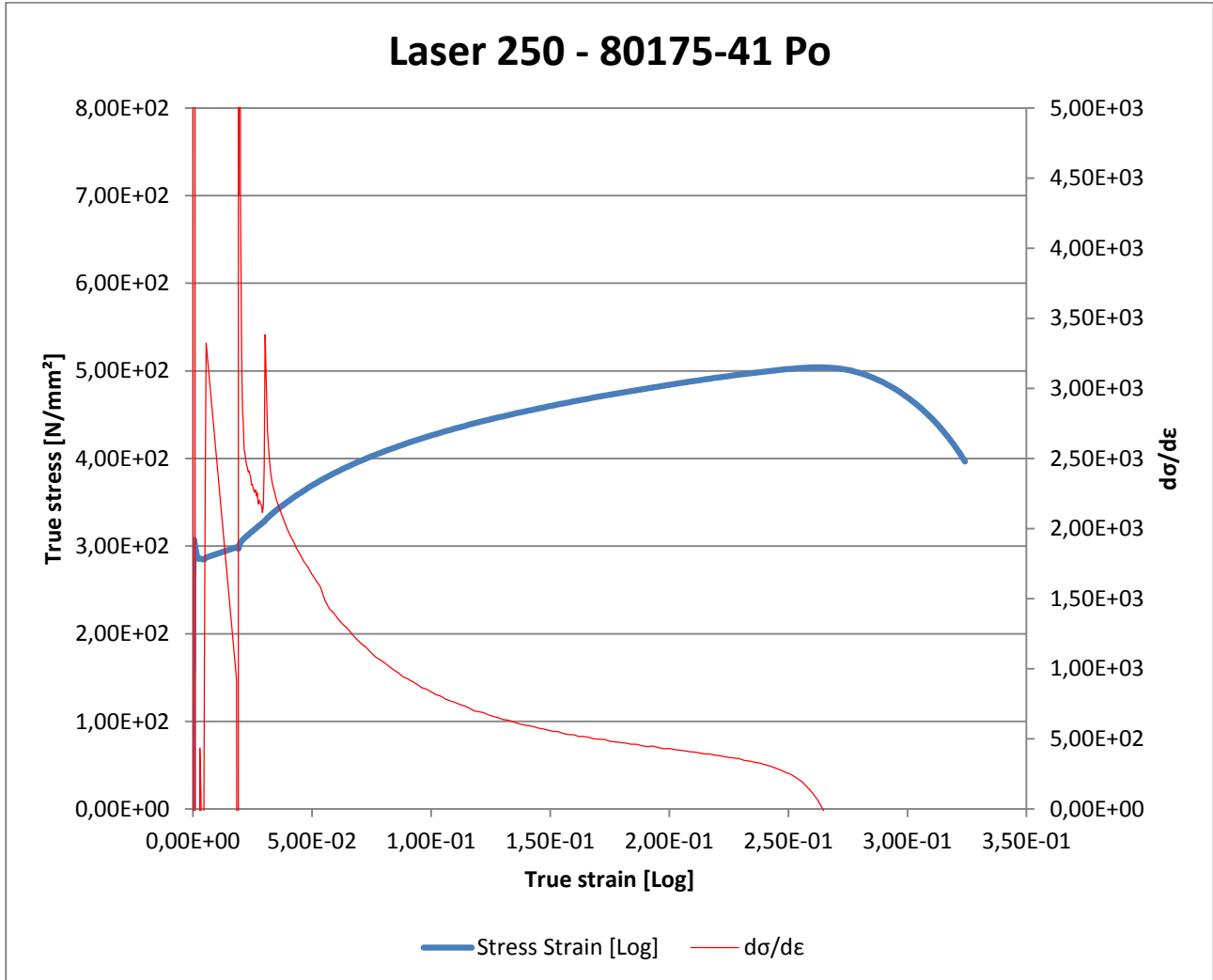


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Po

Taulukko 3. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Po

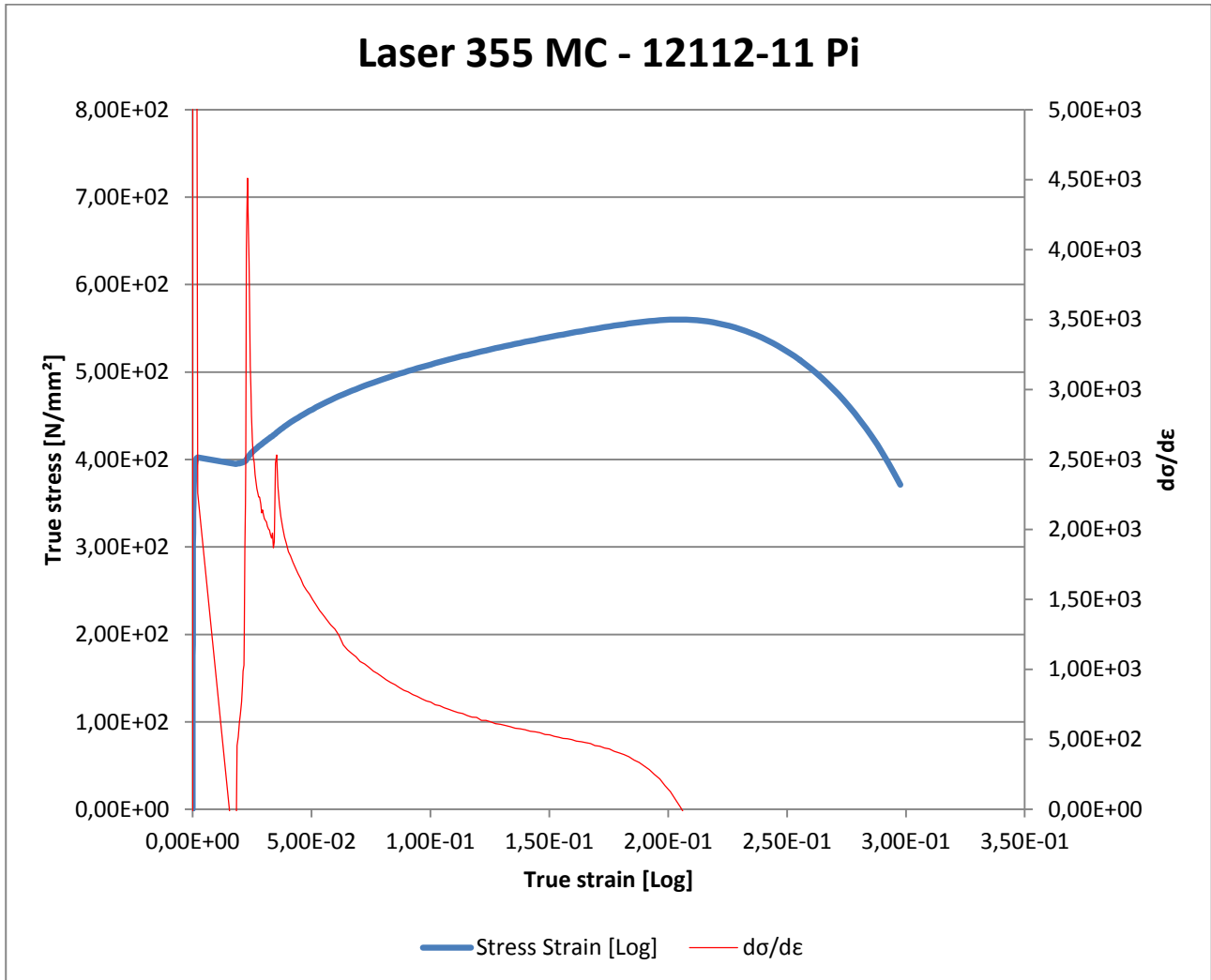


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Pi

Taulukko 4. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Pi

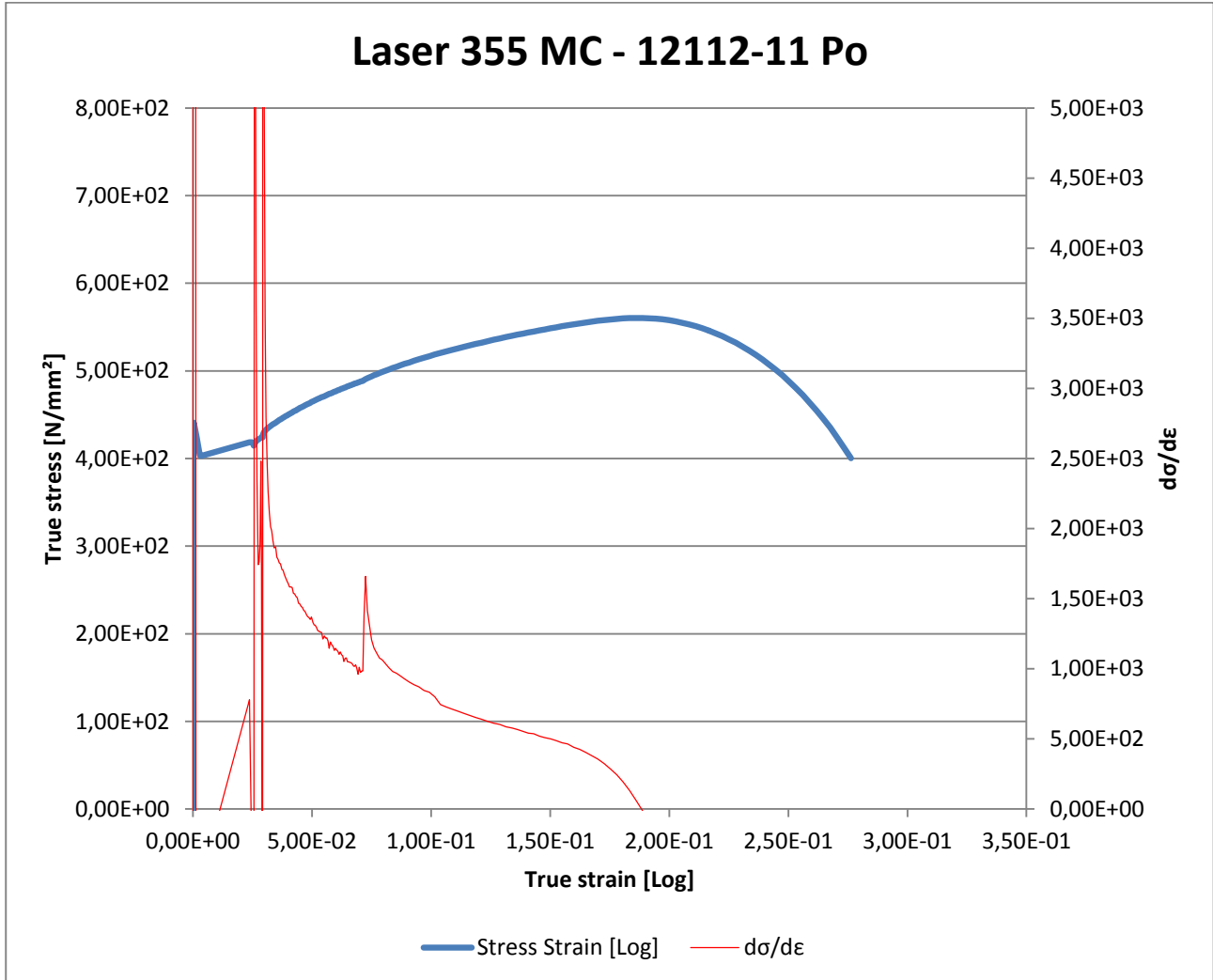


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Po

Taulukko 5. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Po

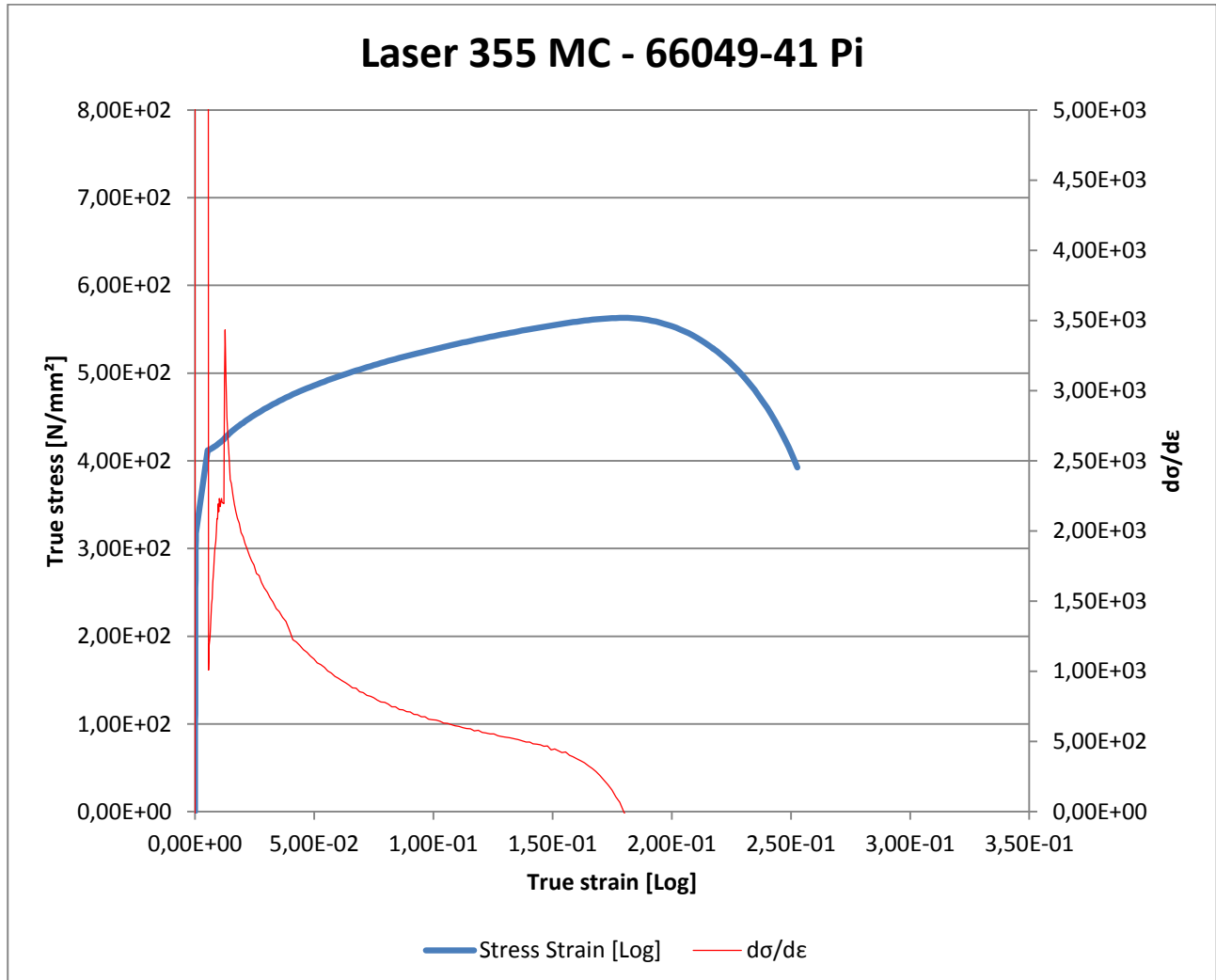


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Pi

Taulukko 6. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Pi

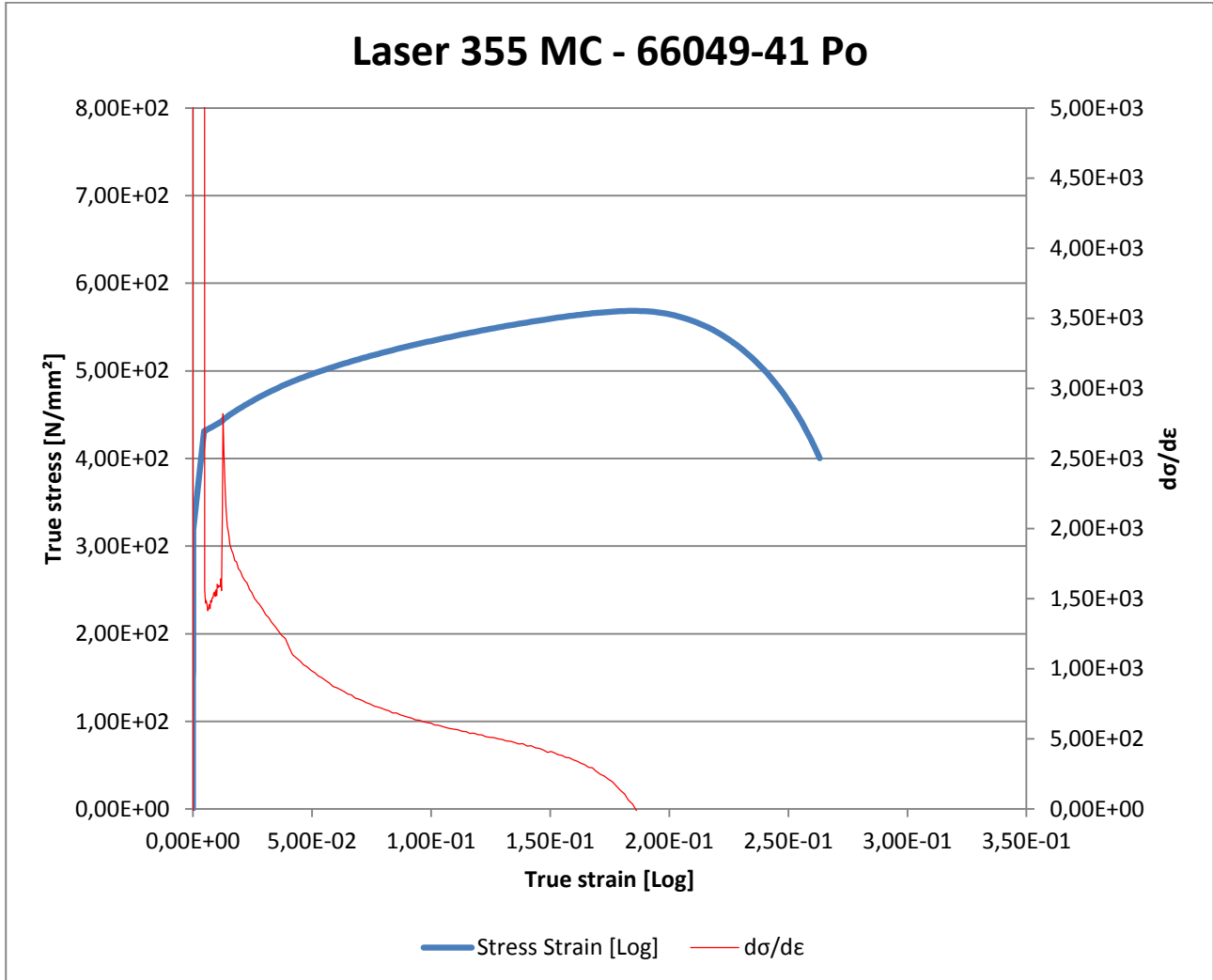


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Po

Taulukko 7. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Po

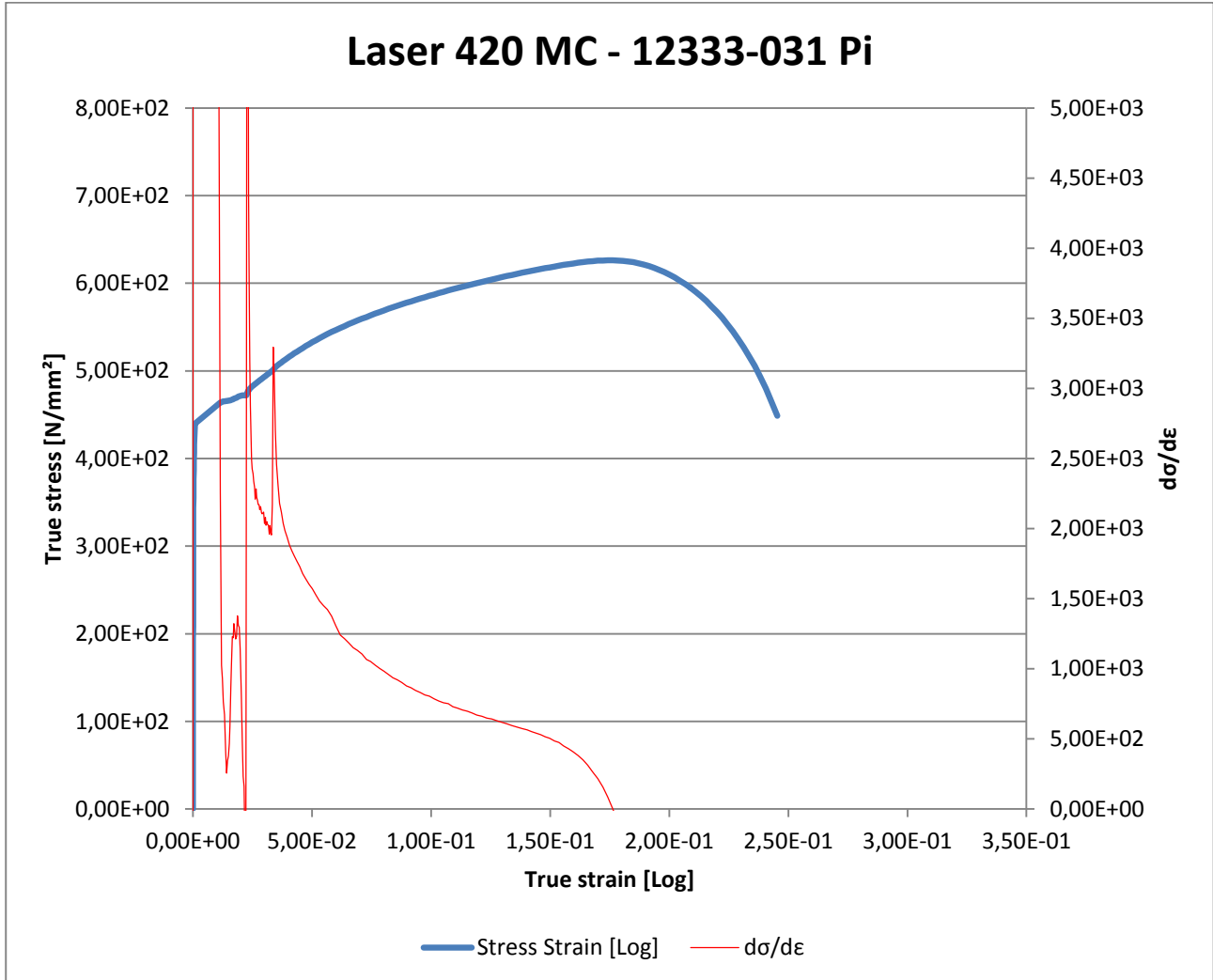


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Pi

Taulukko 8. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Pi

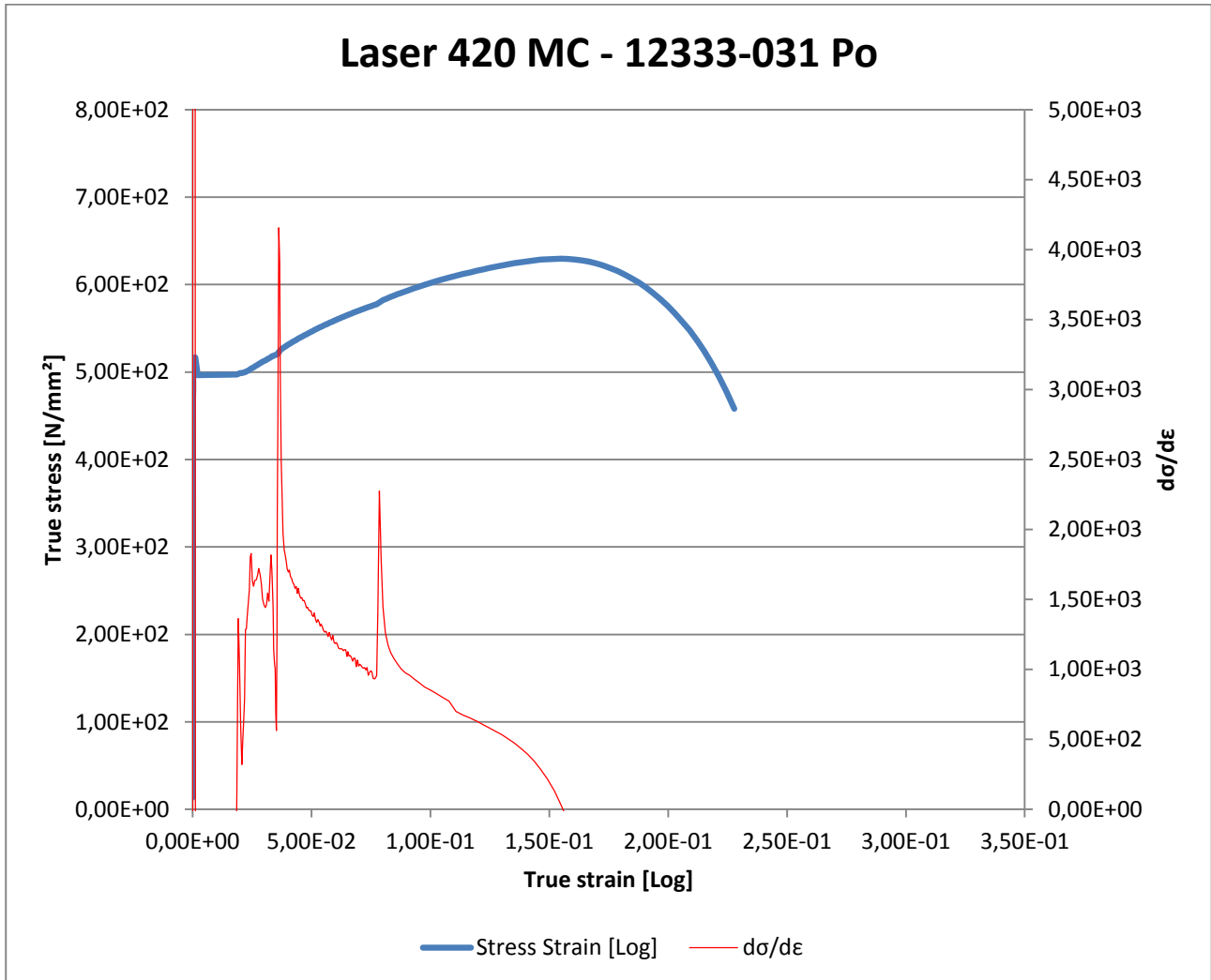


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Po

Taulukko 9. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Po

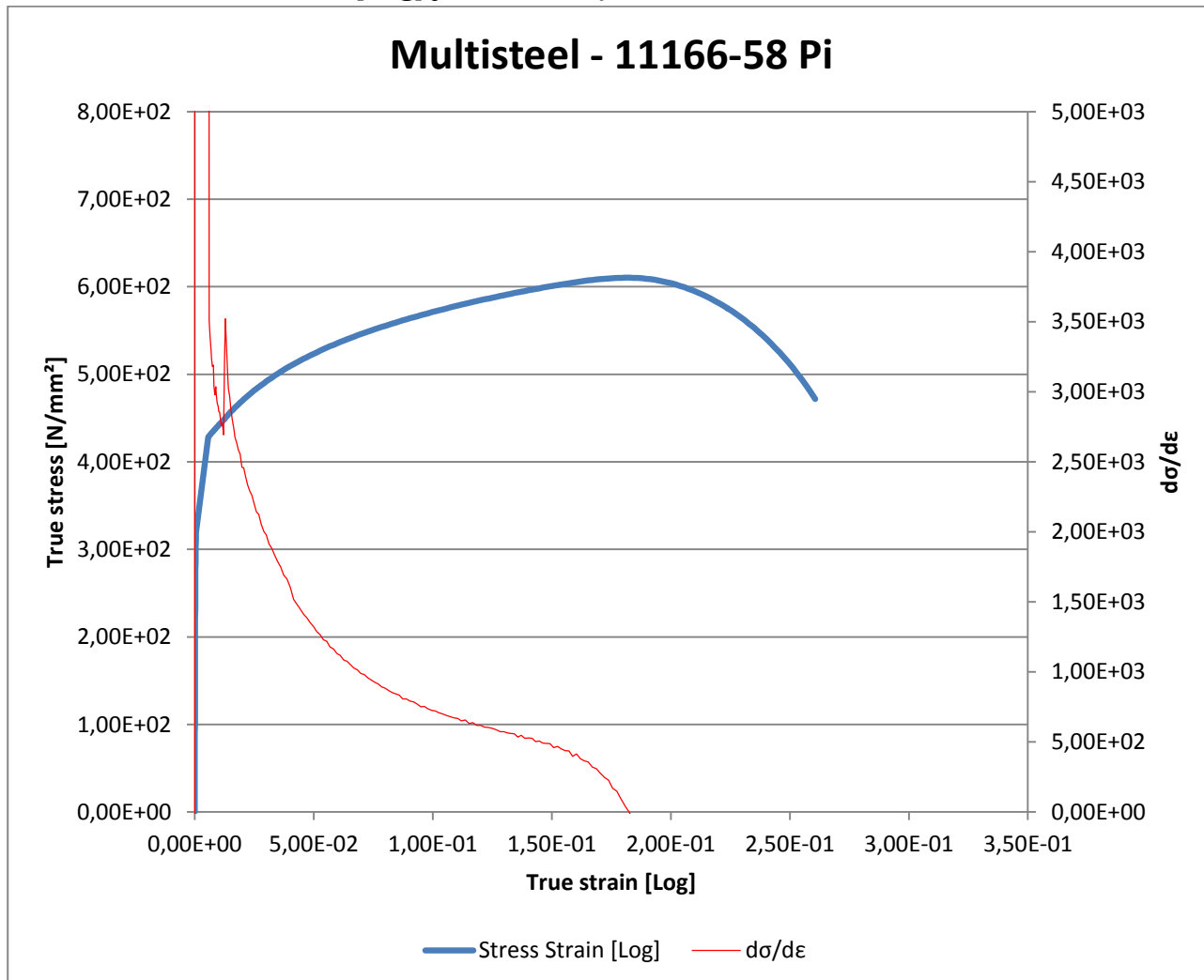


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Pi

Taulukko 10. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Pi

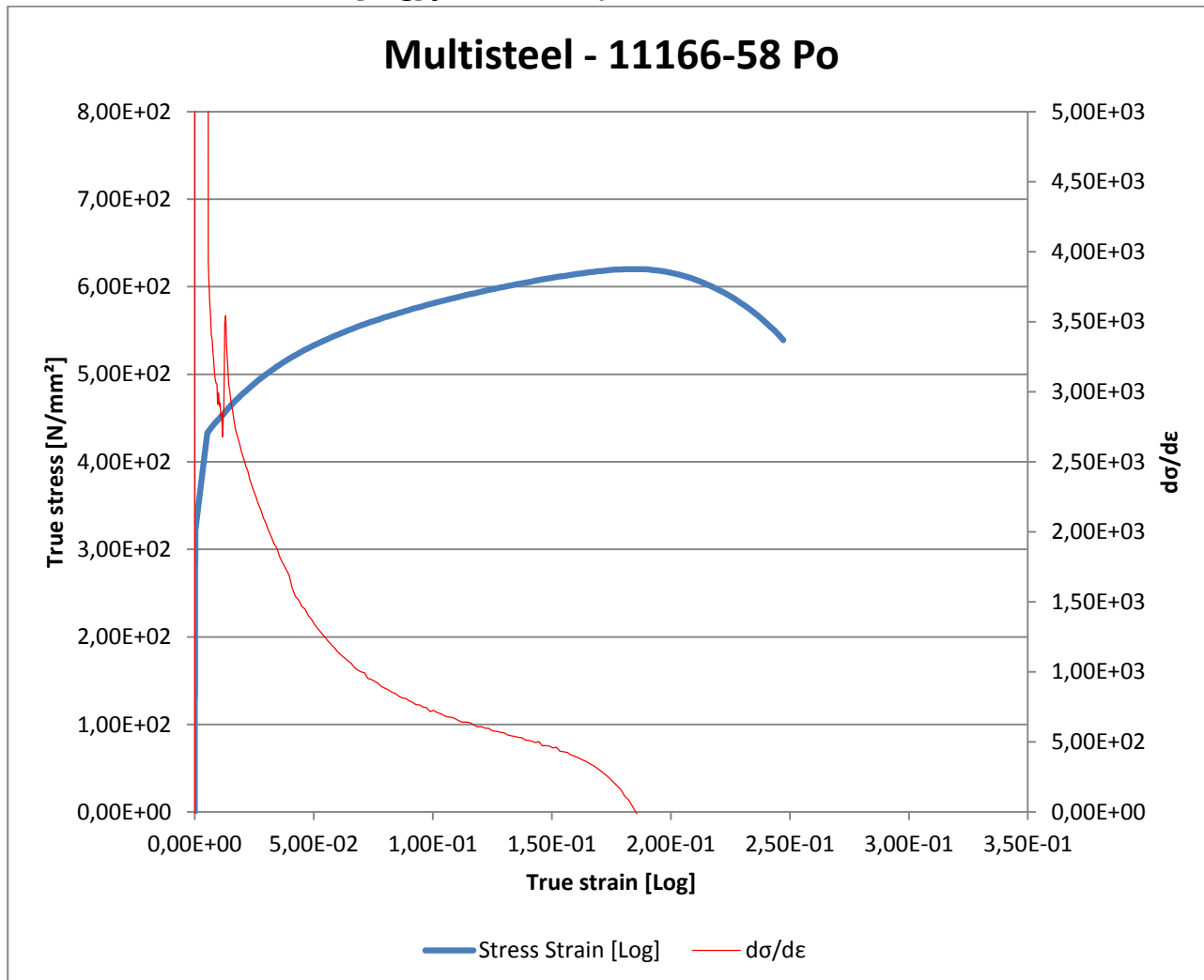


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Po

Taulukko 11. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Po

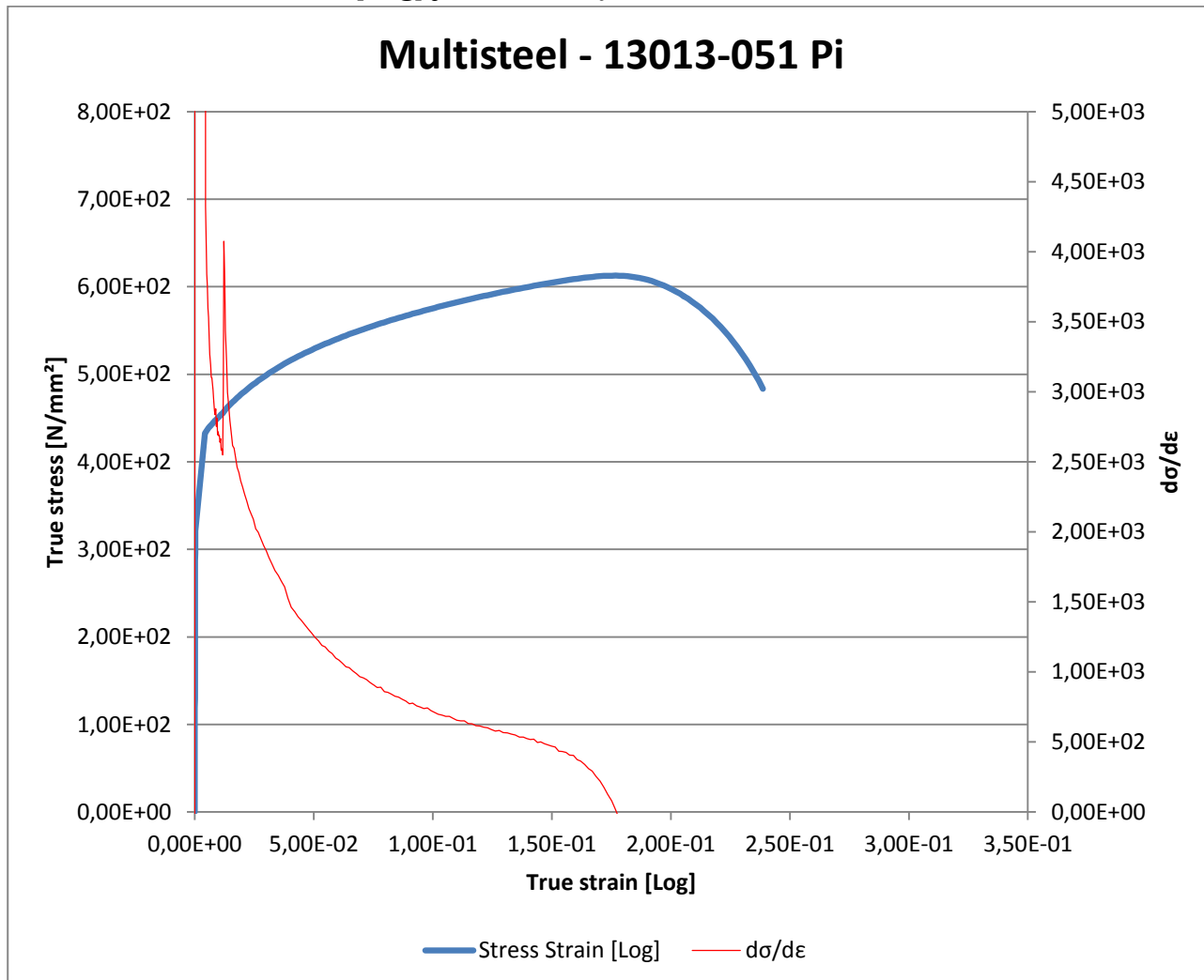


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Pi

Taulukko 12. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Pi

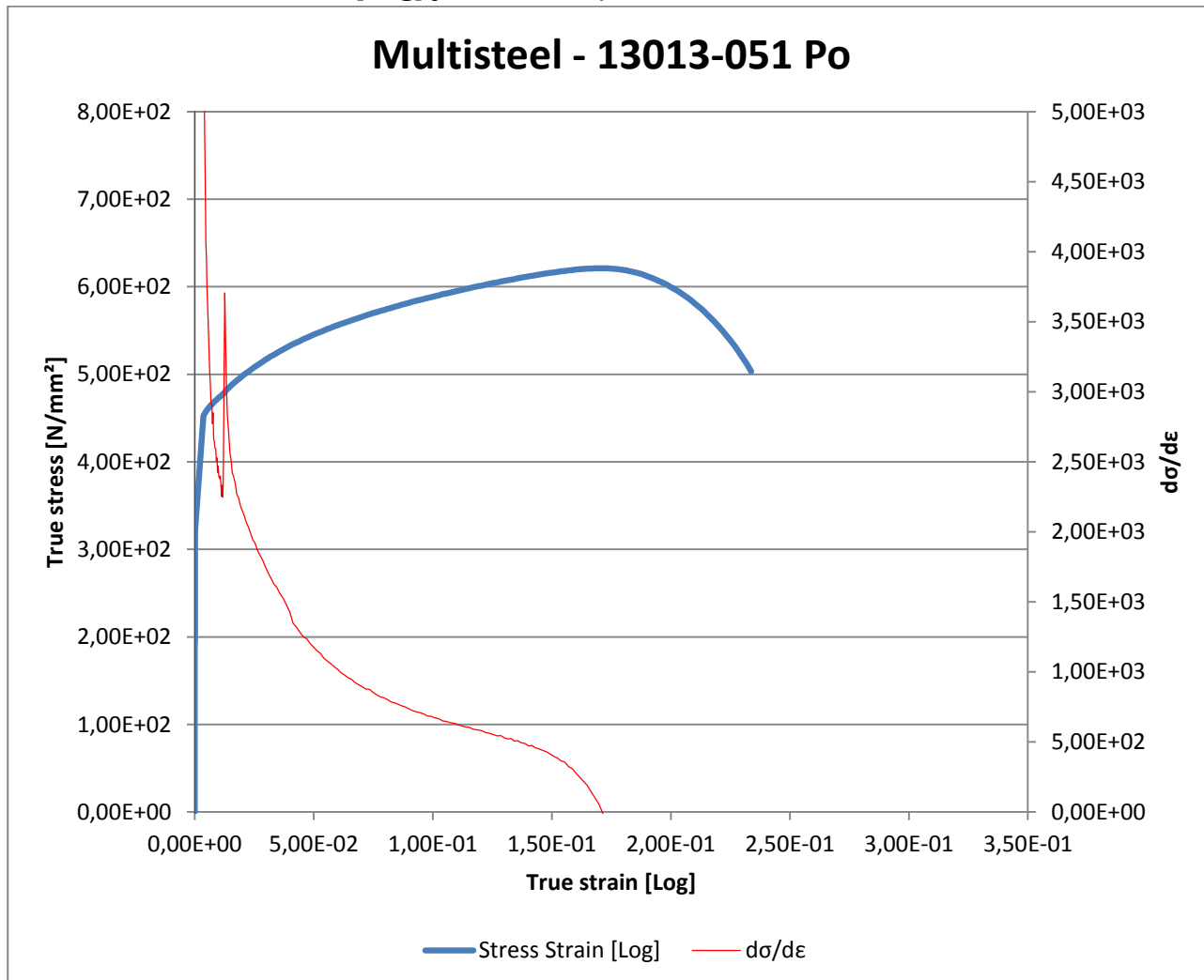


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Po

Taulukko 13. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Po

