

Építőmérnöki kar



TDK dolgozat, Tartószerkezeti szekció

**Kísérlettel támogatott méretezési eljárás kidolgozása speciális kialakítású és keresztmetszetű vékonyfalú acél szerkezeti elemre**

Szedlák Máté, BSc hallgató

Konzulensek: Dr. Joó Attila László, Dr. Ádány Sándor

Budapest, 2014. 10. 20.

# Tartalomjegyzék

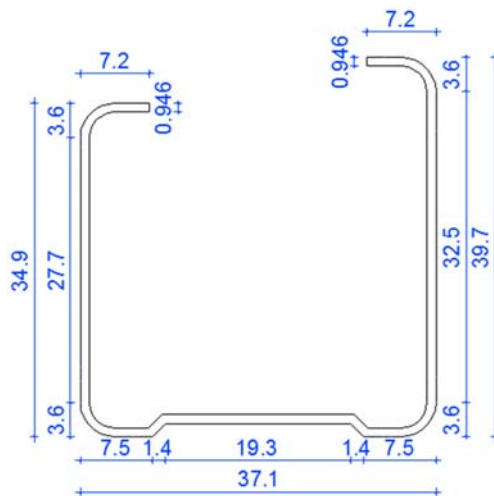
1.	Bevezetés .....	2
1.1.	Fogalommagyarázat .....	3
2.	Szerkezeti kialakítás .....	5
2.1.	Rácsrudak típusai .....	5
2.1.1.	Szimpla szelvény .....	6
2.1.2.	Dupla szelvény .....	6
2.1.3.	Dupla szelvény csavarokkal.....	7
2.2.	Anyagminőség .....	8
3.	Kísérletek és kísérleti eredmények .....	9
3.1.	Kísérleti elrendezés .....	9
3.1.1.	Terhelő keret.....	9
3.1.2.	Zwick Roell Z400 .....	12
3.2.	Kísérleti program.....	13
3.3.	Kísérletek kiértékelése .....	16
4.	Analitikus számítások.....	19
4.1.	Effektív keresztmetszetek .....	19
4.1.1.	Eredeti keresztmetszet .....	19
4.1.2.	Övmerevítők elhagyása.....	20
4.1.3.	Effektív keresztmetszet az egyik övmerevítő elhagyása után .....	20
4.1.4.	Torzulásos horpadás figyelembevétele .....	21
4.2.	Inercia táblázatok .....	22
4.3.	Analitikus számítás menete.....	23
4.3.1.	Síkbeli kihajlás .....	23
4.3.2.	Térbeli elcsavarodó kihajlás.....	24
4.3.3.	Keresztmetszeti ellenállás.....	24
4.3.4.	Kapcsolat ellenállása .....	24
5.	Eredmények összehasonlítása .....	25
5.1.	Szimpla szelvény.....	25
5.2.	Dupla szelvény.....	29
5.3.	Dupla-csavarozott szelvény.....	33
6.	Összefoglalás.....	36
7.	Irodalomjegyzék.....	37
8.	Függelék .....	38

## 1. Bevezetés

Az acélnak, mint építőanyagnak a fő előnye a vasbetonnal és egyéb anyagokkal szemben az, hogy kis keresztmetszet és kis fajlagos önsúly mellett viszonylag nagy teherbírás érhető el. A gyártástechnológia fejlődésével ezen tulajdonságok még jobban kiemelhetők, beszéljünk akár a folyáshatár növelésével létrejövő nagyszilárdságú acélokról, vagy a falvastagság csökkentésével létrejövő vékonyfalú acélszelvényekről. Utóbbinak napjainkban a magasépítésben jelentős szerepe van. A könnyű szerelhetőség és átépíthetőség miatt mind akár a szárazépítésben elfoglalt helye, mind akár a könnyűszerkezetes építményekben betöltött szerepe is kiemelkedő.

A fent említett okok miatt a vékonyfalú acélszelvények gyártása egyre szélesebb körben vált elterjedtebbé. Ma már számos gyártó rengeteg terméke érhető el. Annak érdekében, hogy ezek a szerkezeti elemek méretezhetőek legyenek, szabványos eljárások készültek. Ezek a szabványok természetesen nem tökéletesen univerzálisak, számos megkötést tartalmaznak. A legtöbb, forgalomban kapható elem besorolható valamilyen, a szabvány által részletesen tárgyalt kategóriába, de számtalan olyan helyzet előfordulhat, melyre a szabványos eljárások alkalmazása nem vagy csak nagyon erős korlátozásokkal alkalmazható. Szabványos eljárás alatt az irodalomjegyzékben hivatkozott Eurocode fejezeteket értjük minden esetben [1]-[4]. Természetesen az ilyen esetekben van lehetőség egyéb megoldások alkalmazására. Az egyik lehetőség a kellően nagy számban végzett kísérletek elvégzése, amelynek a módját és a kapott eredmények feldolgozását a szabvány szintén tartalmazza. A másik lehetőség numerikus modellek alkalmazása.

Jelen dolgozat témája annak a bemutatása, hogy a Scottsdale Construction Systems Ltd. által gyártott, az alább bemutatott rácsos tartókban alkalmazandó szelvény (1. ábra) teherbírását hogyan határoztuk meg kísérleti úton, nem szokványos kialakítás mellett, illetve hogy a szabványos eljárásokat milyen paraméterek mellett tudtuk a kísérletek által mutatott



1. ábra - C szelvény

tapasztalatokkal összhangba hozni. A feladat különlegességét az adja, hogy a szelvényből kialakított dupla szelvényt is vizsgáltunk. A dolgozat beadásakor numerikus modellek építése is folyamatban volt, ám ennek bemutatását itt nem taglaljuk.

Felhívom a figyelmet, hogy a kísérlet és a kísérleti dokumentáció angol nyelven készült, így előfordul, hogy egyes ábrák vagy jelölések illetve rövidítések angol nyelven maradtak.

## 1.1. Fogalommagyarázat

Az itt felmerülő fogalmakat a dolgozatban részletesebben kifejtettem. Itt csak a legfontosabb kifejezéseket mutatom be röviden.

### Szimpla szelvény (ld. 2.1.1):

A 1. ábra egy ilyen szelvényt ábrázol. Jellemzője, hogy aszimmetrikusak a gerincei, így az inercia főirányai az ábrához képest nem a függőleges és vízszintes tengelyek lesznek.

### Dupla szelvény (ld. 2.1.2):

Az 5. ábra alapján látható, hogy két szimpla szelvény egymásba forgatásával azok összeilleszthetőek egy úgynevezett dupla szelvénné. Ezek a szelvények a gyártási pontatlanságból eredően enyhén egymásnak feszülnek, köztük elegendő súrlódás van, hogy szerelés közben ne csússzanak meg. Ez a súrlódás a terhelés közben viszont elenyésző.

### Dupla szelvény – „Press fitted” (ld. 2.1.3):

Az eredeti elképzelések szerint a gyártás során a szelvényeket egymásba illesztést követően egymásnak feszítik, hogy így biztosítsanak még könnyebb szerelhetőséget, illetve az érintkező gerincek és övek kölcsönös megtámasztását elősegítsék. A kísérletekhez ilyen elemeket nem kaptunk, az így vélhetően jelentkező hatásokat máshogy kellett modelleznünk. Alternatívaként megalkottuk az úgynevezett csavarozott dupla szelvényeket.

### Csavarozott dupla szelvény (ld. 2.1.3):

Mivel a „press fitted” szelvényeket nem tudtuk közvetlenül vizsgálni, ezért a vélt hatásokat máshogy kellett modellezni. Ennek eredményeképpen bizonyos konfigurációk esetén a duplaszelvényeket különböző csavarkiosztásban összezsavaroztuk (2. ábra).

A csavarok egyrészt nyíróerőt vesznek fel, amely analóg a fellépő súrlódással, illetve a gerinceket együtt dolgoztatják (a gerincek egymásnak feszülése miatt azok nehezebben válnak el, az együttdolgozás jobban biztosított, megakadályozza a torzulásos horpadás kialakulását).



2. ábra - Csavarozott dupla szelvény

### Hálózati hossz:

Hálózati hossz alatt az erőátadások helyéhez mért távolságot értjük. Ez nem feltétlenül azonos az elemek névleges hosszával, ugyanis a síkcuklós és gömbcsuklós megtámasztásoknál a csavarok lesznek az erőátadási helyek, így a hálózati hossz rövidebb lesz a névleges hosznál, míg befogásnál az

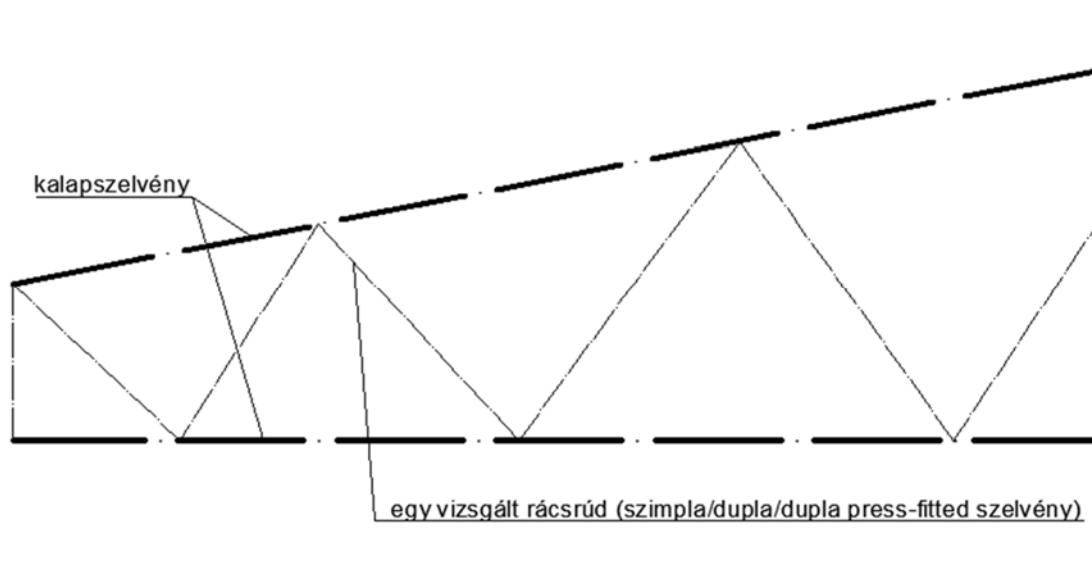
erőátadás az elemek végkeresztmetszetén történik, így a hálózati hossz azonos lesz a névleges hosszal.

**Falvastagság:**

Az elemek falvastagságánál figyelembe kell venni, hogy azok horganyzottak, így a vastagságot ennek megfelelően csökkenteni kell az acél valódi vastagságára.

## 2. Szerkezeti kialakítás

A megbízó cég célja az új termékkel olyan rácsos tartók kialakítása, melyek övei olyan kalapszelvények, melyeknek a belső mérete a dupla szelvény külméretével azonos vagy attól kicsivel nagyobb, míg rácsrúdjai szimpla, dupla vagy dupla press-fitted szelvények. Értelmszerűen a szelvények terhei elsősorban központos nyomó- illetve húzóerő lehetnek.



3. ábra - Szerkezeti kialakítás vázlata

Az öv- és rácsrudak csatlakozását csavarokkal biztosítják, melyek tengelye körül a szelvények szabadon elfordulhatnak. Az övrudak gerincén tetszőlegesen alakíthatóak ki furatok, így a rácsos tartó hálózatának kialakítása viszonylag szabadon történhet.

A szerkezeti kialakítás bizonytalanságai miatt 3 eltérő befogási viszonyt vizsgáltunk:

- **Tartósíkban két végén csuklósan elfordulni képes:** Amennyiben feltételezzük, hogy a kalapszelvény gerincei kellően megtámasztják a rácsrudakat síkra merőleges elfordulásra, úgy ezt síkcuklókkal tudjuk modellezni.
- **2 irányban, tartósíkra merőlegesen is elfordulni képes:** Amennyiben az övrúd (kalap szelvény) csavarónyomaték hatására jelentősebb elcsavarodásra képes, úgy ezt a jelenséget legjobban gömbcsuklós megtámasztással vehetjük figyelembe.
- **Befogás:** Elméleti eset, teljes befogás és öblösödés gátlásának modellezése.

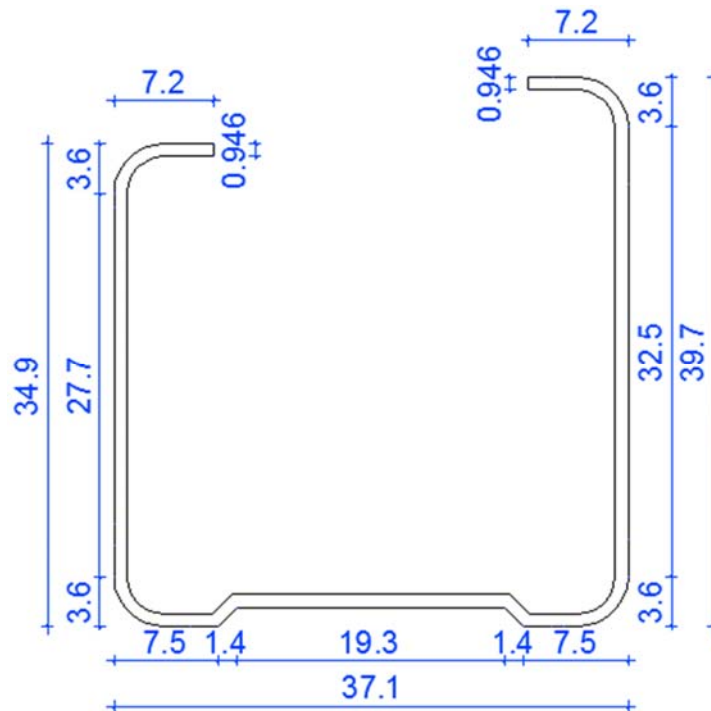
A laborvizsgálatok során elsődlegesen 150 mm, 500 mm, 1500 mm és 2500 mm hosszú elemekkel foglalkoztunk. Kiegészítő kísérleteket végeztünk lényegesen rövidebb hossztartományban, így 50 mm, 20 mm sőt, 5 mm-es elemeket is próbaterheltünk.