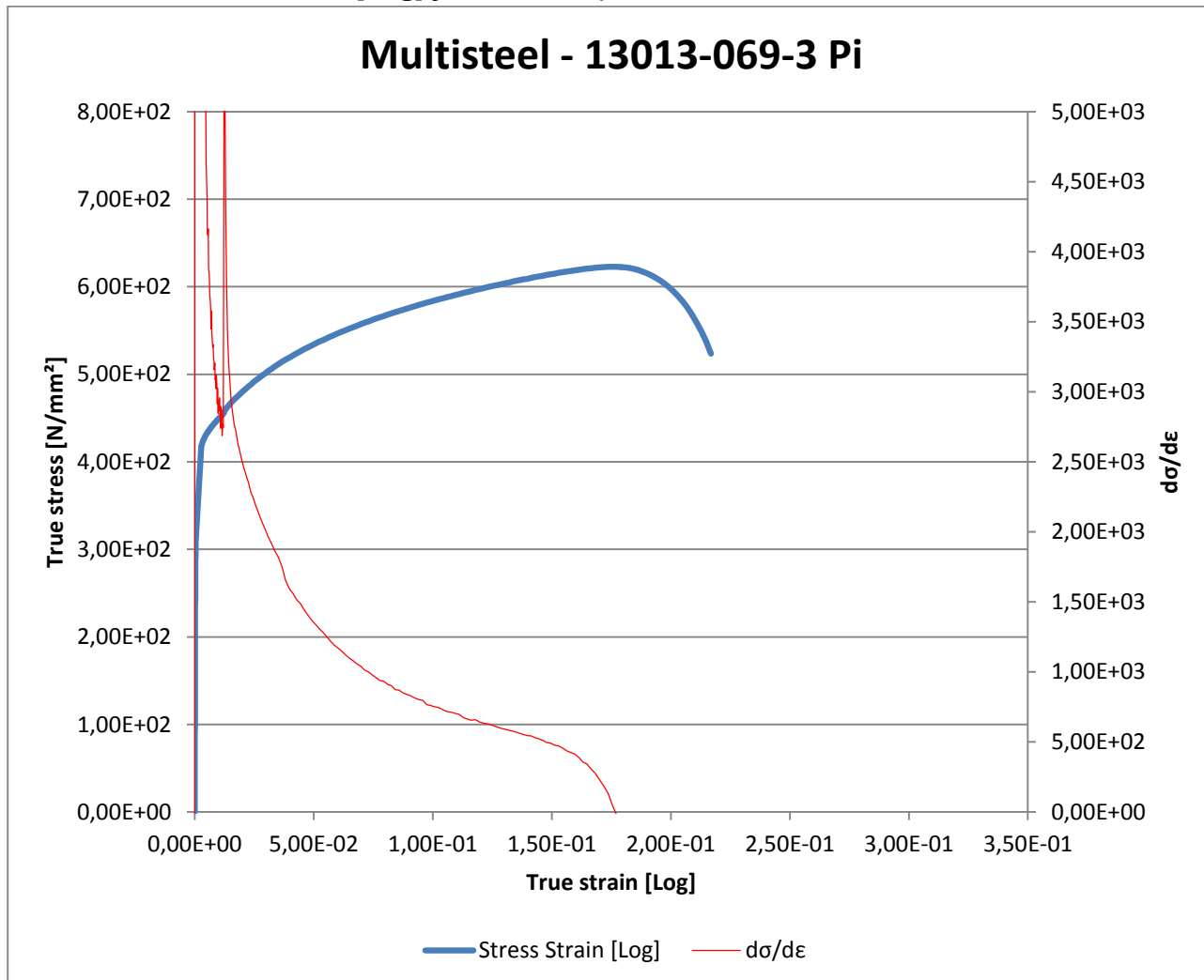


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Pi

Taulukko 14. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Pi

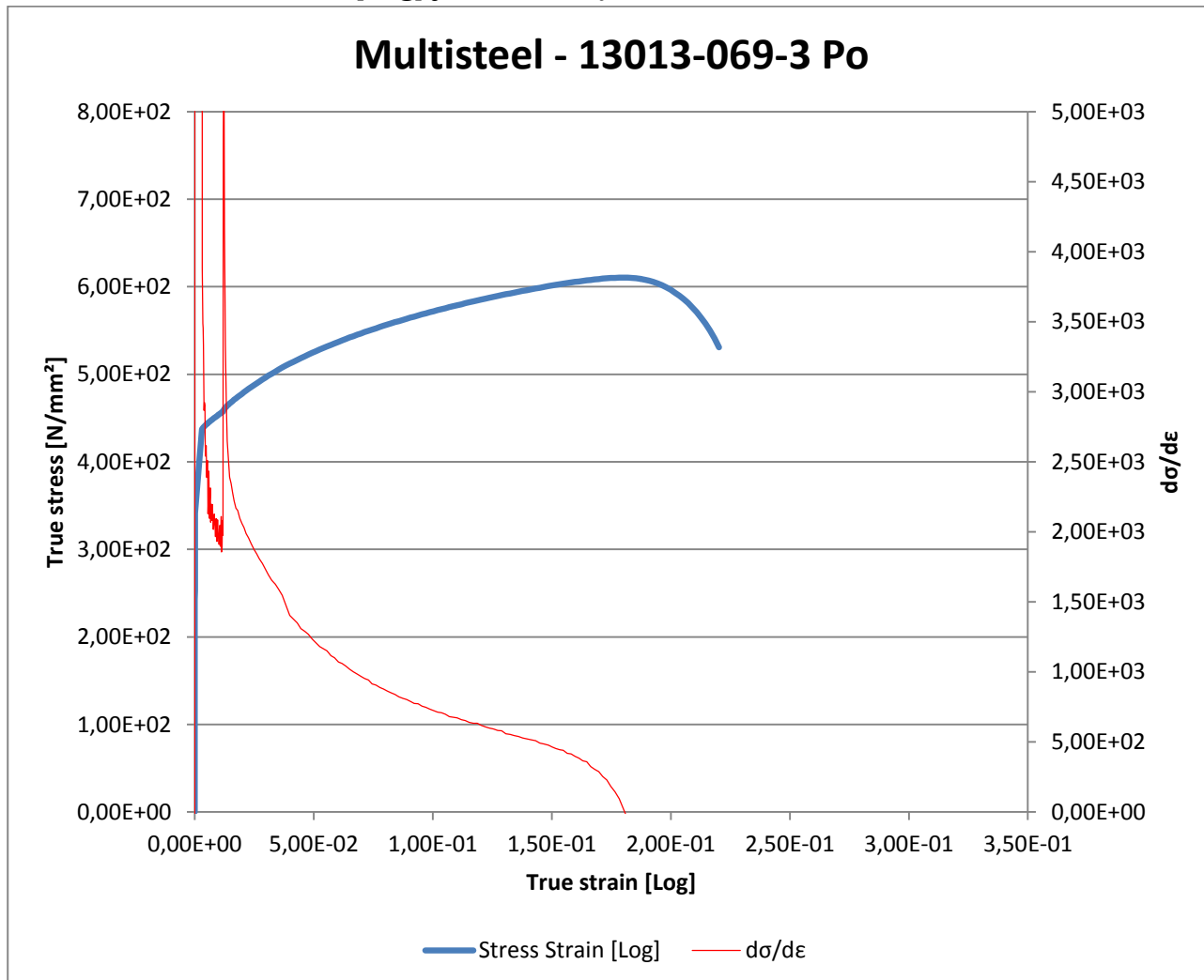


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Po

Taulukko 15. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Po

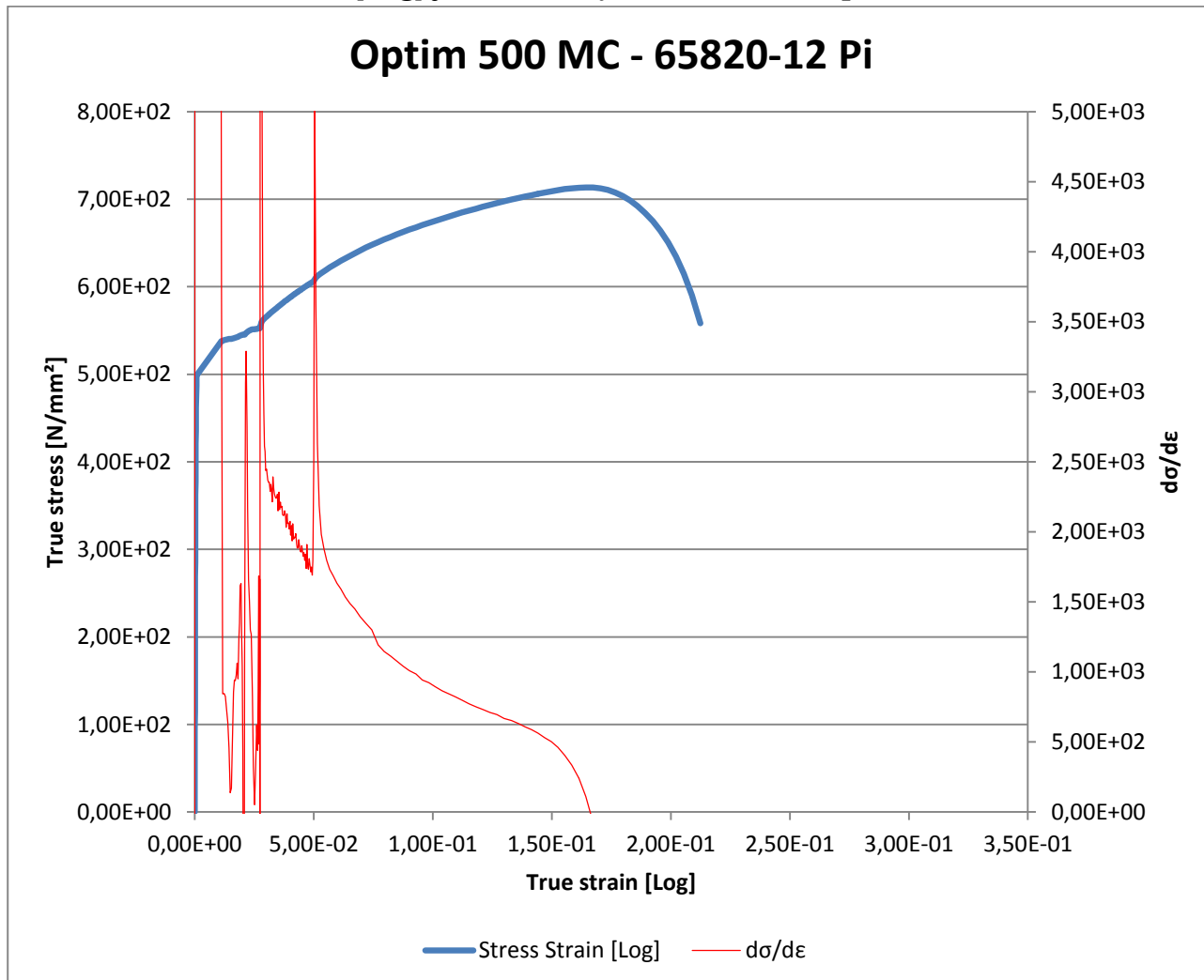


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Pi

Taulukko 16. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Pi

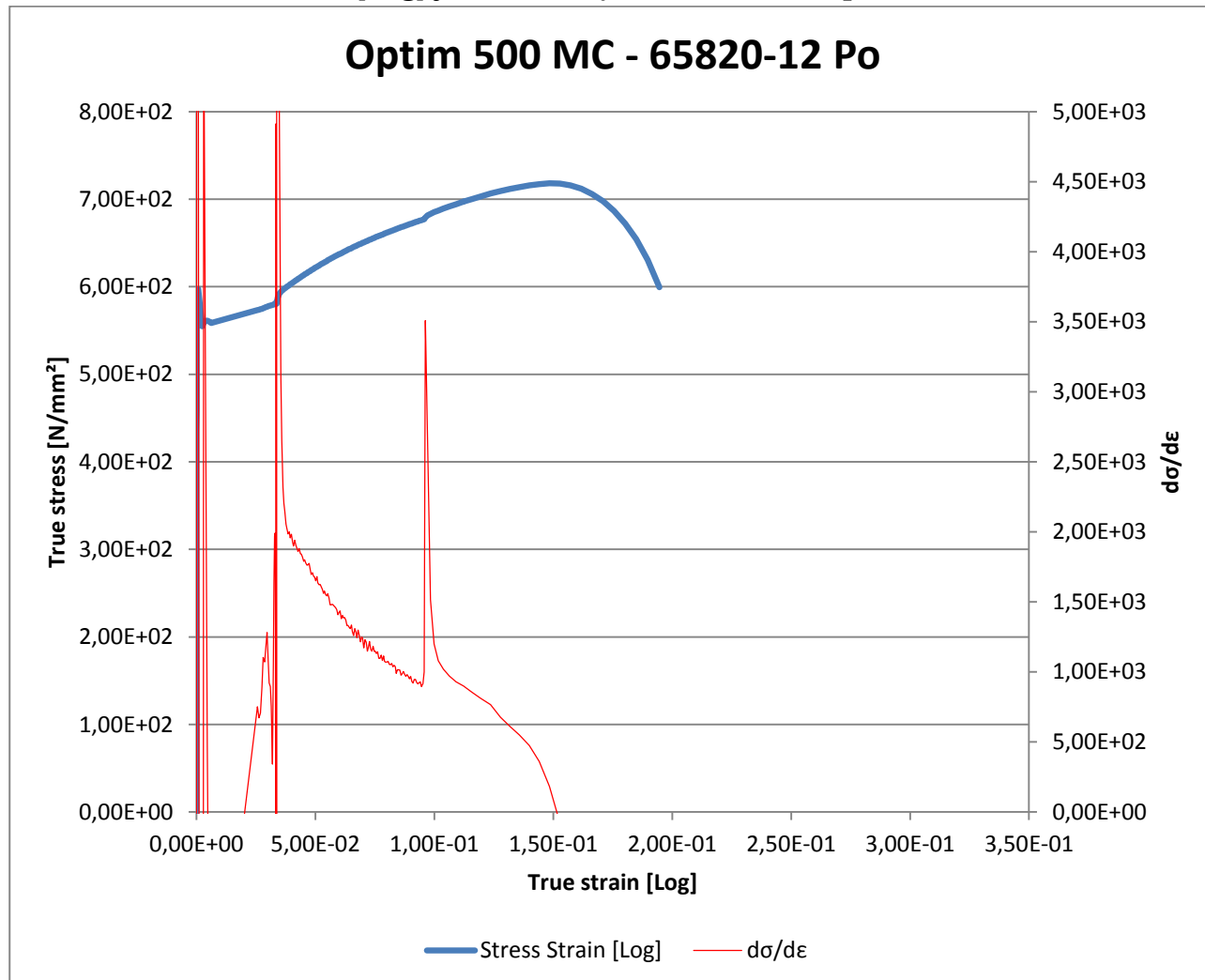


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Po

Taulukko 17. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Po

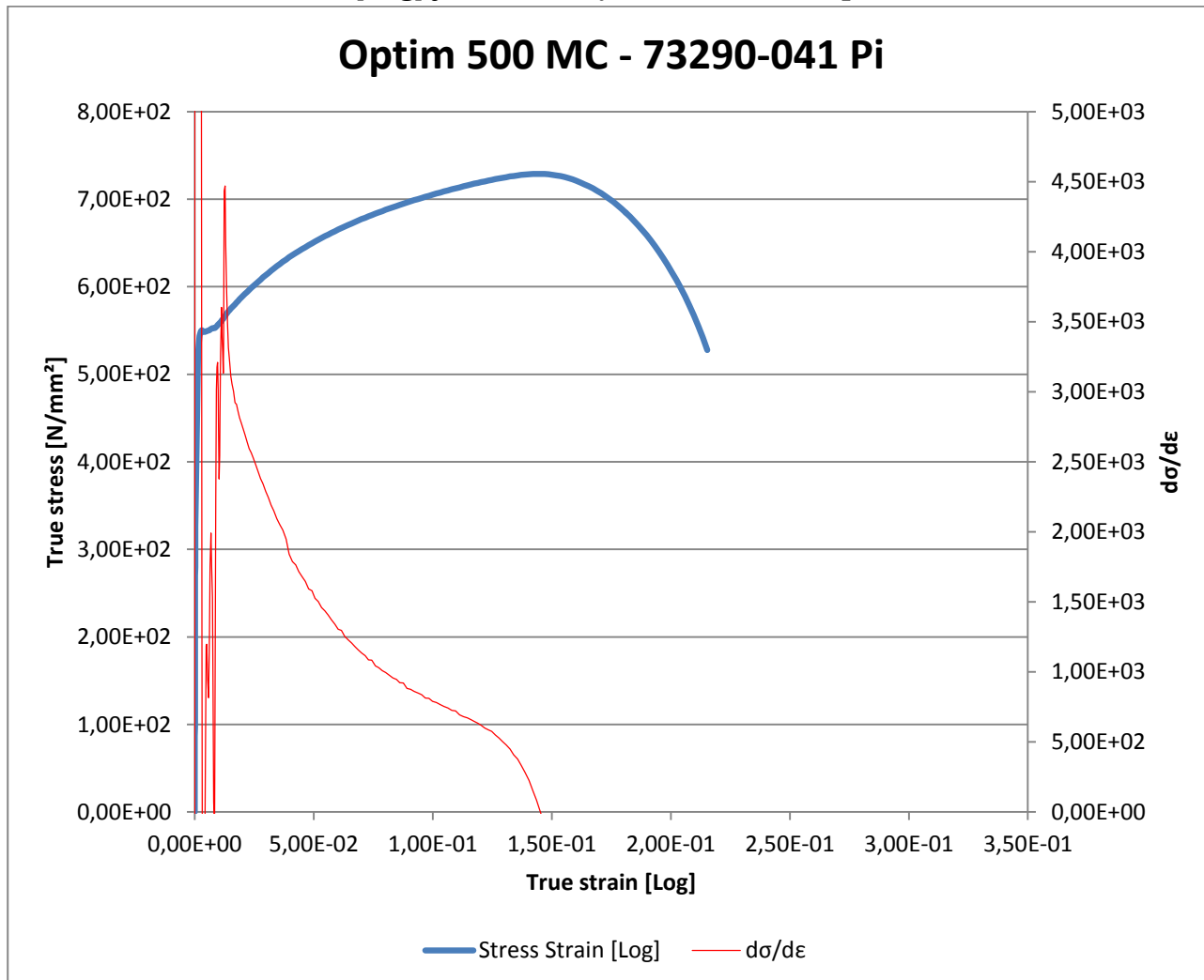


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Pi

Taulukko 18. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Pi

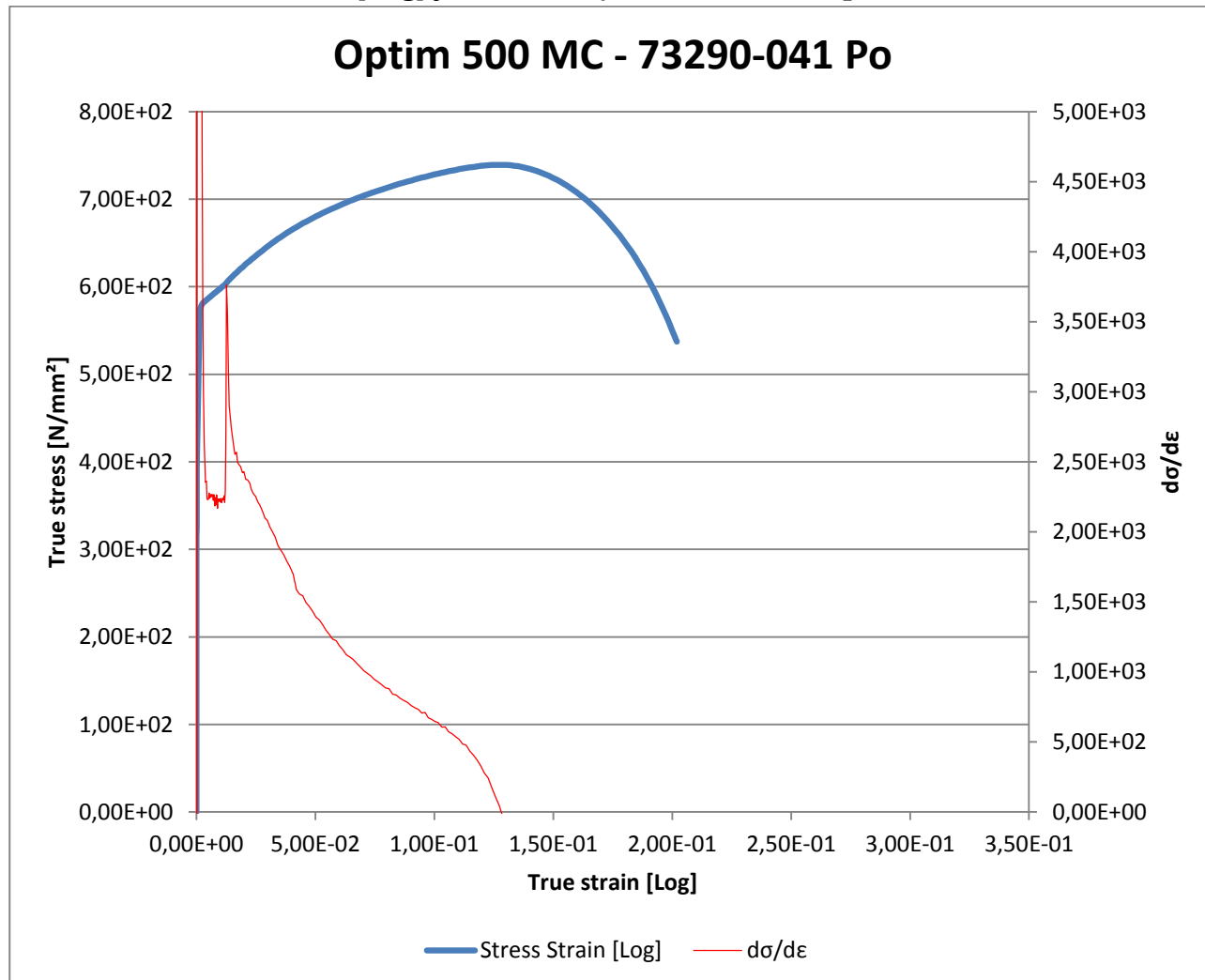


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Po

Taulukko 19. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Po

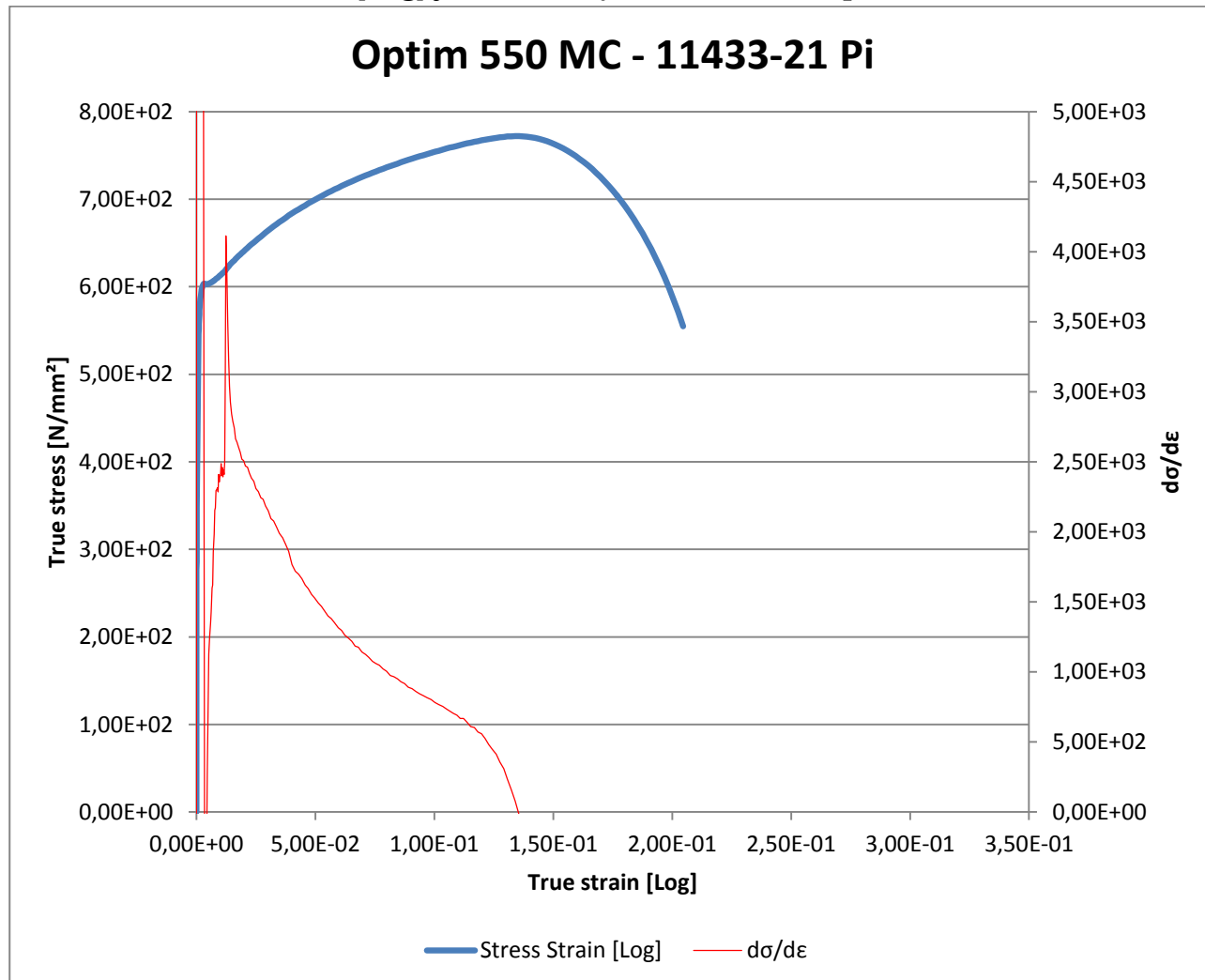


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Pi

Taulukko 20. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Pi

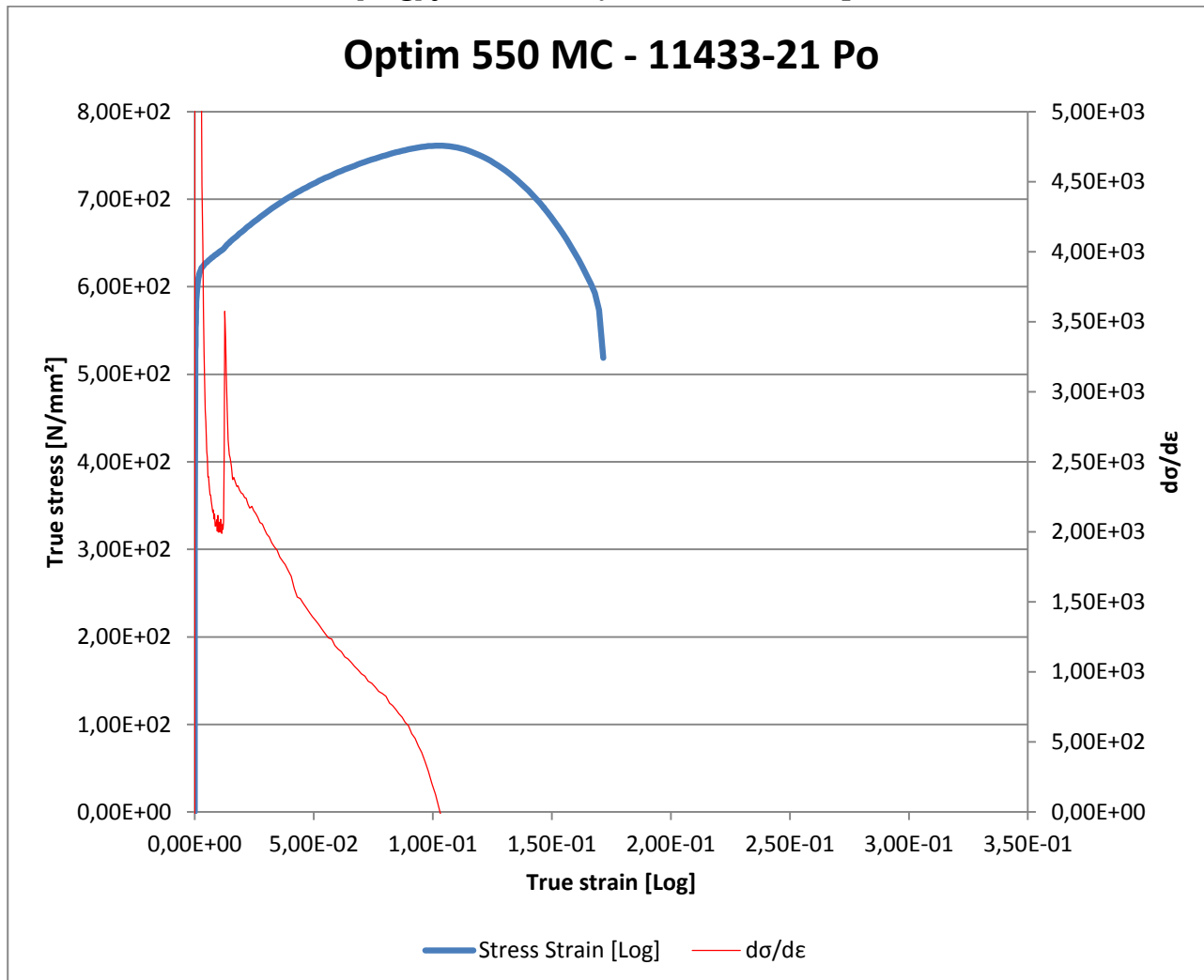


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Po

Taulukko 21. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Po

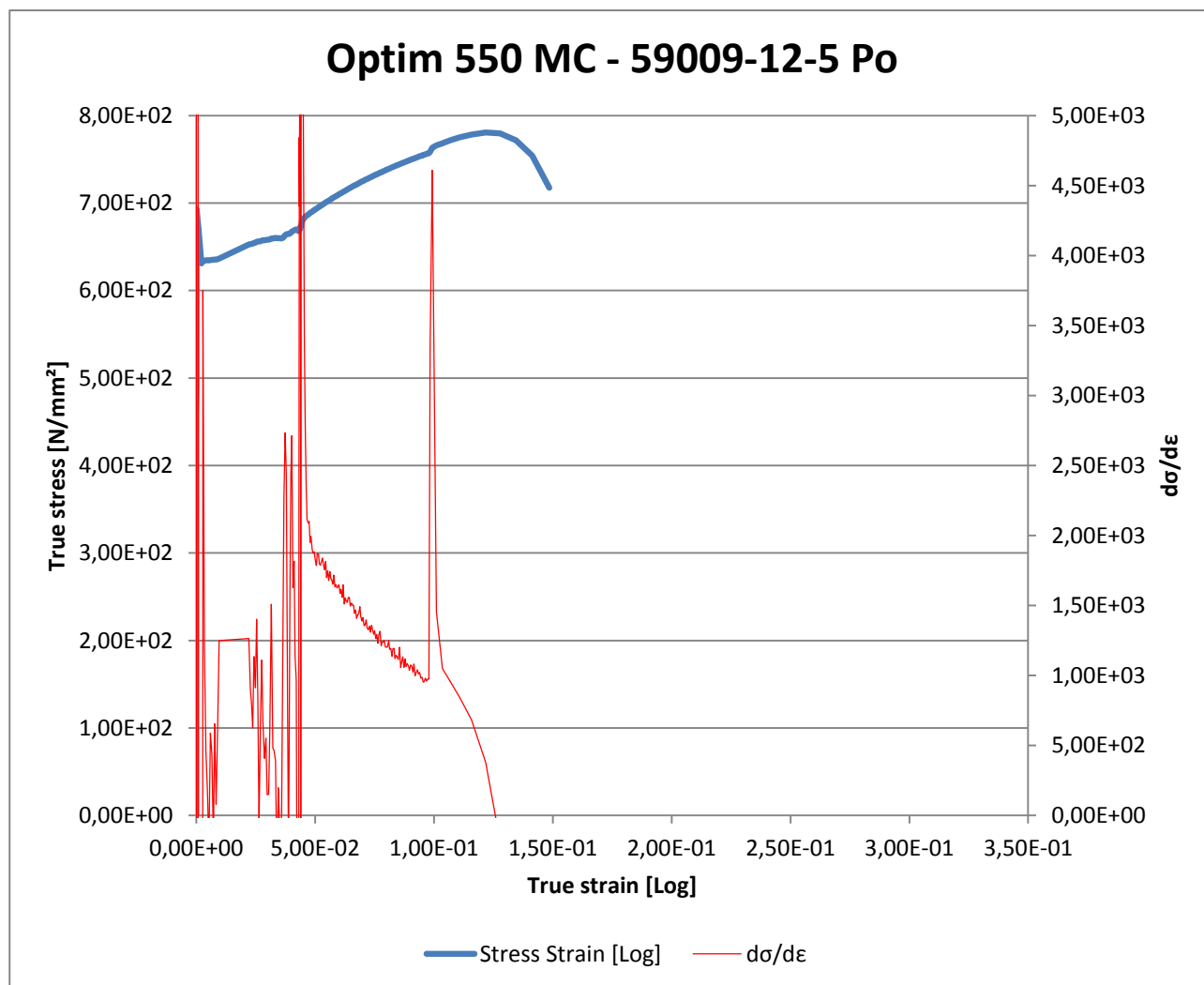


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

Taulukko 22. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

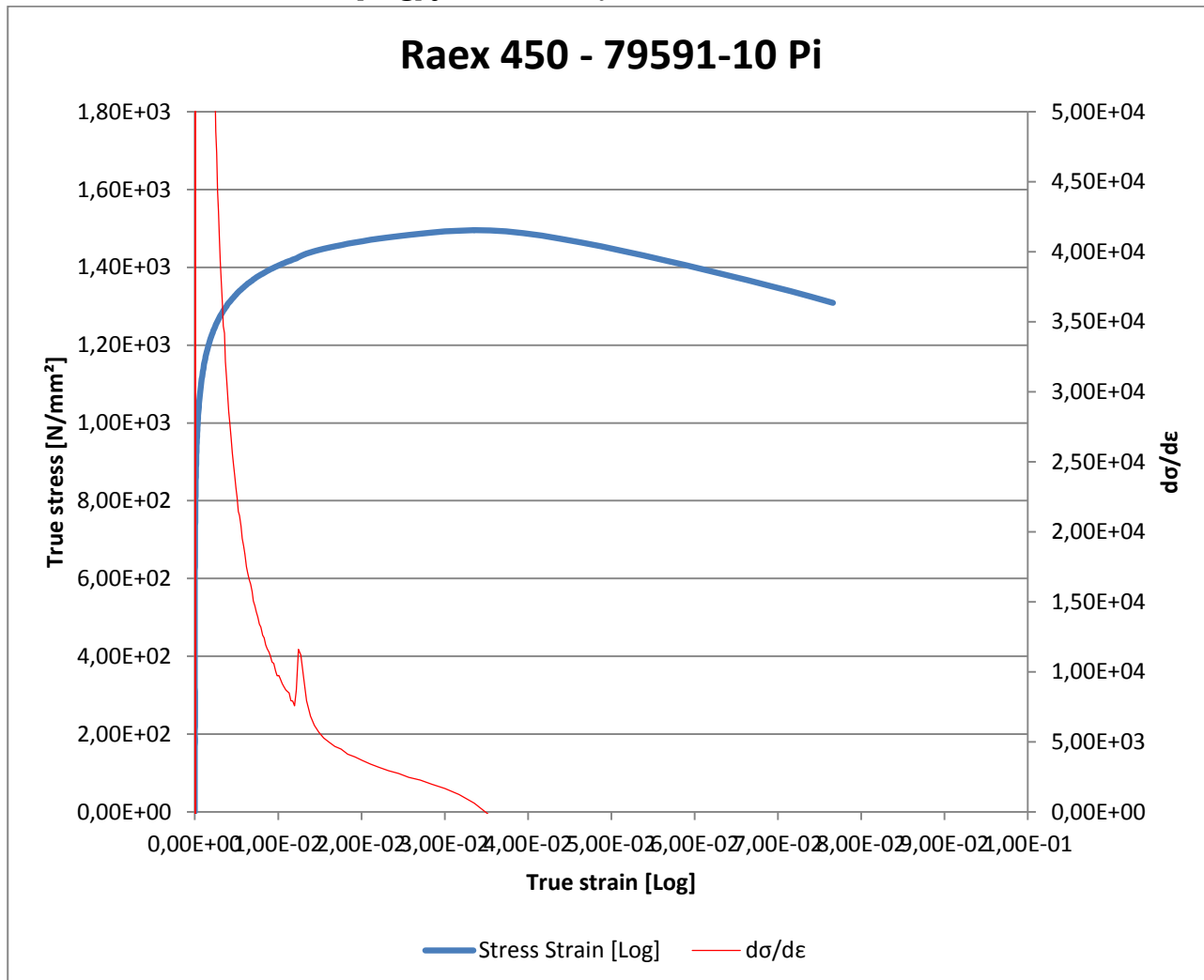


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Pi

Taulukko 23. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Pi

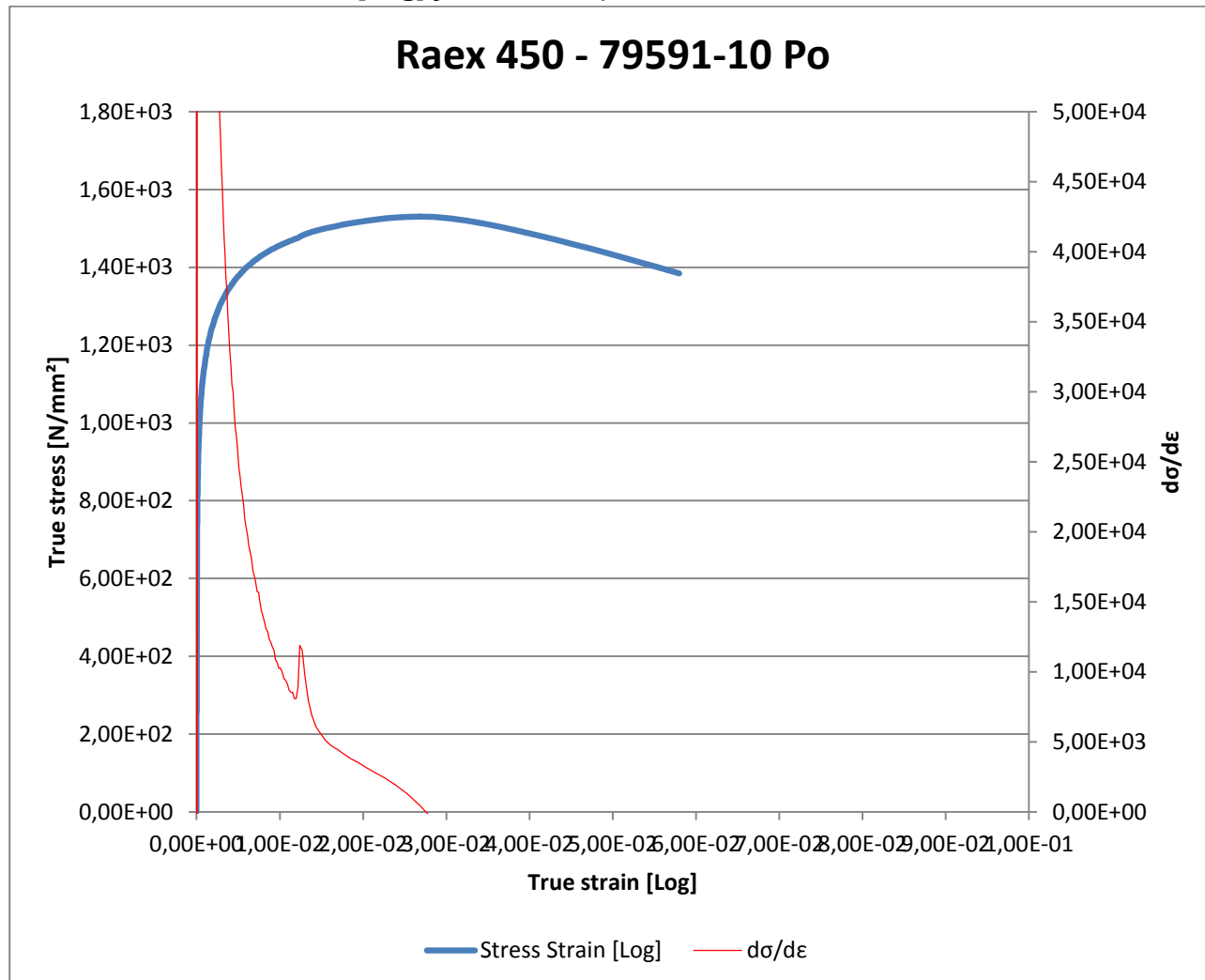


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Po

Taulukko 24. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Po

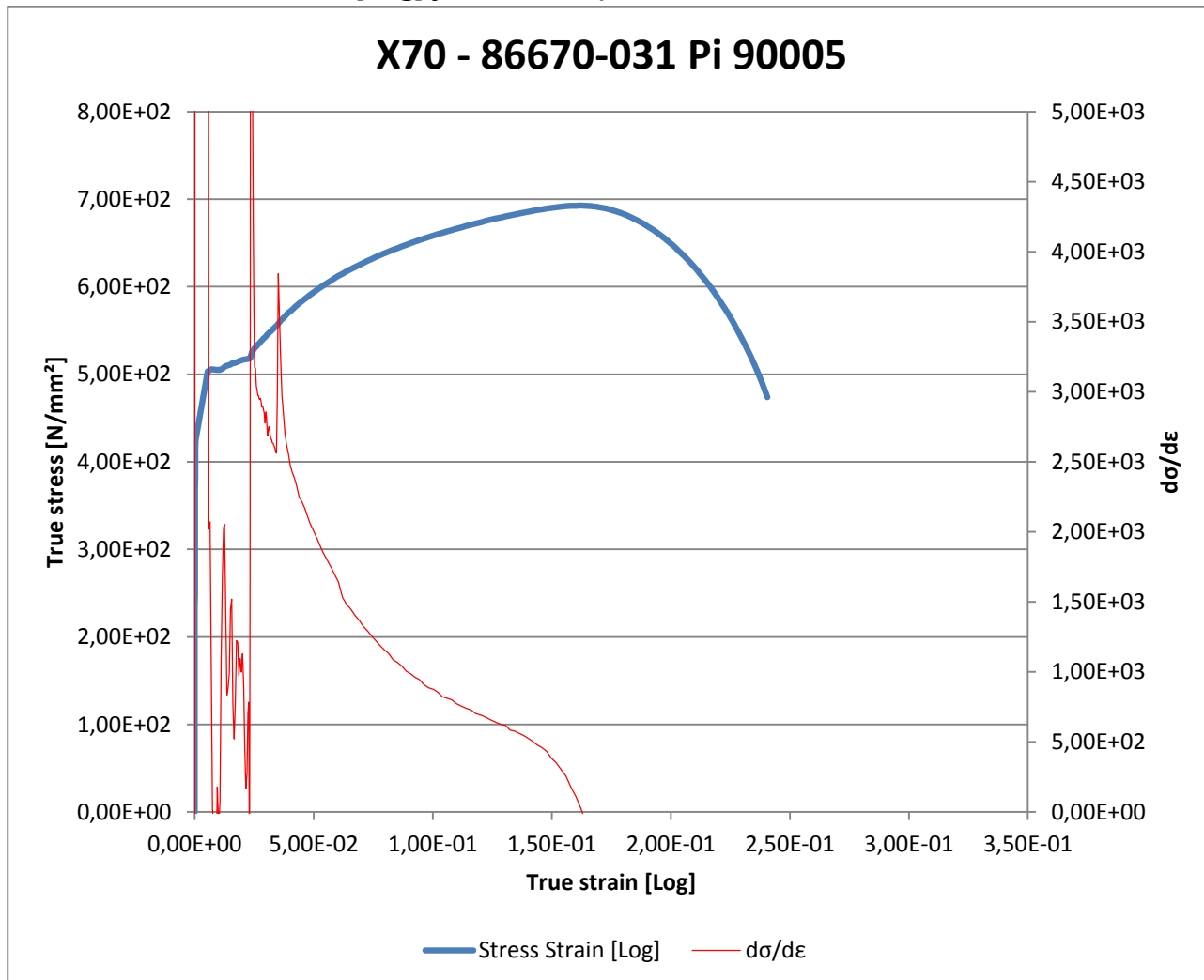


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 86670-031 Pi 90005

Taulukko 25. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Pi 90005

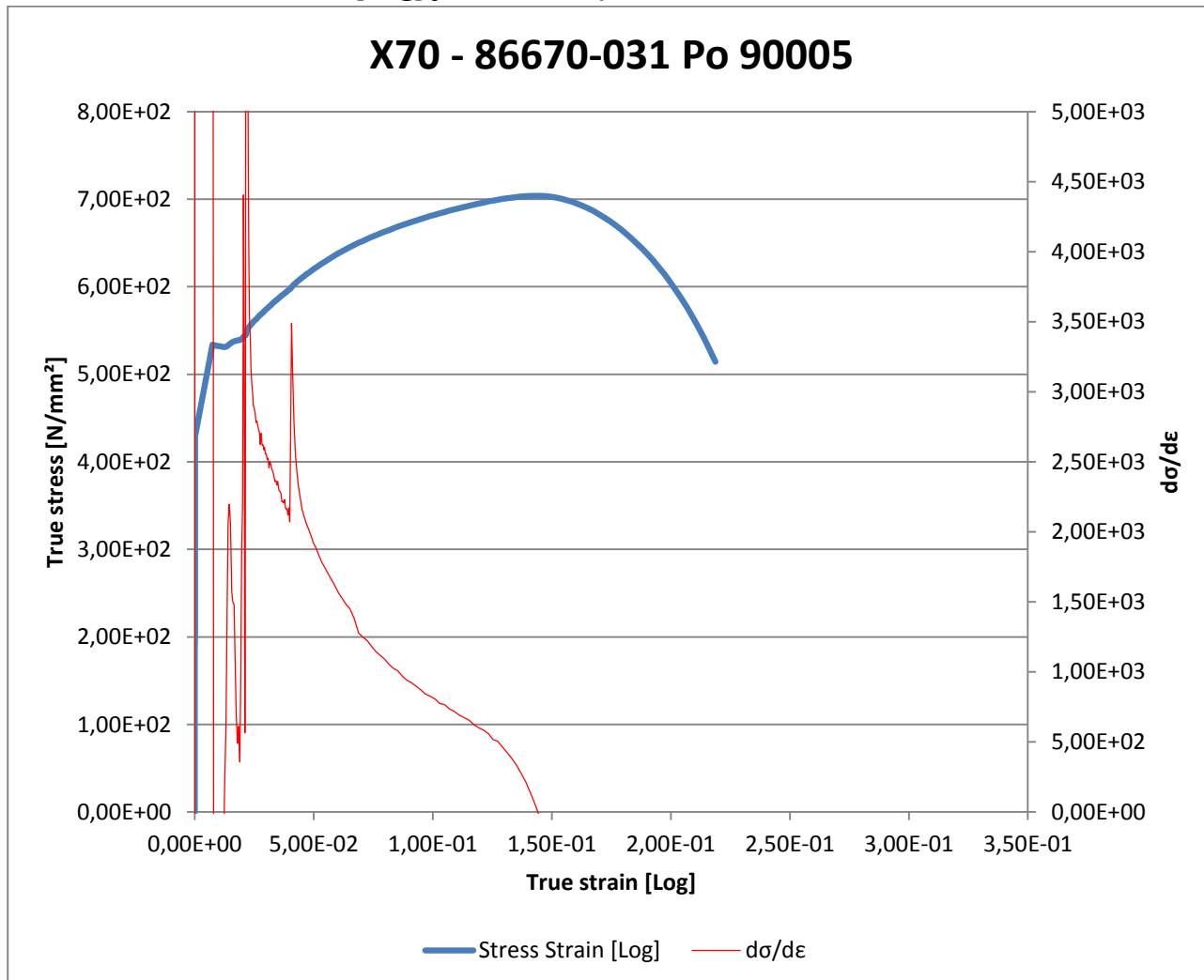


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 86670-031 Po 90005

Taulukko 26. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Po 90005

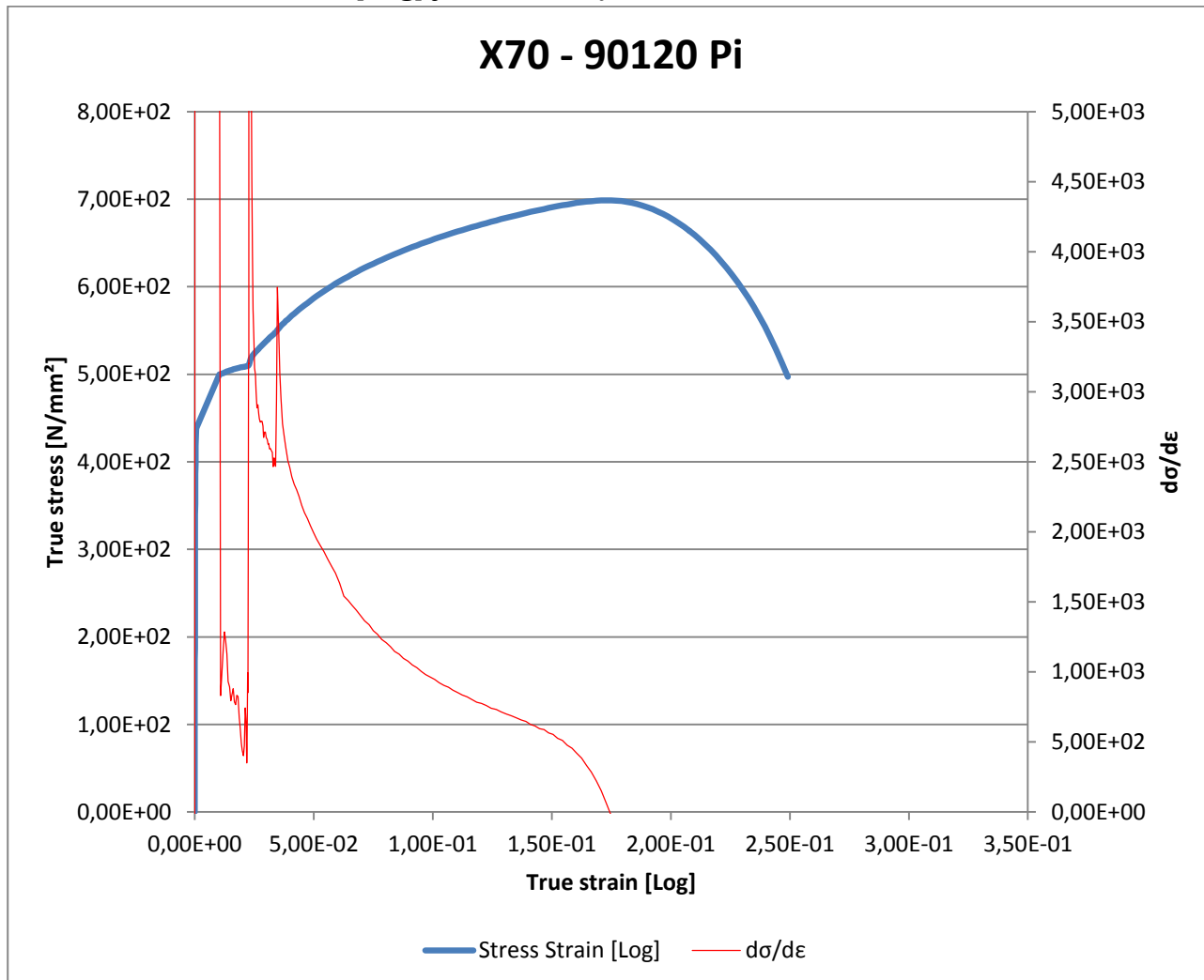


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 90120 Pi

Taulukko 27. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille X70 - 90120 Pi

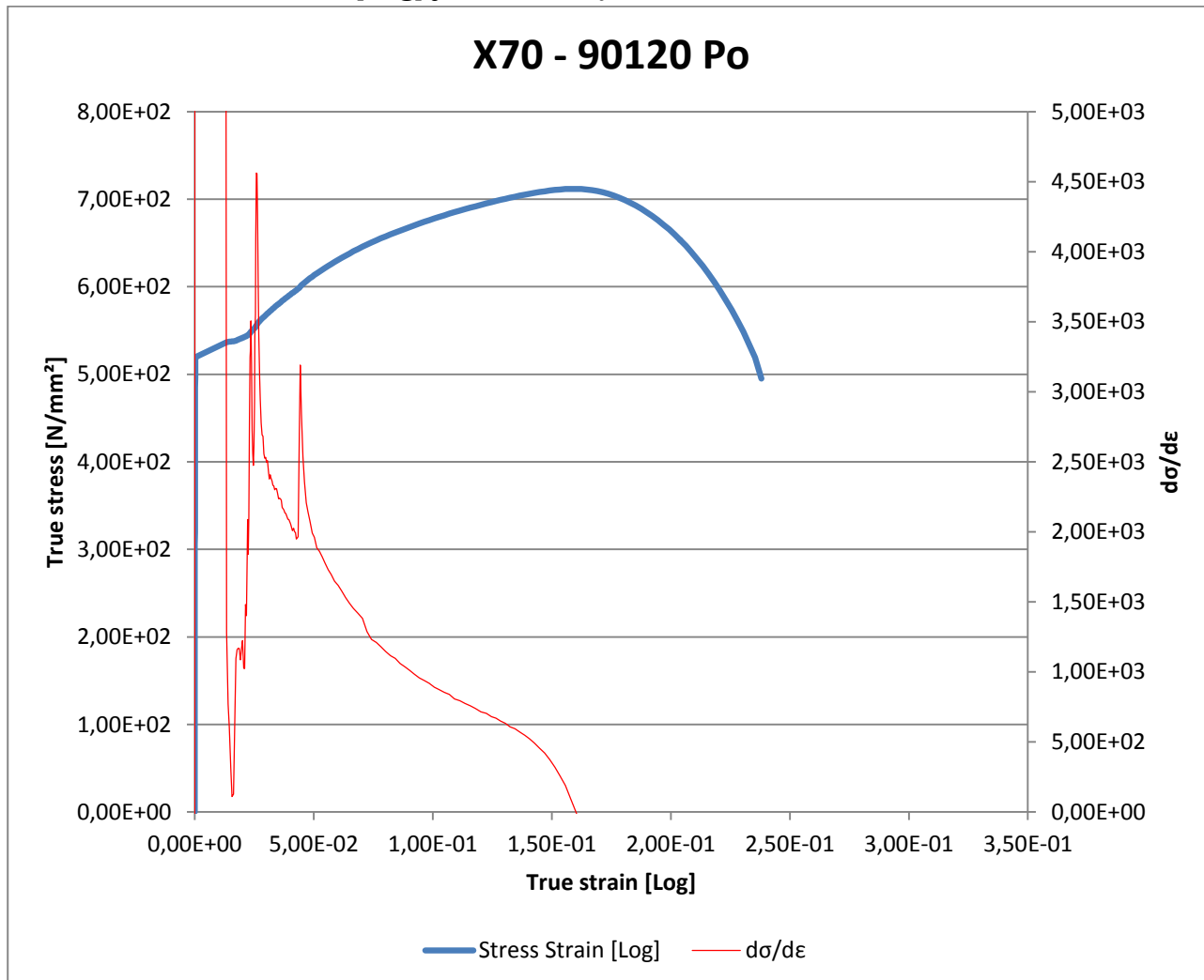


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 90120 Po

Taulukko 28. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille X70 - 90120 Po

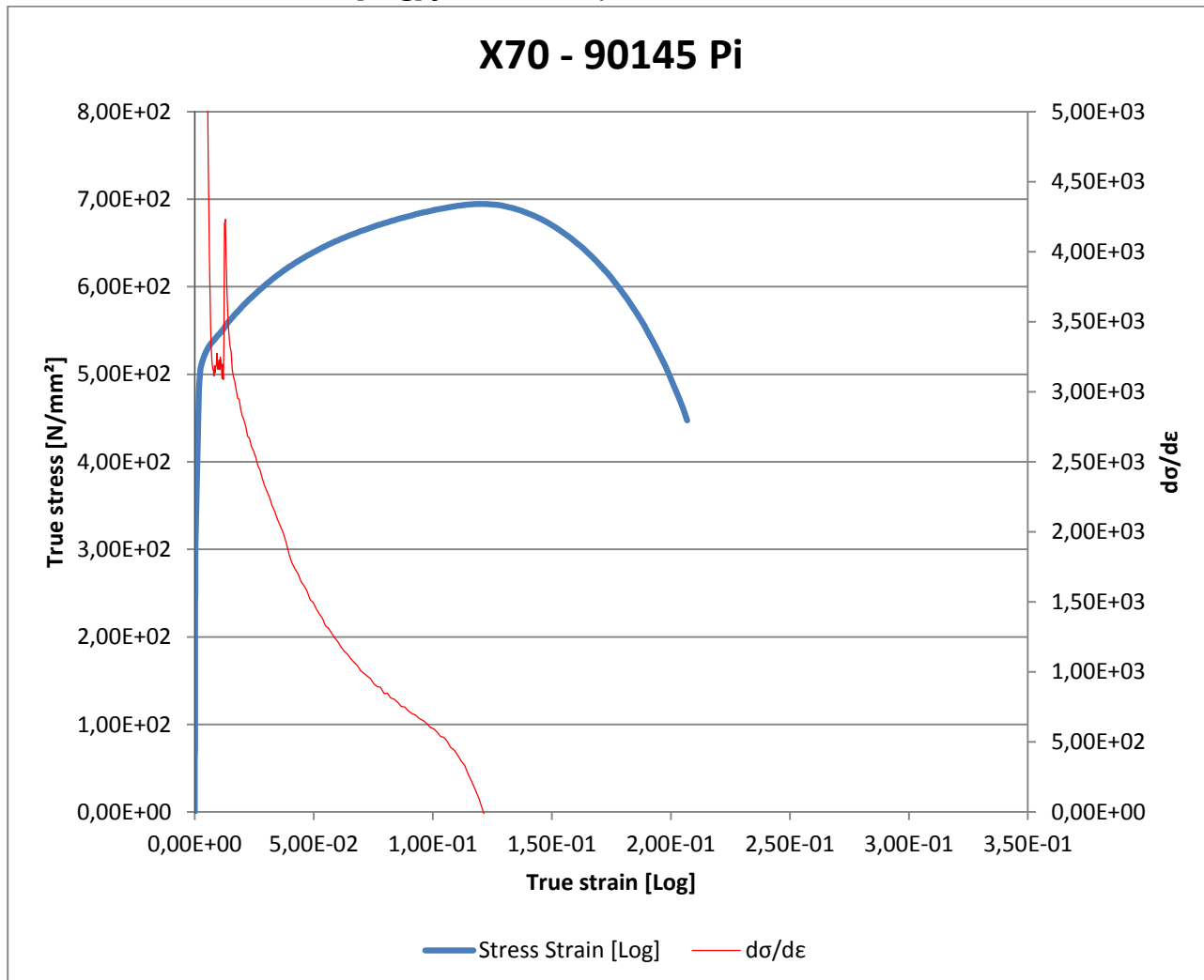


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 90145 Pi

Taulukko 29. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille X70 - 90145 Pi

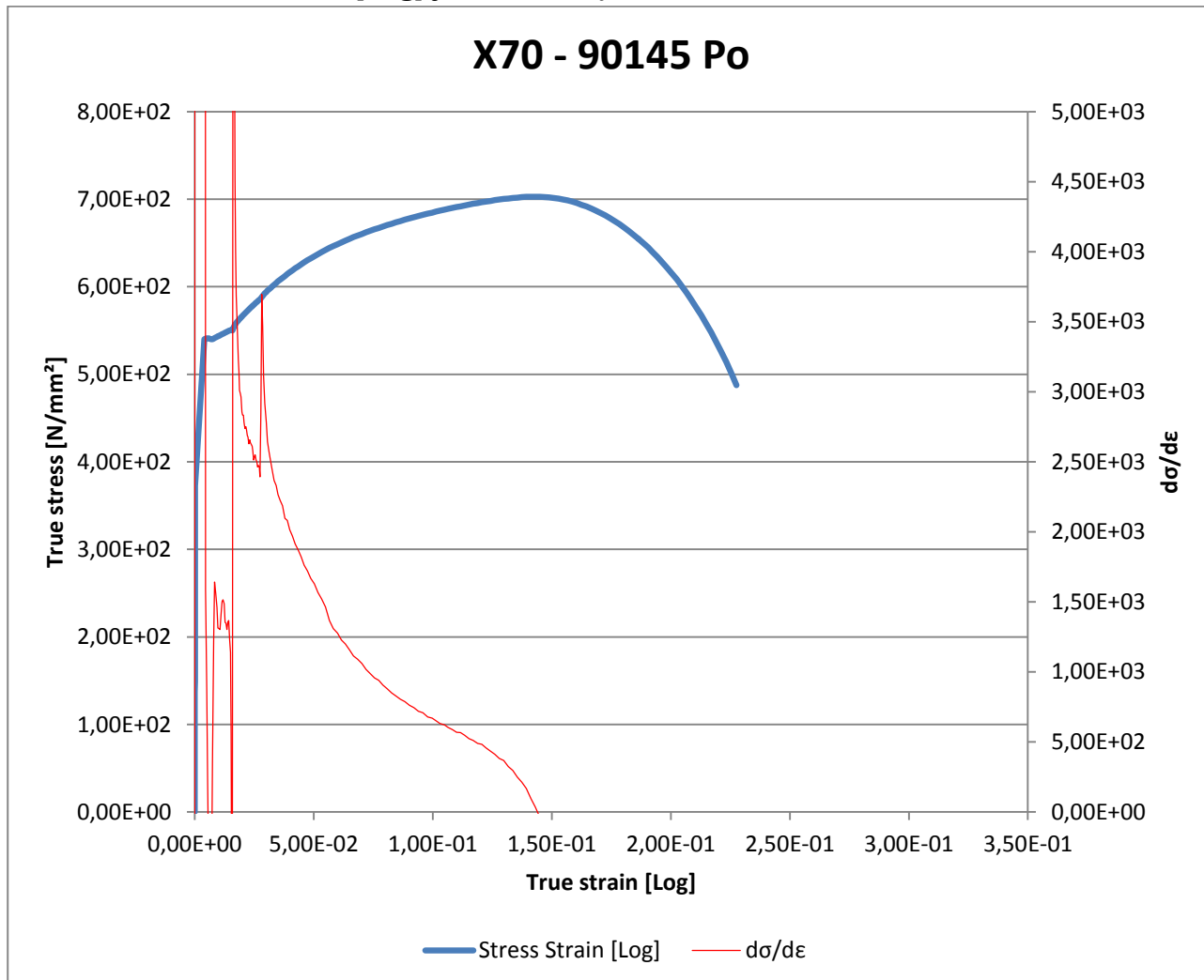


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Zwick & Roell vetokoneella

Materiaali: X70 - 90145 Po

Taulukko 30. Stress Strain [Log] ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille X70 - 90145 Po

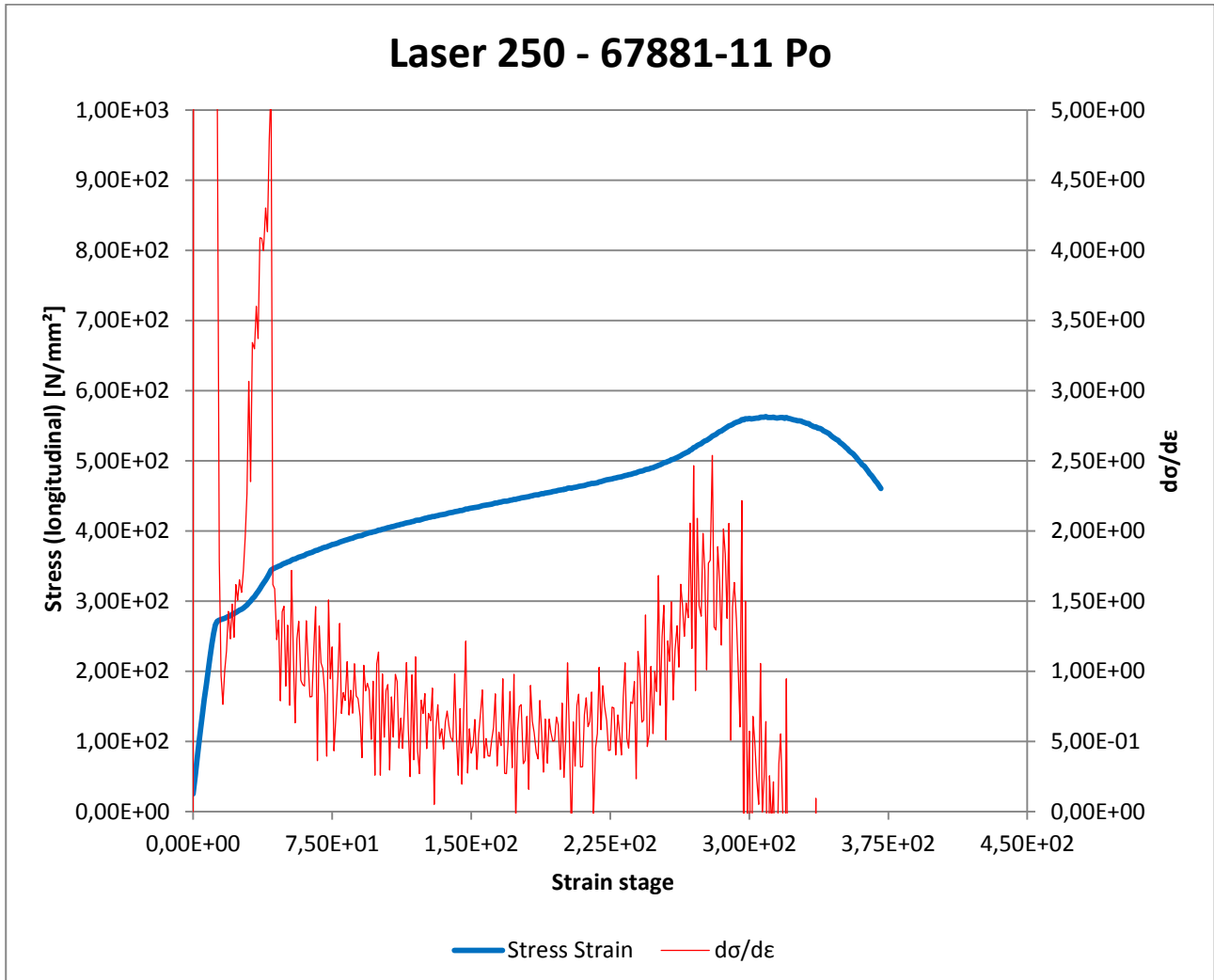


Vasemmanpuoleisella y-akselilla true stress [N/mm²][log], alhaalla x-akselilla true strain [log] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 250 - 67881-11 Po

Taulukko 1. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 250 - 67881-11 Po

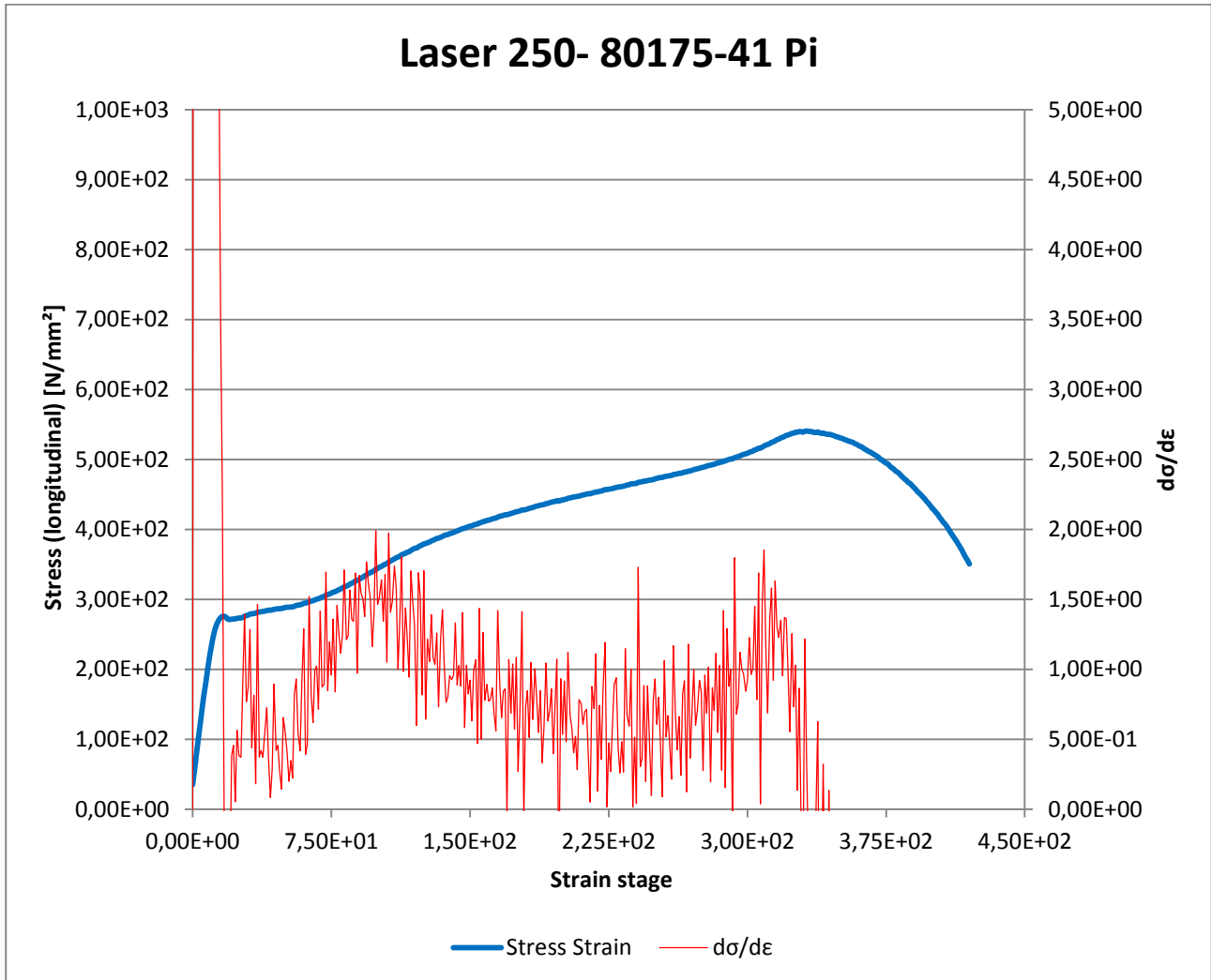


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Pi

Taulukko 2. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Pi

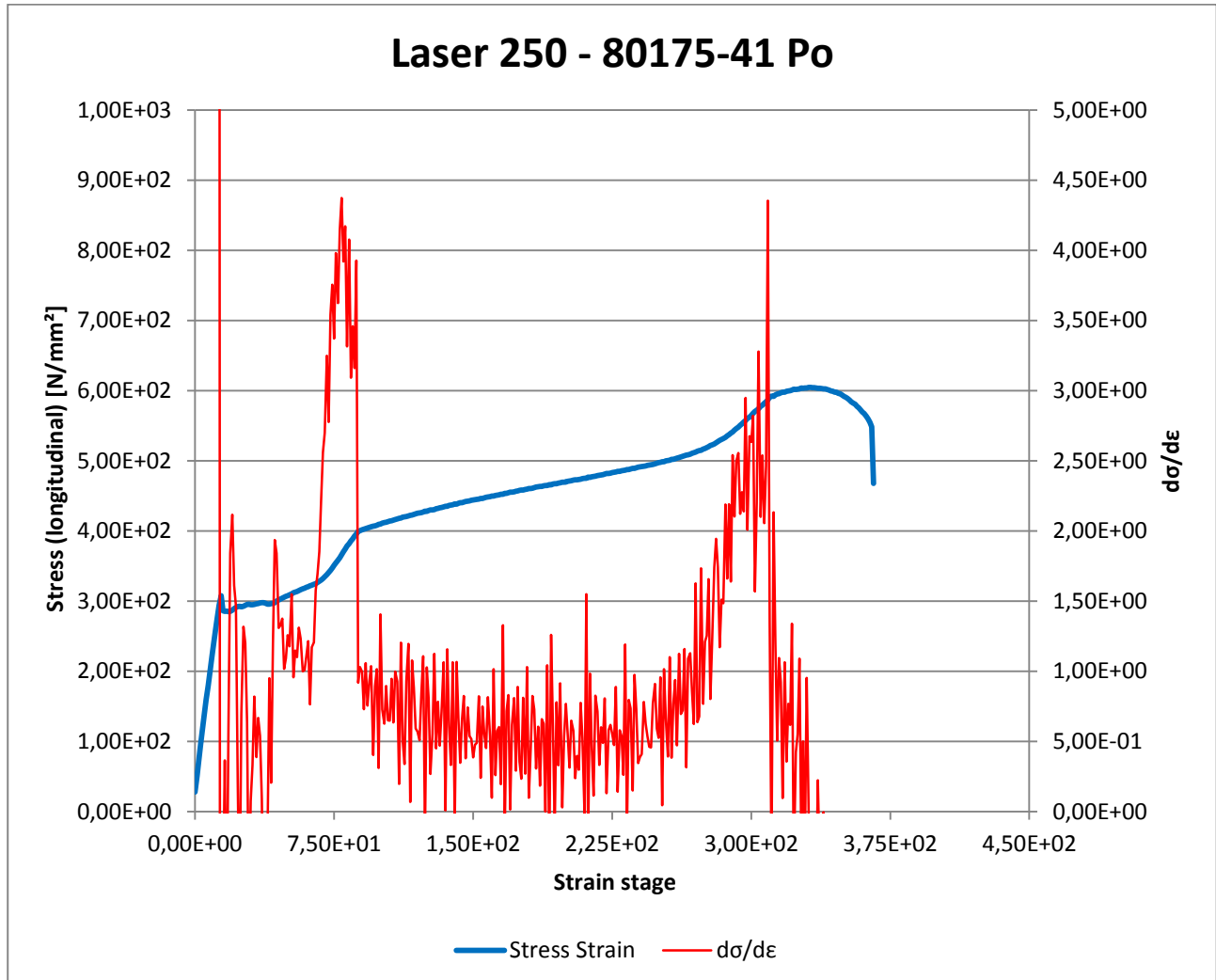


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Aramis – venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Po