### 2.1. Rácsrudak típusai

A szerkezeti kialakításokhoz egyfajta szelvénykészlet áll a rendelkezésünkre. Ezeket használhatjuk önmagukban (továbbiakban szimpla szelvény), kettőt egymásba forgatva (továbbiakban dupla szelvény) vagy olyan módon, hogy a dupla szelvény öveit egymásnak feszítjük (továbbiakban dupla press-fitted vagy dupla-csavarozott, angolul double-screwed). Ezekről a 2.1.3. pontban részletesen olvashat.

### 2.1.1. Szimpla szelvény

A 4. ábra egy szimpla szelvényt mutat. E hidegen alakított szelvény geometriája olyan, hogy alkalmas legyen egy másik példánnyal összeillesztve dupla szelvényt alkotni. Külön felhívom a figyelmet az 1 mm alatti falvastagság jelentőségére. Eleinte egy ettől közel másfélszer vastagabb szelvényt terveztek gyártani, ám vélhetően szerelhetőségi okokból, a könnyebb egymásba illesztés miatt a 0,946 mm-es falvastagság mellett döntöttek.



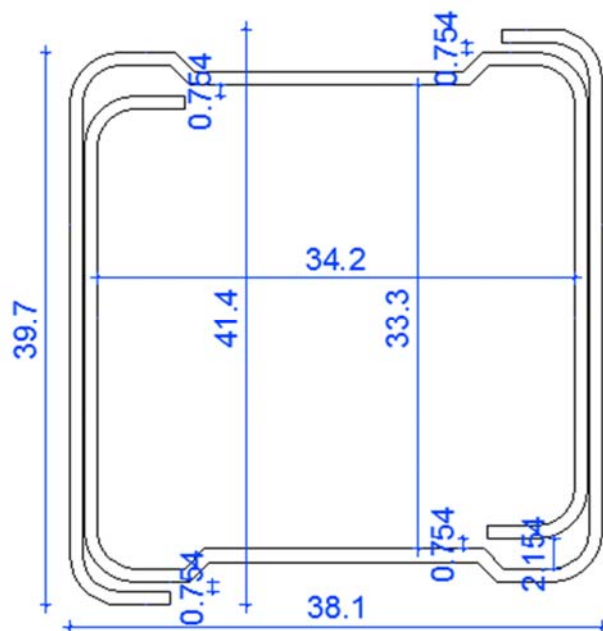
4. ábra - Szimpla szelvény

A szelvények keresztmetszeti adatai az 5. táblázatban találhatóak.

### 2.1.2. Dupla szelvény

A szimpla szelvények egymásba forgatásával alakítható ki a duplaszelvény. Ideális esetben az övek tökéletesen egymáshoz illeszkednek, míg az övmerevítők a gerinckel nem érintkeznek. Eredetileg a szelvényeket 1,40 mm-es falvastagsággal gyártották volna, ám vélhetően a gyártási pontatlanság figyelembevétele és a könnyebb szerelhetőség miatt ezt csökkentették 0,946 mm-re. Az eredeti koncepció szerint az övmerevítők is tökéletesen érintkeztek volna a gerinccel, ám nem ideális esetben ez nagyban nehezíthette volna az elemek egymásba illesztését. A kísérletekhez az alább (5. ábra) látható keresztmetszetű acélelemeket kaptuk. Tapasztalataink szerint néha még ezen elemek egymásba illesztése sem volt egyszerű, így a nagyobb falvastagság mellett ez problémát jelenthet.

A dupla szelvények erő hatására egymástól el tudnak válni, az övek csak részben jelentenek támaszt egymásnak.

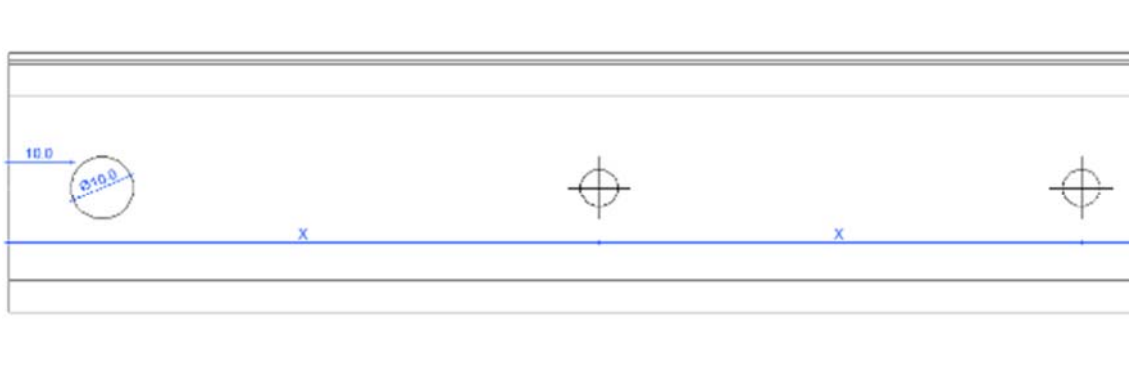


5. ábra - Dupla szelvény

### 2.1.3. Dupla szelvény csavarokkal

Keresztmetszetét illetően megegyezik a dupla szelvénnel. A különbséget az övek egymásnak feszülése jelenti. Az eredeti koncepció szerint egy speciális gép a dupla szelvény öveit egymásnak feszíti, melyek terheletlen állapotban meggátolják az elemek szétcsúszását, terhelés hatására pedig az övek egymásnak feszülésével gátolja az övek elmozdulását. Érezhető tehát, hogy bizonyos tönkremeneteli módok esetén (pl. torzulásos horpadás) ez a kialakítás növelheti a teherbírást.

A laborkísérletekhez mi ilyen elemeket nem kaptunk, viszont szükségesnek láttuk annak a vizsgálatát, hogy valóban van-e kedvező hatása ennek a kialakításnak, illetve nagyságrendileg ez mekkora lehet. Ahhoz, hogy ezt tanulmányozni tudjuk, a lehető legjobban kellett modelleznünk a hatásmechanizmus lényegét. Vizsgálatainknál azt találtuk a legfontosabbnak, hogy az övek ilyen esetben a lehető legjobban támasszák egymást, így a hatékony keresztmetszet a lehető legnagyobb maradjon különböző kihajlási módok esetén. Ezt úgy értük el, hogy az öveket egymással szembenálló önfúró csavarpárokkal szorítottuk egymáshoz. A csavarpárok egymástól mért hossz menti távolságát paraméterként kezeltük (X).



6. ábra - Dupla szelvény csavarokkal - oldalnézet



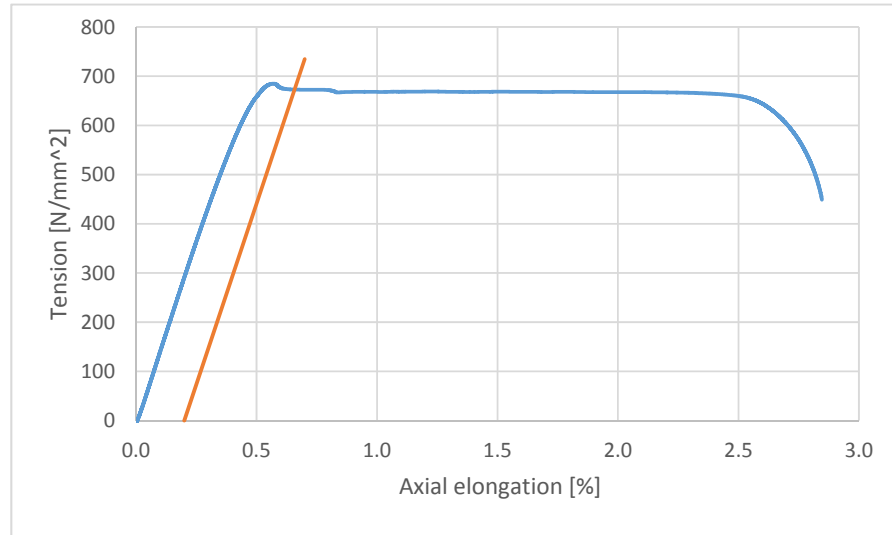
## 2.2. Anyagminőség

A szelvények névleges anyagminősége az Eurocode osztályozása alapján S 550 MC.

A kísérletsorozat utolsó 4 elemeként végeztünk anyagszilárdsági kísérleteket. Ezekhez a megmaradt elemekből standard próbatesteket alakítottunk ki. A húzókérdések során a nagyszilárdságú acélokra jellemző kis duktilitású, gyorsan lezajló tönkremenetel volt jellemző. A jellemző húzószilárdság  $675 \text{ N/mm}^2$  volt. Fontos megjegyezni, hogy az Eurocode elvárása az, hogy a névleges folyáshatárnál a mért és érték ne legyen 25%-nál nagyobb. Esetünkben ez 22%, amely megfelel a szabványnak.



7. ábra - Standard húzókérdés



8. ábra - Feszültség-elmozdulás diagram

Számításaink során a rugalmassági modulus értékét  $E=210 \text{ GPa}$ -nak, a Poisson-tényezőt  $\nu=0,3$ -nak feltételezzük. Ezekből a nyírási modulus  $G=80,77 \text{ GPa}$  értékre adódik.

### **3. Kísérletek és kísérleti eredmények**

Az analitikus számításoknál kifejtett különböző elképzelések igazolása vagy cáfolása érdekében elvégeztünk egy 117 kísérletből álló sorozatot:

- központosan nyomott szimpla és dupla szelvények vizsgálata 3 fajta megtámasztással,
- központosan húzott szimpla vagy dupla szelvények vizsgálata 2 különböző megtámasztás mellett,
- központosan nyomott, különösen rövid szelvények vizsgálata,
- anyagminőség vizsgálata.

A vizsgálati tartomány elsősorban 150-2500 mm volt, ugyanakkor 5-150 mm-es tartományban is végeztünk kiegészítő jelleggel kísérleteket, amelyek itt szintén bemutatásra kerülnek.

#### **3.1. Kísérleti elrendezés**

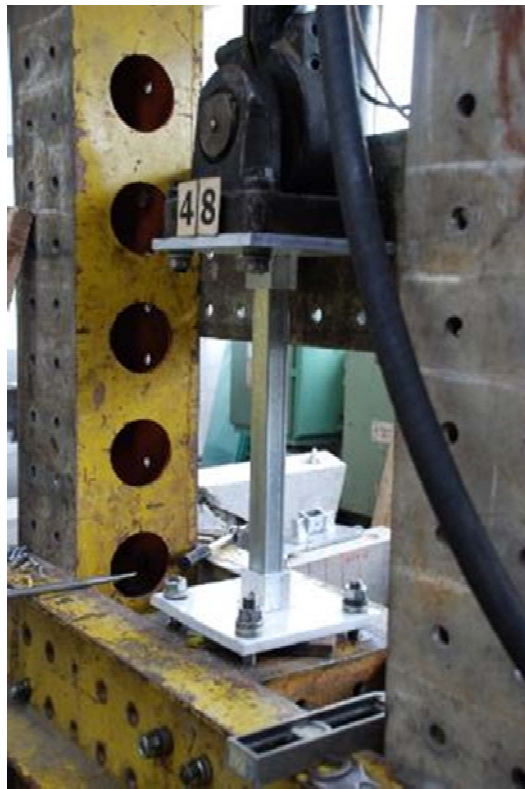
A tesztek során két különböző géppel dolgoztunk. Az első egy terhelő keret volt, melyet a Hidak és Szerkezetek Tanszék laboratóriumában szereltek össze. A másik az ún. Zwick Roell Z400 (továbbiakban Zwick) gép volt.