Taulukko 3. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Po

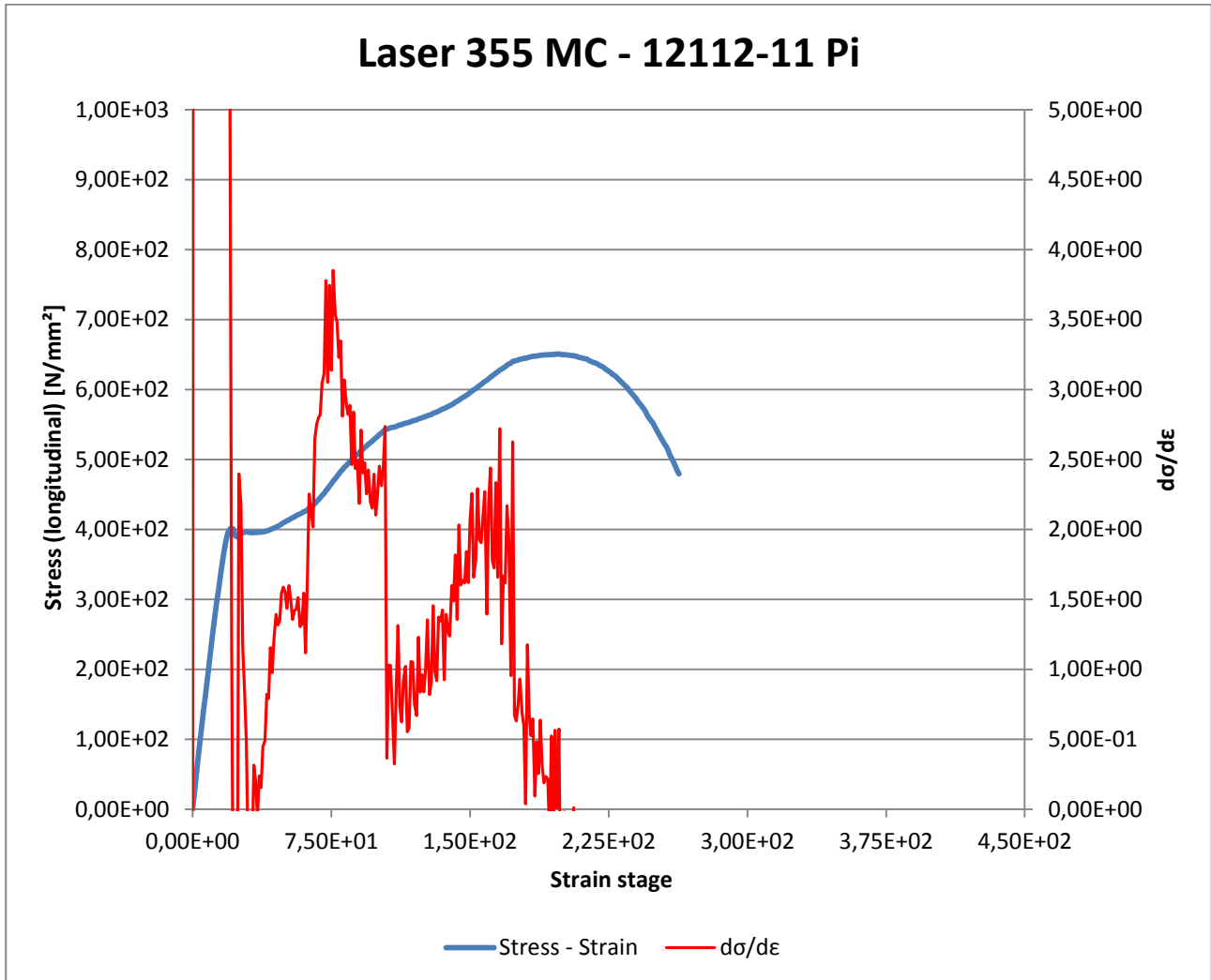


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Pi

Taulukko 4. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Pi

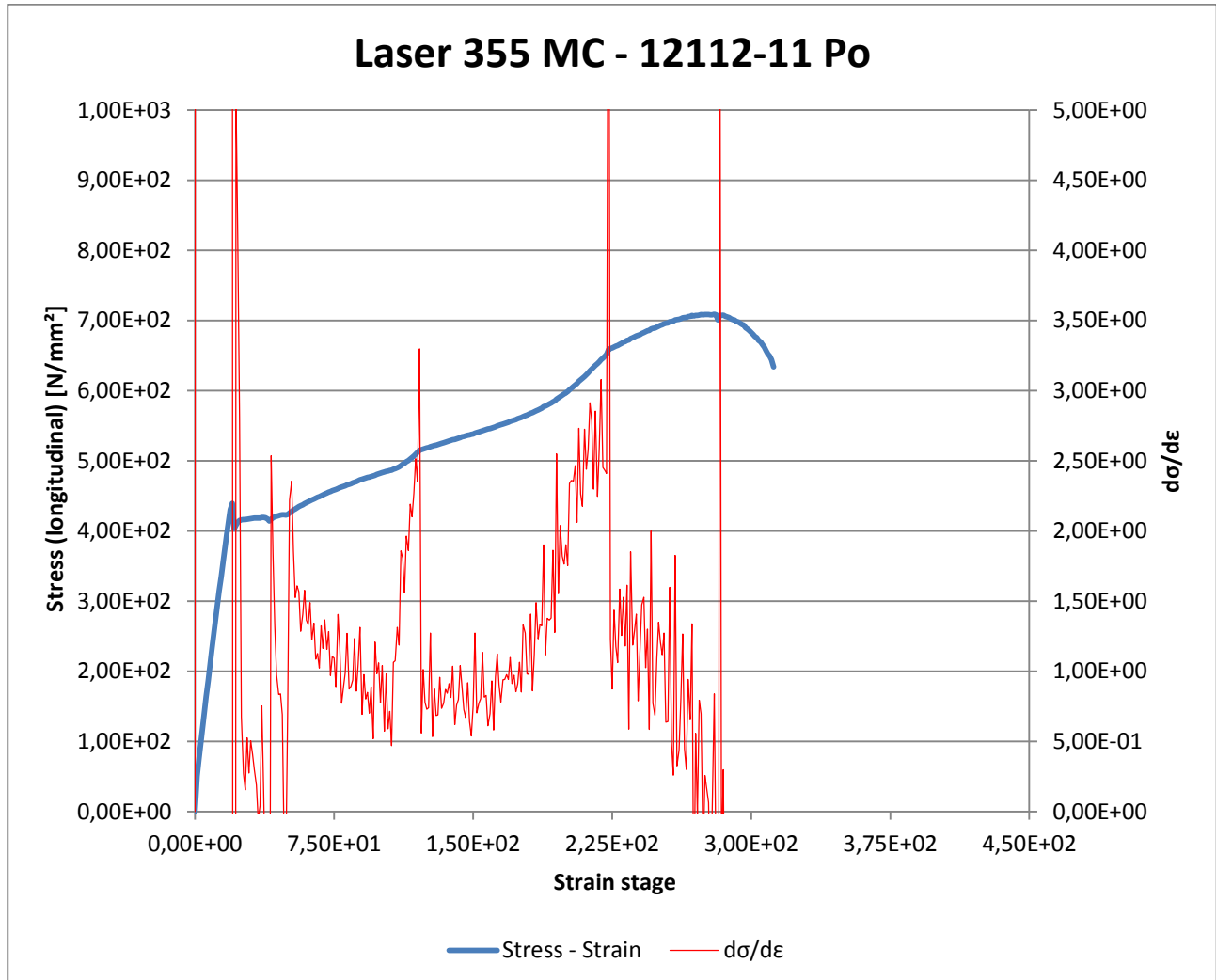


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Po

Taulukko 5. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Po

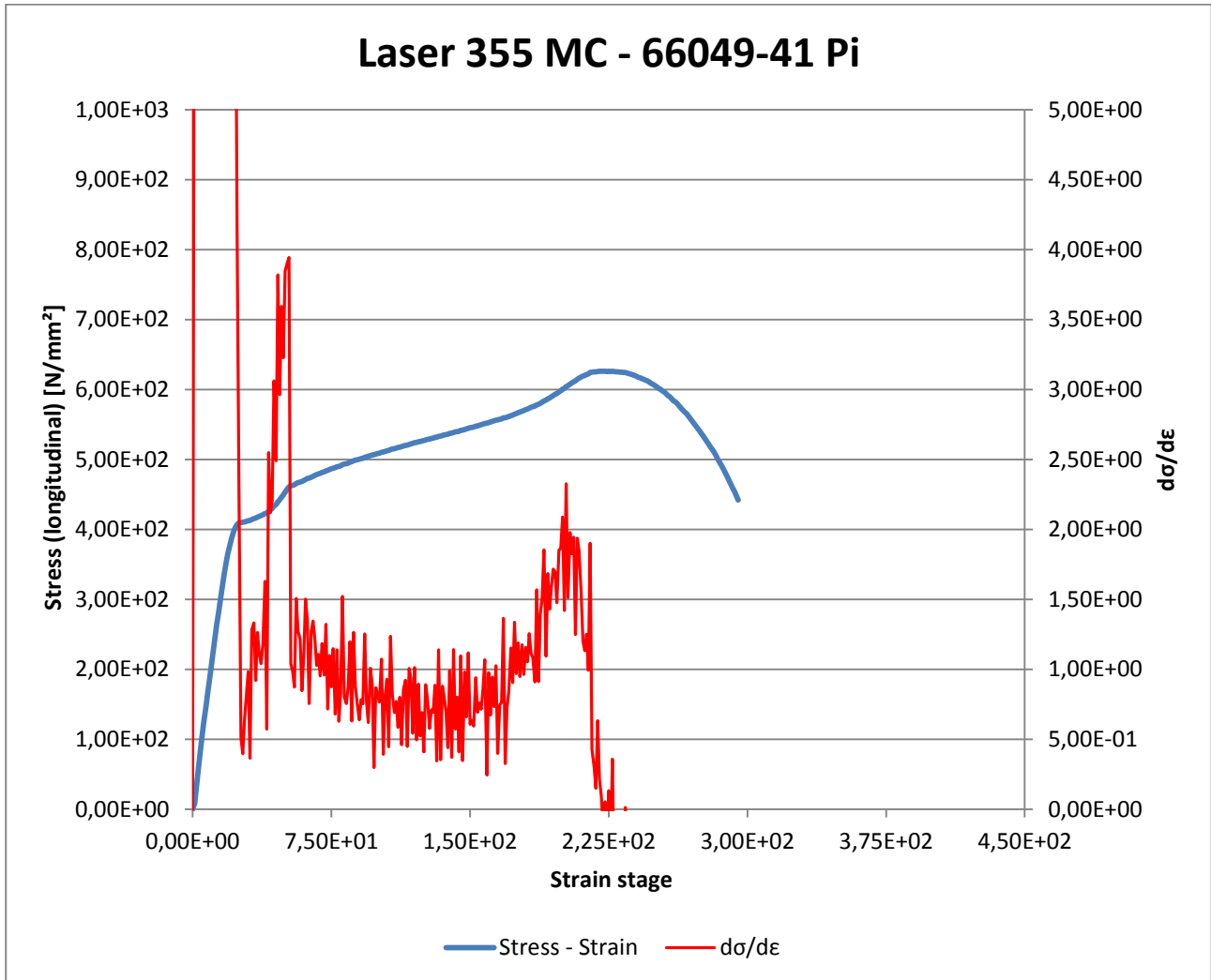


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Pi

Taulukko 6. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Pi

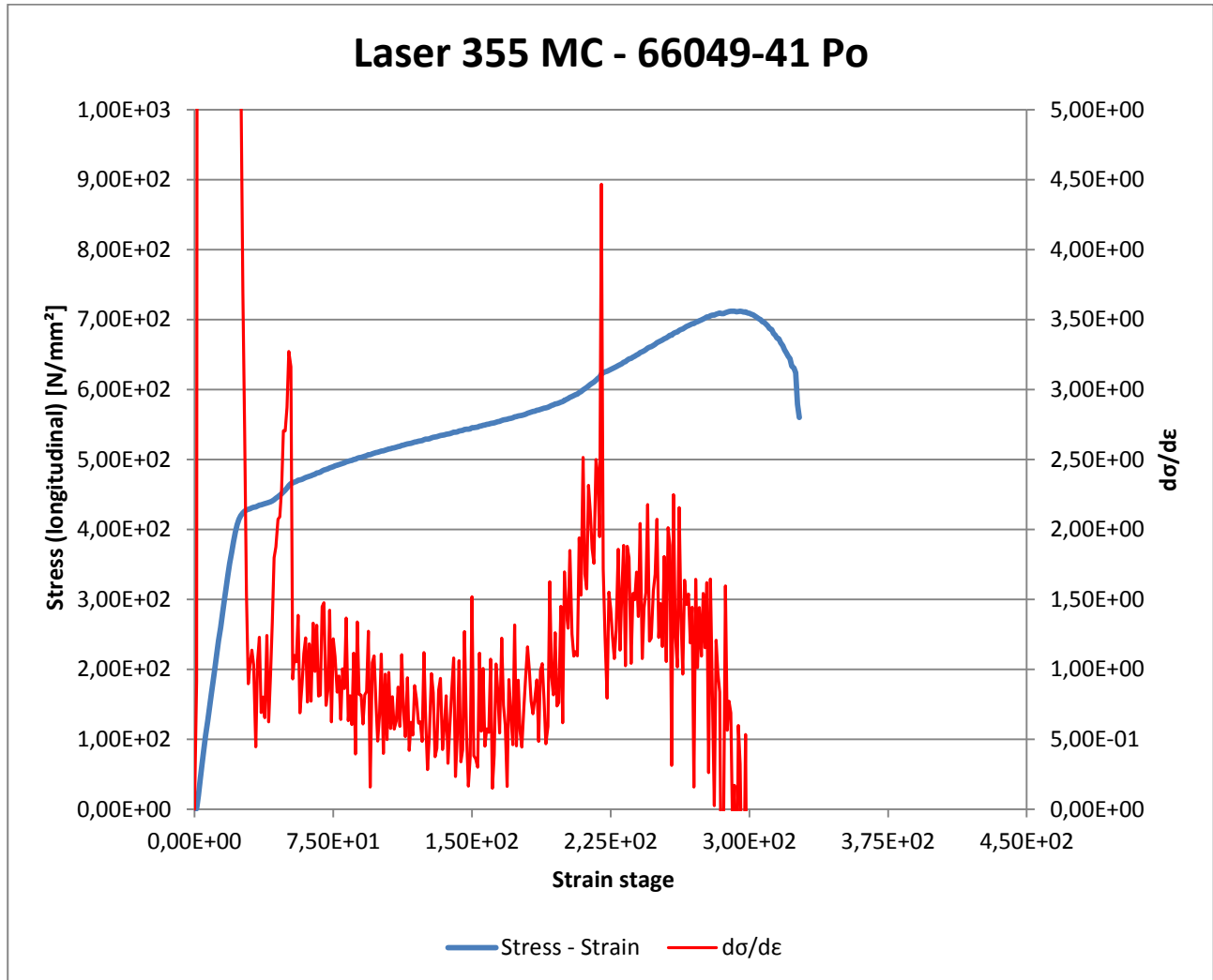


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Po

Taulukko 7. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Po

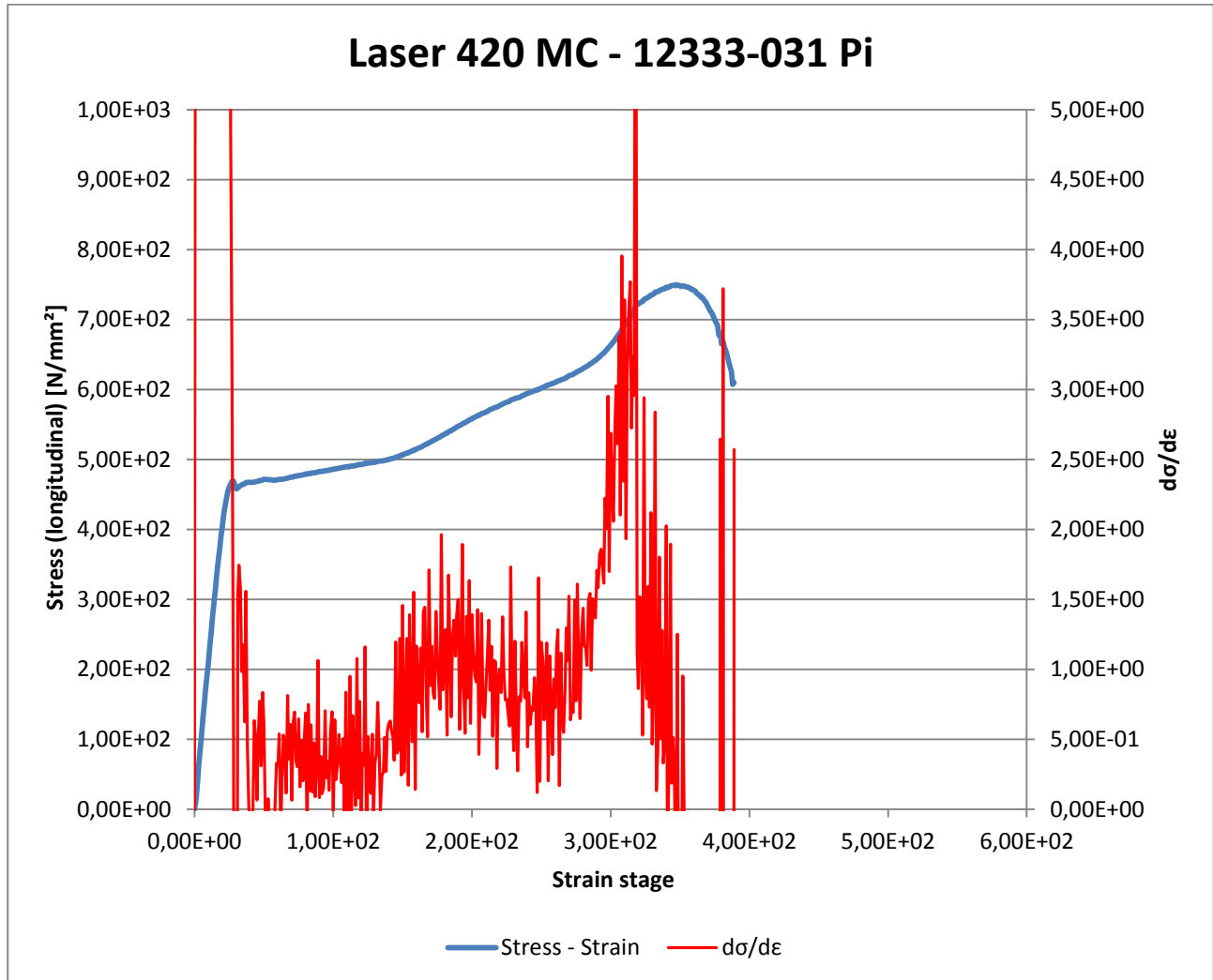


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Pi

Taulukko 8. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Pi

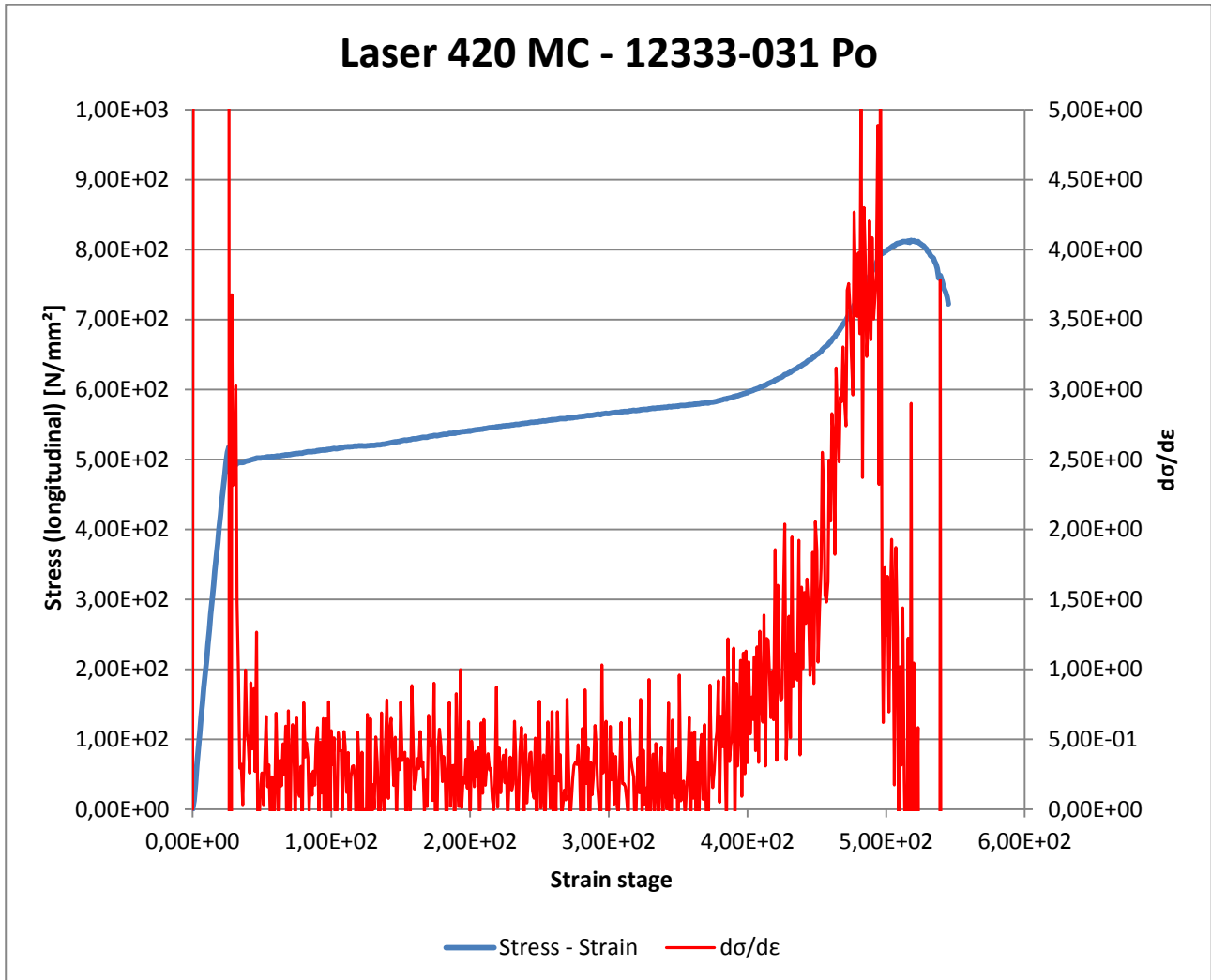


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Aramis – venymäanalyysointorilla

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Po

Taulukko 9. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Po

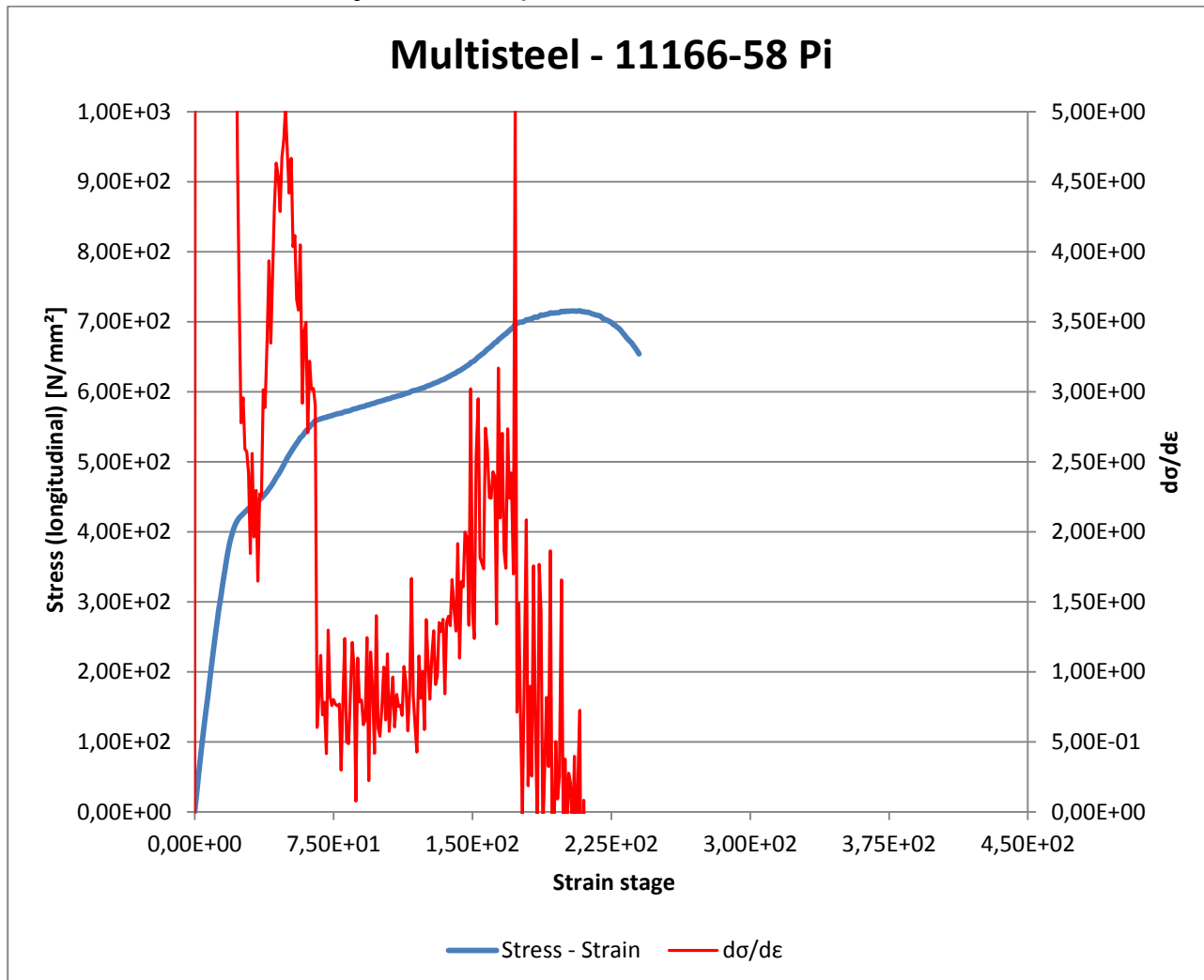


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysointorilla

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Pi

Taulukko 10. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Pi

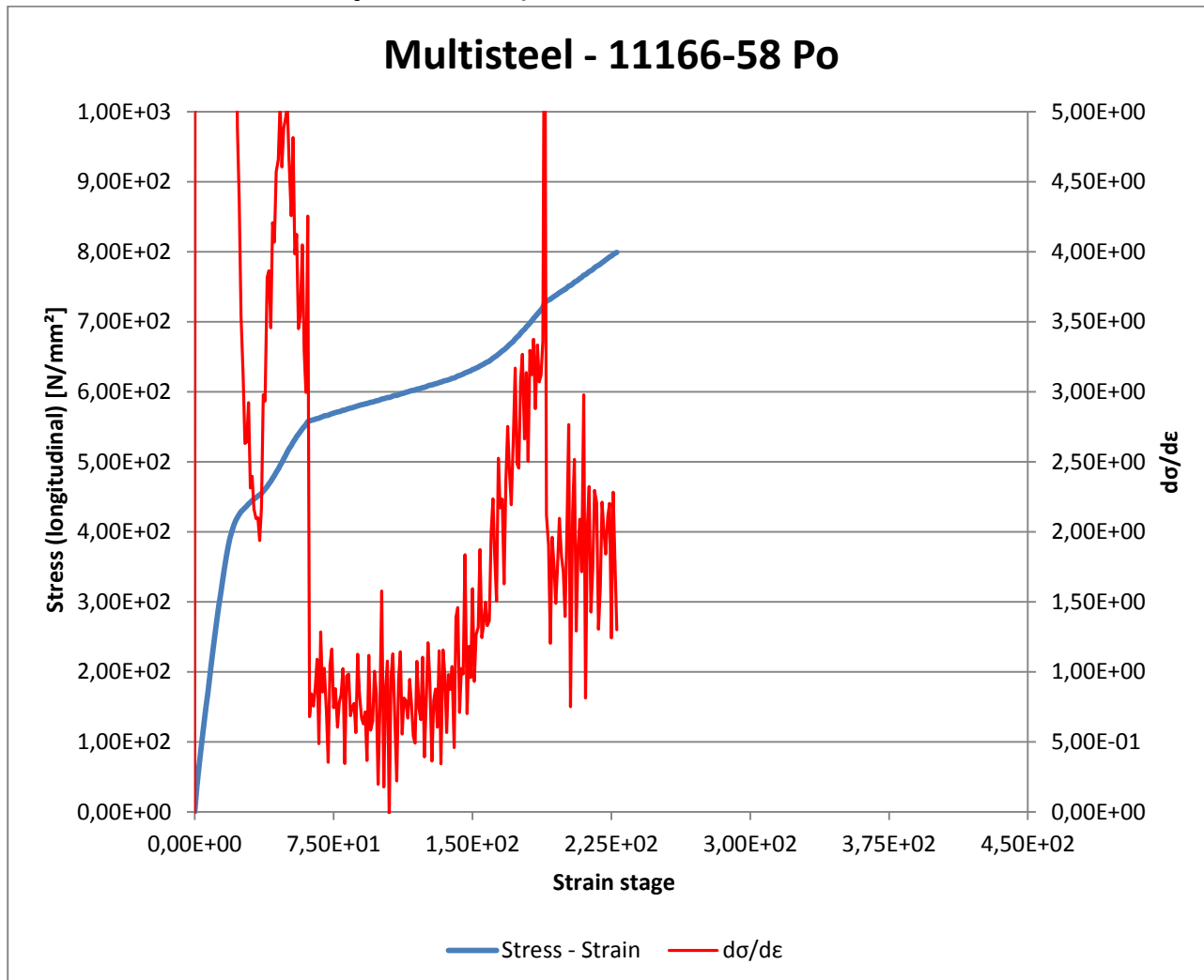


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress $[N/mm^2]$, alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä Aramis – venymäanalyysointorilla

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Po

Taulukko 11. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ – käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Po

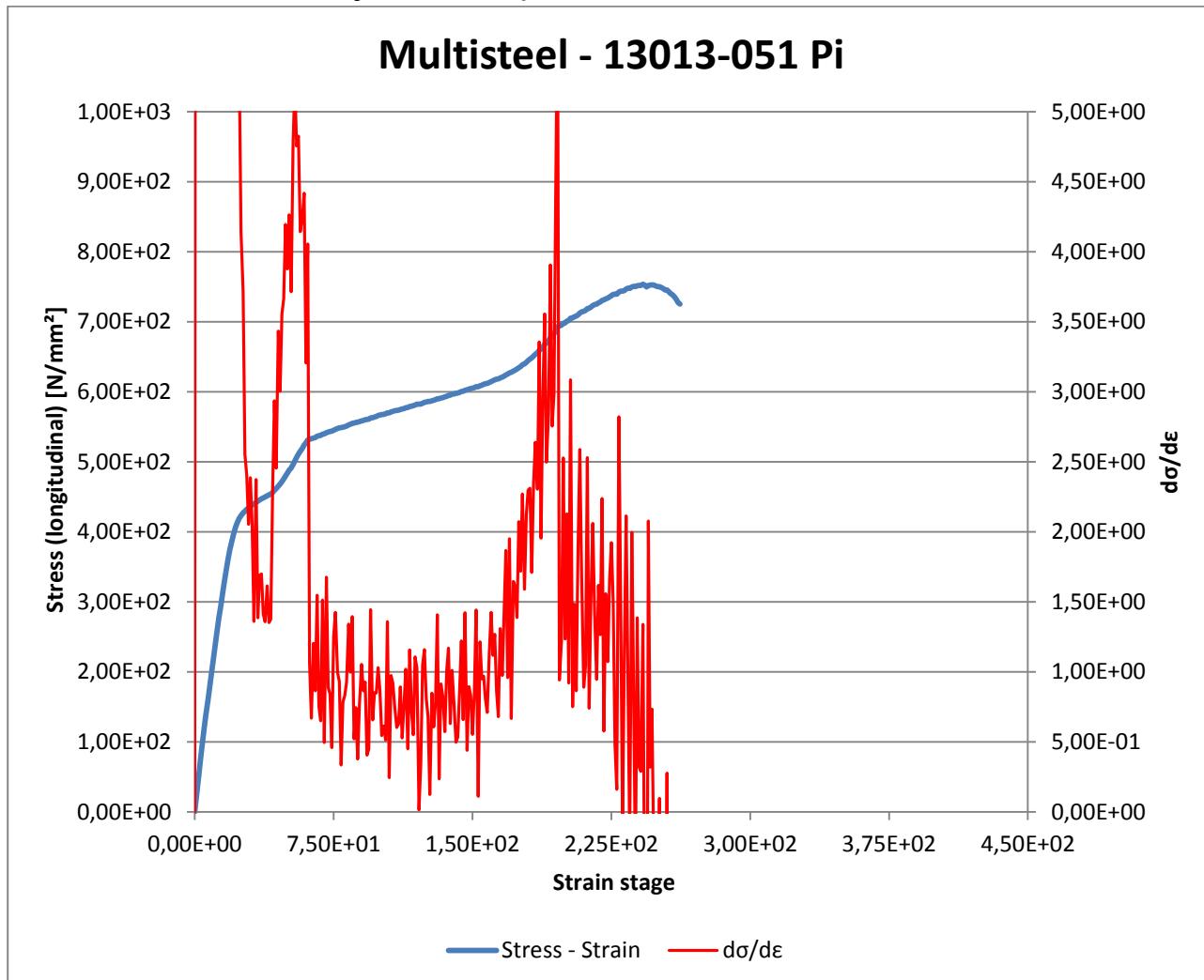


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ – arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Pi

Taulukko 12. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Pi

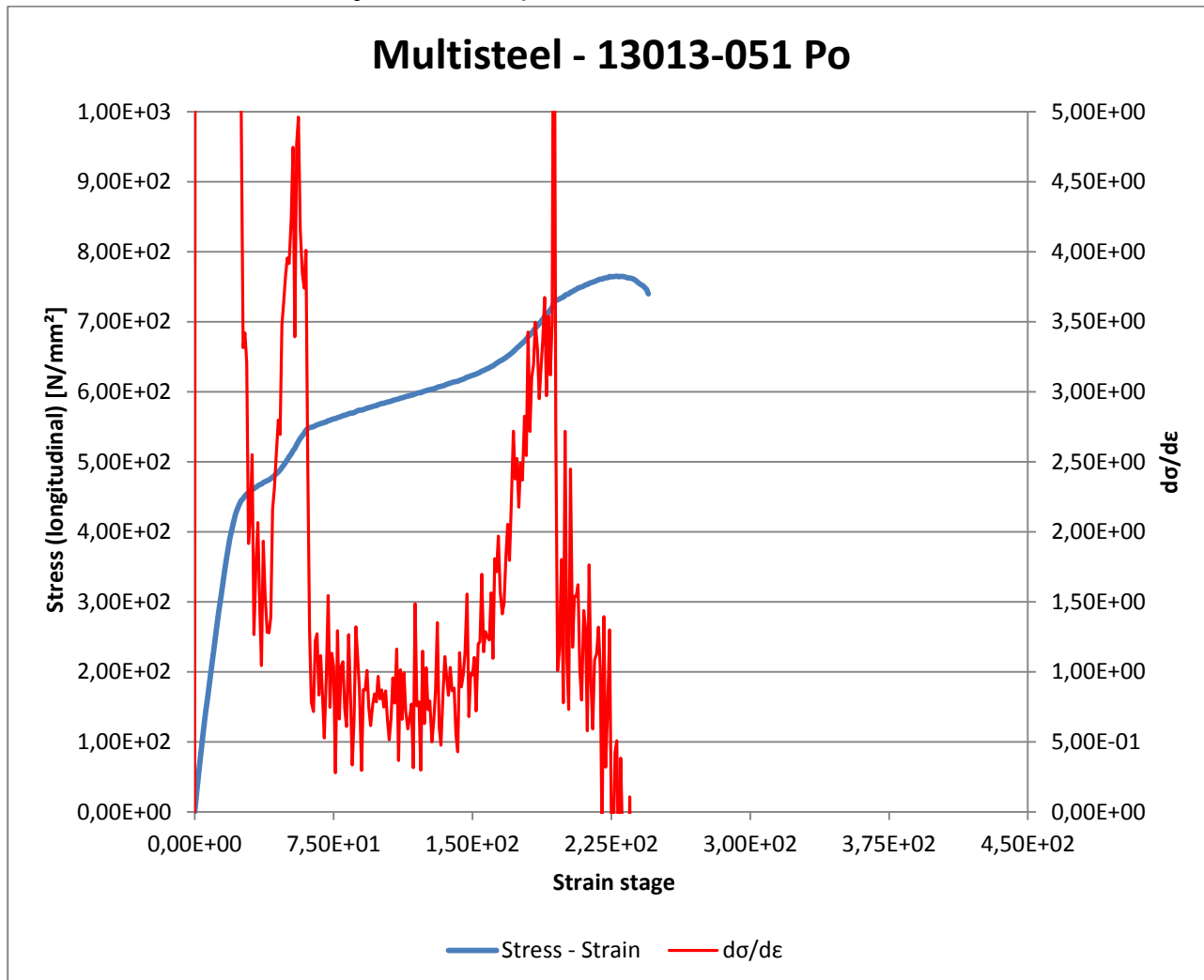


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Po

Taulukko 13. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Po

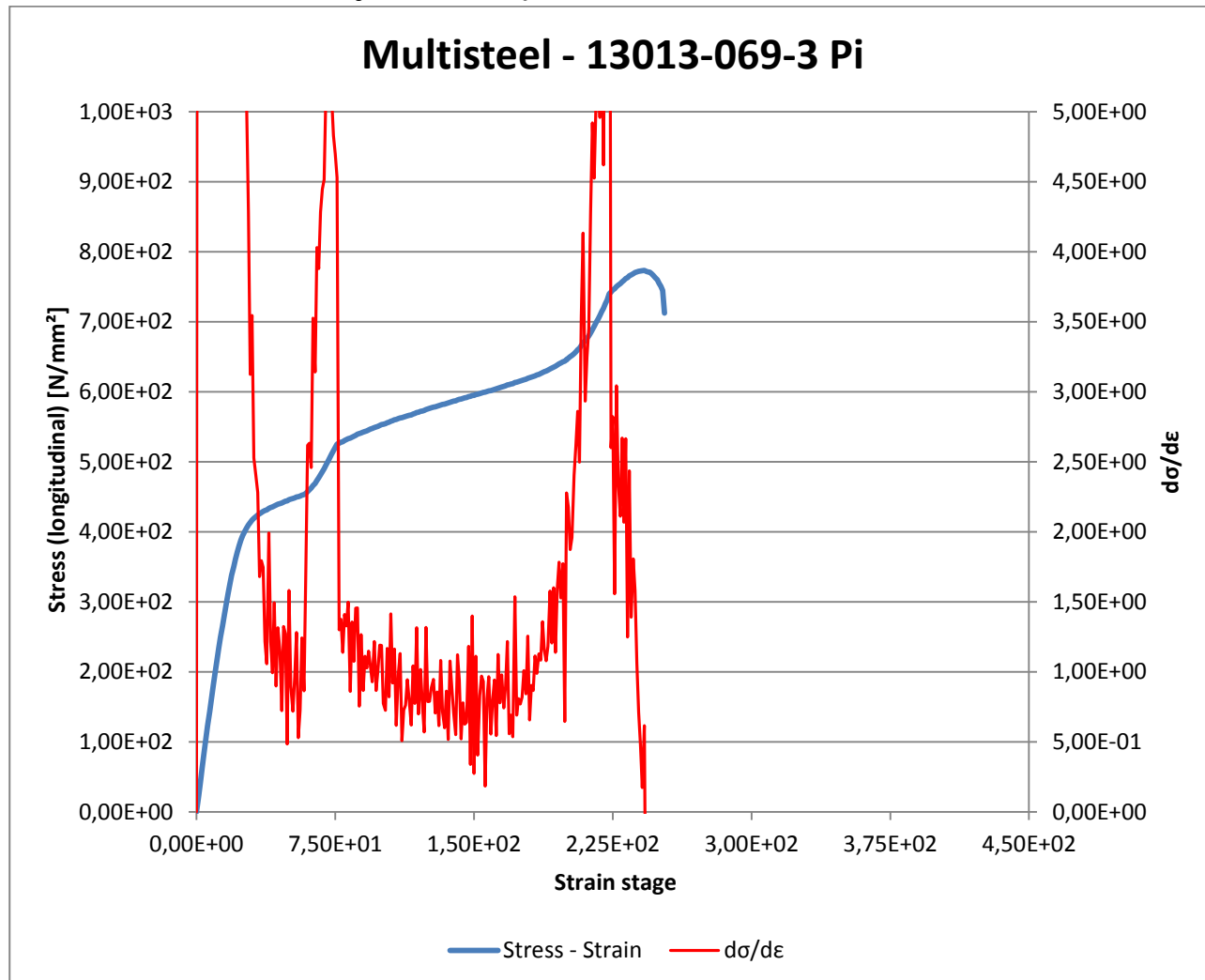


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress $[N/mm^2]$, alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Pi

Taulukko 14. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Pi

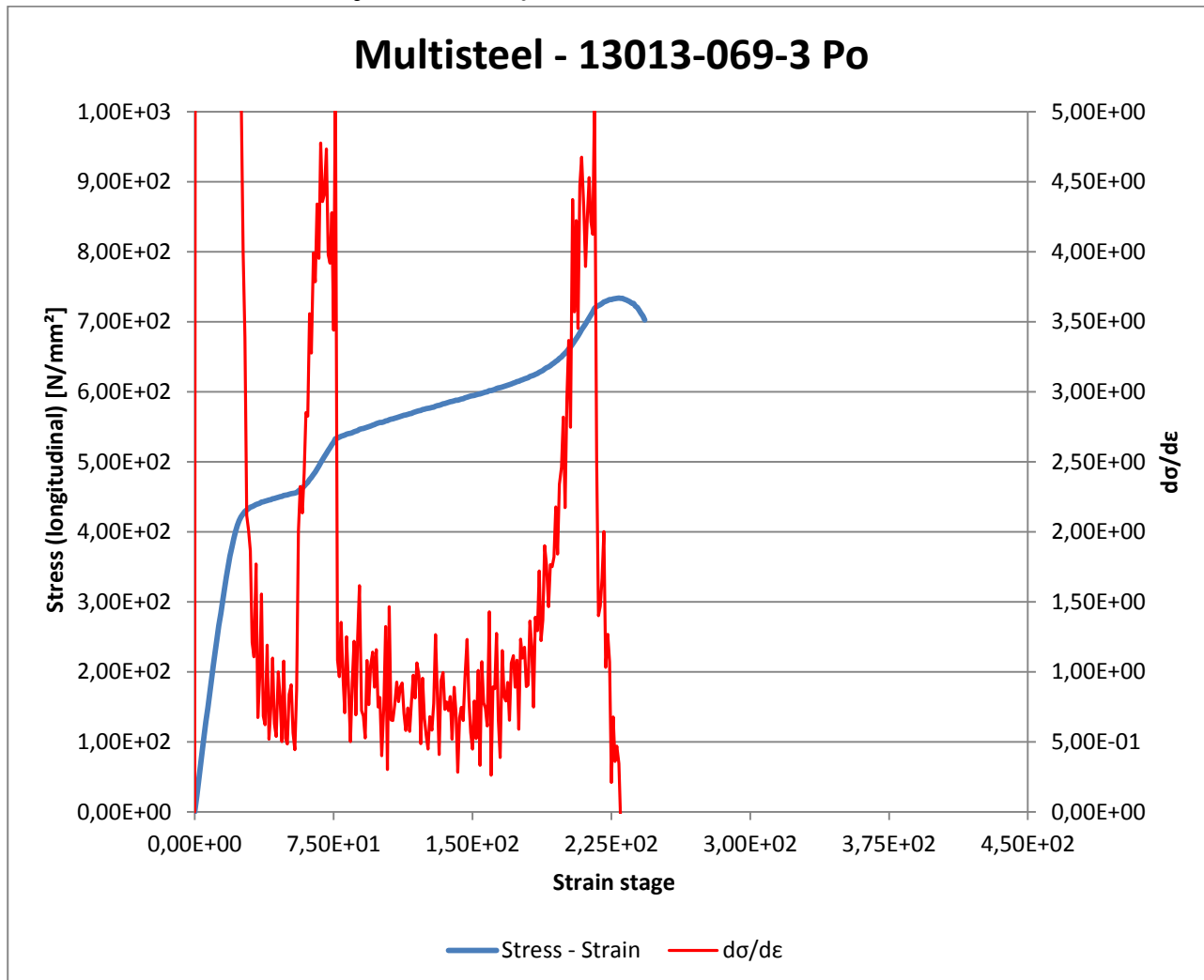


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalysaattorilla

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Po

Taulukko 15. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Po

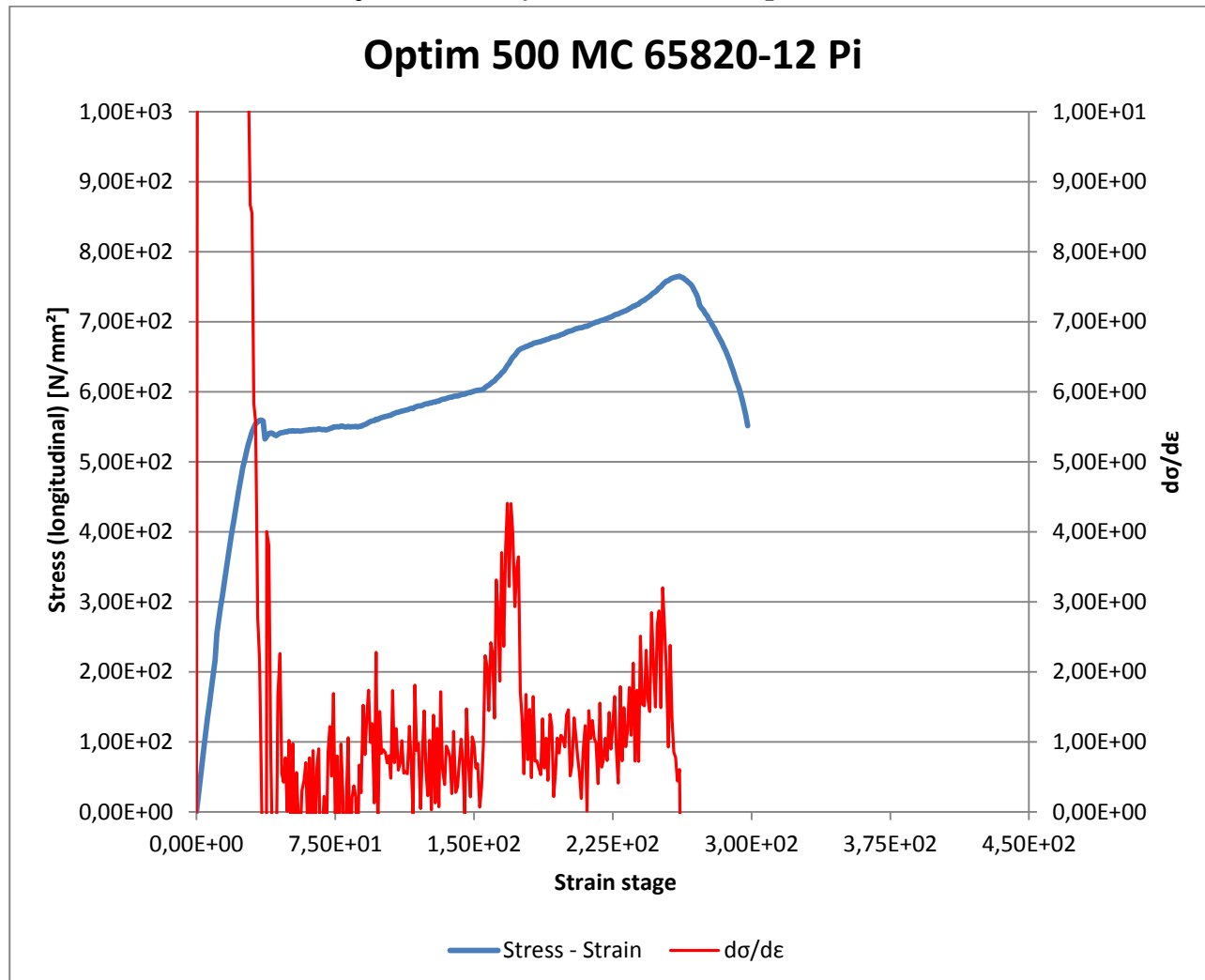


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalysaattorilla

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Pi

Taulukko 16. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Pi

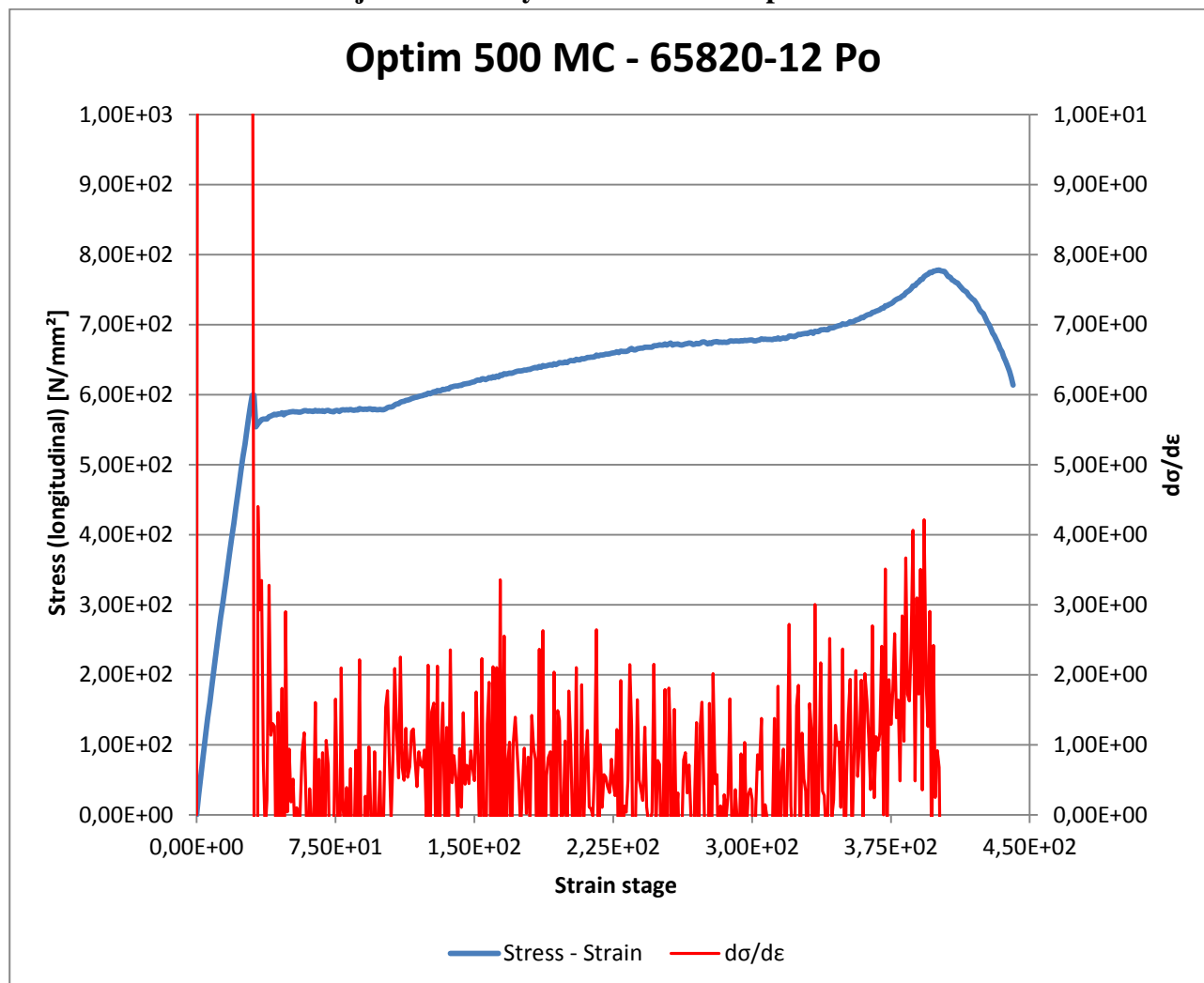


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Po

Taulukko 17. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Po

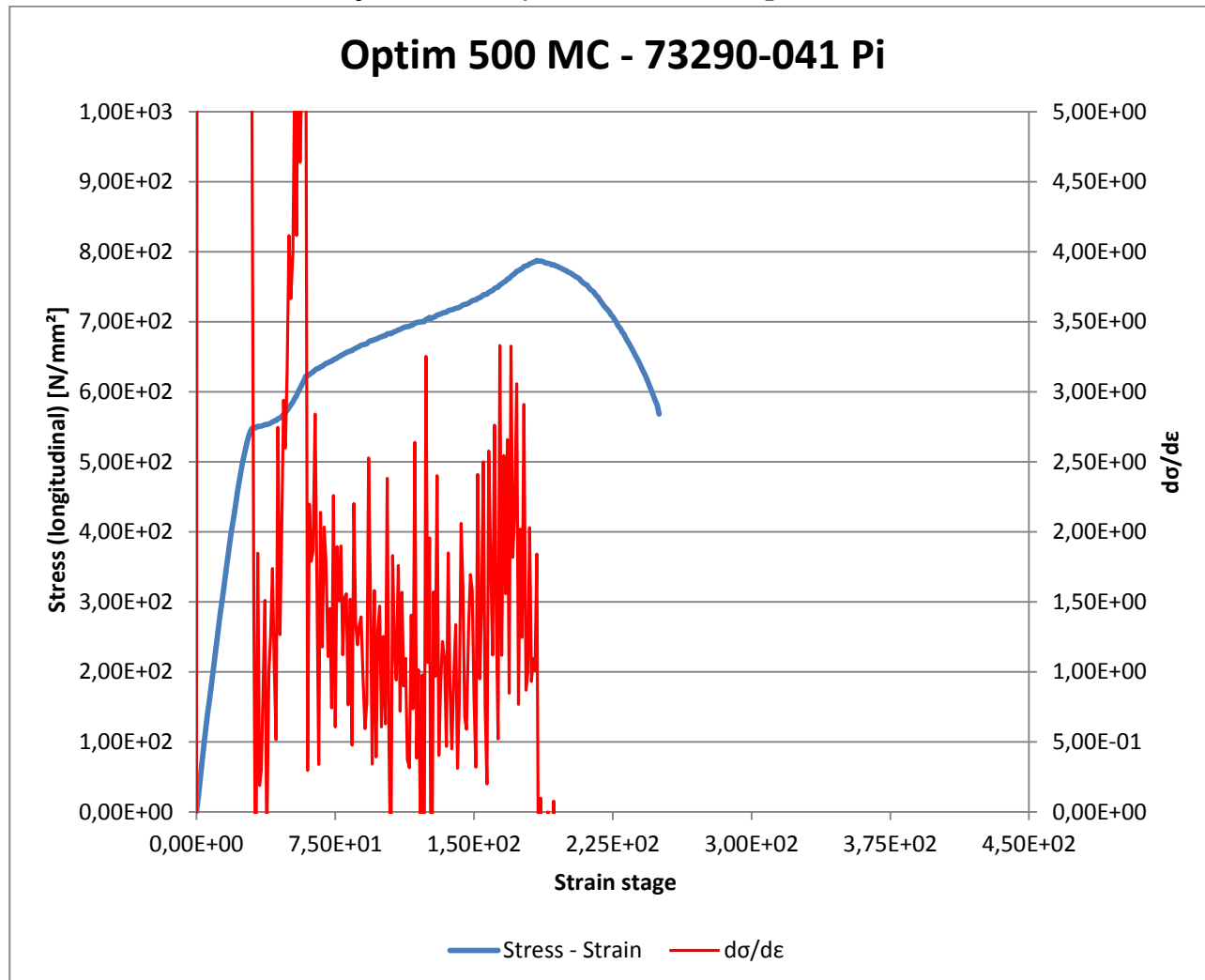


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalysaattorilla

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Pi

Taulukko 18. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Pi

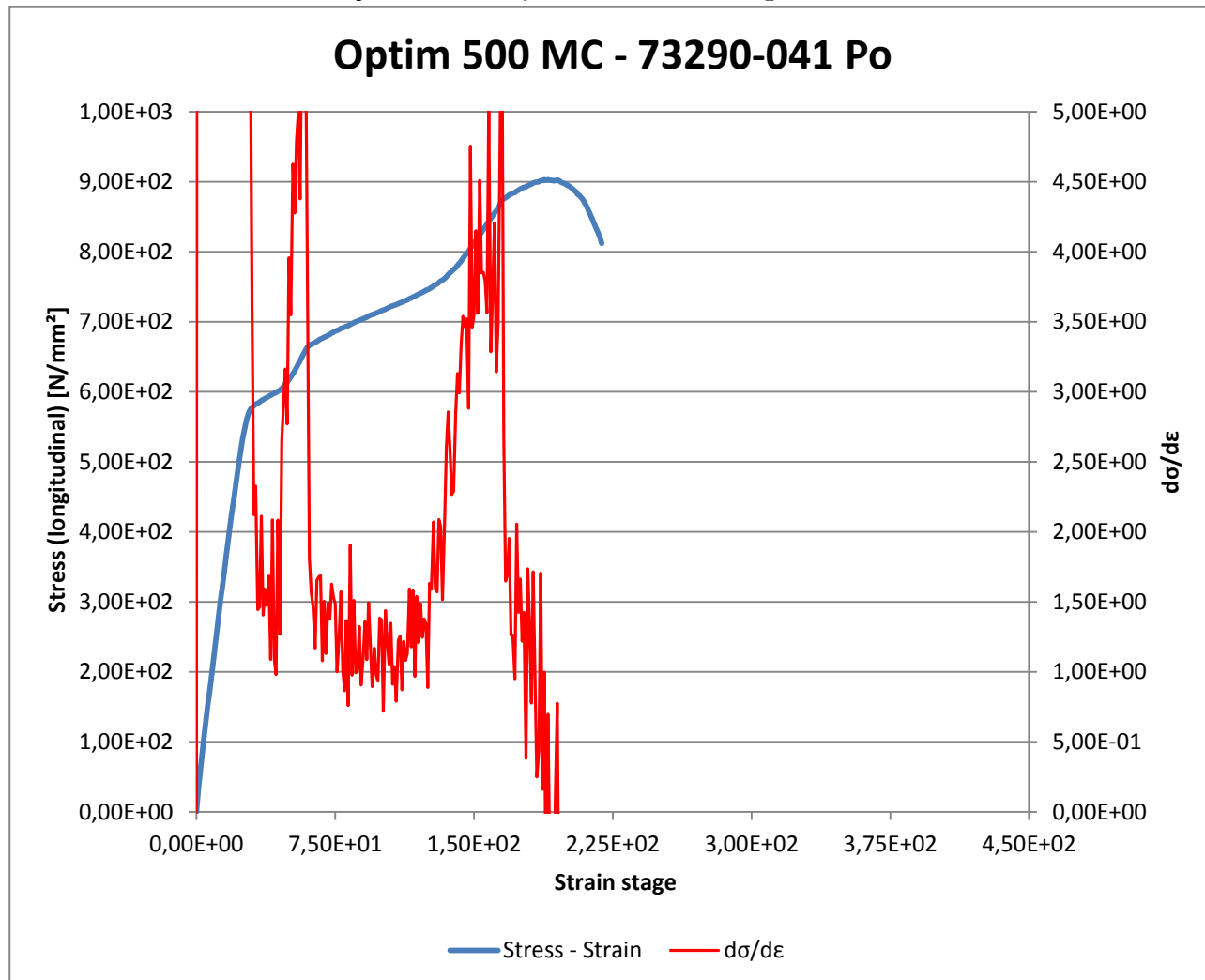


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Po

Taulukko 19. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Po

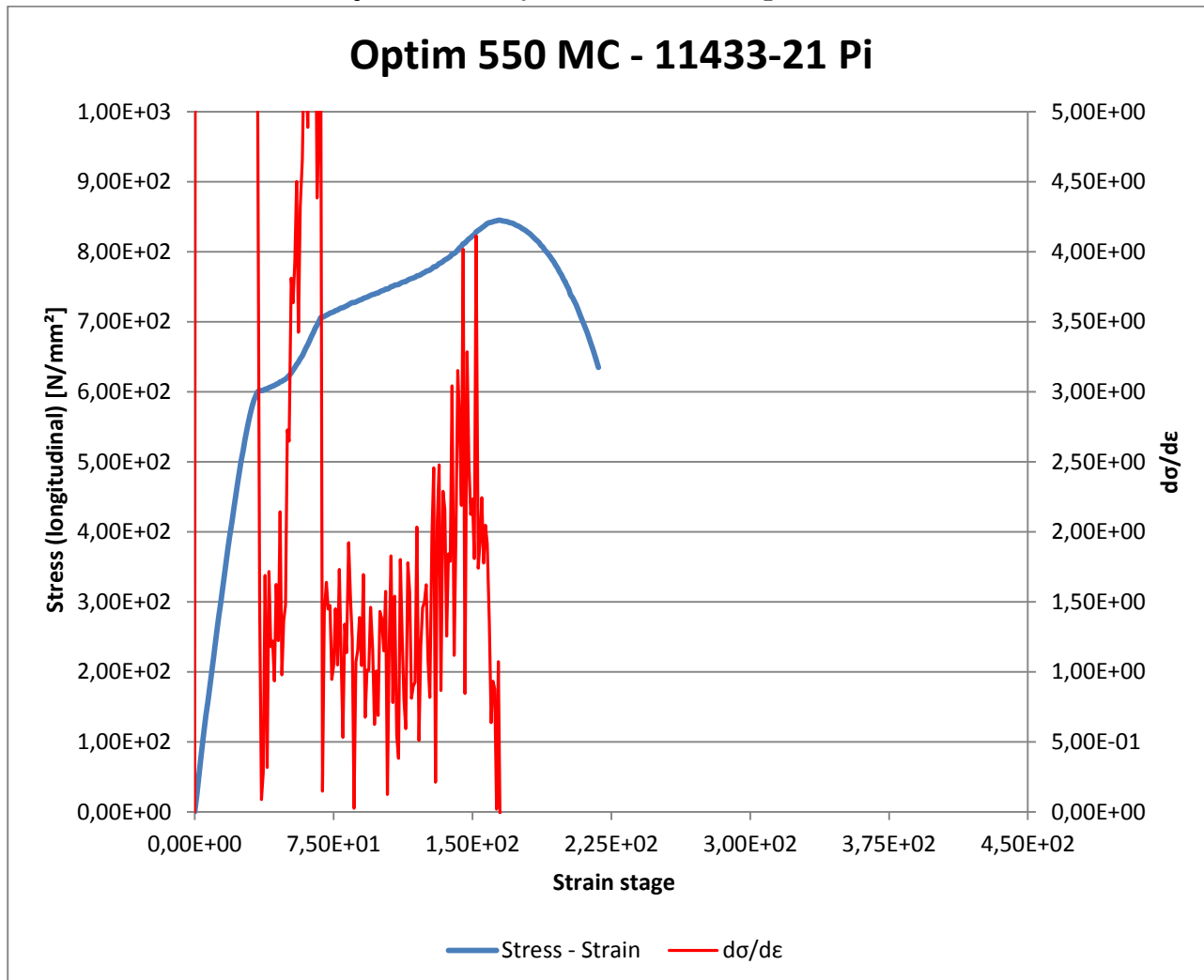


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Pi

Taulukko 20. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Pi

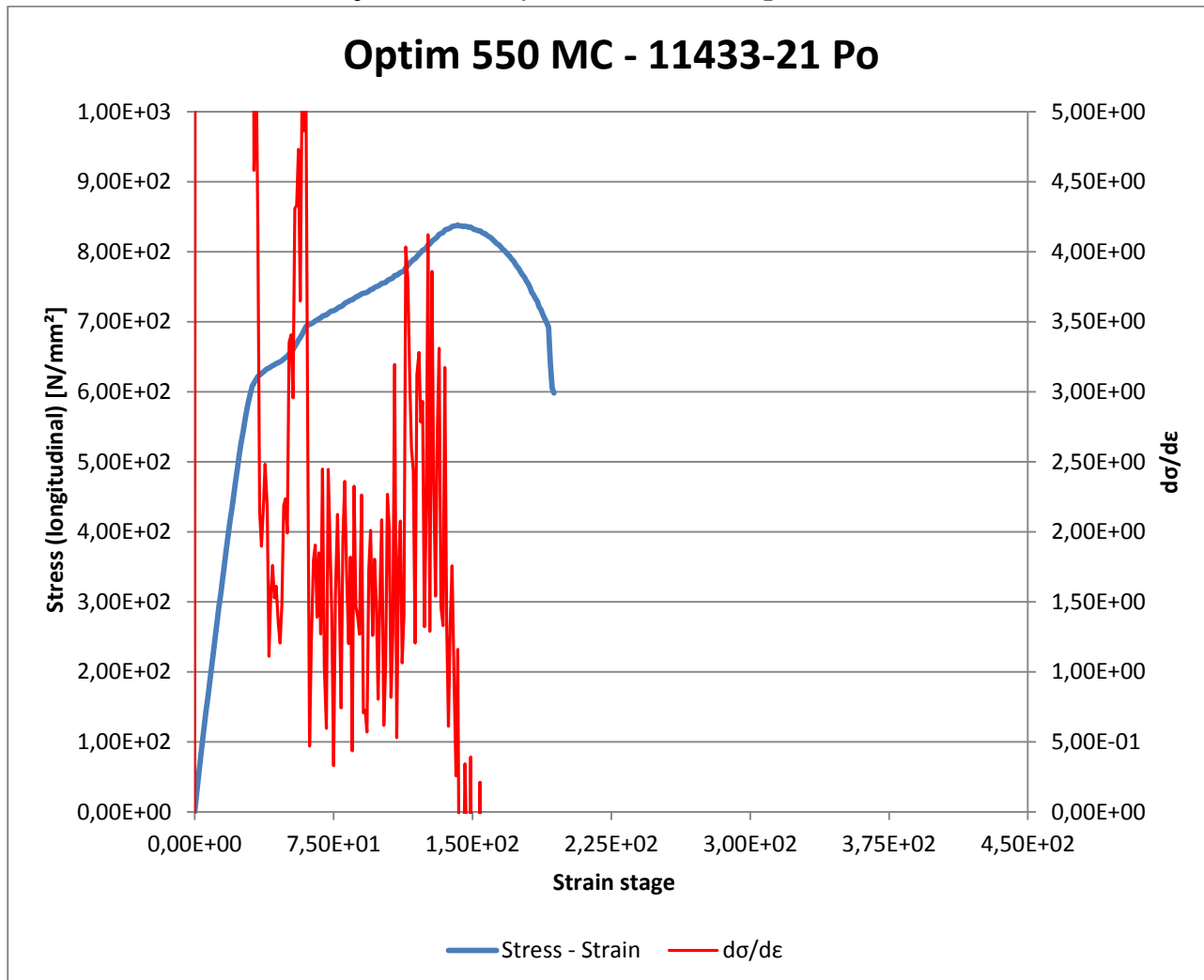


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Po

Taulukko 21. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Po

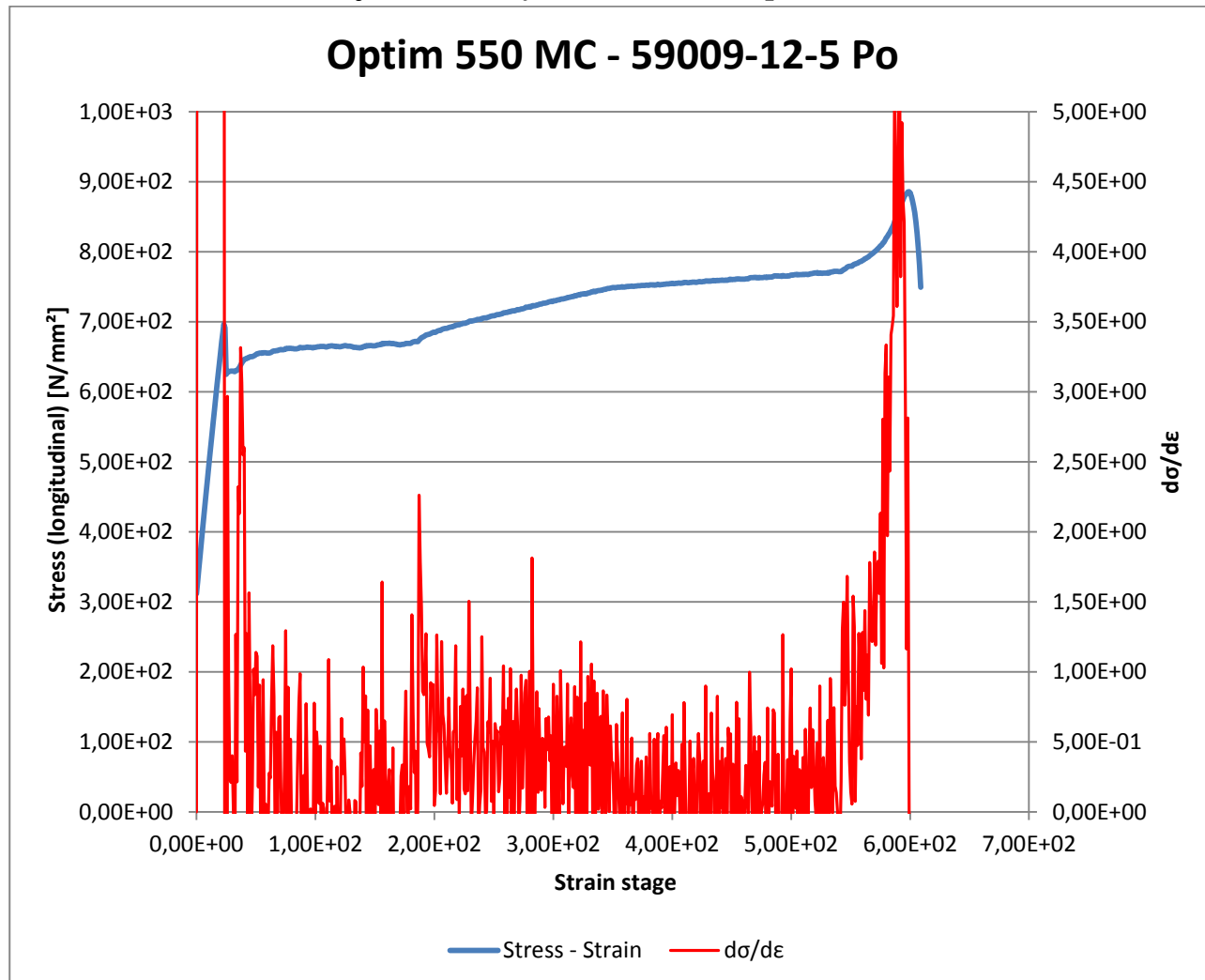


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

Taulukko 22. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

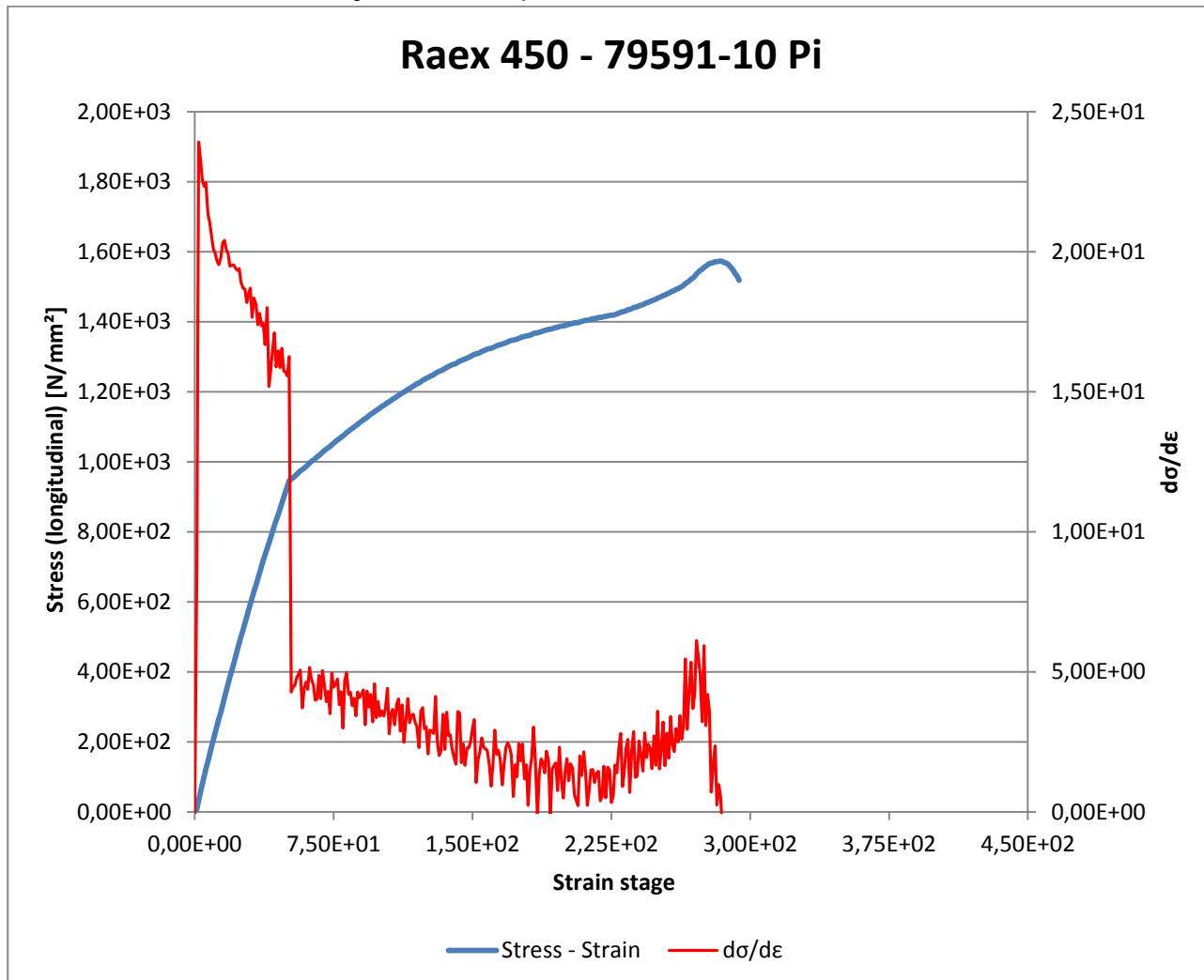


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress $[N/mm^2]$, alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Pi

Taulukko 23. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Pi

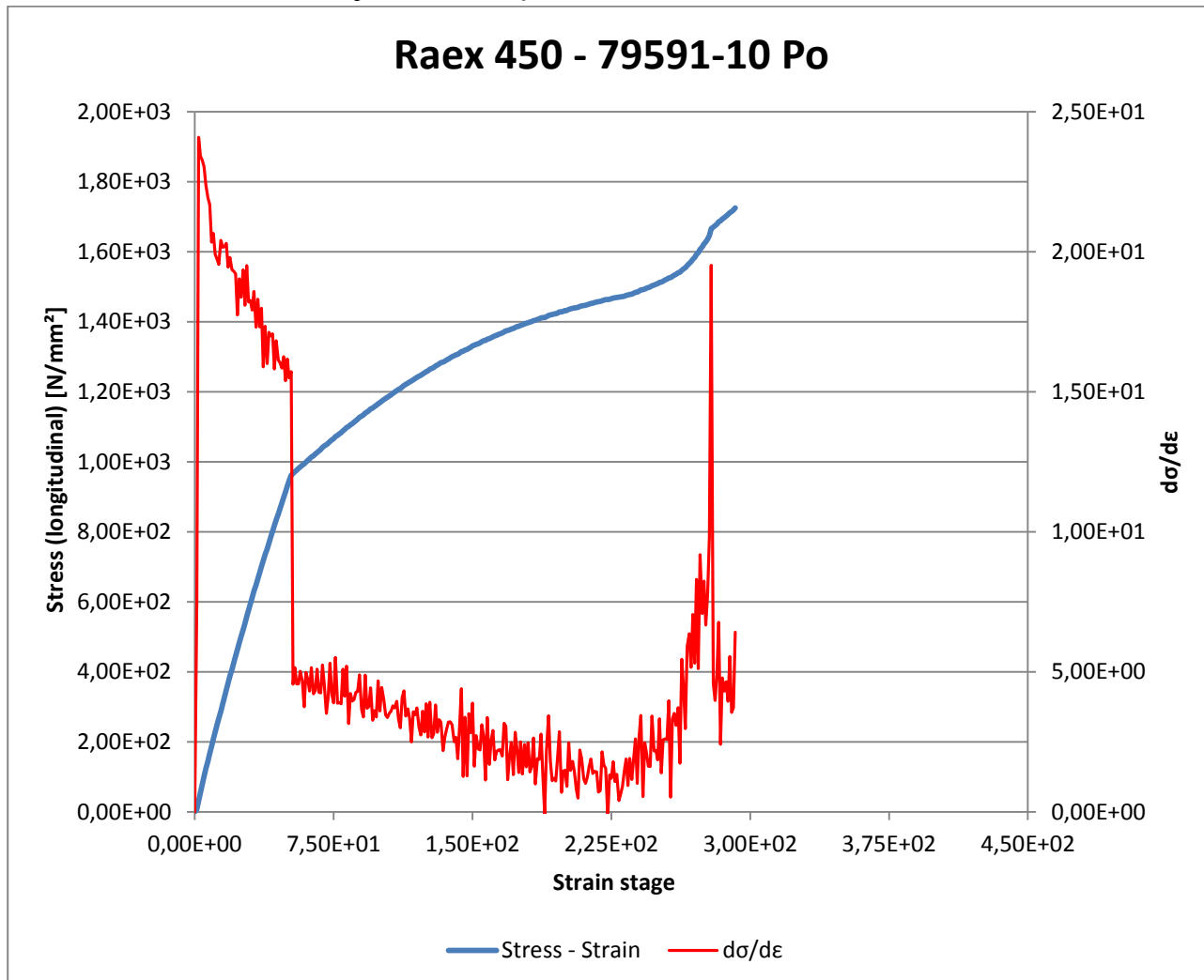


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalysaattorilla

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Po

Taulukko 24. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Po

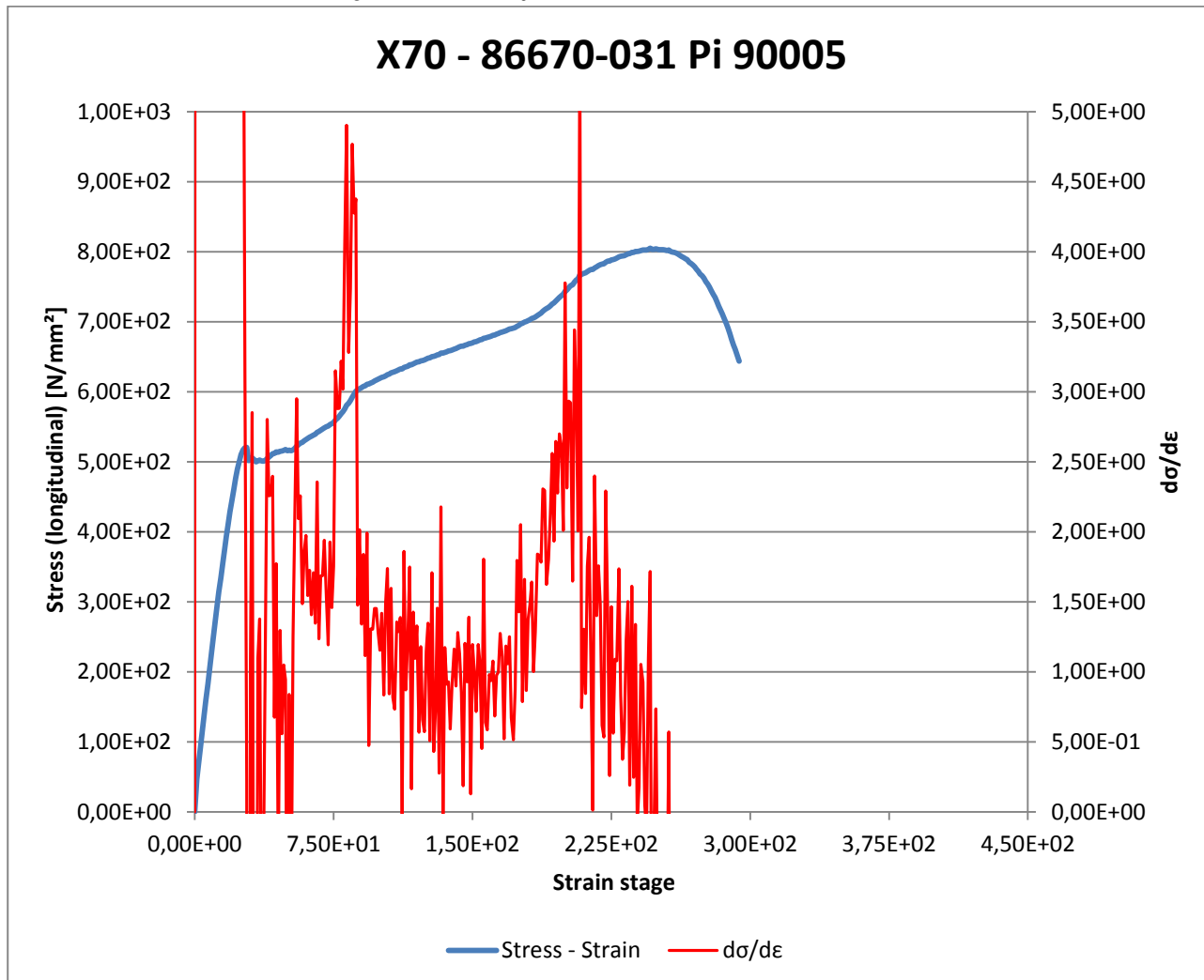


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalysaattorilla

Materiaali: X70 - 86670-031 Pi 90005

Taulukko 25. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Pi 90005

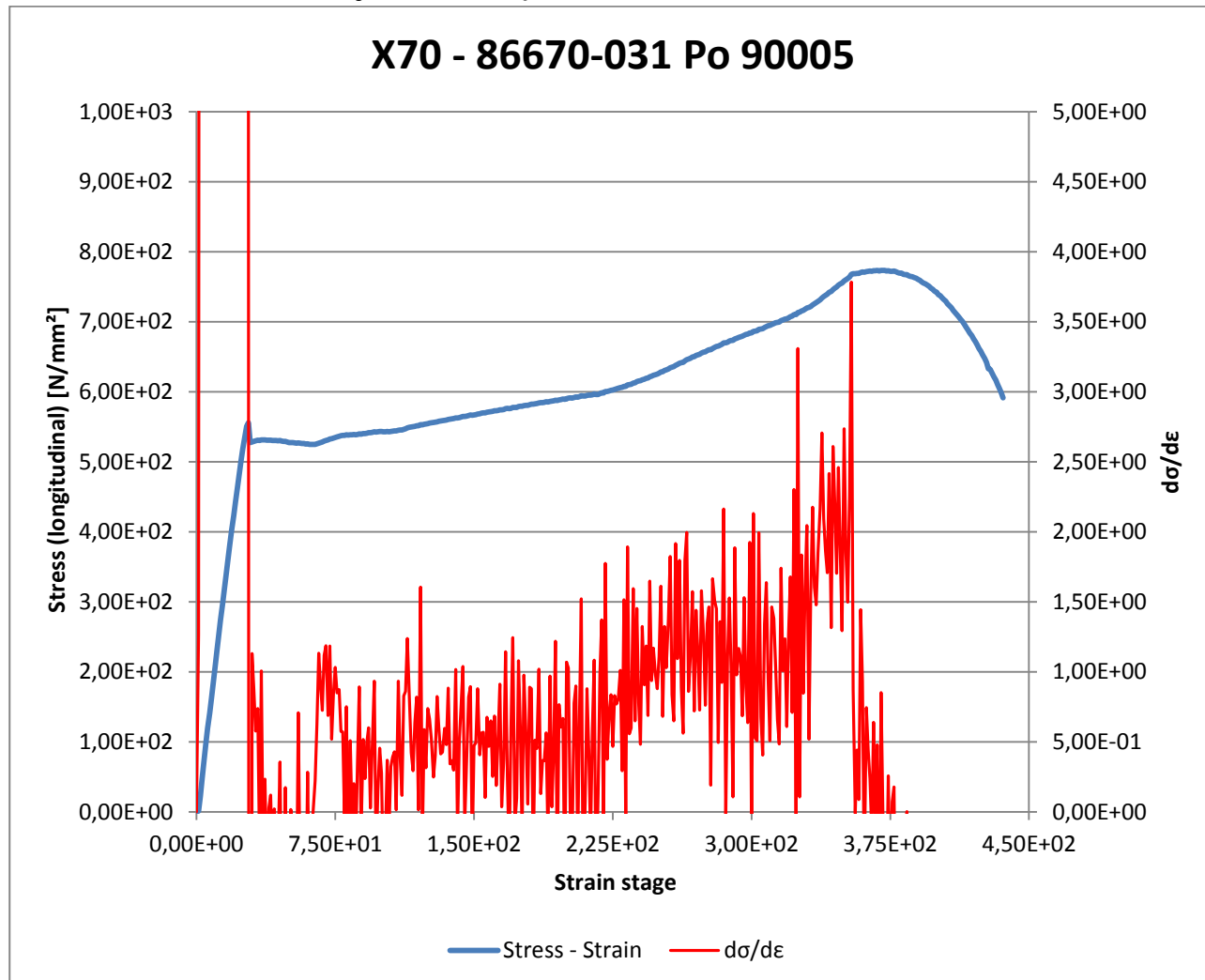


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis - venymäanalyysointorilla

Materiaali: X70 - 86670-031 Po 90005

Taulukko 26. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Po 90005

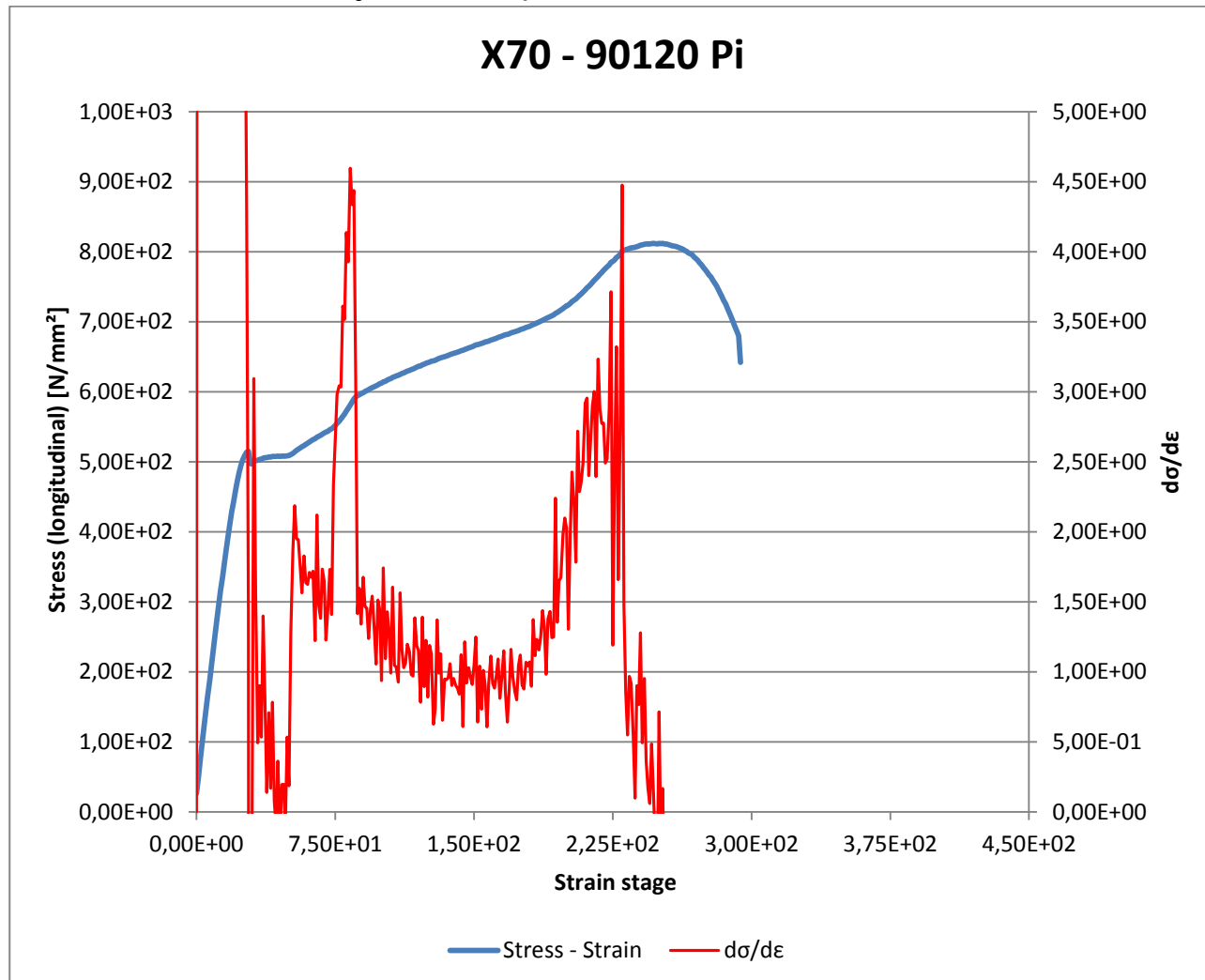


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress $[N/mm^2]$, alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalyysointorilla

Materiaali: X70 - 90120 Pi

Taulukko 27. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 90120 Pi

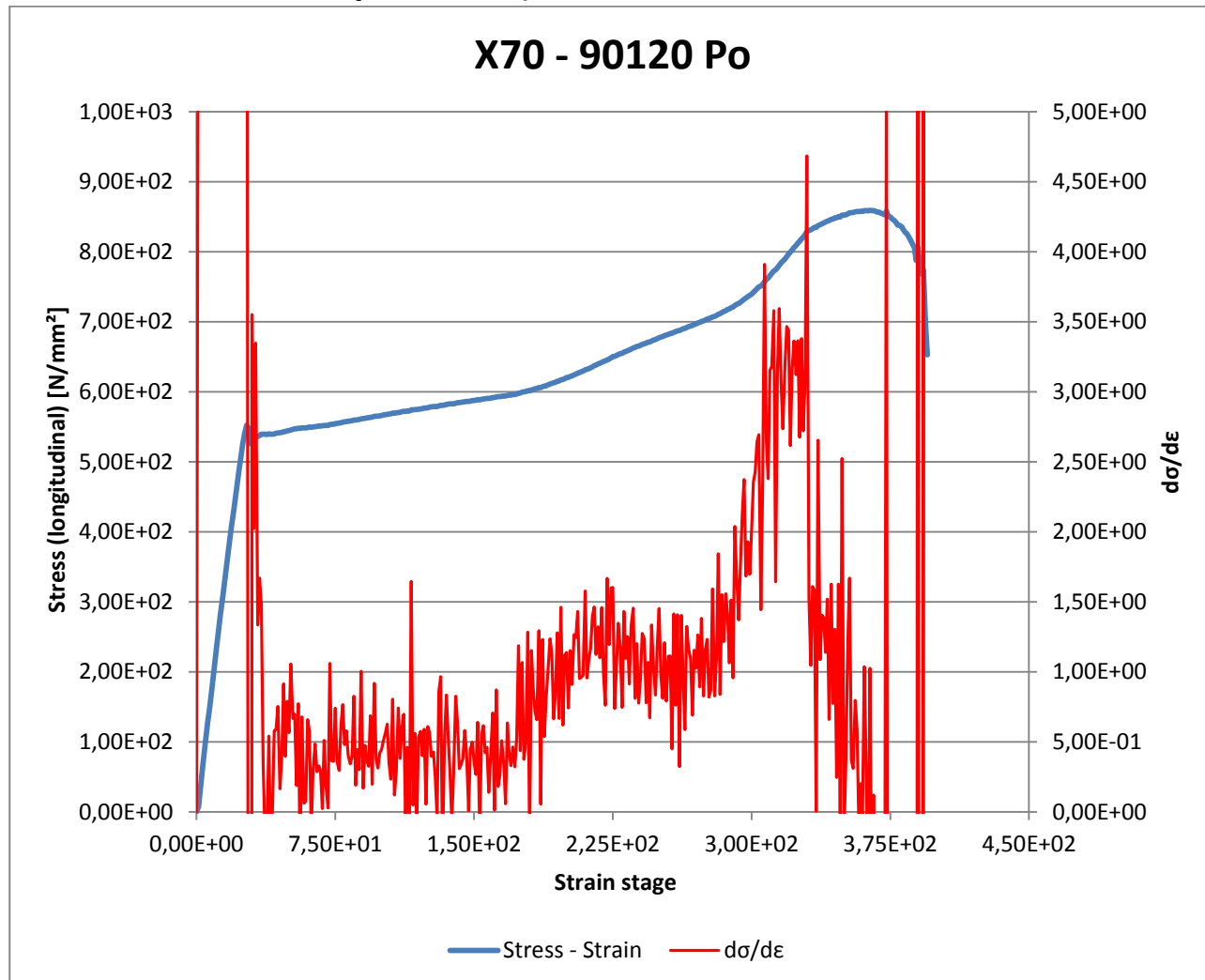


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalysaattorilla

Materiaali: X70 - 90120 Po

Taulukko 28. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 90120 Po

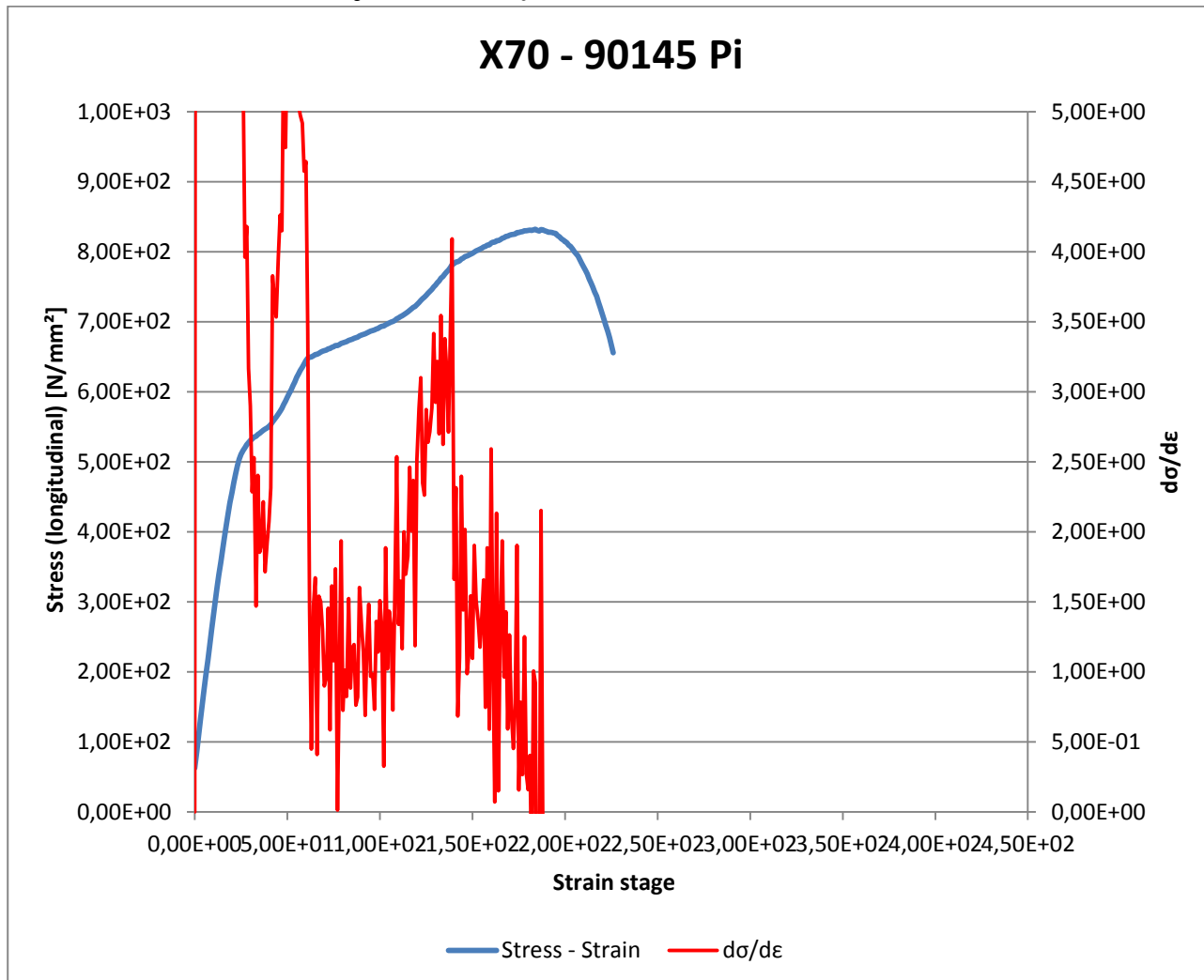


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress $[N/mm^2]$, alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalyysointorilla

Materiaali: X70 - 90145 Pi

Taulukko 29. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 90145 Pi

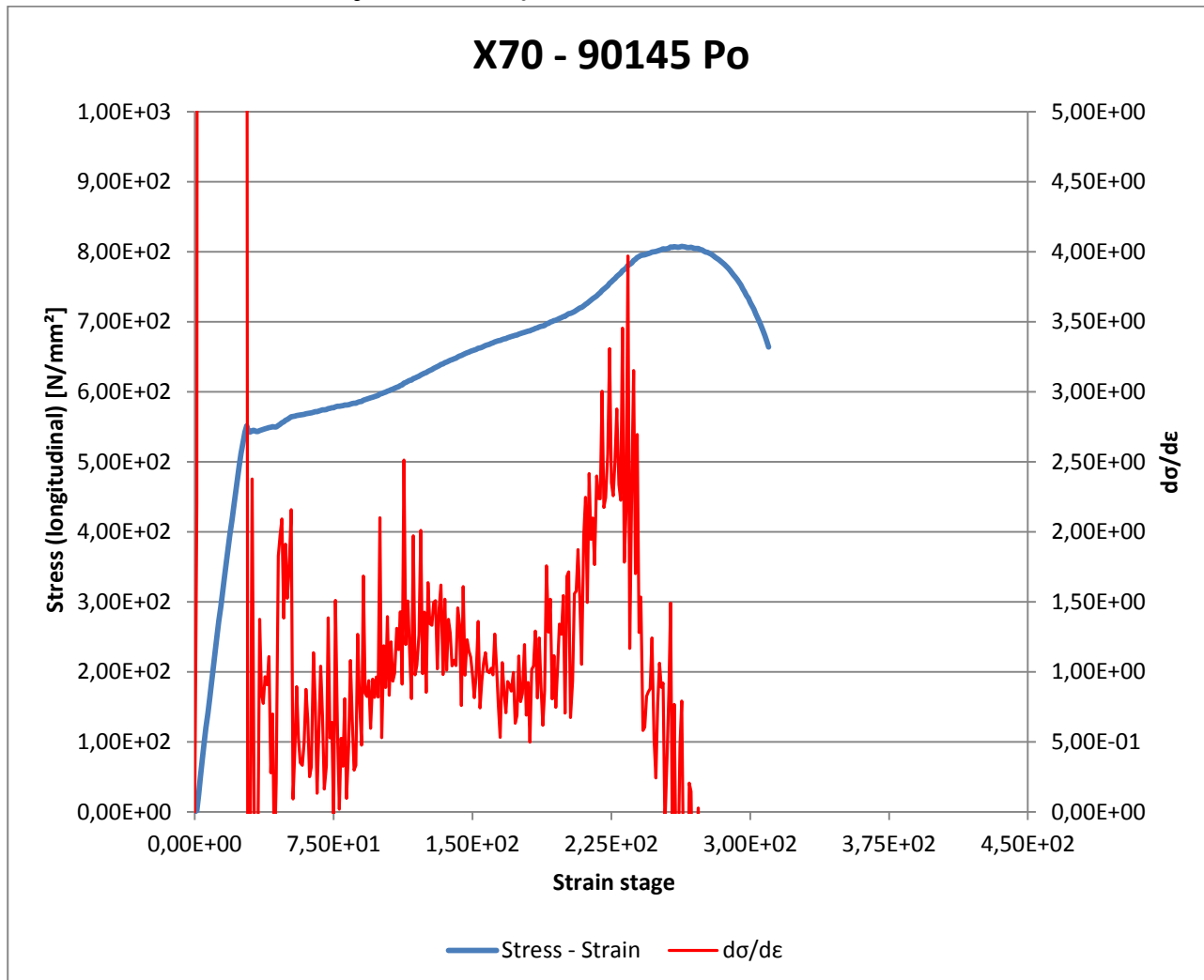


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä Aramis -venymäanalyysointorilla

Materiaali: X70 - 90145 Po

Taulukko 30. Stress Strain ja $d\sigma/d\varepsilon$ -käyrä materiaalille X70 - 90145 Po

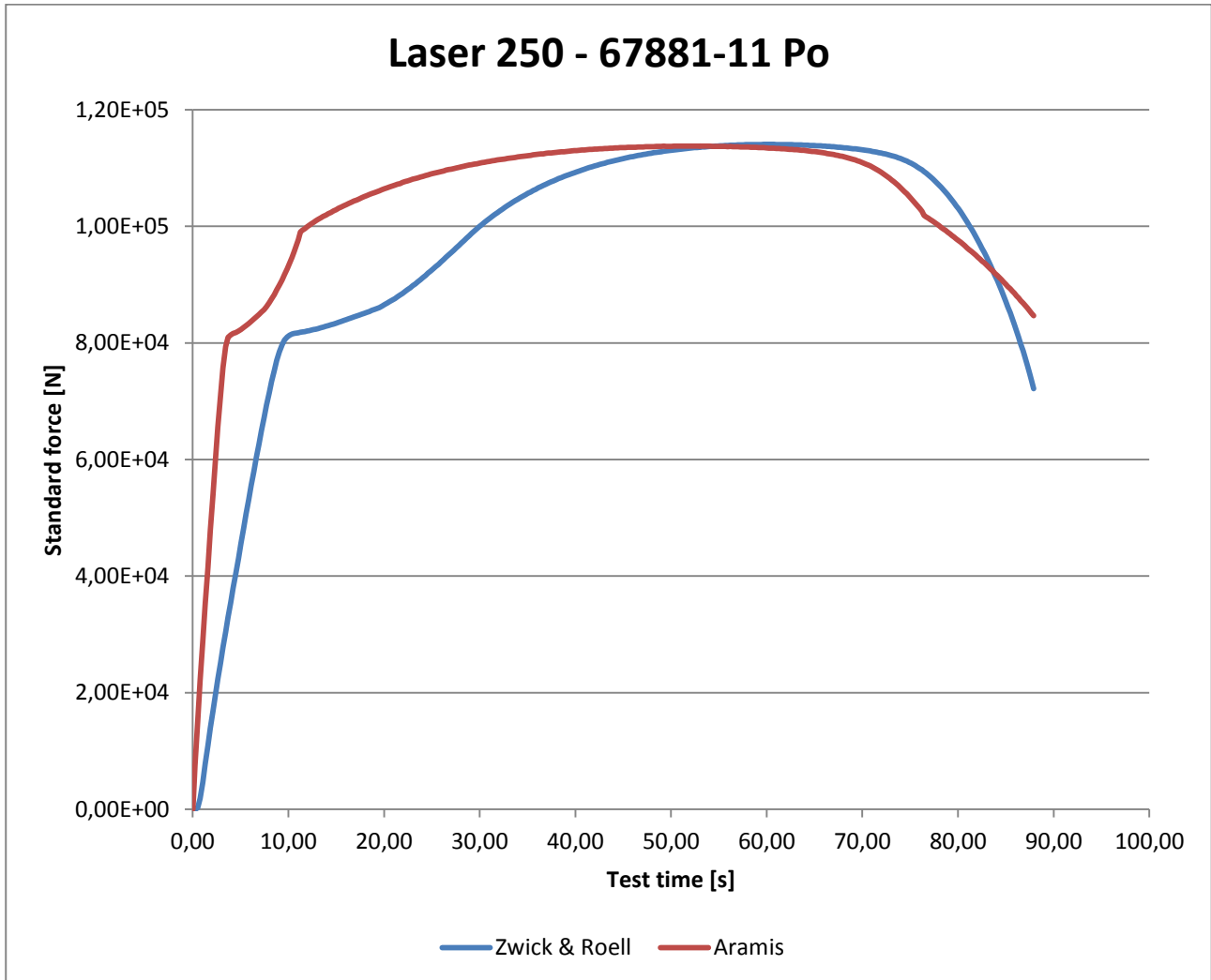


Vasemmanpuoleisella y-akselilla stress [N/mm²], alhaalla x-akselilla strain [stage] sekä oikeanpuoleisella y-akselilla $d\sigma/d\varepsilon$ - arvot.

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 250 - 67881-11 Po

Taulukko 1. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 250 - 67881-11 Po

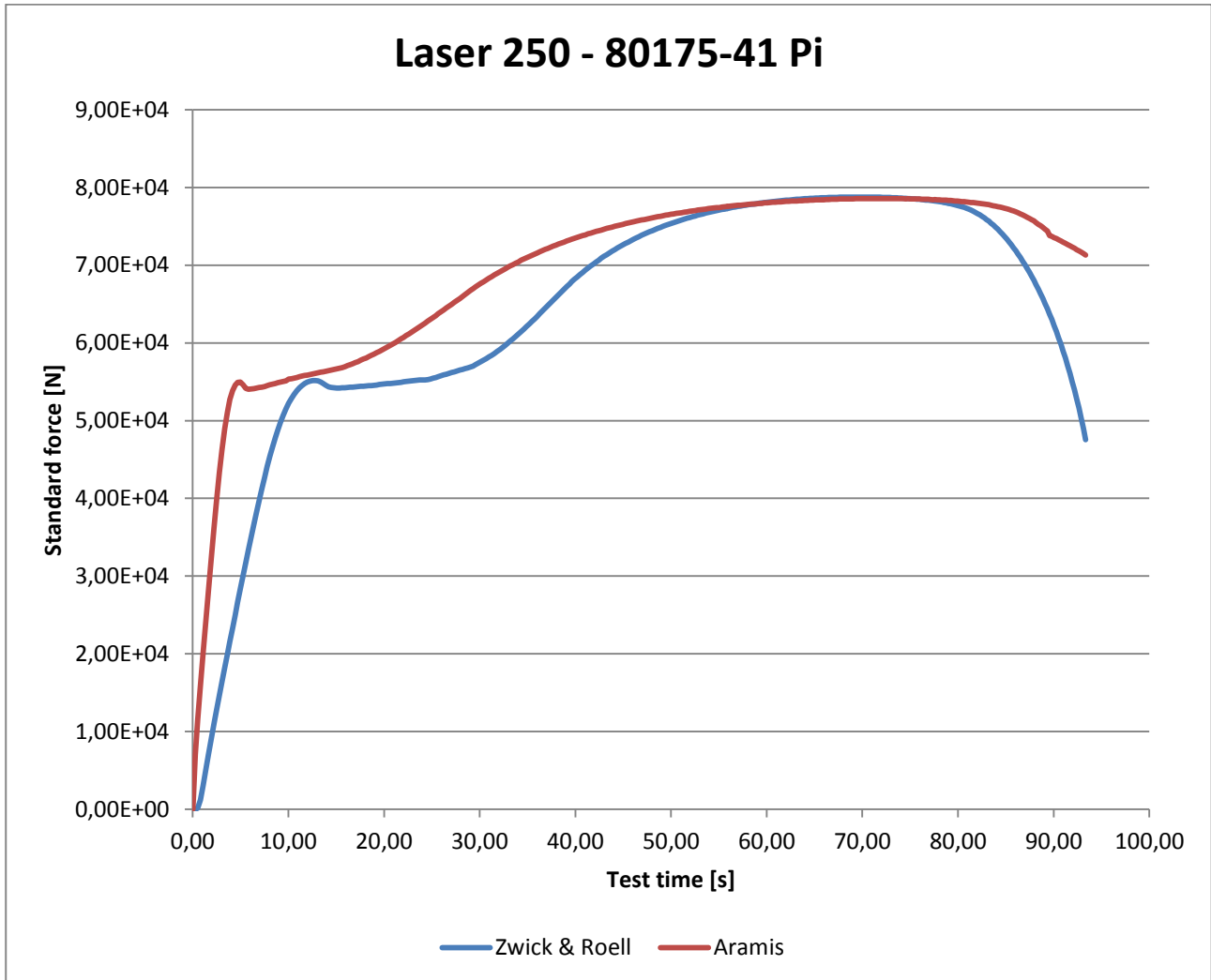


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä.

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Pi

Taulukko 2. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Pi

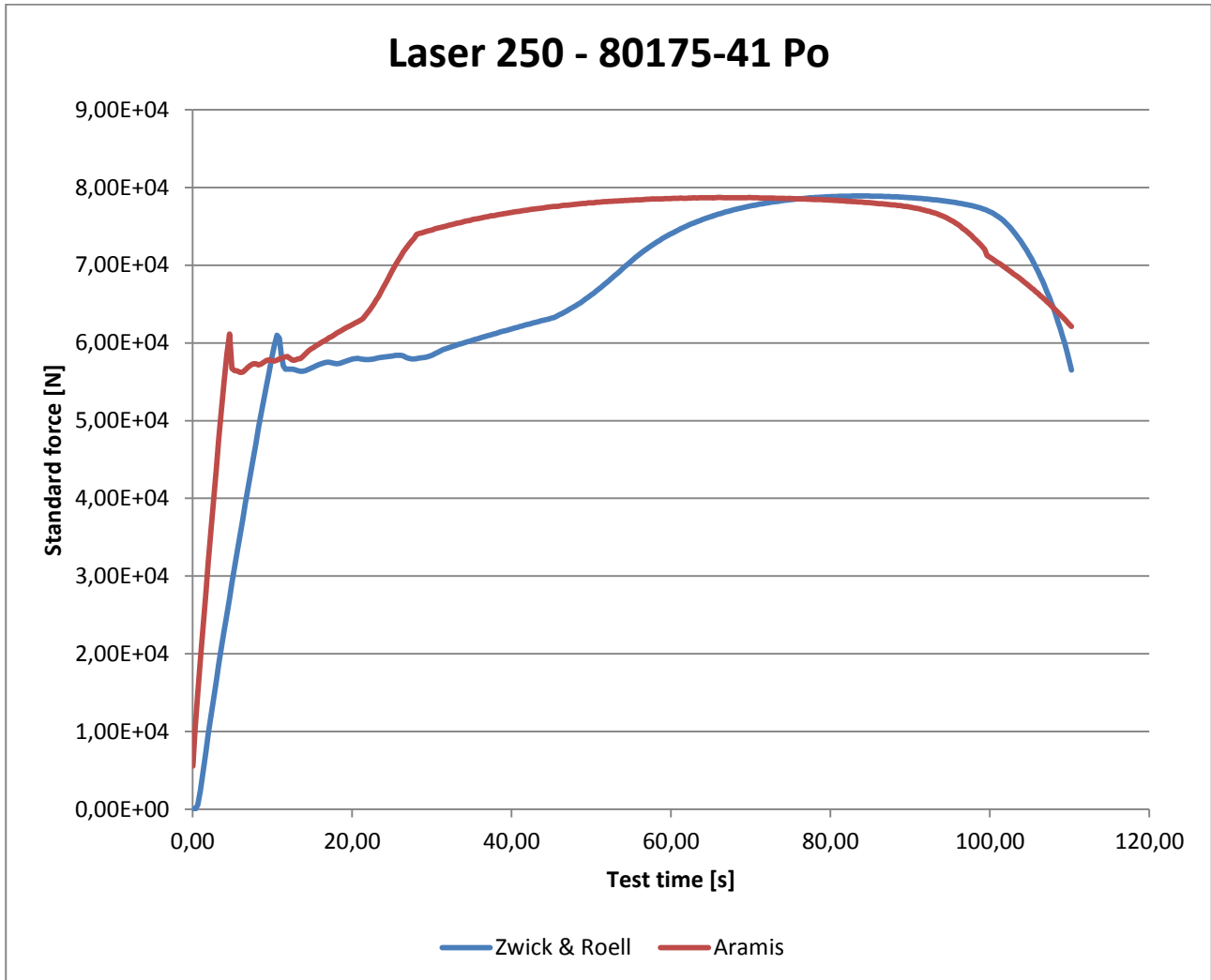


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä.

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 250 - 80175-41 Po

Taulukko 3. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 250 - 80175-41 Po

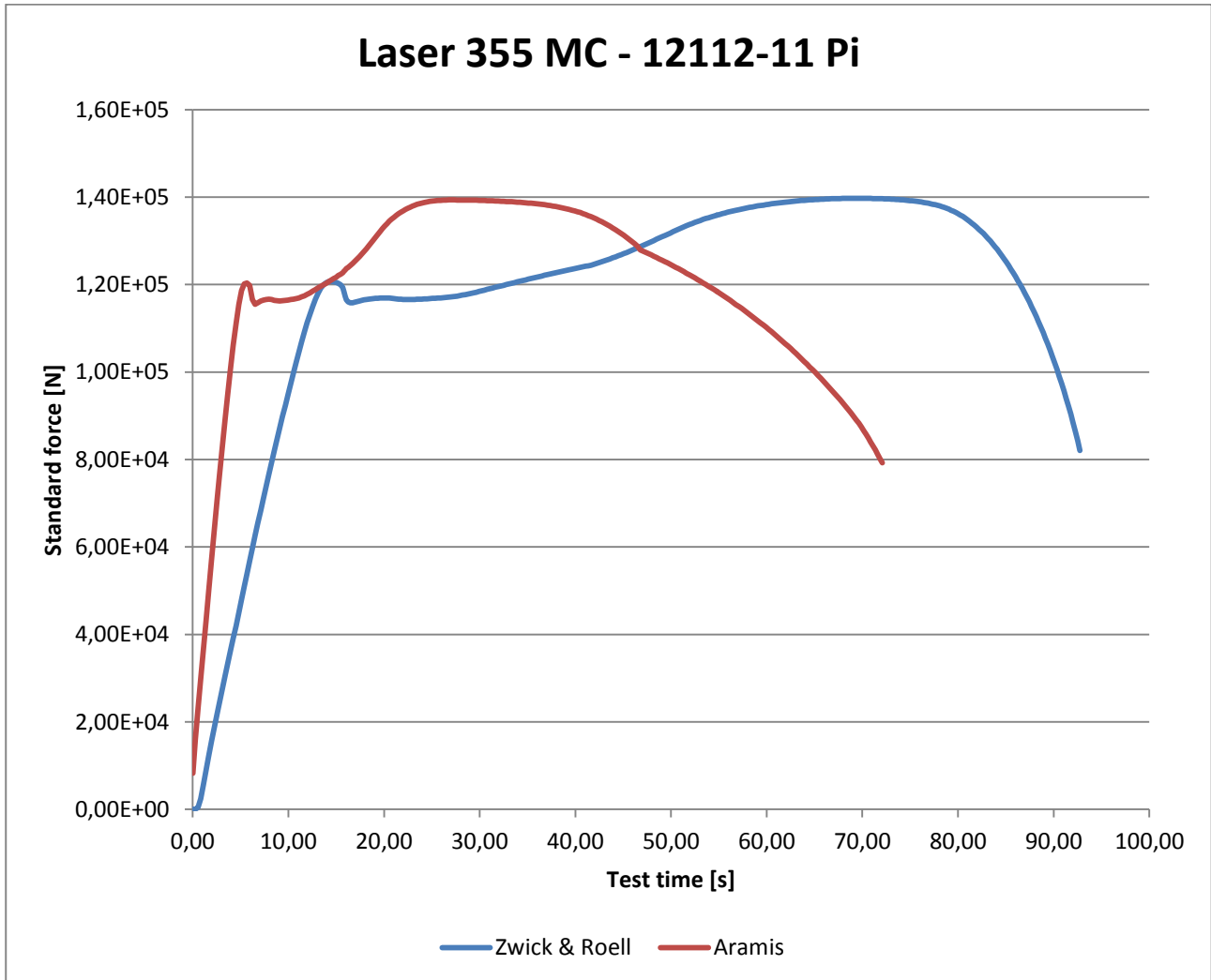


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Pi

Taulukko 4. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Pi

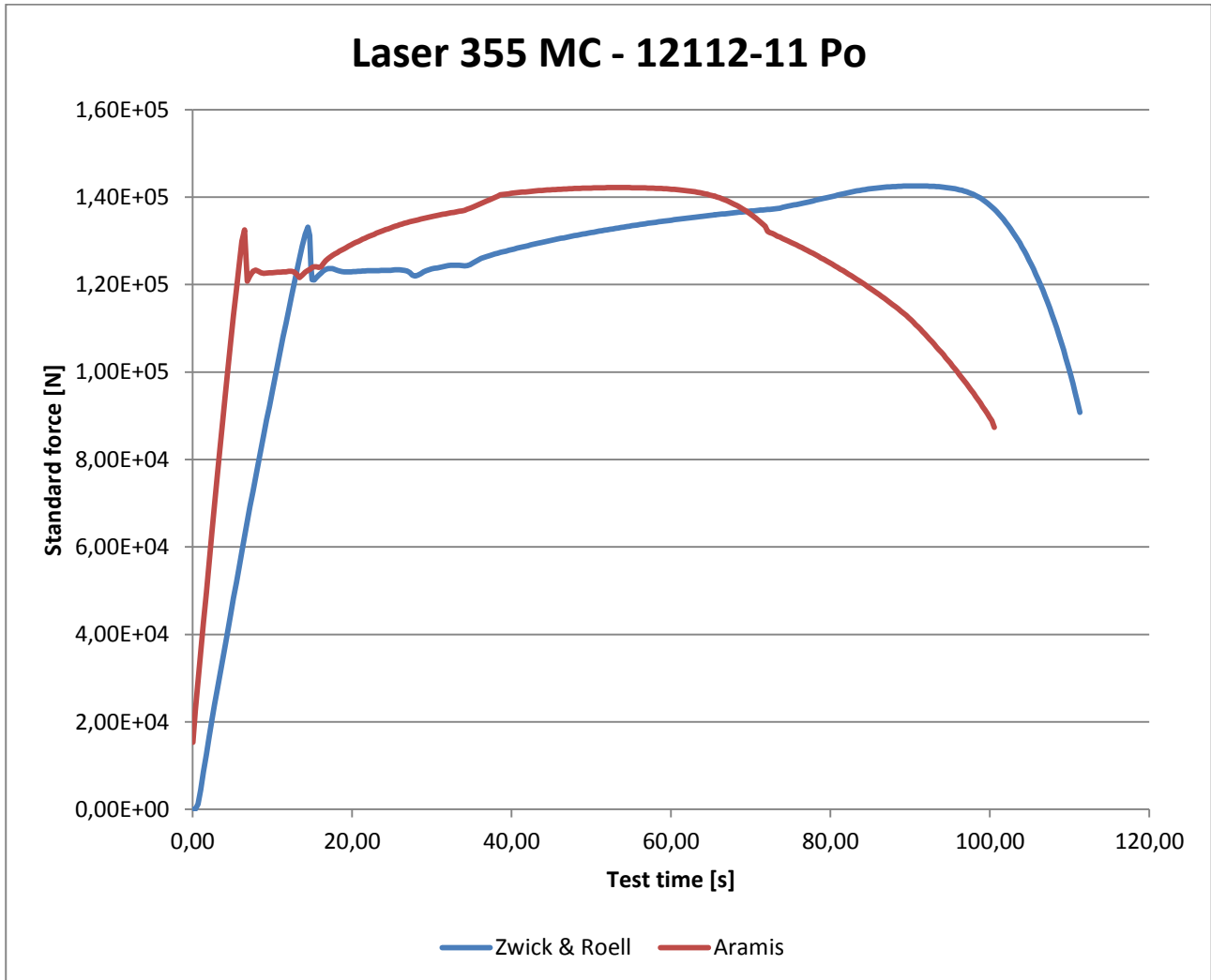


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 355 MC - 12112-11 Po

Taulukko 5. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 12112-11 Po

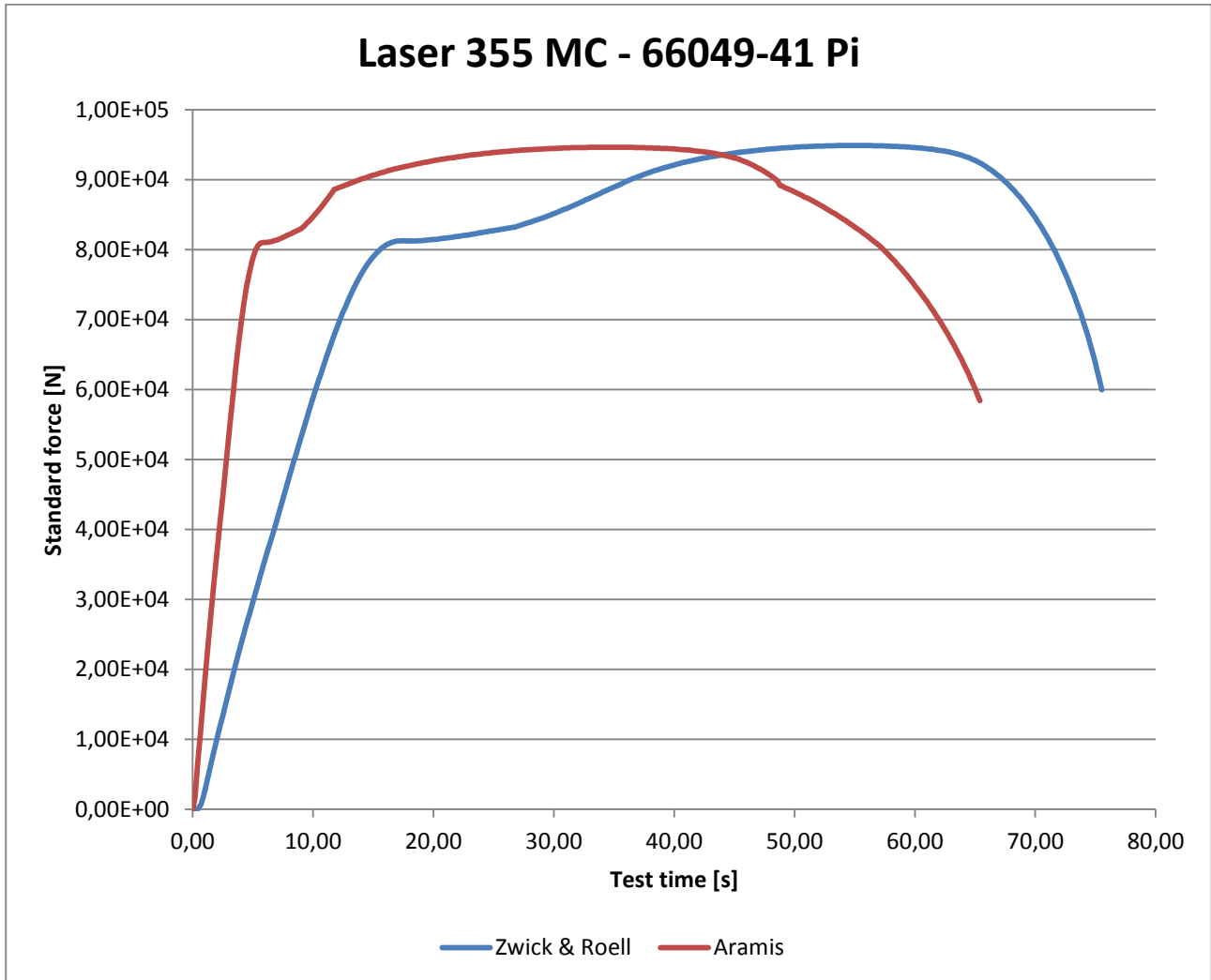


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Pi

Taulukko 6. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Pi

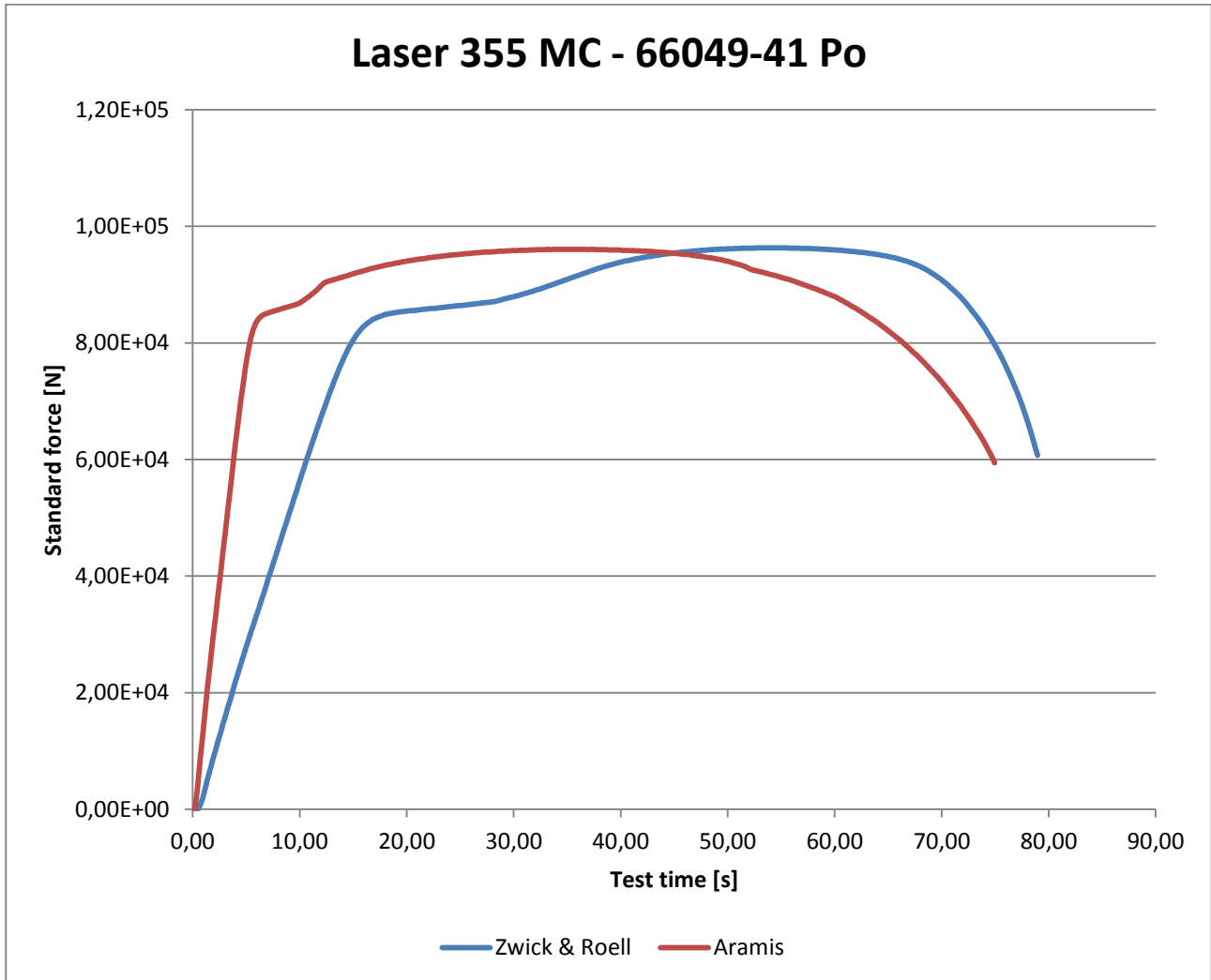


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 355 MC - 66049-41 Po

Taulukko 7. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 355 MC - 66049-41 Po

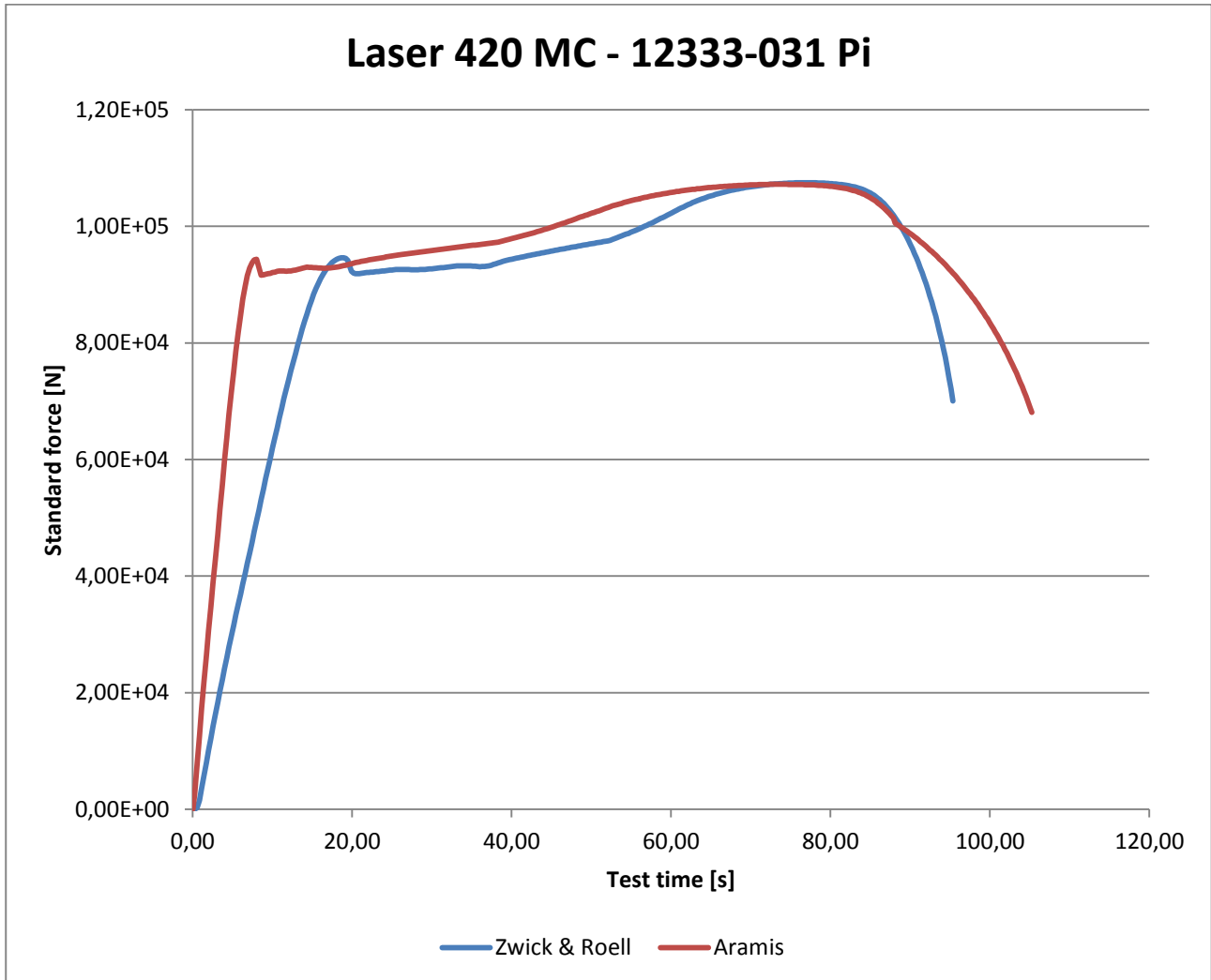


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Pi

Taulukko 8. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Pi

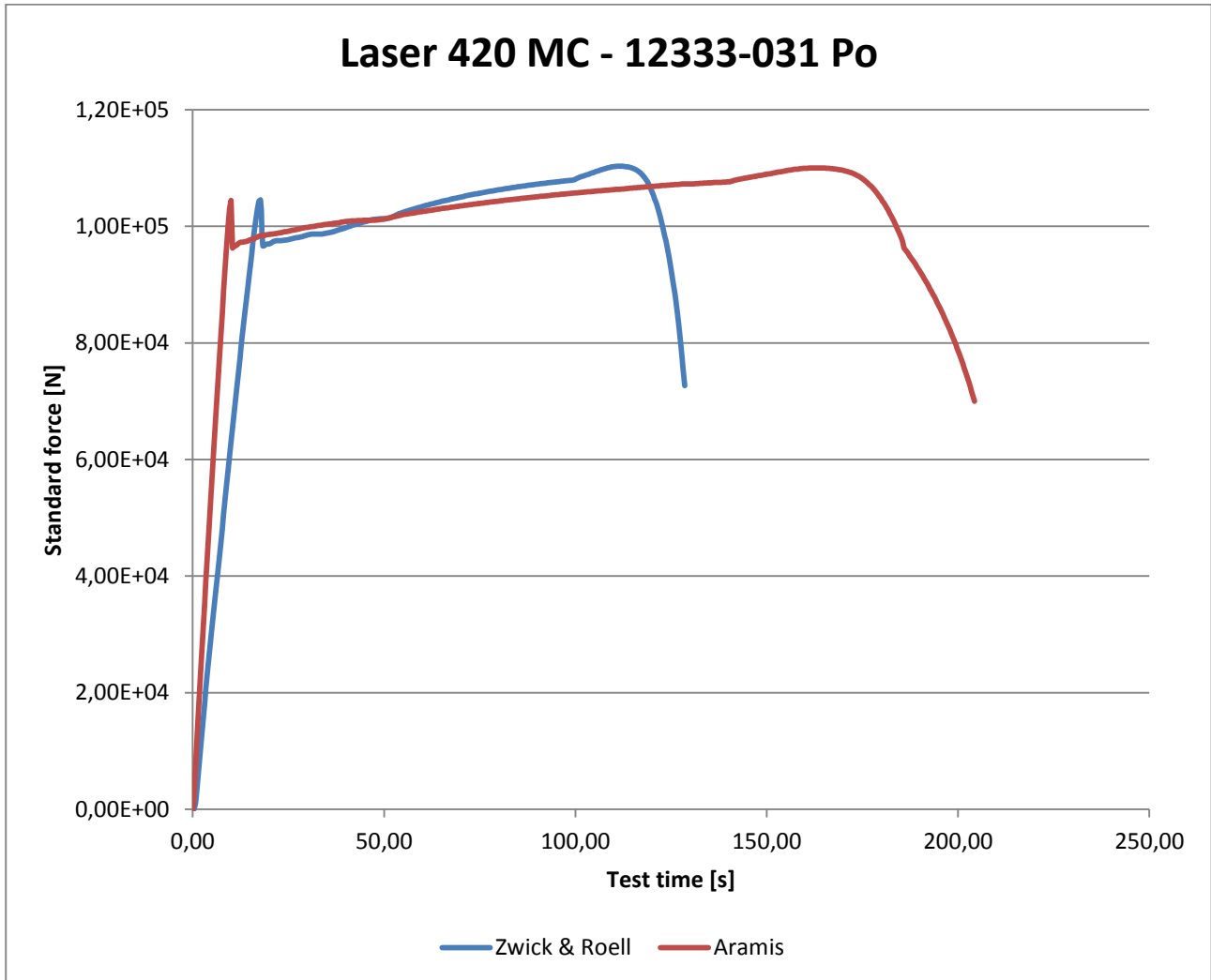


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Laser 420 MC - 12333-031 Po

Taulukko 9. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Laser 420 MC - 12333-031 Po