##### **3.1.1. Terhelő keret**

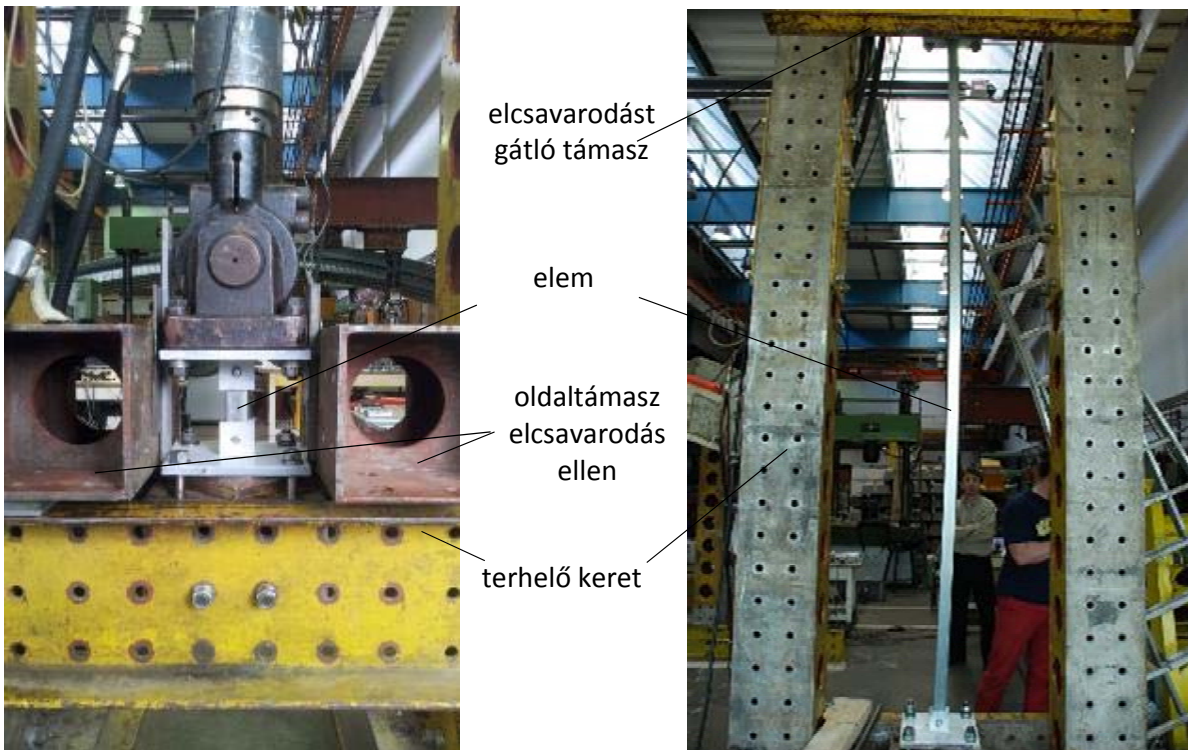
A kísérletek döntő többsége ebben a gépben zajlott, egészen pontosan minden 150 mm és 2500 mm közti elem került itt tesztelésre.

##### **3.1.1.1. Szerkezet**

A kísérletek során többször kellett módosítani a szerkezeten, hogy ahhoz újabb támaszokat adjunk, ugyanis egyes elemek terhelése közben kismértékű eltolódások és elfordulások voltak megfigyelhetőek a felső támasznál. A 9. ábra egy ilyen módosított (hátról elcsavarodás ellen megtámasztott) kialakítást mutat.



9. ábra - Terhelő keret



10. ábra - Terhelő keret kialakítása rövid, valamint hosszú elemek esetén

### 3.1.1.2. Támaszok

A három elméleti megtámasztásnak megfelelően 3 kialakítást alkalmaztunk:

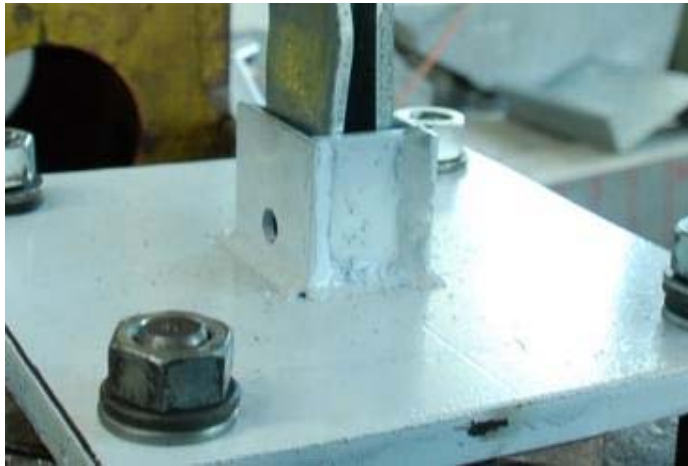
- Síkcukló: az egytengelyű elfordulás megengedett, a másik tengely rögzített, az elcsavarodás szintén meggátolt. Az öblösödés gátolatlan. A támaszoknál a Scottsdale által rendelkezésünkre bocsátott csavarokra ültettük fel az elemet. (11. ábra)
- Gömbcsukló: 2 tengely mentén szabadon elfordulhat. Az elcsavarodás gátolt, az öblösödés nem. A támaszoknál a Scottsdale által rendelkezésünkre bocsátott csavarokra ültettük fel az elemet. (12. ábra)
- Befogott: Minden elfordulás és eltolódás, továbbá az öblösödés is gátolt. A támaszoknál nem alkalmaztunk csavarokat. (13. ábra)



11. ábra - Síkcuklós (Fixed) támasz



12. ábra - Gömbcsuklós (Hinged) támasz



13. ábra - Befogás (Clamped)

### 3.1.2. Zwick Roell Z400

A másik alkalmazott gép egy Zwick Roell Z400-as berendezés volt. Ez a gép ugyan kisebb, de a rövidebb elemek vizsgálatát (400 kN-ig) csak ebben tudtuk elvégezni. A gép használhatóságának korlátját a behelyezhető elemek mérete jelenti. Szintén ezt használtuk az anyagvizsgálat elvégzésére is.

#### 3.1.2.1. Szerkezet

A szerkezet és annak részei a következő ábrán láthatóak (14. ábra):



14. ábra - Zwick Roell Z400

#### 3.1.2.2. Támaszok

A kísérletek során 2 fajta támasz került alkalmazásra a Zwick gépben:

- Merev lemez központos nyomásnál (14. ábra).
- Hidraulikus befogás az elem két végén központos húzás esetén (15. ábra).



*15. ábra - Szakítószilárdság mérése a Zwick gépben*

### **3.2. Kísérleti program**

Alább láthatóak a kísérleti programot tartalmazó táblázatok. Az 1. táblázat, illetve a 2. táblázat a kísérleti paramétereit szerint rendezve sorolja fel az elvégzett kísérletek sorszámát (a kísérleti jegyzőkönyv megtalálható a függelékben), míg a 3. táblázat a kísérletek kronológiai rendjét mutatja be.

A kísérleti programot a kísérletek során módosítottuk, hogy egyes jelenséget jobban meg tudjunk figyelni az időközben nem relevánssá váltak terhére.

Compression tests									
Length	Profile	Support	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
5 mm	Single	Clamped	# 112	# 113					
20 mm	Single	Clamped	# 100	# 101	# 102	# 103			
	Double	Clamped	# 108	# 109	# 110	# 111			
50 mm	Single	Clamped	# 96	# 97	# 98	# 99			
	Double	Clamped	# 104	# 105	# 106	# 107			
150 mm	Single	Fixed	# 25	# 26	# 27	# 28			
		Hinged	# 21	# 22	# 23	# 24			
		Clamped	# 9	# 10	# 11	# 12			
	Double	Fixed	# 29	# 30	# 31	# 32			
		Clamped	# 13	# 14	# 15	# 16			
	Double Screwed	Clamped	# 17	# 18	# 19	# 20			
500 mm	Single	Fixed	# 33	# 34	# 35	# 36			
		Hinged	# 42	# 43	# 44	# 45			
		Clamped	# 53	# 54					
	Double	Fixed	# 37	# 38	# 39	# 40			
		Hinged	# 46						
		Clamped	# 47	# 48	# 49				
	Double Screwed	Fixed	# 41						
		Clamped	# 50	# 51	# 52				
1500 mm	Single	Fixed	# 55	# 56	# 57	# 58			
		Hinged	# 60	# 61	# 62	# 63			
		Clamped	# 65	# 66	# 67	# 68			
	Double	Fixed	# 59						
		Hinged	# 64						
	Clamped	# 69	# 70	# 71	# 72	# 74	# 75	# 76	
Double Screwed	Clamped	# 73	# 77	# 78	# 79				
2500 mm	Single	Fixed	# 80	# 81	# 82	# 83			
		Hinged	# 88	# 89	# 90	# 91			
	Double	Fixed	# 84	# 85	# 86	# 87			
		Hinged	# 92	# 93	# 94	# 95			

1. táblázat - Kísérletek központos nyomásra

Tension tests						
Length	Profile	Support	#1	#2	#3	#4
150 mm	Single	Fixed	# 1	# 2	# 3	# 4
	Double	Fixed	# 5	# 6	# 7	# 8

2. táblázat - Kísérletek központos húzásra

Kísérletek időrendben:

1	T_SIN_FX 150 mm #1
2	T_SIN_FX 150 mm #2
3	T_SIN_FX 150 mm #3
4	T_SIN_FX 150 mm #4
5	T_DB_FX 150 mm #1
6	T_DB_FX 150 mm #2
7	T_DB_FX 150 mm #3
8	T_DB_FX 150 mm #4
9	C_SIN_CL 150 mm #1
10	C_SIN_CL 150 mm #2
11	C_SIN_CL 150 mm #3
12	C_SIN_CL 150 mm #4
13	C_DB_CL 150 mm #1
14	C_DB_CL 150 mm #2
15	C_DB_CL 150 mm #3
16	C_DB_CL 150 mm #4
17	C_DBSCR_CL 150 mm #1
18	C_DBSCR_CL 150 mm #2
19	C_DBSCR_CL 150 mm #3
20	C_DBSCR_CL 150 mm #4
21	C_SIN_HG 150 mm #1
22	C_SIN_HG 150 mm #2
23	C_SIN_HG 150 mm #3
24	C_SIN_HG 150 mm #4
25	C_SIN_FX 150 mm #1
26	C_SIN_FX 150 mm #2
27	C_SIN_FX 150 mm #3
28	C_SIN_FX 150 mm #4
29	C_DB_FX 150 mm #1
30	C_DB_FX 150 mm #2
31	C_DB_FX 150 mm #3
32	C_DB_FX 150 mm #4
33	C_SIN_FX 500 mm #1
34	C_SIN_FX 500 mm #2
35	C_SIN_FX 500 mm #3
36	C_SIN_FX 500 mm #4
37	C_DB_FX 500 mm #1
38	C_DB_FX 500 mm #2
39	C_DB_FX 500 mm #3
40	C_DB_FX 500 mm #4

41	C_DBSCR_FX 500 mm #1
42	C_SIN_HG 500 mm #1
43	C_SIN_HG 500 mm #2
44	C_SIN_HG 500 mm #3
45	C_SIN_HG 500 mm #4
46	C_DB_HG 500 mm #1
47	C_DB_CL 500 mm #1
48	C_DB_CL 500 mm #2
49	C_DB_CL 500 mm #3
50	C_DBSCR_CL 500 mm #1
51	C_DBSCR_CL 500 mm #2
52	C_DBSCR_CL 500 mm #3
53	C_SIN_CL 500 mm #1
54	C_SIN_CL 500 mm #2
55	C_SIN_FX 1500 mm #1
56	C_SIN_FX 1500 mm #2
57	C_SIN_FX 1500 mm #3
58	C_SIN_FX 1500 mm #4
59	C_DB_FX 1500 mm #1
60	C_SIN_HG 1500 mm #1
61	C_SIN_HG 1500 mm #2
62	C_SIN_HG 1500 mm #3
63	C_SIN_HG 1500 mm #4
64	C_DB_HG 1500 mm #1
65	C_SIN_CL 1500 mm #1
66	C_SIN_CL 1500 mm #2
67	C_SIN_CL 1500 mm #3
68	C_SIN_CL 1500 mm #4
69	C_DB_CL 1500 mm #1
70	C_DB_CL 1500 mm #2
71	C_DB_CL 1500 mm #3
72	C_DB_CL 1500 mm #4
73	C_DBSCR_CL 1500 mm #1
74	C_DB_CL 1500 mm #5
75	C_DB_CL 1500 mm #6
76	C_DB_CL 1500 mm #7
77	C_DBSCR_CL 1500 mm #2
78	C_DBSCR_CL 1500 mm #3
79	C_DBSCR_CL 1500 mm #4
80	C_SIN_FX 2500 mm #1

81	C_SIN_FX 2500 mm #2
82	C_SIN_FX 2500 mm #3
83	C_SIN_FX 2500 mm #4
84	C_DB_FX 2500 mm #1
85	C_DB_FX 2500 mm #2
86	C_DB_FX 2500 mm #3
87	C_DB_FX 2500 mm #4
88	C_SIN_HG 2500 mm #1
89	C_SIN_HG 2500 mm #2
90	C_SIN_HG 2500 mm #3
91	C_SIN_HG 2500 mm #4
92	C_DB_HG 2500 mm #1
93	C_DB_HG 2500 mm #2
94	C_DB_HG 2500 mm #3
95	C_DB_HG 2500 mm #4
96	C_SIN_CL 50 mm #1
97	C_SIN_CL 50 mm #2
98	C_SIN_CL 50 mm #3
99	C_SIN_CL 50 mm #4
100	C_SIN_CL 20 mm #1
101	C_SIN_CL 20 mm #2
102	C_SIN_CL 20 mm #3
103	C_SIN_CL 20 mm #4
104	C_DB_CL 50 mm #1
105	C_DB_CL 50 mm #2
106	C_DB_CL 50 mm #3
107	C_DB_CL 50 mm #4
108	C_DB_CL 20 mm #1
109	C_DB_CL 20 mm #2
110	C_DB_CL 20 mm #3
111	C_DB_CL 20 mm #4
112	C_SIN_CL 5 mm #1
113	C_SIN_CL 5 mm #2
114*	T_SIN_HG 20 mm #1
115*	T_SIN_HG 20 mm #2
116*	T_SIN_HG 20 mm #3
117*	T_SIN_HG 20 mm #4

3. táblázat - Kísérletek kronológiai sorrendje

A jelölések jelentése: Kísérlet típusa\_Keresztm.\_Támasz\_Hossz\_Ismétlésszám

Kísérlet típusa: C = Compression (Központos nyomás) / T = Tension (Központos húzás)

Keresztm.: SIN = Single (Szimpla) / DB = Double (Dupla) / DBSCR = Double with screws (dupla, csavarozott)

Támasz: FX = Fixed (Síkcukló) / HG = Hinged (Gömbcsukló) / CL = Clamped (Befogott)



### 3.3. Kísérletek kiértékelése

Az Eurocode 1993-1-3 „A” függelékének megfelelően végeztük el a kapott eredmények kiértékelését. Az alábbiakban közöljük az eljárás lépéseit, illetve az eredményeket (4. táblázat):

A szabvány értelmében először meg kell határoznunk minden mért  $R_{obs}$  érték esetén az ún.  $R_{adj}$  értéket az alábbi módon:

$$R_{adj,i} := \frac{R_{obs,i}}{\mu_R}$$

$$\mu_R := \left( \frac{f_{yb,obs}}{f_{yb}} \right)^\alpha \cdot \left( \frac{t_{obs,cor}}{t_{cor}} \right)^\beta$$

ahol

Az A.6.2 pont (“A” jelentése “Annex A”) értelmében:

$$f_{yb} = 550 \text{ N/mm}^2$$

A 4 anyagvizsgálati kísérlet eredménye megtekinthető a függelékben a kísérleti jegyzőkönyv 114-117. oldalain. Mind a négy tesztből számítható egy maximális feszültség, a mért legkisebb keresztmetszetek és mért legnagyobb erők alapján, melyek számtani átlaga:

$$f_{yb,obs} = 675,5 \text{ N/mm}^2$$

A különbség a mért és névleges érték között a mért érték javára 22,8%, amely kevesebb, mint 25% (A.6.2 (2)) ahol  $f_{yb,obs} > f_{yb}$  így  $\alpha = 1$  (6).