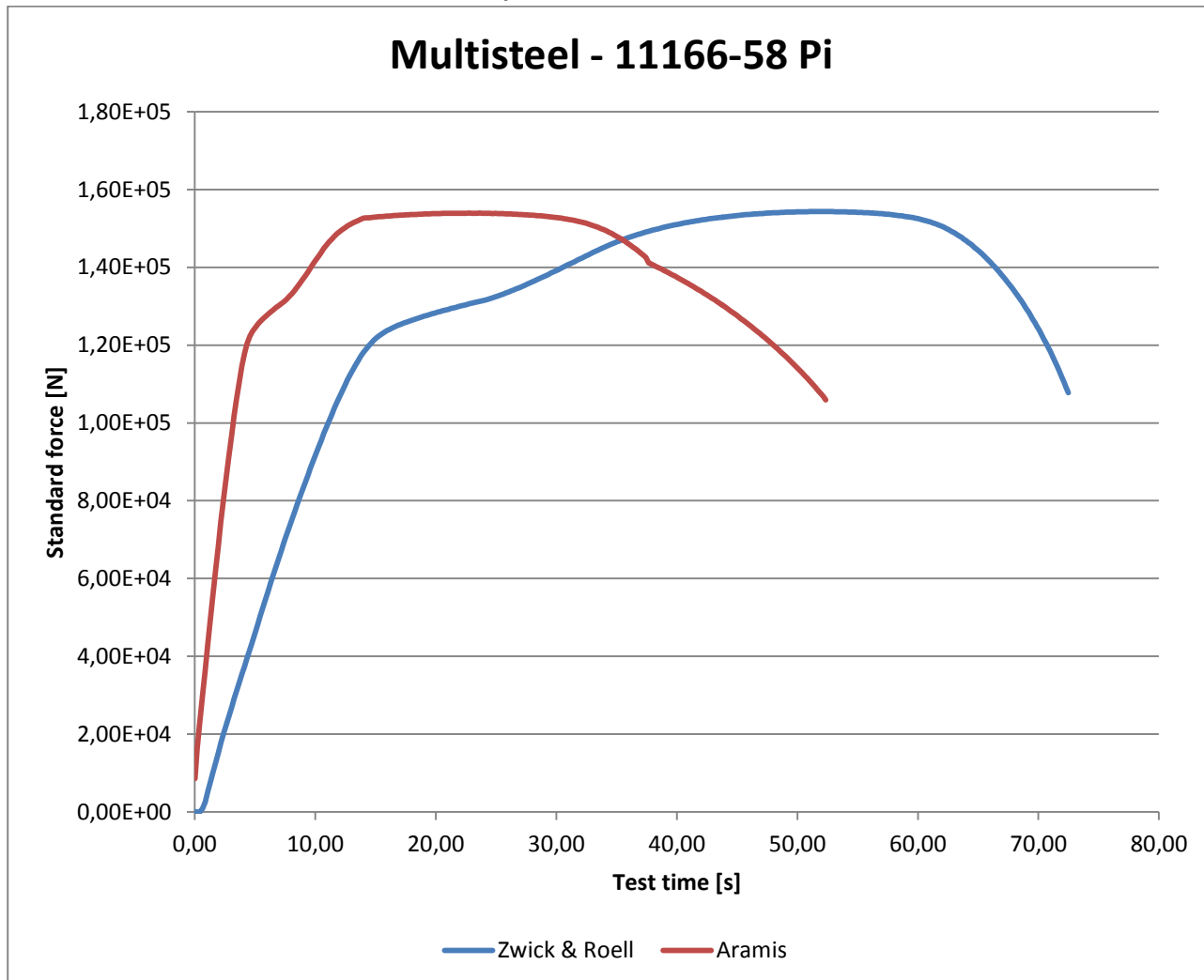


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Pi

Taulukko 10. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Pi

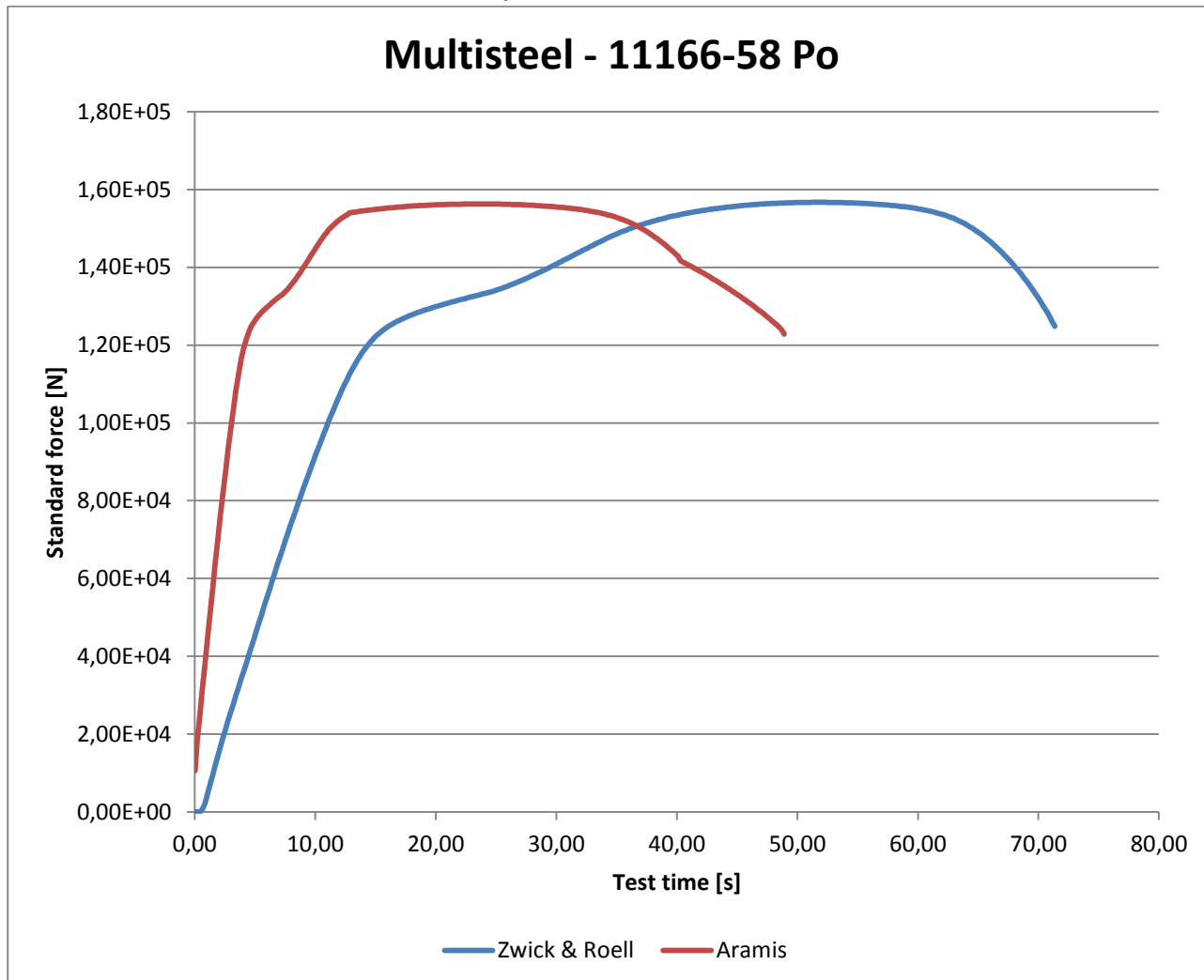


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointin käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: Multisteel - 11166-58 Po

Taulukko 11. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille Multisteel - 11166-58 Po

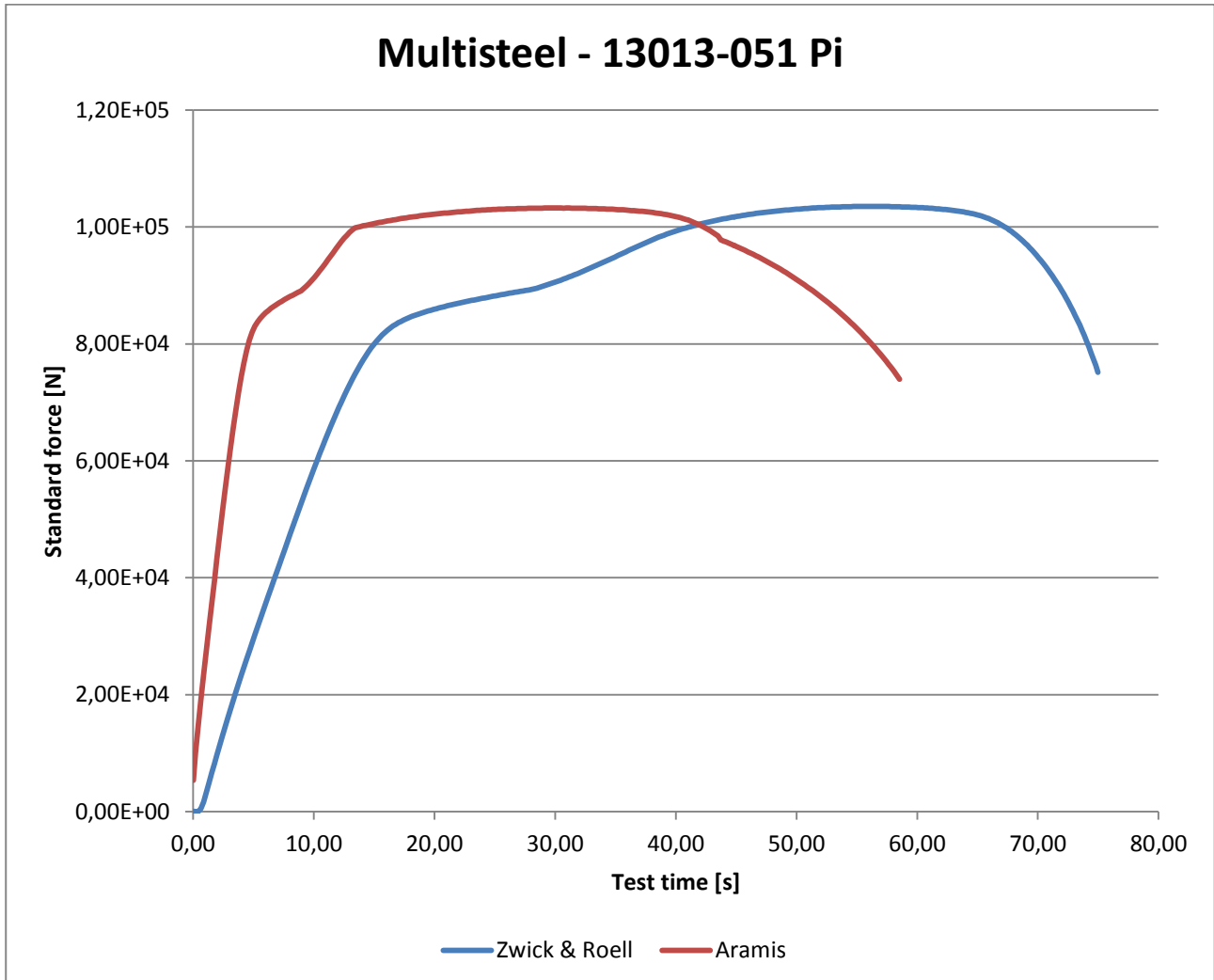


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Pi

Taulukko 12. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Pi

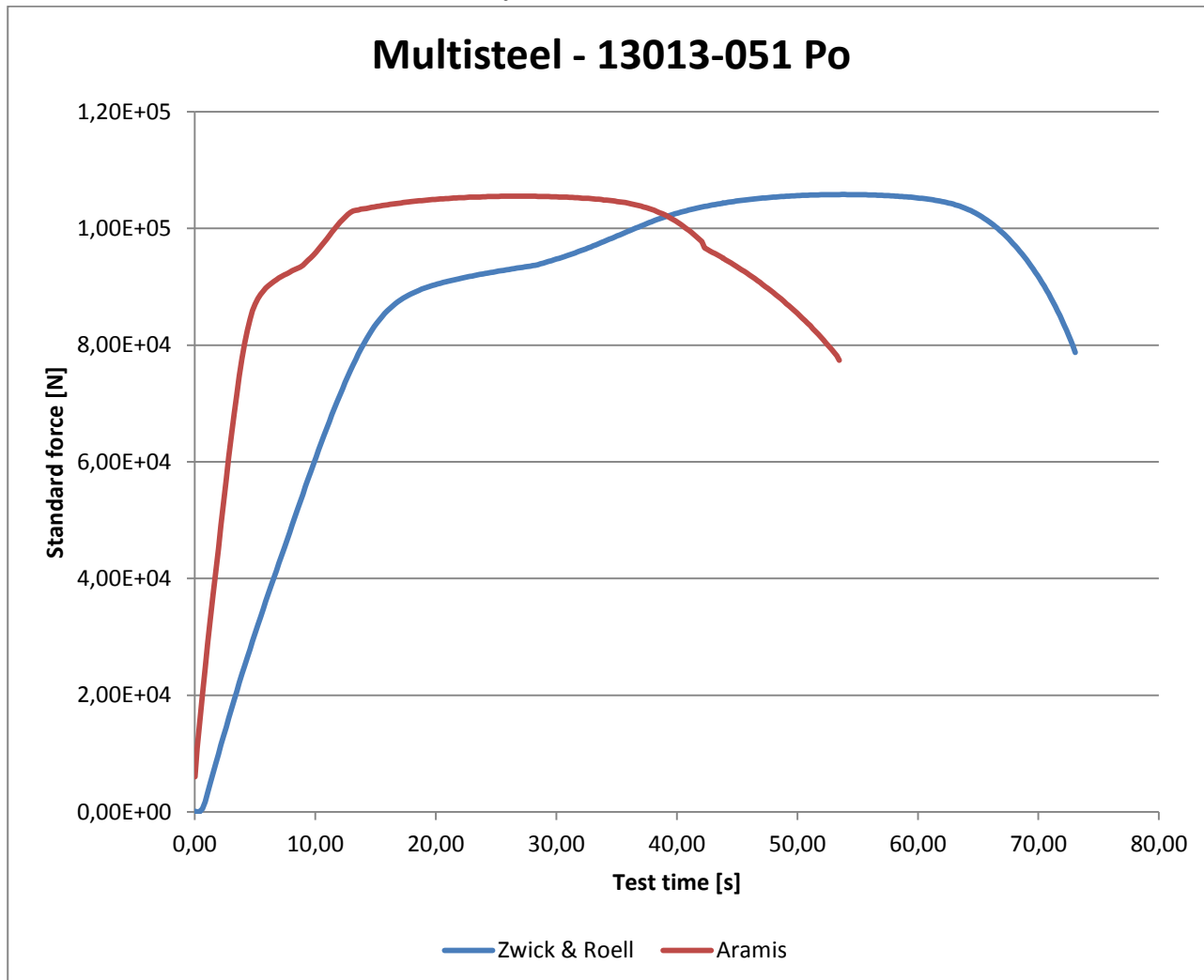


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Multisteel - 13013-051 Po

Taulukko 13. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-051 Po

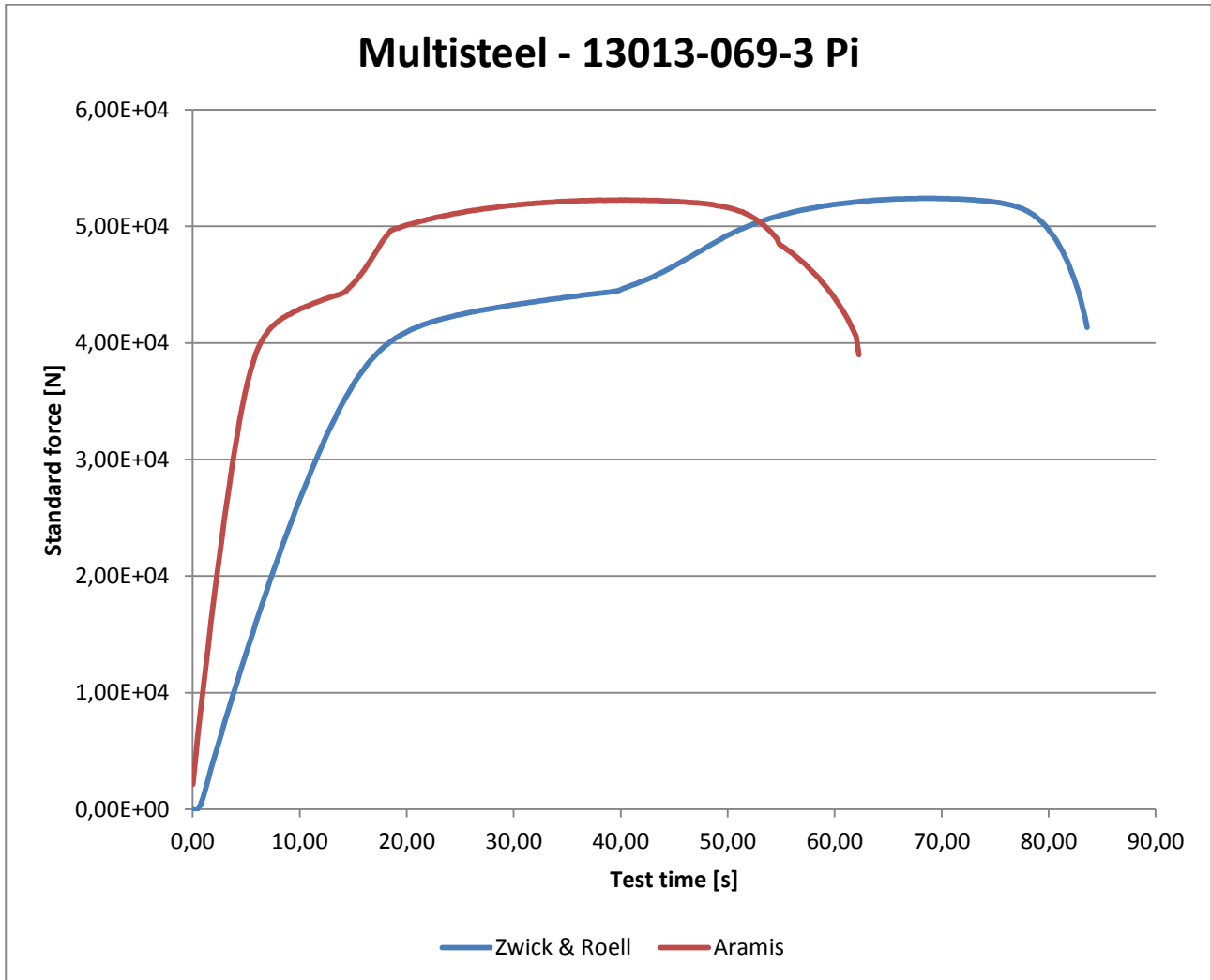


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Pi

Taulukko 14. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Pi

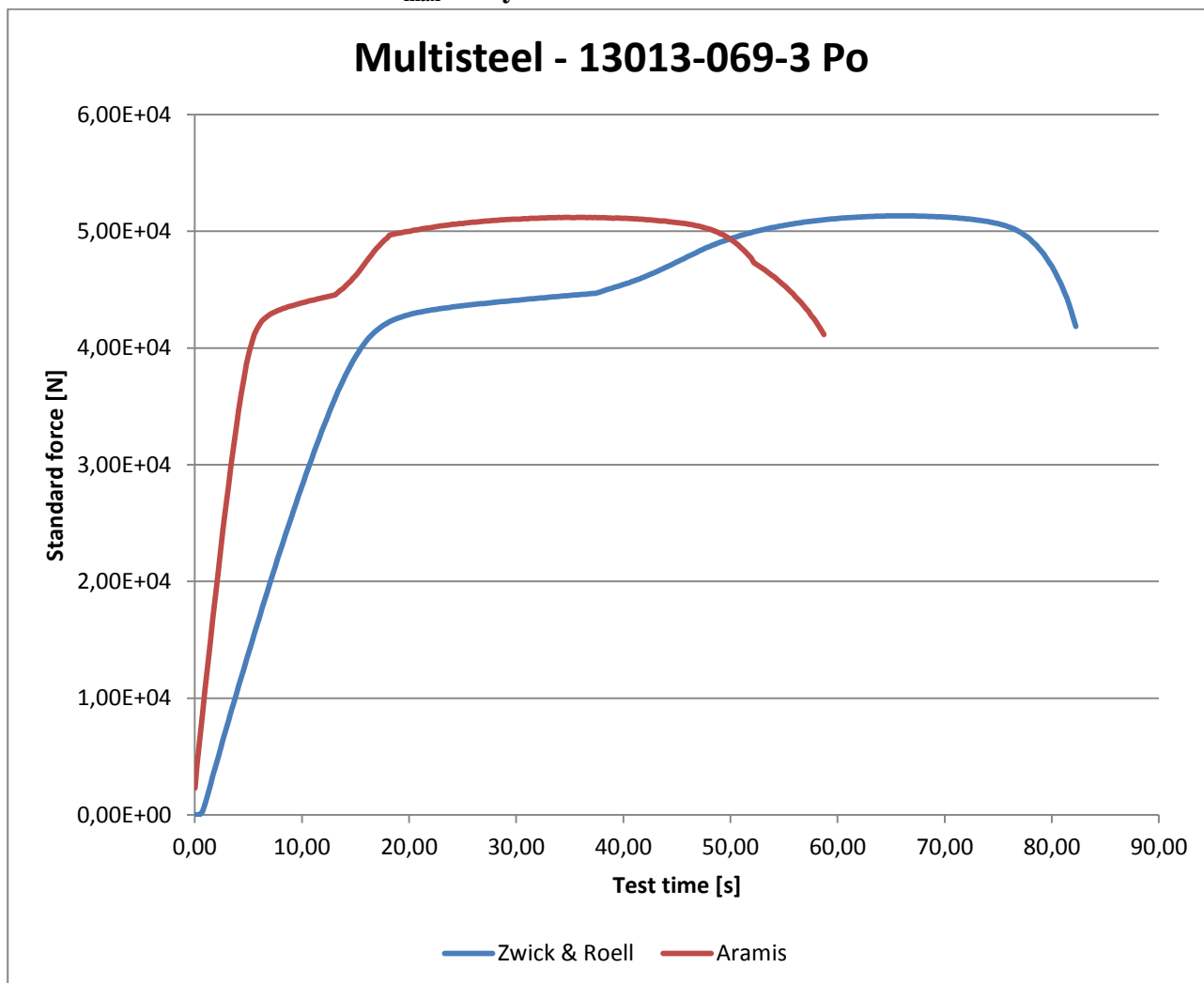


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: Multisteel - 13013-069-3 Po

Taulukko 15. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille Multisteel - 13013-069-3 Po

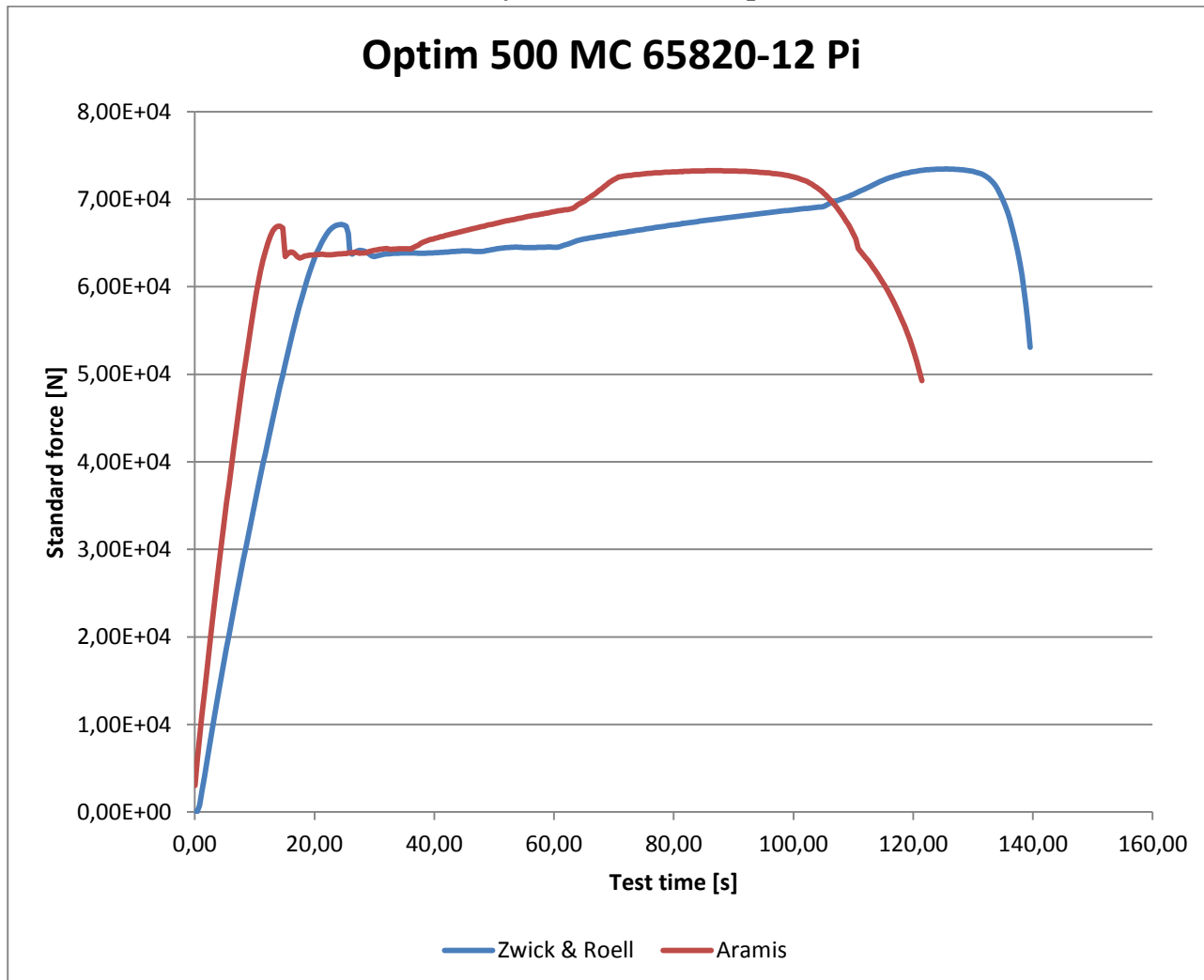


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Pi

Taulukko 16. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Pi

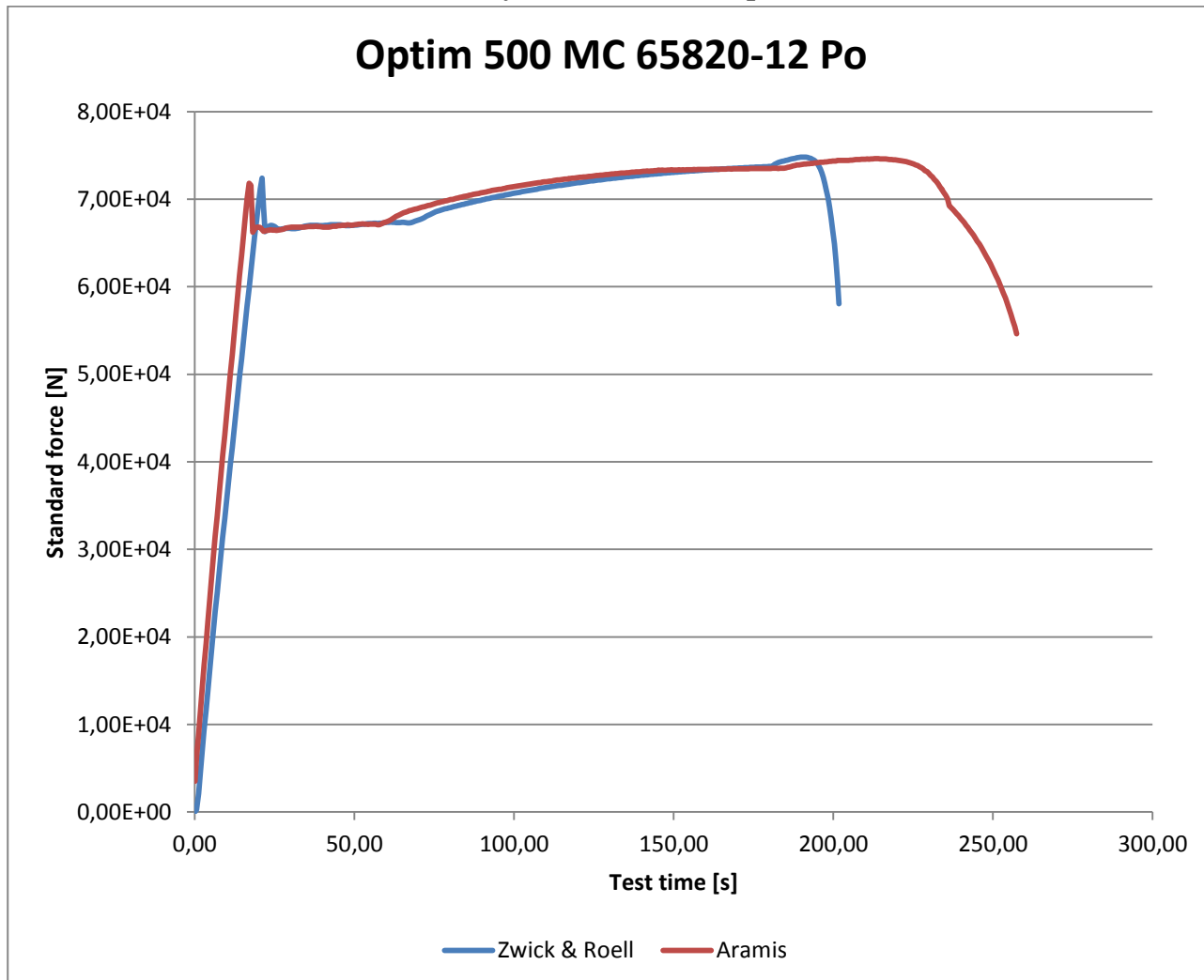


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Optim 500 MC - 65820-12 Po

Taulukko 17. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 65820-12 Po

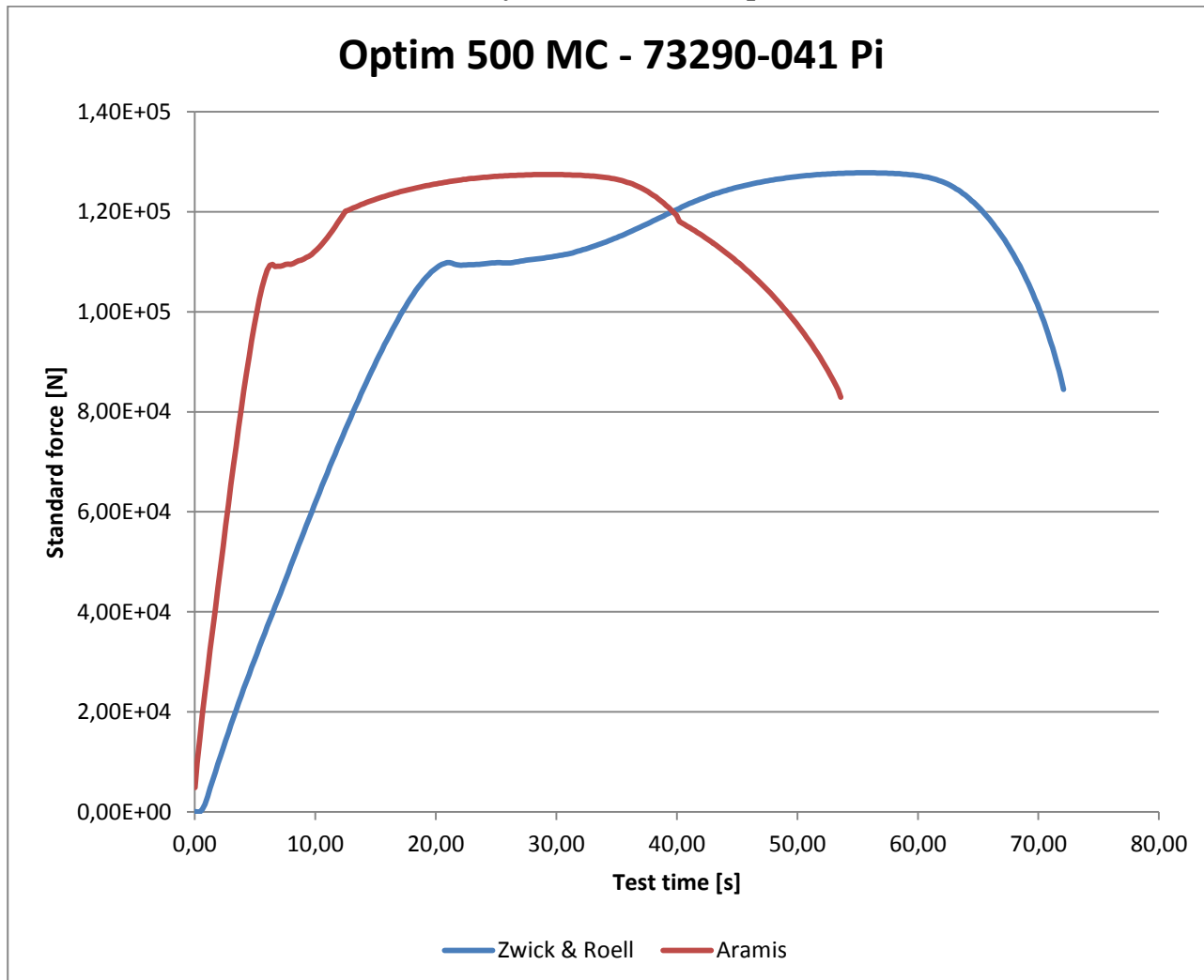


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Pi

Taulukko 18. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Pi

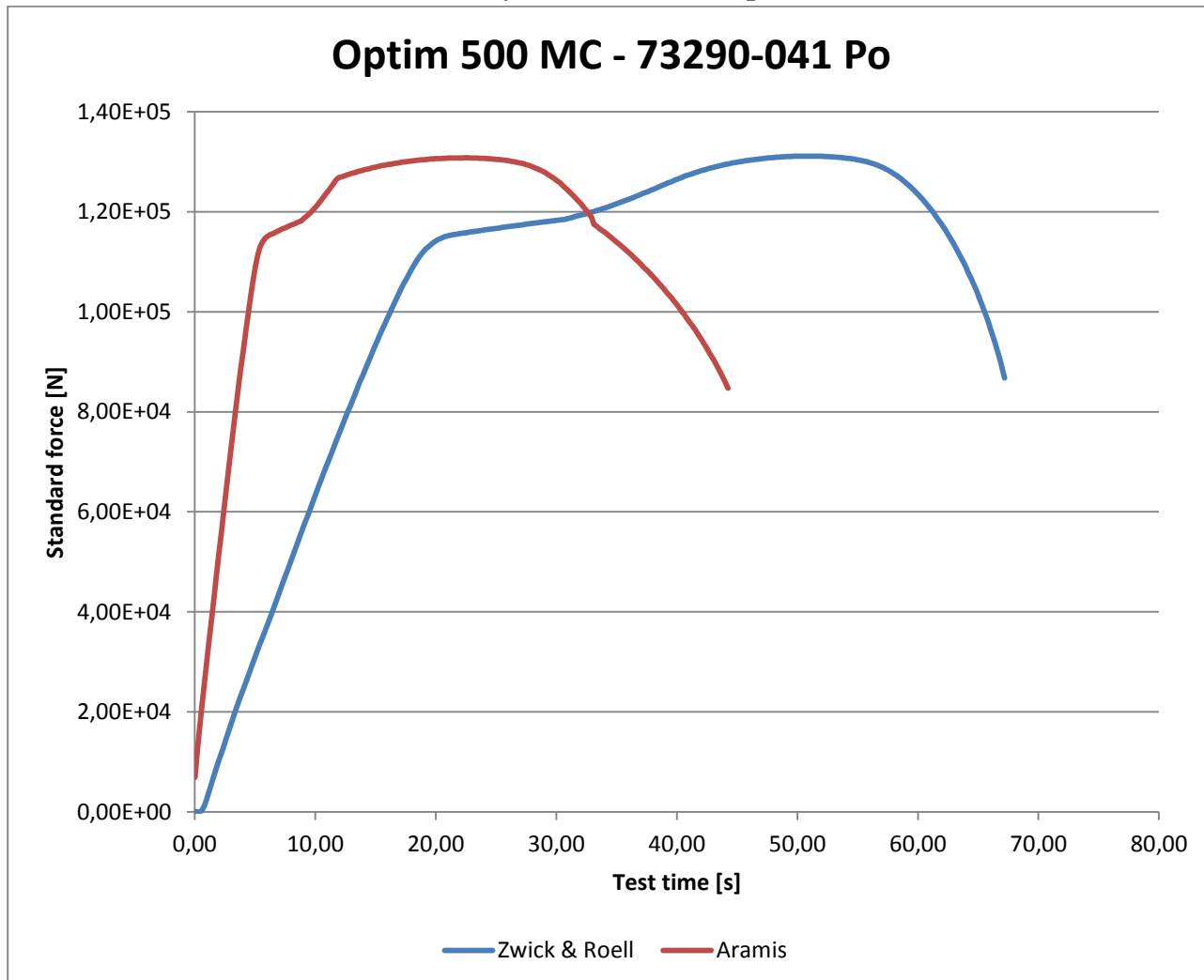


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Optim 500 MC - 73290-041 Po

Taulukko 19. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Optim 500 MC - 73290-041 Po

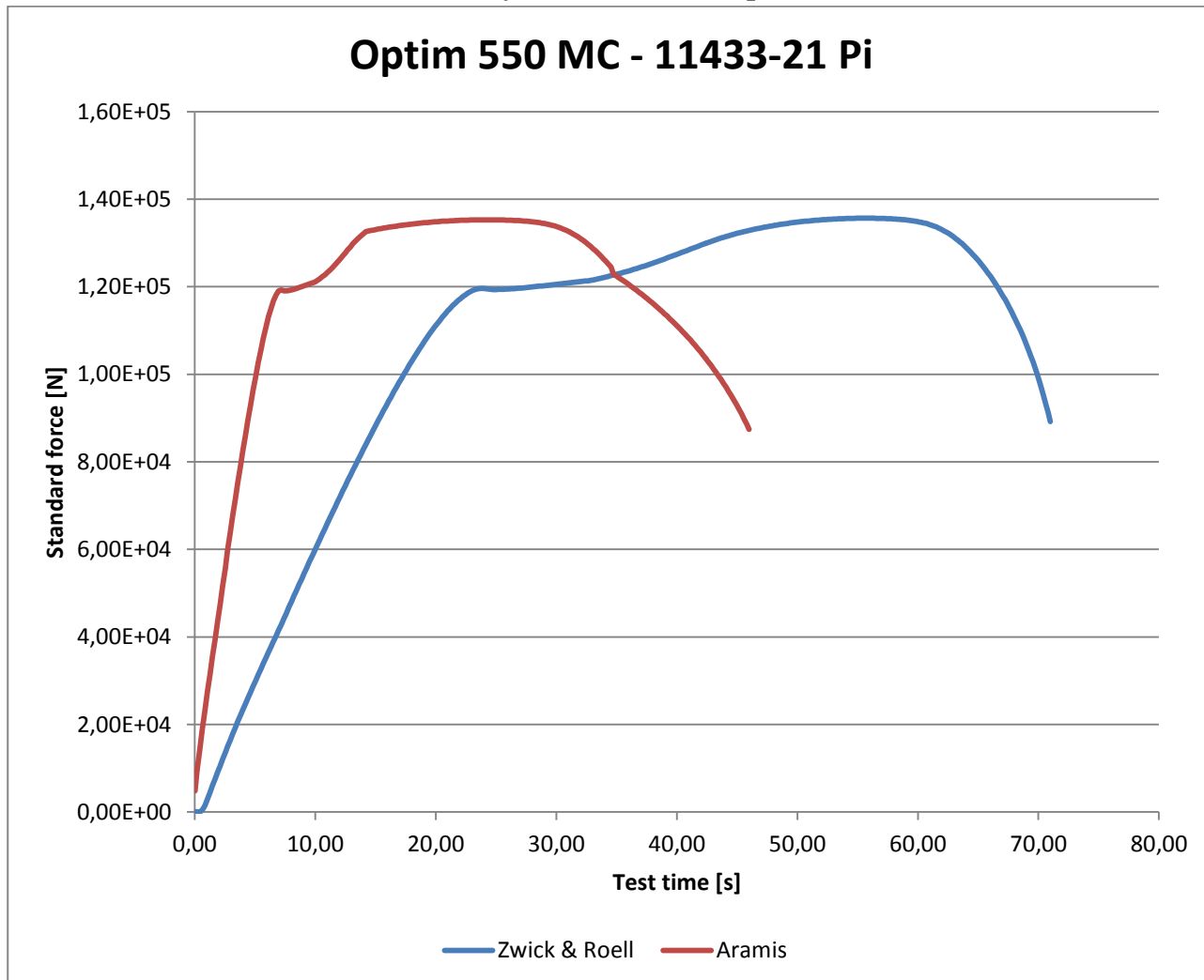


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Pi

Taulukko 20. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Pi

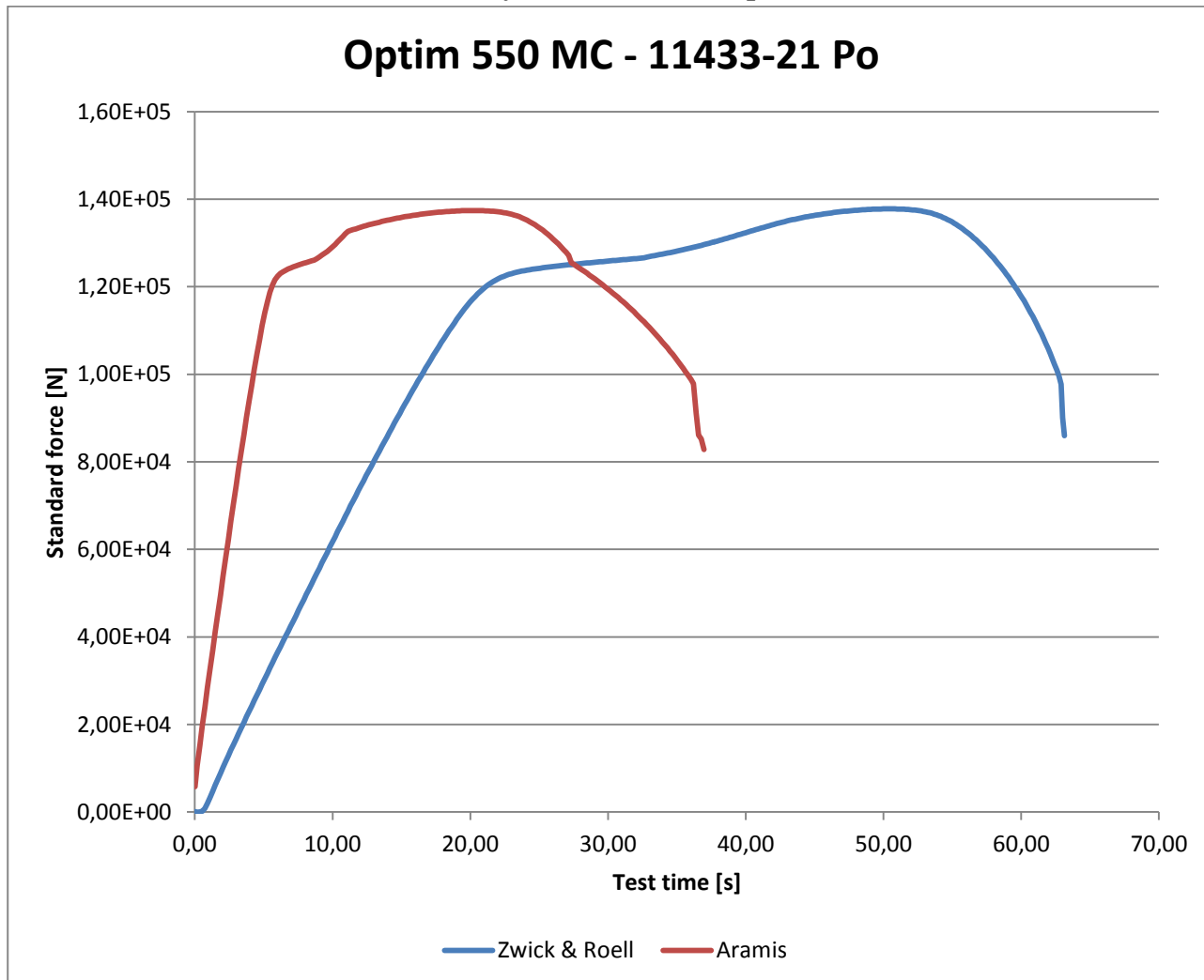


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: Optim 550 MC - 11433-21 Po

Taulukko 21. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille Optim 550 MC - 11433-21 Po