A névleges és mért vastagságok:

$$t_{cor} = 0,946 \text{ mm and } t_{obs,cor} = 0,963 \text{ mm}$$

Hogy meghatározzuk  $\beta$  értékét, ki kell számítani  $b_p/t$  és  $(b_p/t)_{lim}$  hányadosokat.

$$b_p/t = 38,17$$

$$\left( \frac{b_p}{t} \right)_{lim} := 19 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{\gamma_{M1} \cdot \sigma_{com.Ed}}}$$

$$\epsilon := \sqrt{\frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{f_{yb}}}$$

$$(\epsilon = 0,654)$$

ahol

$$k_\sigma = 4$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$\sigma_{com.Ed}$  a legnagyobb nyomófeszültség a rudakban a teherbírasi határállapotban.

Miután meghatároztuk az  $\alpha$  és  $\beta$  értékeket kísérletenként, kiszámíthatjuk  $R_{adj,i}$  értékeket. Egy kísérletcsoportban, ahol a hosszak és támaszviszonyok azonosak,  $R_{adj}$  számtani átlaga megadja  $R_m$  értékét.

$R_k$ , teherbírás karakterisztikus értéke az alábbi módon határozható meg akkor, ha egy csoportban legalább 4 érvényes mérési eredményünk van:

$$R_k = R_m - k \cdot s$$

Ahol  $s$  a standard szórás (A.6.3.1 (4, 5)) illetve  $k$  paraméter meghatározható az A.2. táblázat alapján.

Kevesebb kísérleti eredmény esetén eltérő módon határozzuk meg  $R_k$  értékét:

$$R_k = 0,9 \cdot \eta_k \cdot R_{adj} \text{ amennyiben csak egy mérésünk van}$$

$$R_k = \eta_k \cdot R_{adj} \text{ amennyiben 2 vagy 3 mért értékünk van}$$

Ahol  $\eta_k$  az EC 1993.1.3 A.6.3.3. pontja alapján határozható meg.

Legvégül a teherbírás tervezés értéke:

$$R_d := \eta_{sys} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Ahol  $\eta_{sys} = 1$  alkalmazása javasolt.

A sárgával jelölt soroknál az alkalmazott csavar nyíródott el, így a szelvény teherbírását nem tudtuk meghatározni, ezeket az értékeket töröltük.



## 4. Analitikus számítások

Az analitikus számítások során célunk volt egy, az Eurocode-dal a lehető legnagyobb összhangban lévő számítási eljárás kidolgozása. Szimpla szelvények esetén ez nem feltétlen jelent problémát. A szabvány alkalmazása a dupla és dupla-csavarozott szelvények esetében jelent nehézséget, ugyanis két szimpla szelvény egymásmellé helyezése nem analóg a falvastagság megduplázásával. Egyrészt egy nyitott szelvény helyett egy zárt szelvényre emlékeztető szerkezeti elemet kapunk, mely jelentősen növeli a csavarási merevséget, másrészt az övek képesek egymástól eltávolodni, amely viszont csökkentheti az effektív keresztmetszeti területet. Ezen elválás a kísérleti tapasztalatok alapján még dupla-csavarozott szelvényeknél is lehetséges volt.

Annak függvényében, hogy mely hatások kialakulását feltételezzük, többféle effektív keresztmetszetről beszélhetünk. Mivel az övek mentén az övmerevítő hatása olyan kicsi lehet, hogy a szabvány javaslatára azt célszerű lehet elhanyagolni az effektív keresztmetszetről ugyanakkor a szimpla szelvény központos nyomásra 4. keresztmetszeti osztályú, így például szükséges lehet a lemezhorpadásnak megfelelő effektív keresztmetszet meghatározása. Ekkor már 3 különböző keresztmetszet alkalmazása merült fel a számításokban. Ha azt is figyelembe vesszük, hogy vékonyfalú acélszerkezetek nyomás hatására torzulásos horpadással is tönkremehetnek, illetve ez interakcióba léphet más tönkrementési módokkal, akkor ennek megfelelően szükséges lehet az övek vastagságának a csökkentése. Az így létrejövő, 4. keresztmetszetnek a legkisebb a területe, hiszen ebben minden korábban felsorolt hatást érvényesítettünk.

Érdemes megjegyezni, hogy az sem mindegy, hogy az egyes hatásokat milyen sorrendben vesszük figyelembe, mert például egy övmerevítő elhagyása befolyásolhatja a lemezhorpadásnál kieső szakasz hosszát, amely viszont hatással van a torzulásos horpadásnál az effektív lemezvastagságra.

Az alábbiakban bemutatásra kerülnek a számítások során felhasználható különböző effektív keresztmetszetek.

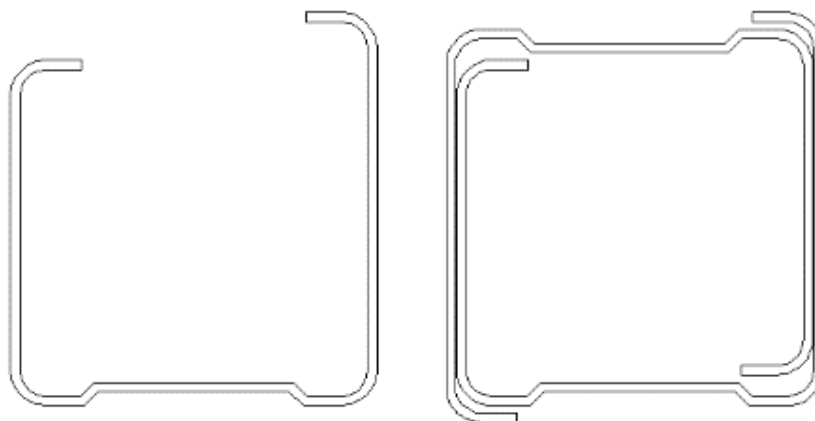
### 4.1. Effektív keresztmetszetek

A modellezés során az egyes hatásokat több lépcsőben vesszük figyelembe. Ezekről összehasonlító táblázat a 4.2. fejezetben található. A keresztmetszeti számításához a lekerekítések figyelembevételével a keresztmetszetet át kell alakítani egy középvonalakra illesztett sokszögvonallá (EN 1993-1-3: 5.1.). A továbbiakban a kézi számításban az egyes hosszak alatt (övek, övmerevítők, stb. hosszai) ezeket az értékeket értjük. Ugyanakkor a keresztmetszeti jellemzők számítását egy olyan geometrián végezzük el, melynél az inefektív részeket a **valós** geometriából vesszük el.

#### 4.1.1. Eredeti keresztmetszet

$(C_{Sin}/C_{DB})$

Kiindulási alapnak szemléltetésként itt látható a mindenféle csökkentés nélküli, eredeti keresztmetszet mind szimpla, mind dupla esetekben.

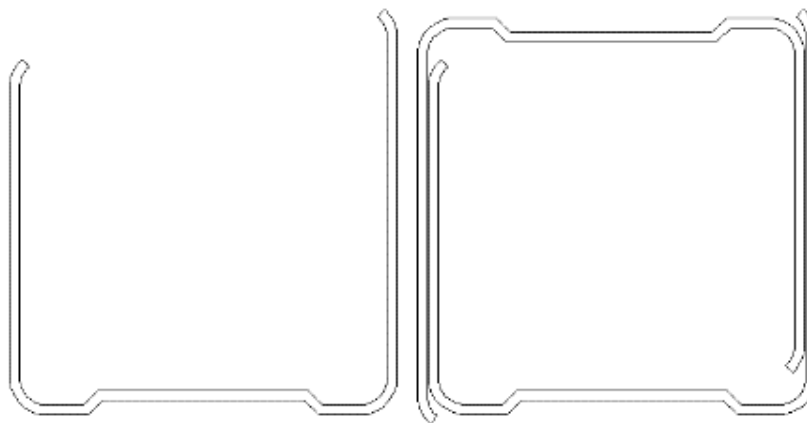


16. ábra - Eredeti keresztmetszetek

#### 4.1.2. Övmerevítők elhagyása

*(C\_Sin\_RedSlip/C\_DB\_RedSlip)*

Az Eurocode javaslatot tesz arra, hogy amennyiben az övmerevítők hossza arányában túl rövid az övekhez képest, úgy a merevítők kihajlásának elkerülése érdekében azokat célszerű elhanyagolni (EN 1993-1-3: 5.2 [2]). Fontos megjegyezni, hogy egyáltalán nem mindegy az egyes hatások, így az effektív keresztmetszeteknél az elhanyagolások sorrendje, ugyanis ezek a hosszak a számításoknál kölcsönösen bemenő adatok. Esetünkben kiszámoltuk mindkétféleképpen: először a lemezhorpadás miatti hanyagolást végeztük el, majd a merevítőt zártuk ki a számításból, illetve fordítva. A számítás során kiderült, hogy ebben a konkrét esetben a két érték azonos: 8.91 mm hosszú az ineffektív szakasz hossza a hosszabbik övön, tehát esetünkben nem számít a sorrend.



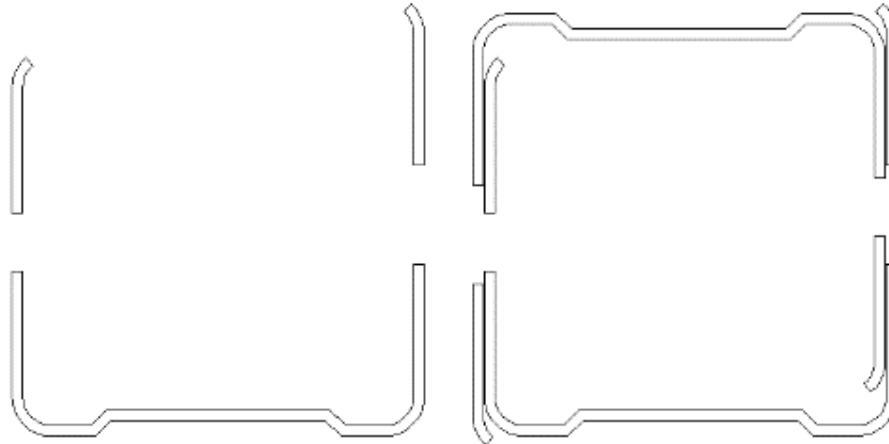
17. ábra – Övmerevítők elhagyása

#### 4.1.3. Effektív keresztmetszet az egyik övmerevítő elhagyása után

*(C\_Sin\_RedSlip\_Eff/C\_DB\_RedSlip\_Eff)*

A 4. keresztmetszeti osztály esetén figyelembe veendő effektív keresztmetszetek módszere jól ismert. Amennyiben azt feltételezzük, hogy a dupla szelvény elemei egymástól tökéletesen függetlenül dolgoznak, úgy egyszerűen a szimpla szelvény önmagába forgatása megadja az itt

látható dupla szelvényt. Látható, hogy a dupla szelvényél az így kieső részek nincsenek tökéletesen átfedésben, viszont olyan analitikus számításai eljárásunk, mely erre lehetőséget ad, nincsen. A biztonság javára történő közelítésnek felel meg viszont, ha nem próbáljuk meg ezen kieső részeket fedésbe hozni, együttdolgoztatni a szelvényeket, hanem első közelítésben elhanyagoljuk a lemezek egymást támasztó hatását, és egyszerűen megduplázzuk az effektív szimpla szelvényt az itt látható módon.



18. ábra – Effektív keresztmetszet 4. km-i osztály esetén

A számítás lépései:

Központos nyomás miatt:  $\psi_h := 1$

Szintén központos nyomás miatt:  $k_\sigma := 4$

$$\sigma_{c,max} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\lambda_p := \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_\sigma}} \quad \text{illetve} \quad \lambda_{p,red} := \lambda_p \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c,max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}}$$

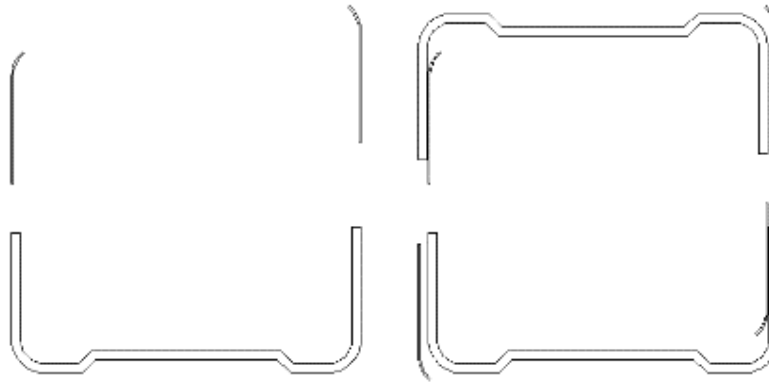
$$\rho := \frac{1 - \frac{0.055(3 + \psi)}{\lambda_{p,red}}}{\lambda_{p,red}} + 0.18 \frac{\lambda_p - \lambda_{p,red}}{\lambda_p - 0.6}$$

melyekből a dolgozó rész aránya:

#### 4.1.4. Torzulásos horpadás figyelembevétele

$(C_{Sin\_RedSlip\_Eff\_Dist}/C_{DB\_RedSlip\_Eff\_Dist})$

Vékonyfalú szelvények esetén jellemző tönkremeneteli mód a torzulásos horpadás. Jellegetessége, hogy vékonyfalú, nyitott szelvények esetén az övek a gerinchez képest elfordulnak, keresztmetszeti torzulás lép fel. Ennek analitikus úton történő figyelembevételéhez az övek vastagságát csökkenteni kell az effektív keresztmetszet meghatározásakor. Modellünkben ezt úgy végezzük el, hogy minden eddigi hatást figyelembe véve, a  $C_{Sin\_RedSlip\_Eff}/C_{DB\_RedSlip\_Eff}$  szelvényt, mint számítási kiindulási alapot felhasználva számítjuk ki a csökkentő tényezőt.



19. ábra – Effektív keresztmetszet torzulásos horpadás figyelembevételével

A számítás lépései:

Övek keresztmetszeti összterülete: 
$$A_{st} := \left( \frac{b_{1,eff} + b_{2,eff} + c_{1,eff} + c_{2,eff}}{2} \right) \cdot t$$

Keresztmetszeti torzulás esetén a gerinchez kapcsolódó öveket úgy vesszük figyelembe, mint amelyeket egy adott rugómerevségű kapcsolat köt össze egymással. Ennek a fiktív rugónak a rugómerevsége:

$$K := \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{1.5 \cdot (h - t) \cdot b_{dist.1}^2 + b_{dist.1}^3}$$

Mivel az övek nem egyenlő hosszúak, ezért a kritikus feszültséghez tartozó értéket, a szabványtól kissé eltérve állapítjuk meg, az öveket átlagoljuk:

$$\sigma_{cr.st} := \frac{\sqrt{K_1 \cdot E \cdot I_{a.st}} + \sqrt{K_2 \cdot E \cdot I_{a.st}}}{A_{st}}$$

Mindezekből a karcsúság:

$$\lambda_d := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr.st}}}$$

A csökkentő tényező pedig:

$$\chi_d := \frac{0.66}{\lambda_d}$$

Esetünkben a csökkentett övvastagság:  $t_{red} := t \cdot \chi_d$   $t_{red} = 0,204 \text{ mm}$

## 4.2. Inercia táblázatok

Az egyes szelvényekhez tartozó keresztmetszeti terület (A), y-tengelyű inercianyomaték (tartórács síkjával párhuzamos hajlítás) (I.y), z-tengelyű inercianyomaték (tartó síkjára merőleges hajlítás) (I.z), csavarási inercia (I.t) és torzulási inercia (I.ω). A keresztmetszeti jellemzőket Axis program felhasználásával számoltattuk ki, mivel az a lekerekítéseket is figyelembe véve pontosabb eredményt ad a kézi számításnál.

	A [mm <sup>2</sup> ]	I.y [mm <sup>4</sup> ]	I.z [mm <sup>4</sup> ]	I.t [mm <sup>4</sup> ]	I.ω [cm <sup>6</sup> ]
C_Sin	111.73	19671	27329	33.5	6.43
C_DB	223.45	42429	55012	66.9	83.03
C_Sin_RedSlip	100.63	13937	25032	30.1	3.22
C_DB_RedSlip	201.26	35319	50425	60.1	59.76
C_Sin_RedSlip_Eff	87.25	13289	20723	25.6	0.44
C_DB_RedSlip_Eff	174.5	35149	41542	51.2	12.70
C_Sin_RedSlip_Eff_Dist	66.37	4657	14021	18.0	0.32
C_DB_RedSlip_Eff_Dist	132.73	29860	28107	36.1	12.47

5. táblázat - Fontosabb keresztmetszeti jellemzők

A teljes táblázat a függelékek között megtalálható.

### 4.3. Analitikus számítás menete

A teljes számítás a függelékben megtalálható. Az alábbiakban csak a számítás fontosabb részleteit közöljük.

Többfajta tönkremeneteli módot kell vizsgálnunk, melyek közül ki kell választanunk az adott hossz melletti mértékadót. Fontos megjegyezni, hogy torzulásos horpadás interakcióját úgy vesszük figyelembe, hogy a jól ismert képleteket a csökkentett övvastagságú szelvényekre alkalmazzuk. Ekkor tehát nem használunk új képleteket, hanem csak a meglévőket alkalmazzuk kétszer, két különböző geometria esetén.

#### 4.3.1. Síkbeli kihajlás

Mivel a támasz tengelyei és a szelvény inercia főirányai nem esnek egybe, ezért a kihajlási hossz számításakor trigonometrikus függvényeket felhasználva átszámoljuk a szelvény inercia főirányába eső kihajlási hossz tényezők értékeit:

$$v_{\eta} := v_y \cdot \cos(\delta)^2 + v_z \cdot \sin(\delta)^2 \quad \text{és} \quad v_{\zeta} := v_y \cdot \sin(\delta)^2 + v_z \cdot \cos(\delta)^2$$

$$N_{cr,\eta}(L) := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{1,eff}}{(v_{\eta} \cdot L)^2}$$

Elméleti kritikus erő idealizált esetben:

$$\lambda'_{\eta}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,eff} \cdot f_y}{N_{cr,\eta}(L)}}$$

Kihajlási tényező:

Csökkentő tényező:

$$\chi_{\eta,\eta}(L) := \frac{1}{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta}(L)^2}{2} \right]^2 - \lambda'_{\eta}(L)^2}}$$

ahol c-görbe esetén (EN 1993-1-1 6.1., 6.2. táblázatok)  $\alpha=0,49$ .



### 4.3.2. Térbeli elcsavarodó kihajlás

Elméleti kritikus erő idealizált esetben (EN 1993-1-3: 6.2.3.):

$$N_{cr,\tau}(L) := \frac{1}{i_s^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 E \cdot I_{2,eff} \cdot a^2}{L^2} + \frac{\pi^2 E \cdot I_{\omega,eff}}{L^2} + G \cdot I_{t,eff} \right)$$

$$\lambda'_{\tau}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,eff} \cdot f_y}{N_{cr,\tau}(L)}}$$

Kihajlási tényező:

Csökkentő tényező:

$$\chi_{\tau}(L) := \frac{1}{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\tau}(L) - 0.2) + \lambda'_{\tau}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\tau}(L) - 0.2) + \lambda'_{\tau}(L)^2}{2} \right]^2 - \lambda'_{\tau}(L)^2}}$$

$$N_{\tau,Rd} := \frac{\chi_{\tau} \cdot A_{c,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Ezek alapján a teherbírás értéke:

### 4.3.3. Keresztmetszeti ellenállás

Befogás esetén célszerű lehet meghatározni a keresztmetszet ellenállását úgy, hogy a csavarlyuk gyengítését is figyelembe vesszük:

$$N_{c,Rd} := \frac{f_y \cdot A_{net}}{\gamma_{M0}}$$

### 4.3.4. Kapcsolat ellenállása

Mivel a kísérletek kiértékelésekor a csavarok elnyíródását kategorikusan kizártuk, az ilyen eredményeket kiszűrtük és töröltük, ezért a továbbiakban ezzel nem foglalkozunk, ezt az analitikus megoldás esetén sem számítjuk. Mindezek tudatában, a kapcsolat teherbírásának kimerülését úgy definiáljuk be sík- illetve gömbcsuklónál, hogy az a csavar furatárának tönkremenetelét, megfolyását jelentse. Ennek értéke  $2 \cdot d \cdot t \cdot f_y$  szimpla szelvénynél,  $4 \cdot d \cdot t \cdot f_y$  dupla szelvénynél. Befogás esetén a már korábban bemutatott keresztmetszeti ellenállást kell használni, mivel nem alkalmaztunk csavarokat, így a furatokra nem hat erő.

## 5. Eredmények összehasonlítása

Az alábbiakban bemutatom a kísérletek során mért és kiértékelt tervezési teherbírasi értékeket, illetve összehasonlítom az analitikus úton számított tervezési teherbírasi értékekkel. Azért, hogy a torzulásos horpadás hatása jól kimutatható legyen, bemutatom a torzulásos horpadás esetén alkalmazandó (csökkentett övvastagságú) effektív keresztmetszetekkel számolt teherbírasi grafikonokat, illetve a torzulásos horpadás kialakulását nem feltételező, nagyobb teherbírást adó grafikonokat is. A kísérletek elsősorban a 150-2500 mm-es tartományban mozogtak, míg kiegészítő jelleggel kiterjesztettük a vizsgálati tartományt 5-150 mm közé is. Ennek megfelelően az analitikus eljárással is elsősorban a 150-2500 mm-es tartományt vizsgáltuk. A grafikonok esetében az egyes függvények jelentése:

**N.fl.η.Rd.G / N.fl.η.dist.Rd.G** – *Síkbeli kihajlás kritikus ereje tartó síkjában torzulásos horpadás elhanyagolásával / torzulásos horpadás interakciójának figyelembevételével.*

**N.fl.ζ.Rd.G / N.fl.ζ.dist.Rd.G** – *Síkbeli kihajlás kritikus ereje tartó síkjára merőlegesen torzulásos horpadás elhanyagolásával / torzulásos horpadás interakciójának figyelembevételével.*

**N.τ.Rd.G / N.τ.dist.Rd.G** – *Térbeli elcsavarodó kihajlás torzulásos horpadás elhanyagolásával / torzulásos horpadás interakciójának figyelembevételével.*

**N.pl.Rd** – *Keresztmetszet ellenállás lyukgyengítés figyelembevételével.*

**F.Rd** – *Kapcsolat teherbírása.*

Az „X”-ek a kísérleti úton meghatározott tervezési teherbírást jelölik.

A grafikonok vízszintes tengelye minden esetben a vizsgált elem támaszai közti távolságot jelenti méterben (tehát nem a névleges hosszat), míg a függőleges tengely az erőt kN-ban megadva.

Meg kell jegyezni, hogy természetesen palástnyomás-jellegű tönkremenetel nem jöhet létre befogott esetben, mivel ott nem alkalmaztunk csavarokat. Ugyanakkor, az egyszerűbb kezelhetőség illetve az összehasonlíthatóság érdekében az ilyen esetekben is szerepel a grafikonokon a palástnyomási ellenállás értéke.

### 5.1. Szimpla szelvény

Feltételezések:

- övmerevítők elhanyagolása,
- 4. keresztmetszeti osztály,
- torzulásos horpadás interakciója érvényesül.

Az itt található feltételezésekkel az egyes tönkremenetekhez számolt kritikus erők értékeit meghatároztuk az elemhossz függvényében. A számítást külön elvégeztük minden esetben a torzulásos horpadás figyelembevétele nélkül és a figyelembevételével is. A grafikonokon az egyes jelölések a korábban leírtak szerint értelmezendő. Röviden elismételve:

N.fl.η.Rd.G / N.fl.η.dist.Rd.G (piros): síkbeli kihajlás tartósíkbán

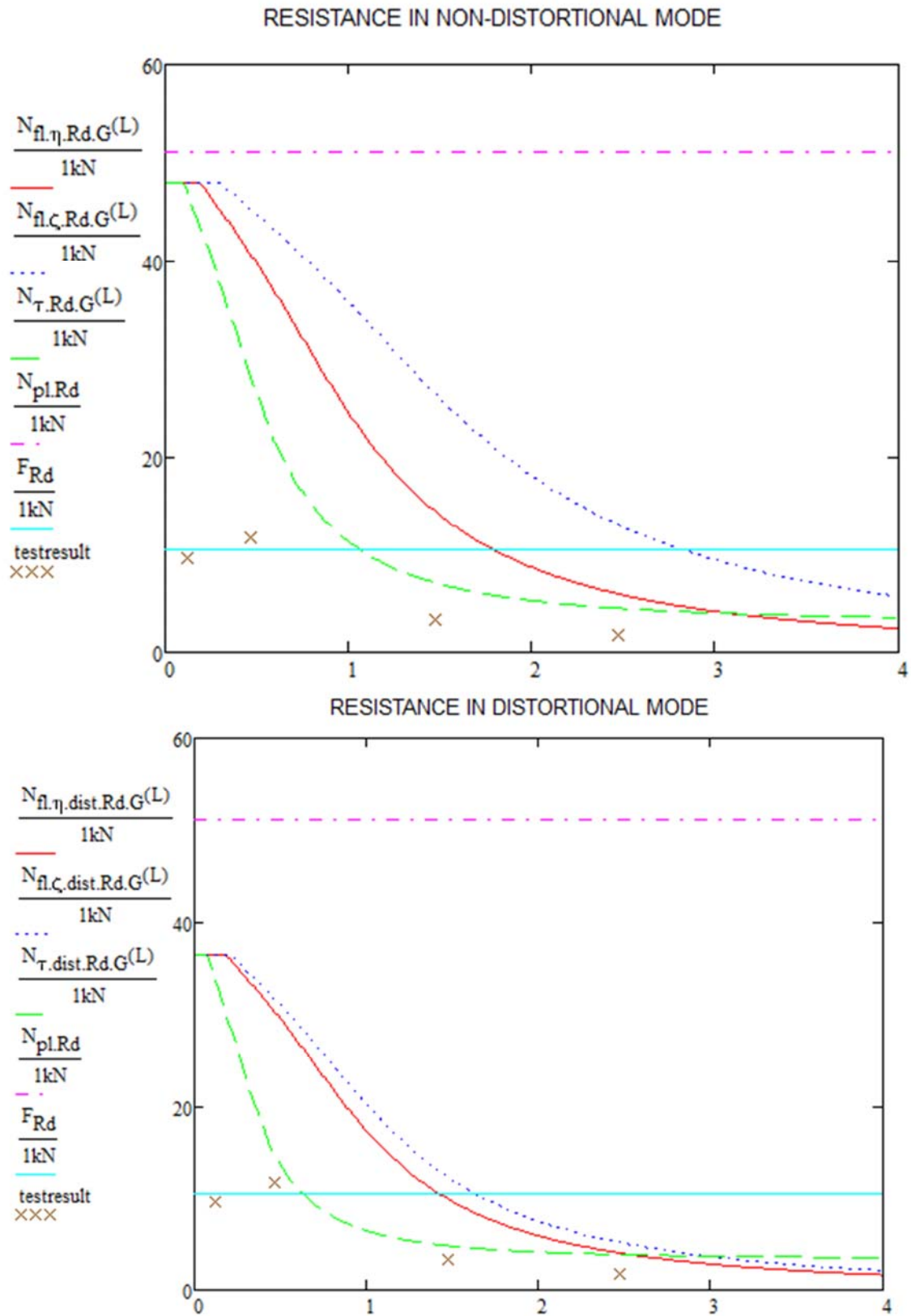
N.fl.ζ.Rd.G / N.fl.ζ.dist.Rd.G (kék): síkbeli kihajlás tartósíkra merőlegesen

N.τ.Rd.G / N.τ.dist.Rd.G (zöld): térbeli elcsavarodó kihajlás

N.pl.Rd: keresztmetszeti ellenállás

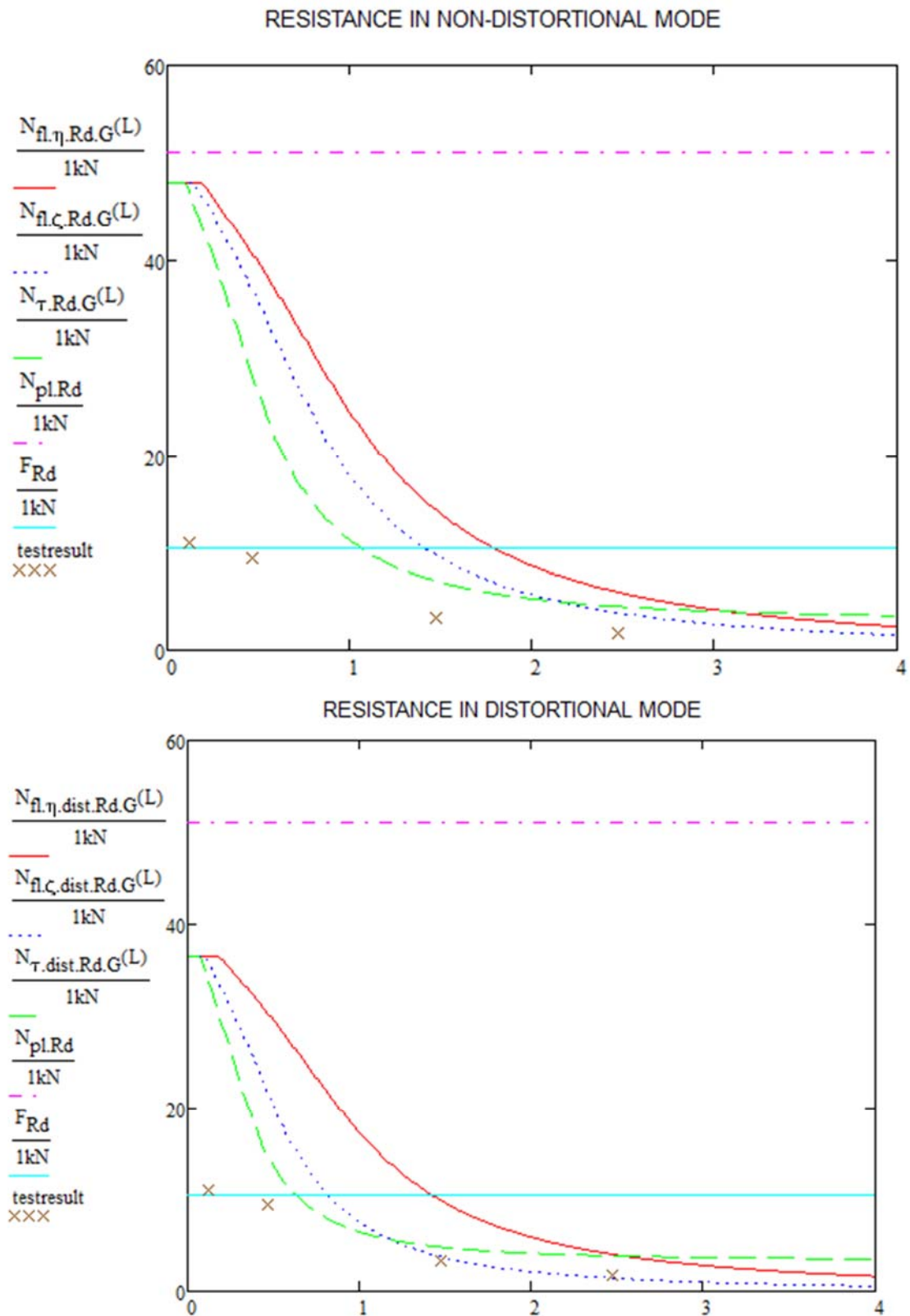
F.Rd: kapcsolat (furat) teherbírása

Síkcuklós megtámasztás:



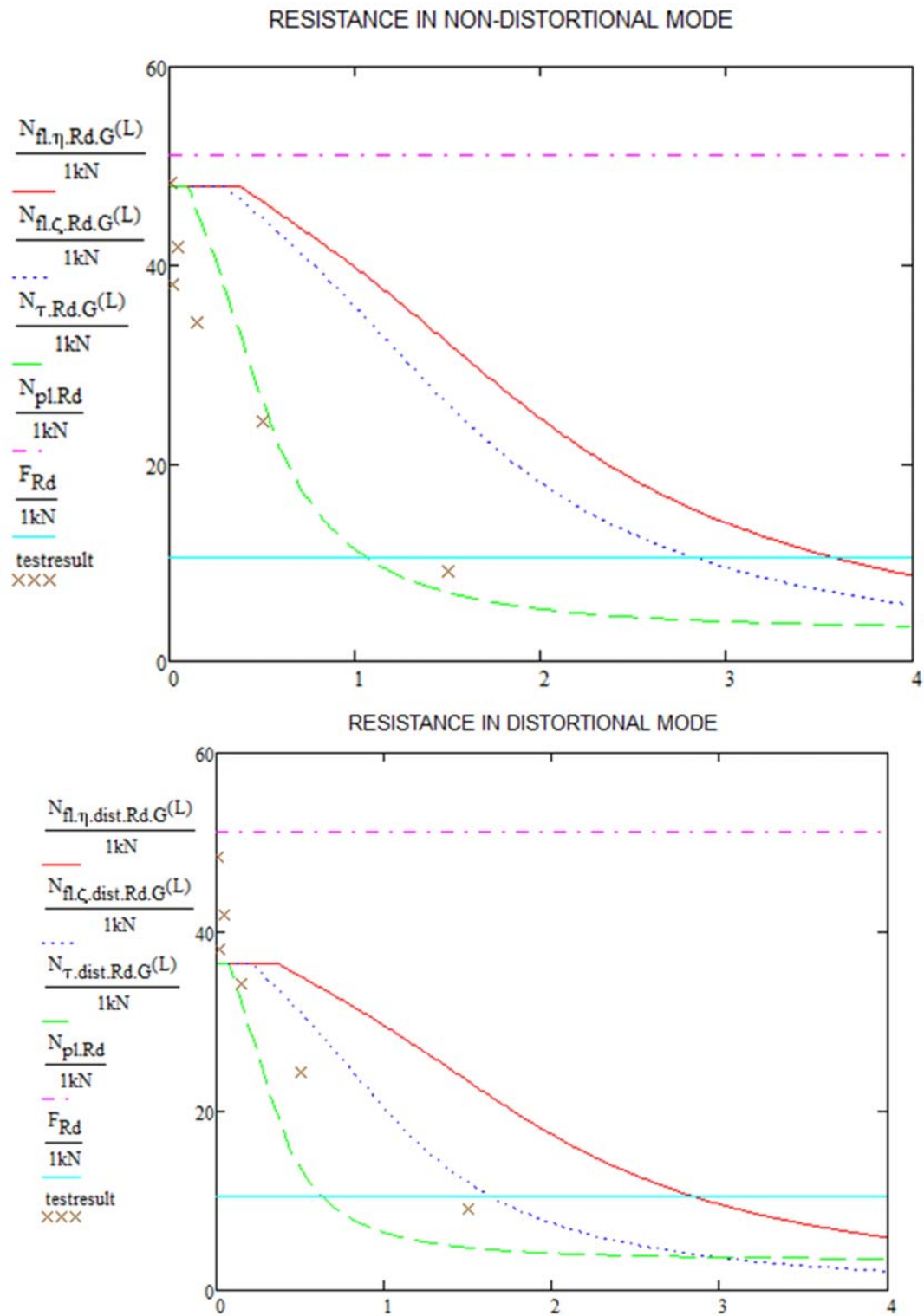
20. ábra - Síkcuklós megtámasztás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

Gömbcsuklós megtámasztás:



21. ábra - Gömbcsuklós megtámasztás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

Befogás:



22. ábra - Befogás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

SZIMPLA	Névleges hossz [mm]						
	5	20	50	150	500	1500	2500
Síkcsukló számított				10.41	10.41	4.81	3.86
Síkcsukló mért				9.58	11.64	3.37	1.82
Gömbcsukló számított				10.41	10.41	3.78	1.43
Gömbcsukló mért				10.97	9.44	3.34	1.78
Befogás számított	36.50	36.50	36.50	32.01	13.73	4.75	
Befogás mért	48.27	37.95	41.87	34.14	24.24	9.15	

6. táblázat - Szimpla szelvény eredményeinek összehasonlítása

A táblázatban szereplő analitikus eredmények a feltételezésnek megfelelően a torzulásos horpadás figyelembevételével számított értékek.

Sík- és gömbcsuklós esetben a grafikonok alapján elmondható, hogy az analitikus megoldás során helyes volt a feltételezésünk, hogy a torzulásos horpadás hatását figyelembe kell vennünk. Befogás esetén azonban látszik, hogy a rövid tartományt (<150 mm) leszámítva a kísérleti eredmények nem igazolták, hogy a csökkentett övvastagságú szelvény alapján kellene számolni.