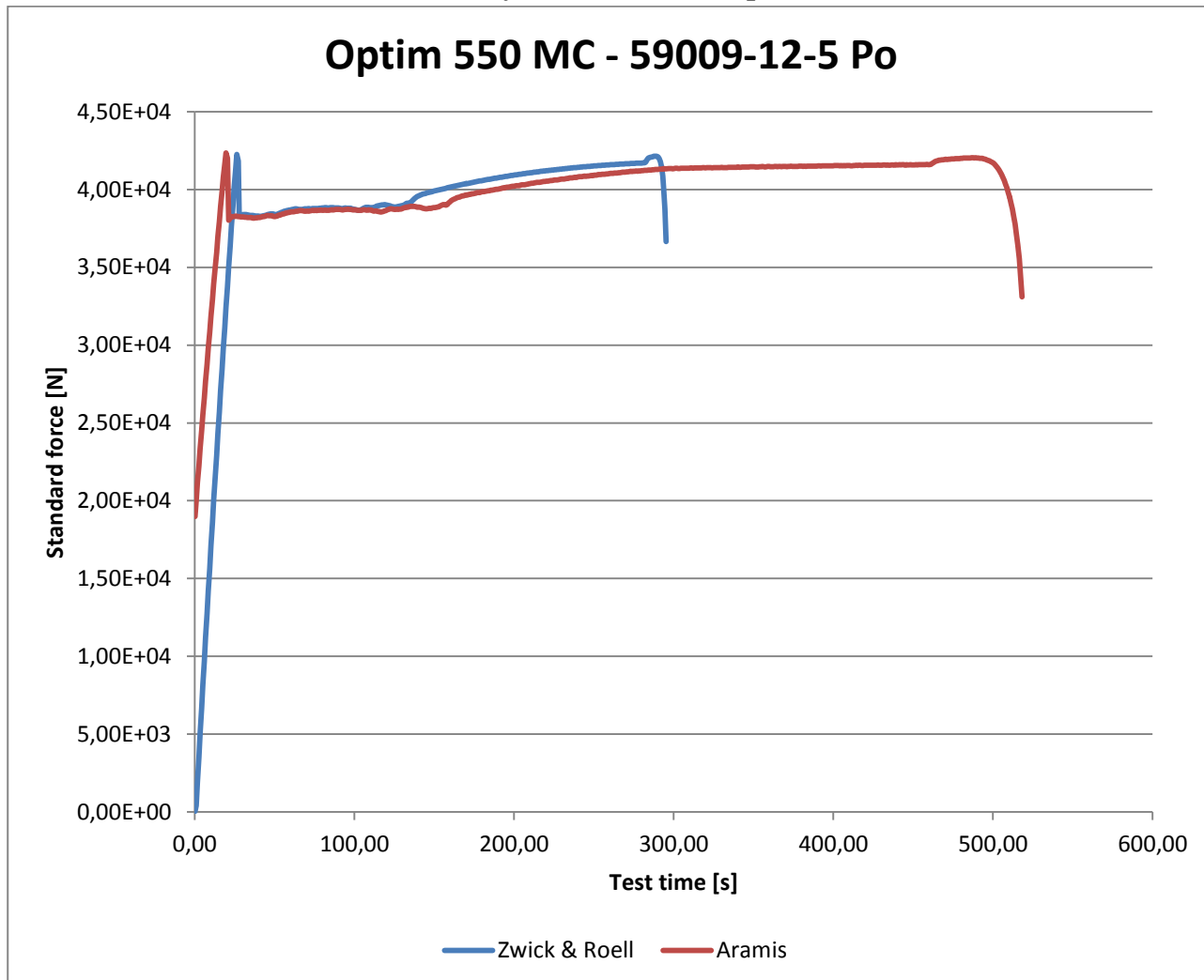


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

Taulukko 22. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille Optim 550 MC - 59009-12-5 Po

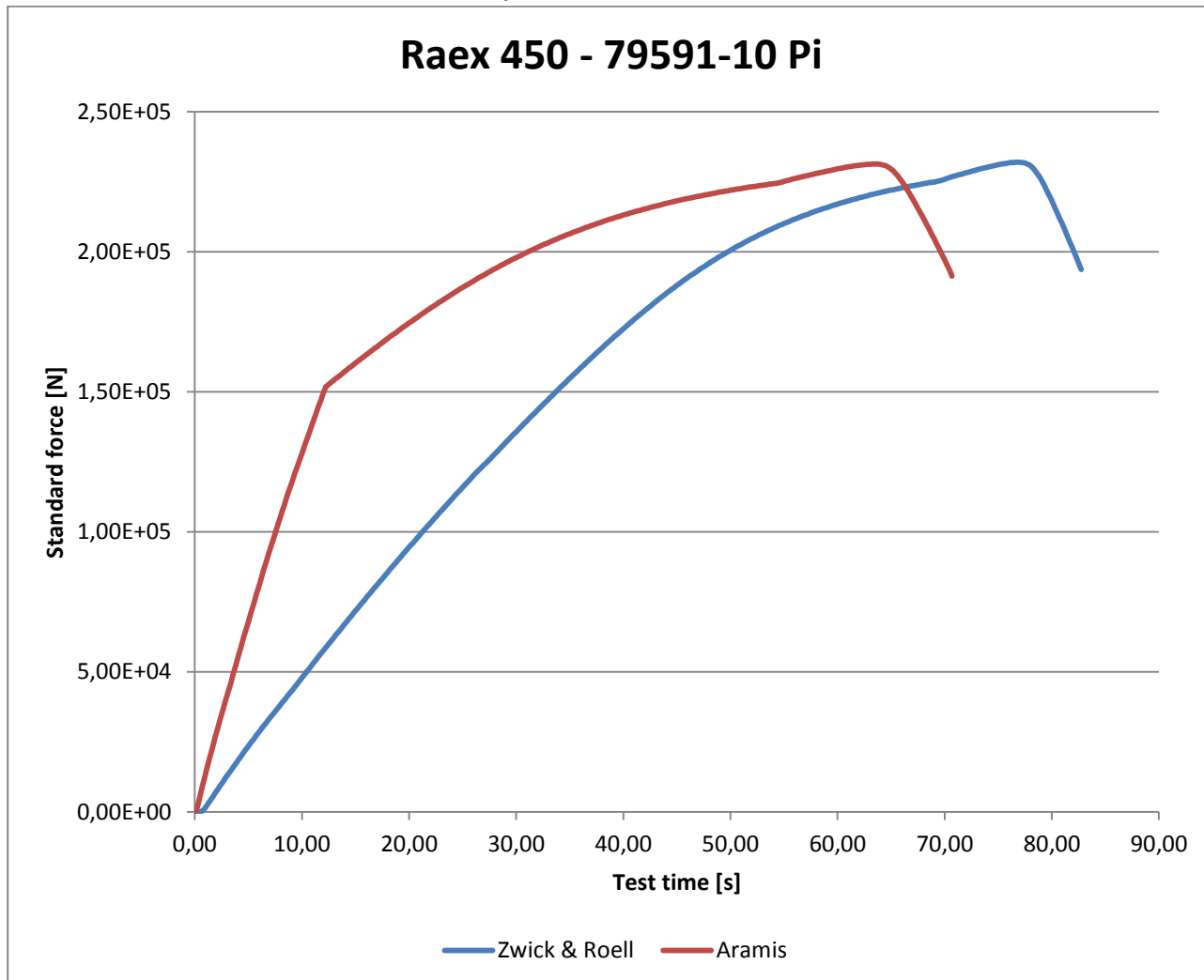


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Pi

Taulukko 23. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Pi

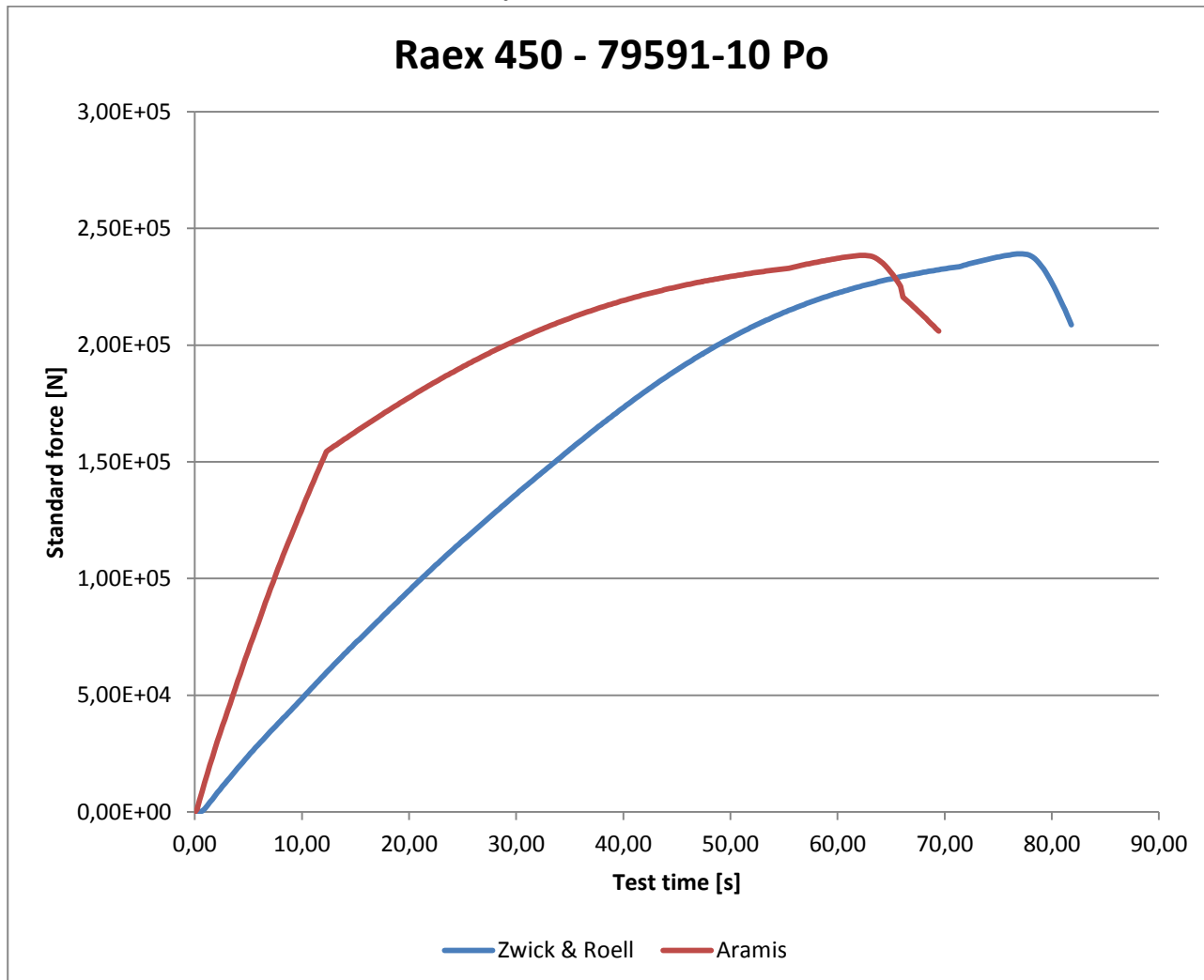


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointijärjestelmän käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: Raex 450 - 79591-10 Po

Taulukko 24. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille Raex 450 - 79591-10 Po

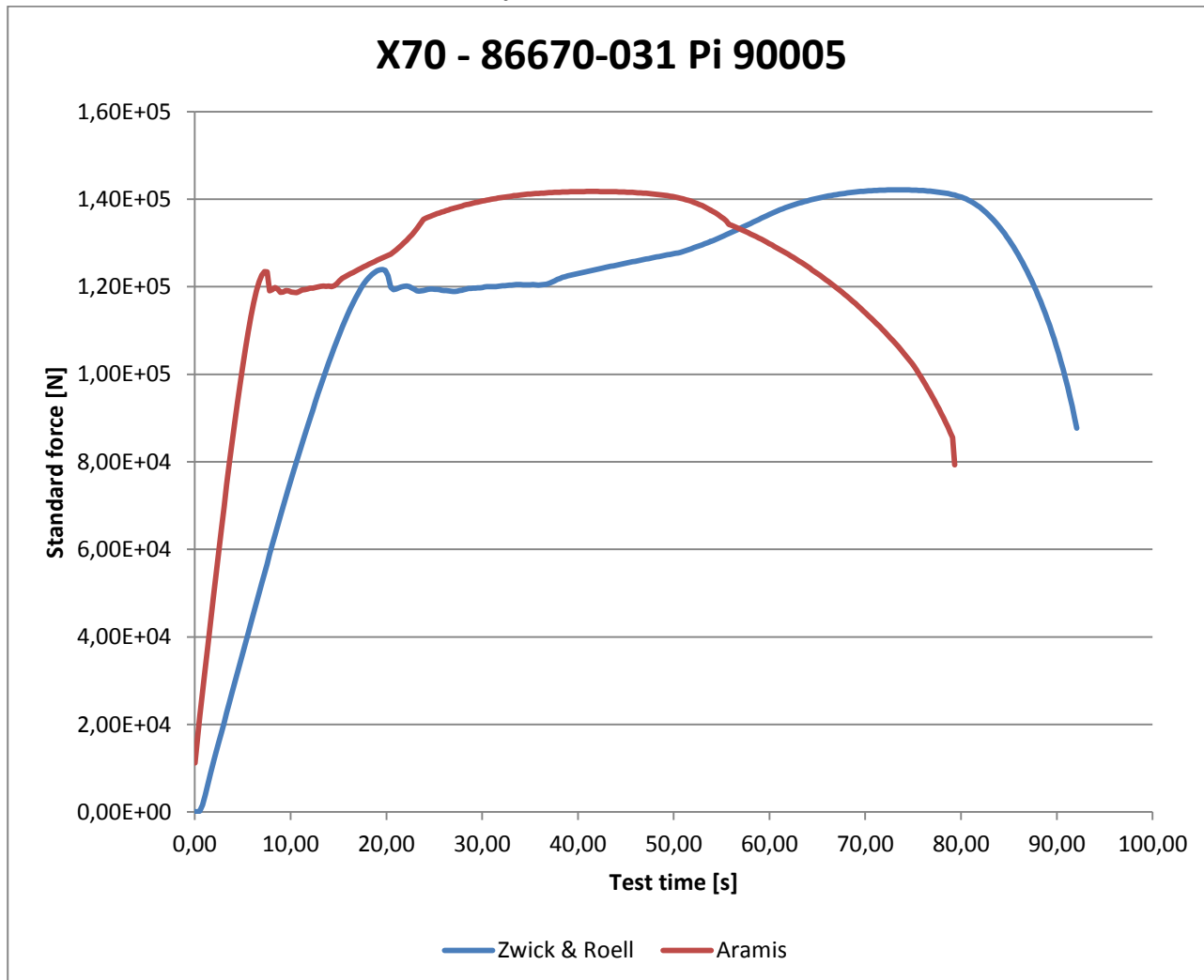


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: X70 - 86670-031 Pi 90005

Taulukko 25. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Pi 90005

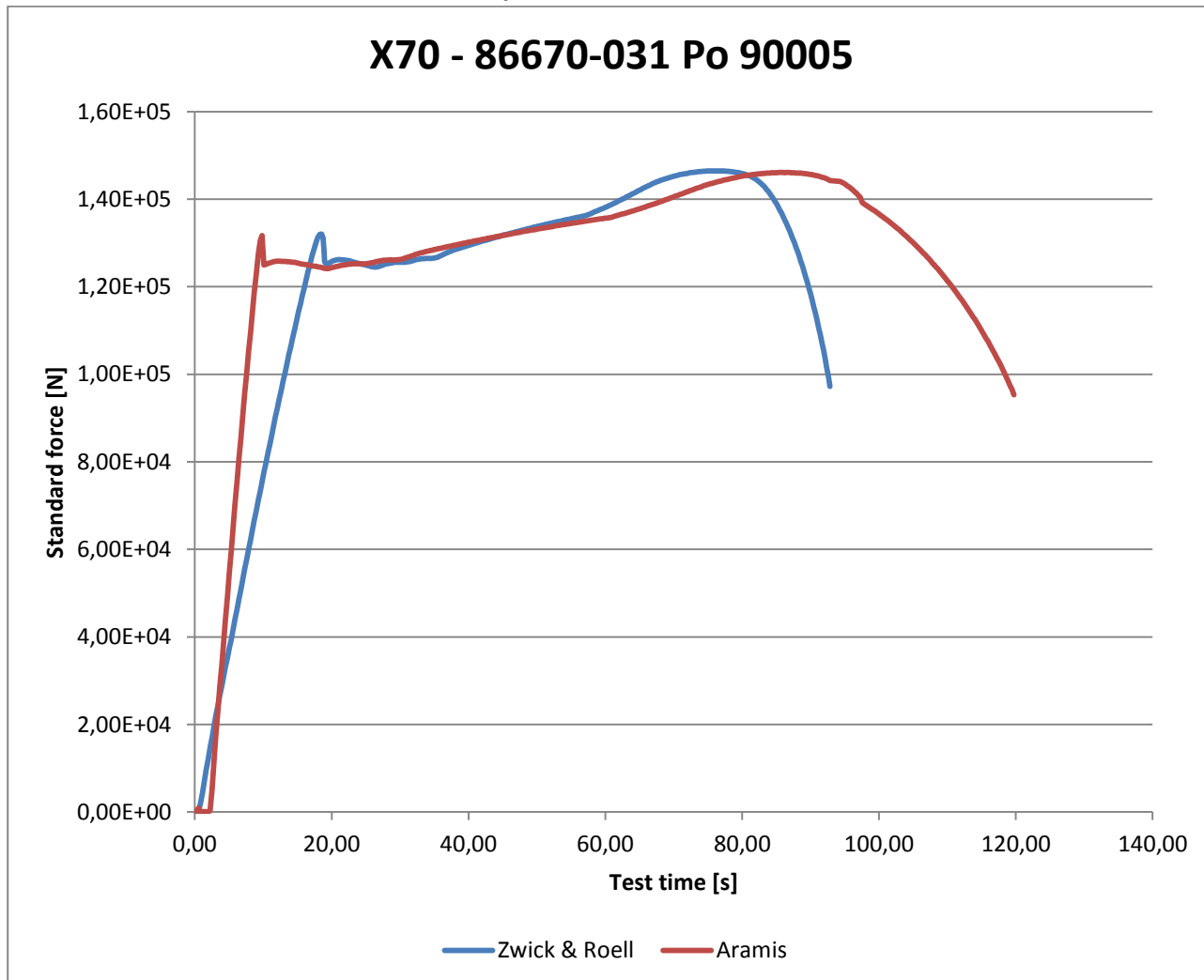


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: X70 - 86670-031 Po 90005

Taulukko 26. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille X70 - 86670-031 Po 90005

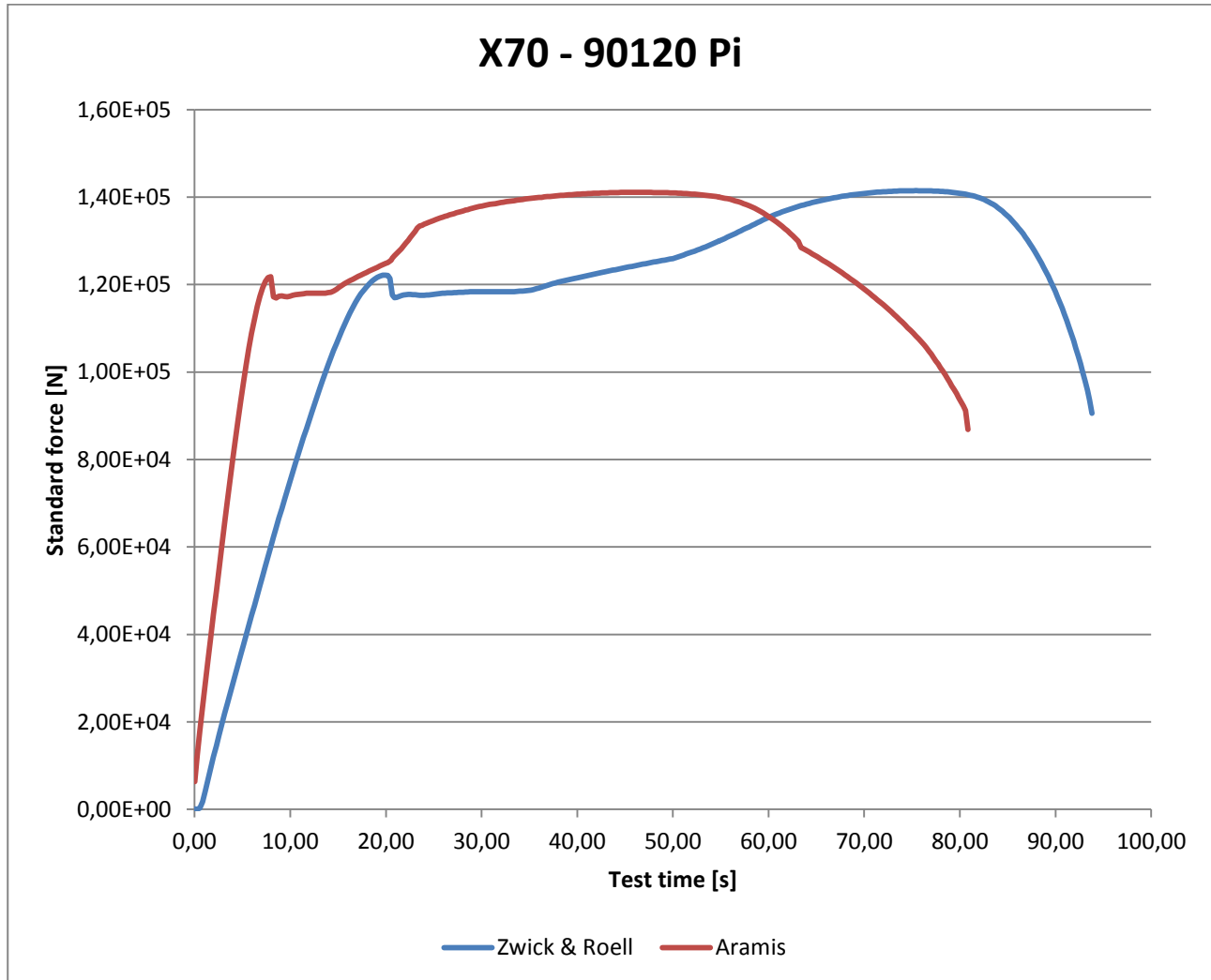


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: X70 - 90120 Pi

Taulukko 27. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille X70 - 90120 Pi

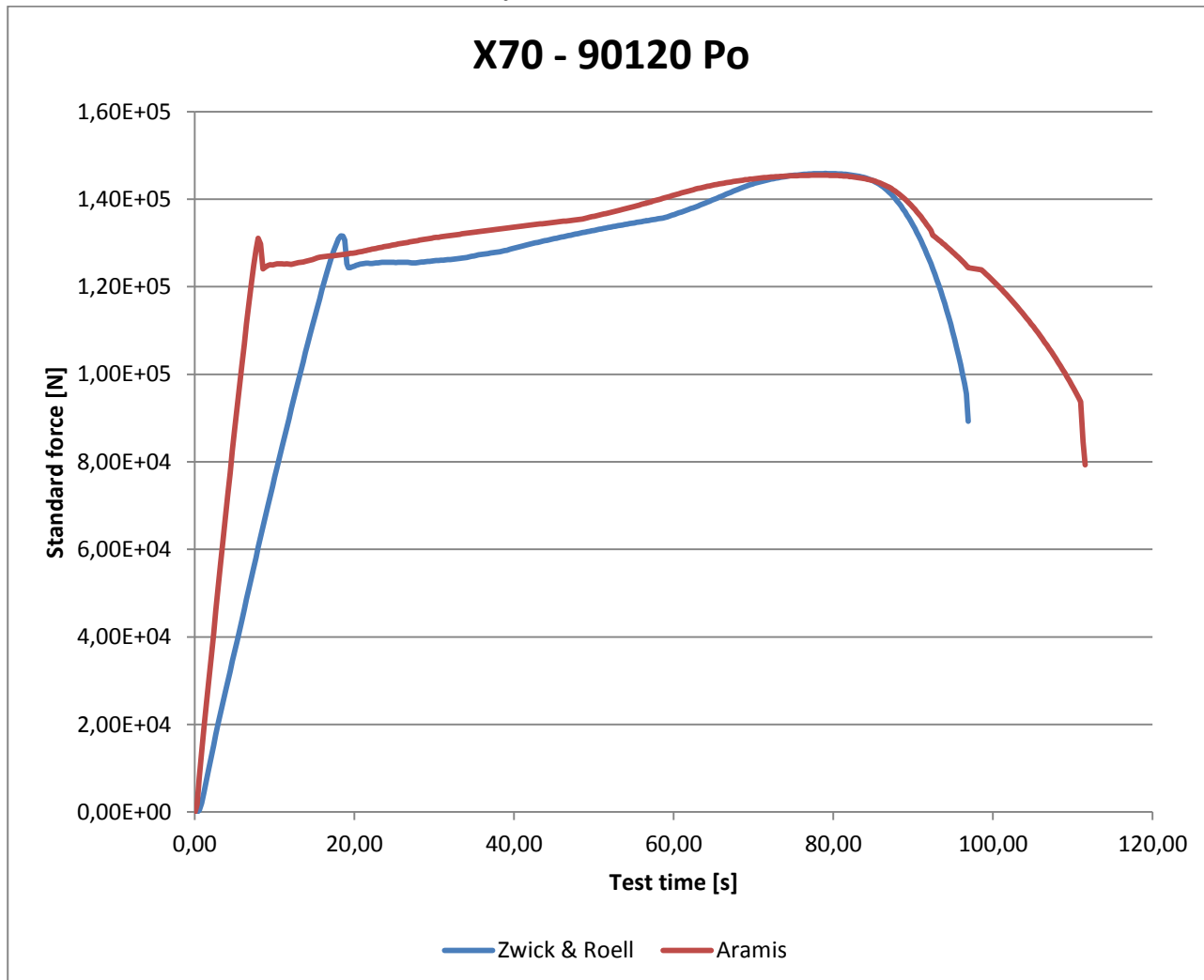


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: X70 - 90120 Po

Taulukko 28. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille X70 - 90120 Po

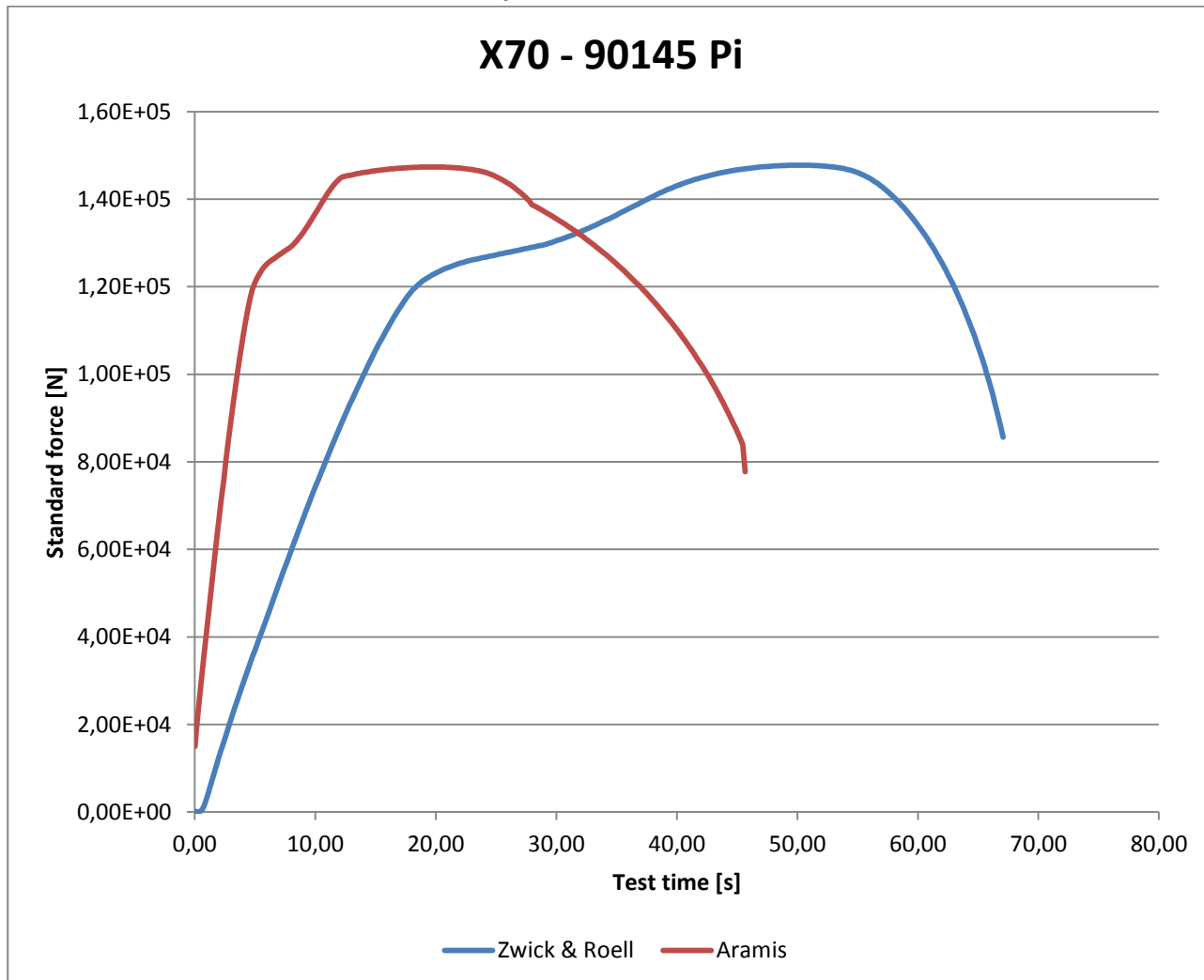


Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikokoneen käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} -käyrä

Materiaali: X70 - 90145 Pi

Taulukko 29. Voimamaksimi F_{\max} -käyrä materiaalille X70 - 90145 Pi



Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointin käyrä

Materiaalille määritetty F_{\max} - käyrä

Materiaali: X70 - 90145 Po

Taulukko 30. Voimamaksimi F_{\max} - käyrä materiaalille X70 - 90145 Po



Vasemmanpuoleisella y-akselilla voimamaksimi F_{\max} [N] ja alhaalla x-akselilla vetokokeen aika [s]. Sininen käyrä on Zwick & Roell vetokoneen käyrä ja punainen on Aramis - venymäanalyysointikoneen käyrä

Materiaalien ominaisuudet

Taulukko 1. Zwick & Roell vetokoneen määrittämät materiaalien kimmokertoimet

Materiaali	E [Gpa]	E _{mod} [kN/mm ²]	Kimmo alkupiste [N]	Kimmo loppu [N]
Laser 250 - 67881-11 Po	195,72	195,72	5981,76	23927,04
Laser 250 - 80175-41 Pi	191,64	191,64	3989,82	15959,30
Laser 250 - 80175-41 Po	199,11	199,11	3981,93	15927,72
Laser 355 MC - 12112-11 Pi	194,97	194,97	6025,02	24100,10
Laser 355 MC - 12112-11 Po	207,53	207,53	6048,10	24192,38
Laser 355 MC - 66049-41 Pi	196,91	196,91	3975,55	15902,21
Laser 355 MC - 66049-41 Po	199,32	199,32	3989,70	15958,80
Laser 420 MC - 12333-031 Pi	190,02	190,02	4042,10	16168,39
Laser 420 MC - 12333-031 Po	207,77	207,77	4046,13	16184,50
Multisteel - 11166-58 Pi	197,23	197,23	5966,53	23866,13
Multisteel - 11166-58 Po	209,01	209,01	5960,60	23842,42
Multisteel - 13013-051 Pi	180,91	180,91	3975,94	15903,74
Multisteel - 13013-051 Po	198,32	198,32	3977,92	15911,68
Multisteel - 13013-069-3 Pi	199,79	199,79	1980,94	7923,76
Multisteel - 13013-069-3 Po	200,00	200,00	1981,93	7927,71
Optim 500 MC - 65820-12 Pi	204,91	204,91	2404,39	9617,54
Optim 500 MC - 65820-12 Po	212,18	212,18	2403,19	9612,75
Optim 500 MC - 73290-041 Pi	204,40	204,40	4013,88	16055,52
Optim 500 MC - 73290-041 Po	205,03	205,03	3989,92	15959,66
Optim 550 MC - 11433-21 Pi	188,10	188,10	3989,70	15958,80
Optim 550 MC - 11433-21 Po	207,84	207,84	3991,68	15966,72
Optim 550 MC - 59009-12-5 Po	213,07	213,07	1218,43	4873,73
Raex 450 - 79591-10 Pi	197,43	197,43	3226,43	12905,71
Raex 450 - 79591-10 Po	200,12	200,12	3228,85	12915,41
X70 - 86670-031 Pi 90005	197,39	197,39	4771,01	19084,03
X70 - 86670-031 Po 90005	222,46	222,46	4757,50	19029,98
X70 - 90120 Pi	198,20	198,20	4763,88	19055,52
X70 - 90120 Po	210,88	210,88	4755,86	19023,44
X70 - 90145 Pi	215,98	215,98	4762,24	19048,98
X70 - 90145 Po	217,80	217,80	4778,29	19113,17

Materiaalien ominaisuudet

Taulukko 2. Zwick & Roell vetokoneen määrittämät materiaalien myötörajat

Materiaali	R _{eH} [MPa]	R _{eL} [MPa]	R _m [N/mm ²]	R _{p0.1} [N/mm ²]	R _{p0.2} [MPa]	R _{px1} [MPa]	R _B [MPa]
Laser 250 - 67881-11 Po			381,30	269,19	272,65	283,07	227,18
Laser 250 - 80175-41 Pi	276,59	271,68	394,83	261,74	274,23	273,95	225,26
Laser 250 - 80175-41 Po	308,03	282,93	396,25	297,70	284,72	289,66	264,13
Laser 355 MC - 12112-11 Pi	400,76	384,36	463,85	394,69	400,73	387,34	264,01
Laser 355 MC - 12112-11 Po	440,89	399,74	471,44	431,05	413,51	406,83	289,44
Laser 355 MC - 66049-41 Pi			477,32	380,78	402,98	414,85	292,73
Laser 355 MC - 66049-41 Po			482,73	408,54	421,50	433,80	294,93
Laser 420 MC - 12333-031 Pi	468,16	454,39	531,77	445,84	463,76	456,60	334,23
Laser 420 MC - 12333-031 Po	517,82	477,08	545,19	515,86	496,80	482,24	344,22
Multisteel - 11166-58 Pi			517,27	375,64	404,78	436,41	340,20
Multisteel - 11166-58 Po			525,79	387,67	409,62	443,20	408,54
Multisteel - 13013-051 Pi			520,67	393,01	415,68	445,42	370,46
Multisteel - 13013-051 Po			531,94	414,91	437,17	467,18	383,58
Multisteel - 13013-069-3 Pi			528,92	380,57	407,81	443,76	404,85
Multisteel - 13013-069-3 Po			517,85	418,63	430,29	448,25	411,50
Optim 500 MC - 65820-12 Pi	558,22	527,73	610,96	519,99	553,14	529,99	412,07
Optim 500 MC - 65820-12 Po	604,09	550,25	622,66	587,92	553,25	554,65	450,50
Optim 500 MC - 73290-041 Pi			636,69	502,48	540,73	550,30	372,01
Optim 500 MC - 73290-041 Po			657,24	564,63	575,66	590,36	425,18
Optim 550 MC - 11433-21 Pi			680,06	556,32	591,34	605,01	430,29
Optim 550 MC - 11433-21 Po			690,36	596,74	612,74	630,81	416,01
Optim 550 MC - 59009-12-5 Po	700,22	625,80	691,70	657,89	627,25	628,79	533,37
Raex 450 - 79591-10 Pi			1437,74	1129,22	1214,19	1380,23	1131,17
Raex 450 - 79591-10 Po			1480,93	1146,22	1244,77	1431,10	1274,73
X70 - 86670-031 Pi 90005	519,62	498,55	595,85	492,57	515,54	498,88	353,74
X70 - 86670-031 Po 90005	555,55	523,35	615,79	555,17	540,85	525,77	378,53
X70 - 90120 Pi	512,90	491,01	593,95	474,26	503,15	493,46	314,64
X70 - 90120 Po	554,00	522,68	613,44	553,75	542,40	528,10	331,89
X70 - 90145 Pi			620,55	432,58	493,37	538,43	348,30
X70 - 90145 Po	551,92	534,70	618,16	551,48	543,71	536,95	361,97

Materiaalien ominaisuudet

Taulukko 3. Zwick & Roell vetokoneen määrittämät materiaalien muokkauslujittumisekspONENTIT

Materiaali	$n_{4-6/Ag}$	$n_{10-15/Ag}$	$n_{10-20/Ag}$	$n_{2-20/Ag}$	$k_{2-20/Ag}$ [Mpa]
Laser 250 - 67881-11 Po	0,182	0,183	0,181	0,182	624,09
Laser 250 - 80175-41 Pi	0,222	0,191	0,187	0,210	685,80
Laser 250 - 80175-41 Po	0,222	0,189	0,185	0,208	684,80
Laser 355 MC - 12112-11 Pi	0,164	0,148	0,148	0,159	732,89
Laser 355 MC - 12112-11 Po	0,143	0,145	0,145	0,151	729,85
Laser 355 MC - 66049-41 Pi	0,109	0,125	0,125	0,112	681,36
Laser 355 MC - 66049-41 Po	0,097	0,114	0,114	0,099	668,98
Laser 420 MC - 12333-031 Pi	0,146	0,133	0,133	0,141	812,00
Laser 420 MC - 12333-031 Po	0,128	0,131	0,131	0,125	796,33
Multisteel - 11166-58 Pi	0,124	0,126	0,126	0,123	758,75
Multisteel - 11166-58 Po	0,125	0,123	0,123	0,124	772,16
Multisteel - 13013-051 Pi	0,117	0,124	0,124	0,117	753,49
Multisteel - 13013-051 Po	0,106	0,115	0,115	0,106	751,05
Multisteel - 13013-069-3 Pi	0,124	0,128	0,128	0,125	777,10
Multisteel - 13013-069-3 Po	0,114	0,126	0,126	0,116	745,36
Optim 500 MC - 65820-12 Pi	0,159	0,129	0,129	0,142	932,11
Optim 500 MC - 65820-12 Po	0,133	0,157	0,157	0,133	927,00
Optim 500 MC - 73290-041 Pi	0,117	0,111	0,111	0,114	917,23
Optim 500 MC - 73290-041 Po	0,101			0,099	914,01
Optim 550 MC - 11433-21 Pi	0,107	0,104	0,104	0,104	956,38
Optim 550 MC - 11433-21 Po	0,095			0,091	943,46
Optim 550 MC - 59009-12-5 Po	0,175	0,206	0,206	0,116	986,17
Raex 450 - 79591-10 Pi				0,043	1733,30
Raex 450 - 79591-10 Po				0,036	1746,20
X70 - 86670-031 Pi 90005	0,167	0,127	0,127	0,159	951,59
X70 - 86670-031 Po 90005	0,160	0,117	0,117	0,145	954,70
X70 - 90120 Pi	0,168	0,140	0,140	0,162	949,52
X70 - 90120 Po	0,165	0,128	0,128	0,146	947,26
X70 - 90145 Pi	0,114			0,111	892,02
X70 - 90145 Po	0,126	0,100	0,100	0,123	914,46

Materiaalien ominaisuudet

Taulukko 4. Zwick & Roell vetokoneen määrittämät materiaalien dimensiot ja venymät

Materiaali	a ₀ [mm]	b ₀ [mm]	S ₀ [mm ²]	A _e [%]	A _g [%]	A _t [%]	A _{gt} [%]
Laser 250 - 67881-11 Po	14,88	20,10	299,09		19,14	41,12	19,34
Laser 250 - 80175-41 Pi	9,92	20,11	199,49	0,23	19,47	37,08	19,67
Laser 250 - 80175-41 Po	9,93	20,05	199,10	1,88	19,59	38,78	19,79
Laser 355 MC - 12112-11 Pi	15,04	20,03	301,25	1,98	15,73	35,15	15,97
Laser 355 MC - 12112-11 Po	15,06	20,08	302,40	2,92	15,00	32,37	15,23
Laser 355 MC - 66049-41 Pi	9,86	20,16	198,78		13,61	29,16	13,85
Laser 355 MC - 66049-41 Po	9,90	20,15	199,49		12,11	30,53	12,35
Laser 420 MC - 12333-031 Pi	10,07	20,07	202,10	1,94	13,97	28,31	14,24
Laser 420 MC - 12333-031 Po	10,07	20,09	202,31	3,15	12,82	26,18	13,08
Multisteel - 11166-58 Pi	14,82	20,13	298,33		13,38	30,23	13,64
Multisteel - 11166-58 Po	14,82	20,11	298,03		13,19	28,50	13,44
Multisteel - 13013-051 Pi	9,92	20,04	198,80		13,17	27,41	13,45
Multisteel - 13013-051 Po	9,92	20,05	198,90		12,26	26,77	12,52
Multisteel - 13013-069-3 Pi	4,94	20,05	99,05		13,62	24,68	13,88
Multisteel - 13013-069-3 Po	4,94	20,06	99,10		13,40	25,11	13,65
Optim 500 MC - 65820-12 Pi	5,99	20,07	120,22	2,48	13,45	24,35	13,74
Optim 500 MC - 65820-12 Po	5,99	20,06	120,16	3,37	13,34	22,34	13,63
Optim 500 MC - 73290-041 Pi	9,96	20,15	200,69		11,53	24,49	11,84
Optim 500 MC - 73290-041 Po	9,94	20,07	199,50		9,83	22,82	10,15
Optim 550 MC - 11433-21 Pi	9,90	20,15	199,49		10,82	23,19	11,18
Optim 550 MC - 11433-21 Po	9,90	20,16	199,58		8,66	19,15	8,99
Optim 550 MC - 59009-12-5 Po	3,04	20,04	60,92	4,46	11,67	17,18	12,00
Raex 450 - 79591-10 Pi	8,01	20,14	161,32		3,07	8,86	3,79
Raex 450 - 79591-10 Po	8,02	20,13	161,44		2,42	6,91	3,16
X70 - 86670-031 Pi 90005	11,88	20,08	238,55	2,07	13,09	27,72	13,39
X70 - 86670-031 Po 90005	11,87	20,04	237,87	1,77	11,50	24,97	11,77
X70 - 90120 Pi	11,88	20,05	238,19	1,92	14,32	28,84	14,62
X70 - 90120 Po	11,86	20,05	237,79	2,19	13,03	27,36	13,31
X70 - 90145 Pi	11,87	20,06	238,11		9,74	23,40	10,03
X70 - 90145 Po	11,91	20,06	238,91	1,48	10,12	26,04	10,41