## 5.2. Dupla szelvény

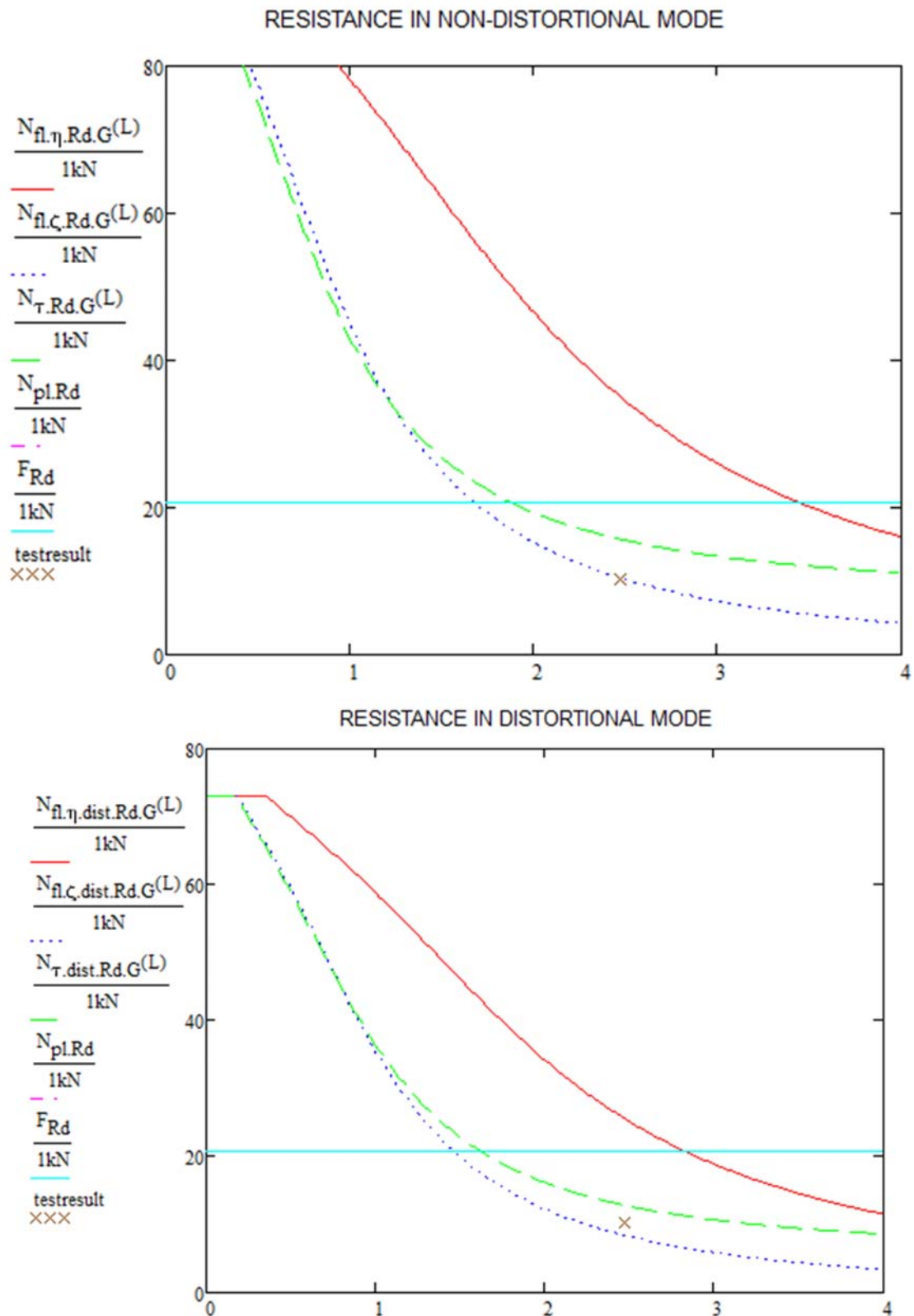
Feltételezések:

- övmerevítők elhanyagolása,
- 4. keresztmetszeti osztály,
- torzulásos horpadás interakciója nem érvényesül.

Az itt található feltételezésekkel az egyes tönkremenetekhez számolt kritikus erők értékeit meghatároztuk az elemhossz függvényében az előzőeknek megfelelően. A számítást külön elvégeztük minden esetben a torzulásos horpadás figyelembevétele nélkül és a figyelembevételével is. A grafikonokon az egyes jelölések a korábban leírtak szerint értelmezendő. Röviden elismételve:

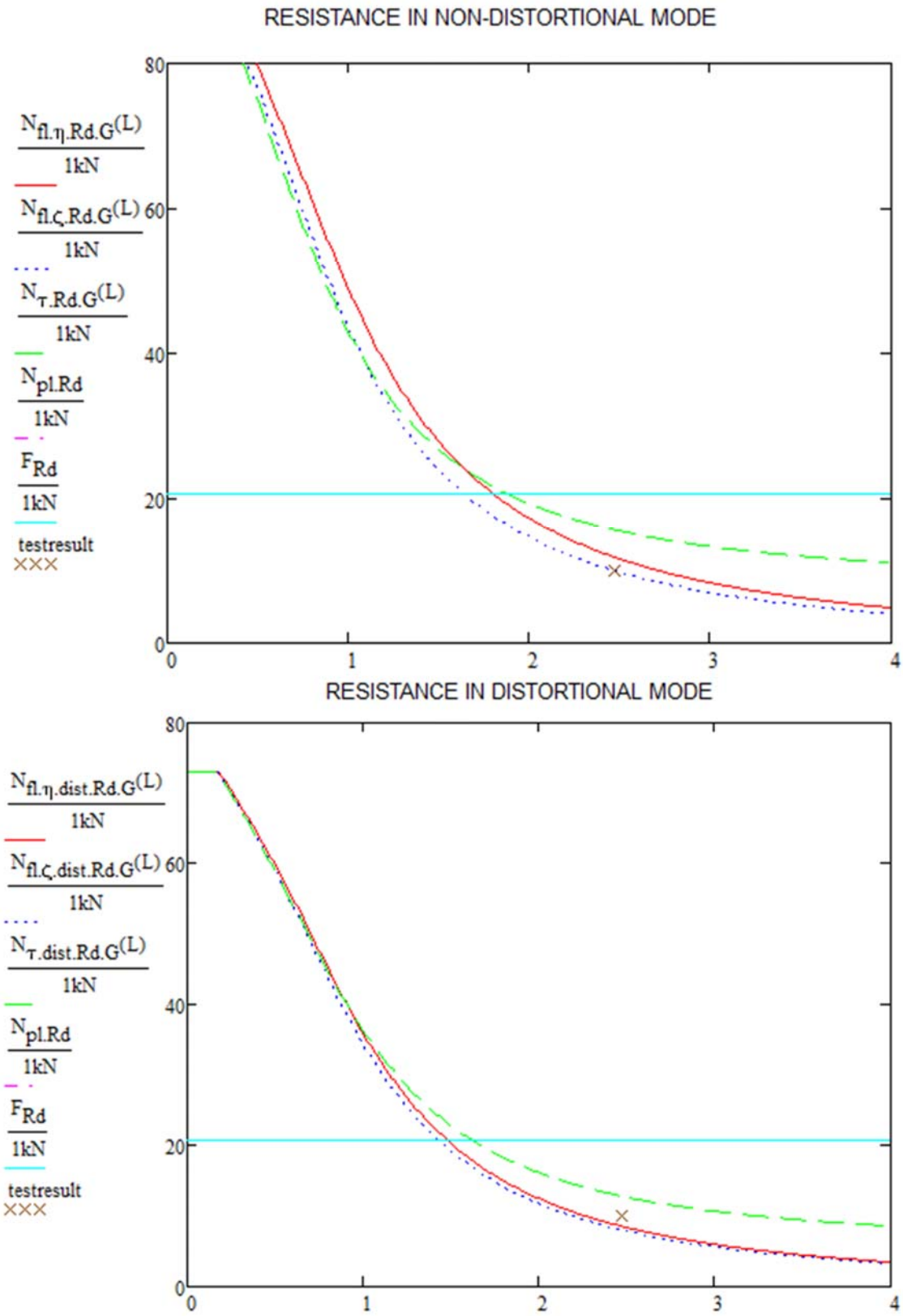
N.fl.η.Rd.G / N.fl.η.dist.Rd.G (piros):	síkbeli kihajlás tartósíkban
N.fl.ζ.Rd.G / N.fl.ζ.dist.Rd.G (kék):	síkbeli kihajlás tartósíkra merőlegesen
N.τ.Rd.G / N.τ.dist.Rd.G (zöld):	térbeli elcsavarodó kihajlás
N.pl.Rd:	keresztmetszeti ellenállás
F.Rd:	kapcsolat (furat) teherbírása

Síkcsuklós megtámasztás:



23. ábra - Síkcsuklós megtámasztás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

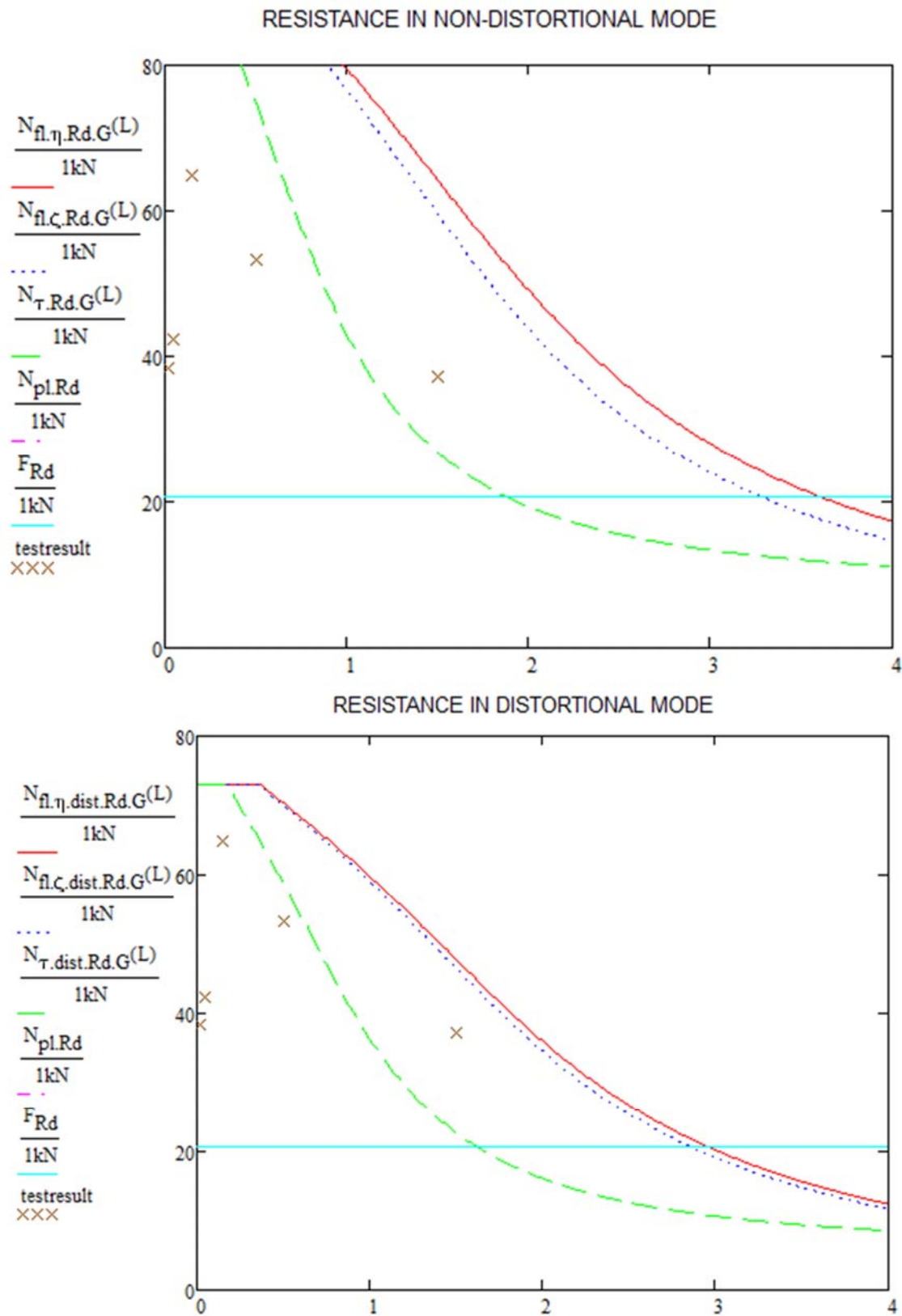
Gömbcsuklós megtámasztás:



24. ábra - Gömbcsuklós megtámasztás, torzulásos horpadás nélkül és azzal



**Befogás:**



25. ábra - Befogás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

DUPLA	Névleges hossz [mm]						
	5	20	50	150	500	1500	2500
Síkcsukló számított							10.45
Síkcsukló mért							10.14
Gömbcsukló számított							10.16
Gömbcsukló mért							10.03
Befogás számított		73.00	73.00	73.00	59.13	22.71	
Befogás mért		38.39	42.27	64.78	53.18	37.24	

7. táblázat - Dupla szelvény eredményeinek összehasonlítása

A táblázatban szereplő analitikus eredmények a feltételezésnek megfelelően a torzulásos horpadás elhanyagolásával számított értékek.

Sík- és gömbcsukló esetén a mérések során kapott eredmények kellően illeszkednek az elméleti megoldáshoz, ugyanakkor a befogott esetben ez nem mondható el. A különbség fő oka, hogy a szelvények imperfektek, a hosszuk nem tökéletesen egyforma, így egyik-másik szelvény nagyobb terhet kap, az elemek nem dolgoznak tökéletesen együtt. Erre a legjobb példa a nagyon rövid elemek viselkedése (~5mm), ahol egyértelműen látszik, hogy az elemek a korábban bemutatott ugyanolyan hosszú, de szimpla elemek viselkedésére emlékeztetnek. Mivel ez az eset elméleti, a gyakorlatban ilyen kialakítás nem fog készülni, ezért ennek a számítási korrekciójával a továbbiakban nem foglalkozunk, megelégszünk a csuklós esetek alkalmazhatóságával.

### 5.3. Dupla-csavarozott szelvény

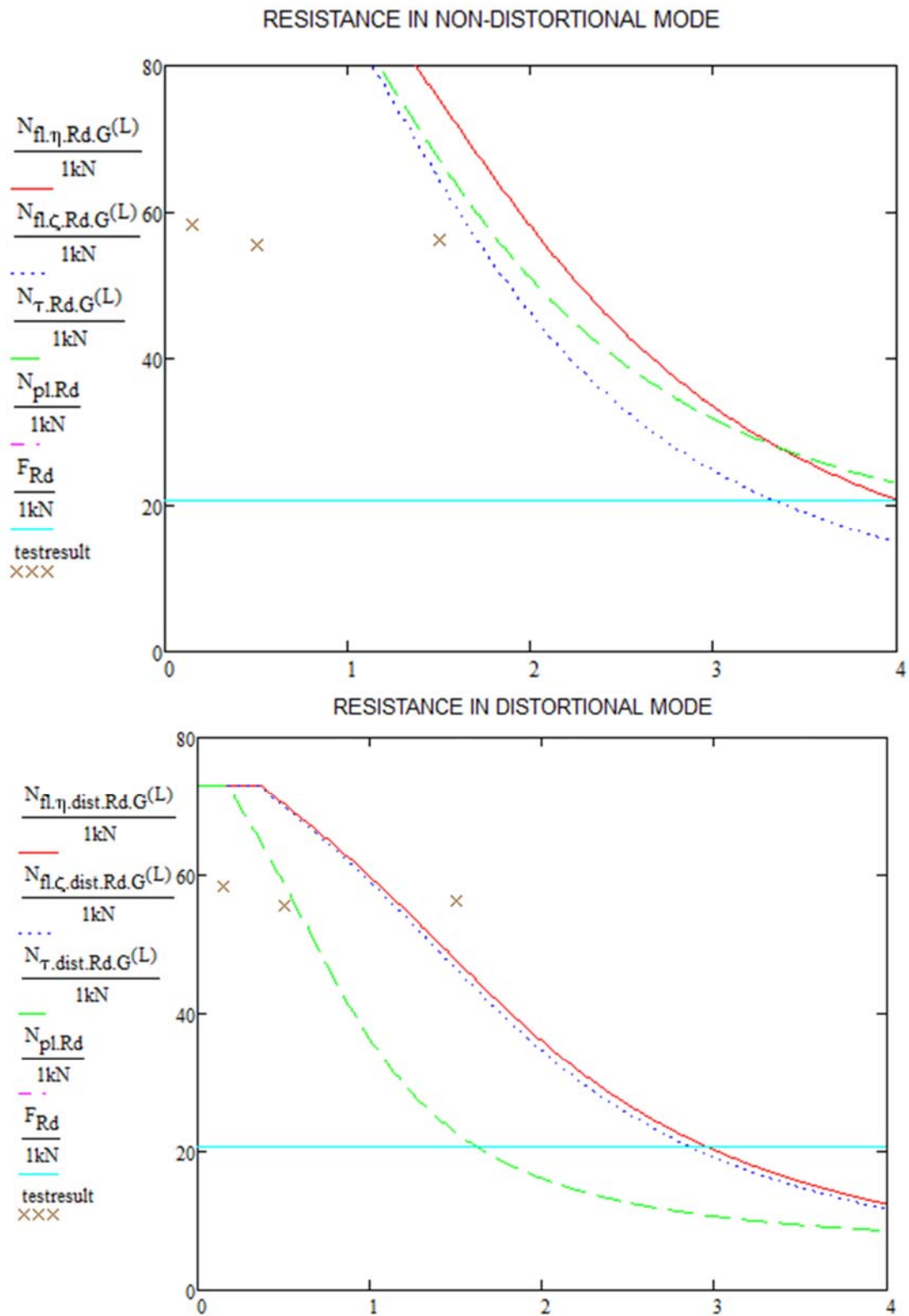
Feltételezések:

- övmerevítők elhanyagolása,
- 2. keresztmetszeti osztály, az övek teljes keresztmetszete dolgozó,
- torzulásos horpadás interakciója NEM érvényesül, az övek együtt dolgoznak.

Az itt található feltételezésekkel az egyes tönkremenetekhez számolt kritikus erők értékeit meghatároztuk az elemhossz függvényében az előzőeknek megfelelően. A számítást külön elvégeztük minden esetben a torzulásos horpadás figyelembevétel nélkül és a figyelembevételével is. A grafikonokon az egyes jelölések a korábban leírtak szerint értelmezendő. Röviden elismételve:

N.fl.η.Rd.G / N.fl.η.dist.Rd.G (piros):	síkbeli kihajlás tartósíkban
N.fl.ζ.Rd.G / N.fl.ζ.dist.Rd.G (kék):	síkbeli kihajlás tartósíkra merőlegesen
N.τ.Rd.G / N.τ.dist.Rd.G (zöld):	térbeli elcsavarodó kihajlás
N.pl.Rd:	keresztmetszeti ellenállás
F.Rd:	kapcsolat (furat) teherbírása

**Befogás:**



26. ábra - Befogás, torzulásos horpadás nélkül és azzal

DUPLA CSAVAROZOTT	Névleges hossz [mm]						
	5	20	50	150	500	1500	2500
Síkcsukló számított							
Síkcsukló mért							
Gömbcsukló számított							
Gömbcsukló mért							
Befogás számított				102.09	102.09	64.61	
Befogás mért				58.32	55.49	56.22	

8. táblázat - Dupla-csavarozott szelvény eredményeinek összehasonlítása

A táblázatban szereplő analitikus eredmények a feltételezésnek megfelelően a torzulásos horpadás elhanyagolásával, 2. keresztmetszeti osztályú elemként számított értékek.

Mindenekelőtt ismét le kell szögeznünk, hogy a csavarozott szelvények csak közelítő megoldást nyújtanak a press-fitted elemek modellezésére. Így ennek jelentősége kimerül a tendenciák vizsgálatában. A press-fitted szelvények esetén messze a legnagyobb effektív keresztmetszettel számoltunk, melyre a teherbírási értékek lényegesen nagyobbak a dupla szelvényekénél illetve a szimpla szelvény teherbírásának duplájánál. Ugyanakkor a csavarozott elemek nem érik el ezt az elméleti teherbírási értéket. Ha megfigyeljük a mért értékeket, azt tapasztaljuk, hogy azok 56 kN körül ingadoznak, látszólag a hosszról függetlenül. Ennek egyik oka az lehet, hogy a csavarokat úgy osztottuk ki, hogy azok a hosszról függetlenül minden esetben közel azonos távolságra voltak egymástól, azoknak csak a darabszáma változott. Ez a tulajdonképpeni csavarkép-változtatás jelentősen befolyásolja az eredményeket. A lényegen viszont ez nem változtat: az övek egymást támasztó hatása igen jelentős, az együttdolgozás szerepe kiemelkedő. Az ilyen szelvények vizsgálatához javasolt a további kísérletek végzése immáron valós press-fitted szelvényeken.

## 6. Összefoglalás

A Scottsdale Construction Systems Ltd. által megbízást kaptunk az általuk fejlesztett rácsos tartó rácsrúdjaiknak stabilitásvizsgálatára az Eurocode alapján, melyekhez 3 különböző szelvényt terveztek alkalmazni. Egy 117 kísérletből álló kísérletsorozattal meghatároztuk az elemek tervezési teherbírásértékét 3 különböző elméleti támasz esetén 150-2500 mm-es hossztartományon belül adott hosszakon. Ezen kísérletek egy része kiegészítő jellegű, és az 5-150 mm-es tartomány vizsgálatáról szól.

Célunk egy olyan számítási útmutató kidolgozása volt, mely az Eurocode alapján megadja egy adott szelvény teherbírását a hossz függvényében. Ehhez több különböző dolgozó keresztmetszetet feltételeztünk. Az eredmények összehasonlítása során az alábbi megállapításokra jutottunk a rácsos tartó lehetséges kialakítására vonatkozóan:

- A szimpla szelvények esetében az övmerevítők teherbírását figyelmen kívül kell hagyni, a szelvény 4. keresztmetszeti osztálynak megfelelő csökkentését el kell végezni, továbbá a torzulásos horpadást az övvastagság csökkentésével figyelembe kell venni.
- Dupla szelvények esetén az övmerevítőket szintén el kell hagyni, a 4. keresztmetszeti osztálynak megfelelő csökkentést el kell végezni, ám az egymást támasztó hatása miatt a torzulásos horpadás hatását figyelmen kívül hagyhatjuk, az övek vastagságát nem kell csökkenteni.
- Dupla-csavarozott szelvények esetén az együttdolgozás ténye kimutatható, ám ennek számítása bonyolult, jelen kísérletek nem alkalmasak egzakt módszer kidolgozására
- A dupla press-fitted szelvények vizsgálata indokolt, azok teherbírásának meghatározásához laborkísérletek szükségesek.

## **7. Irodalomjegyzék**

- [1] MSZ EN 1990:2002 - Basis of structural design
- [2] MSZ EN 1993-1-1:2005 - Design of steel structures - General rules and rules for buildings
- [3] MSZ EN 1993-1-3:2006 - Design of steel structures - General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting.
- [4] MSZ EN 1993-1-12:2007 - Design of steel structures - Additional rules for the extension of EN 1993 up to steel grades S 700

## 8. Függelék

- Keresztmetszeti adatok
- MathCAD számítási melléklet
- Labor jegyzőkönyv

## Keresztmetszeti adatok

### Szelvények

Név	Rajz	Gyártás	Alak	h	b	tw	tf	Ax	Ay	Az
				[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]
1 C_Sin		Más	Egyedi	39.70	37.10	0	0	111.73	21.08	56.81
2 C_Sin_RedSlip		Más	Egyedi	38.80	37.10	0	0	100.63	23.18	50.64
3 C_Sin_RedSlip_Eff		Más	Egyedi	38.80	37.10	0	0	87.25	0	0
4 C_Sin_RedSlip_Eff_Dist		Más	Egyedi	38.80	37.10	0	0	66.37	0	0
5 C_DB		Más	Egyedi	41.40	38.15	0	0	223.45	0	0
6 C_DB_RedSlip		Más	Egyedi	39.59	38.15	0	0	201.26	0	0
7 C_DB_RedSlip_Eff		Más	Egyedi	39.59	38.15	0	0	174.50	0	0
8 C_DB_RedSlip_Eff_Dist		Más	Egyedi	39.59	38.15	0	0	132.73	0	0

Név	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	I <sub>yz</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	α	I <sub>ω</sub>	W <sub>1,el,t</sub>	W <sub>1,el,b</sub>
	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[°]	[cm <sup>6</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]
1 C_Sin	33.5	19671.0	27329.0	2104.8	27869.4	19130.7	-75.60	6.434	1236.2	1284.5
2 C_Sin_RedSlip	30.1	13937.2	25032.3	1918.9	25354.8	13614.7	-80.46	3.217	1185.9	1225.3
3 C_Sin_RedSlip_Eff	25.6	13288.5	20722.9	1285.8	20939.0	13072.4	-80.46	0.444	946.5	1049.6
4 C_Sin_RedSlip_Eff_Dist	18.0	4656.9	14021.0	375.2	14036.0	4641.9	-87.71	0.321	718.2	745.3
5 C_DB	66.9	42428.5	55011.5	3165.1	55762.8	41677.3	-76.65	83.026	2467.0	2467.0
6 C_DB_RedSlip	60.1	35319.1	50425.3	2199.2	50739.0	35005.5	-81.88	59.756	2378.5	2378.5
7 C_DB_RedSlip_Eff	51.2	35149.1	41542.1	1663.5	41949.0	34742.2	-76.25	12.696	1848.5	1848.5
8 C_DB_RedSlip_Eff_Dist	36.1	29859.7	28106.8	-404.1	29948.3	28018.1	12.38	12.465	1363.9	1363.9

Név	W <sub>2,el,t</sub>	W <sub>2,el,b</sub>	W <sub>1,pl</sub>	W <sub>2,pl</sub>	i <sub>y</sub>	i <sub>z</sub>	Hy	H <sub>z</sub>	y <sub>G</sub>	z <sub>G</sub>	y <sub>s</sub>	z <sub>s</sub>
	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1 C_Sin	1036.8	831.3	1645.3	1290.6	13.27	15.64	37.10	39.70	19.28	15.28	2.12	-31.72
2 C_Sin_RedSlip	899.7	572.2	1498.6	1019.3	11.77	15.77	37.10	38.80	19.37	12.92	2.01	-26.20
3 C_Sin_RedSlip_Eff	913.1	531.2	1252.8	884.9	12.34	15.41	37.10	38.80	18.77	11.99	0.71	-15.13
4 C_Sin_RedSlip_Eff_Dist	649.8	147.2	883.0	350.1	8.38	14.54	37.10	38.80	18.73	6.56	0.69	-9.71
5 C_DB	1881.0	1881.0	3301.1	2737.2	13.78	15.69	38.15	41.40	19.07	20.70	0	0
6 C_DB_RedSlip	1664.5	1664.5	3001.4	2366.0	13.25	15.83	38.15	39.59	19.07	19.80	0	0
7 C_DB_RedSlip_Eff	1562.5	1562.5	2498.1	2268.3	14.19	15.43	38.15	39.59	19.07	19.80	0	0
8 C_DB_RedSlip_Eff_Dist	1252.0	1252.0	1869.5	1750.0	15.00	14.55	38.15	39.59	19.07	19.80	0	0

Név	F.p.
1 C_Sin	1
2 C_Sin_RedSlip	1
3 C_Sin_RedSlip_Eff	1
4 C_Sin_RedSlip_Eff_Dist	1
5 C_DB	1
6 C_DB_RedSlip	1
7 C_DB_RedSlip_Eff	1
8 C_DB_RedSlip_Eff_Dist	1



## SCOTTSDALE sections

### 1. Standards

#### 1.1. Eurocode 3 - in details:

EN 1993-1-1-2006: General rules and rules for buildings

EN 1993-1-3-2006: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting

EN 1993-1-5-2006: General rules - Supplementary rules for planar plated structures without transverse loading

#### 1.2. Partial factors

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

### 2. Material properties

#### 2.1. Material of the column

Steel: S 550 MC

$$E := 210\text{GPa}$$

$$\nu := 0.3$$

$$G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 80.769 \cdot \text{GPa}$$

$$f_y := 550 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_u := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### 2.1. Material of the screw

Steel: S2100

$$f_{ub} := 2100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{yb} := f_{ub} \cdot 0.8 = 1680.0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### 3. Geometry

#### 3.1. Nominal and notional geometry

$$c_1 := 7.2\text{mm}$$

$$b_1 := 34.9\text{mm}$$

$$h := 37.1\text{mm} \quad h' := 19.3\text{mm}$$

$$b_2 := 39.7\text{mm}$$

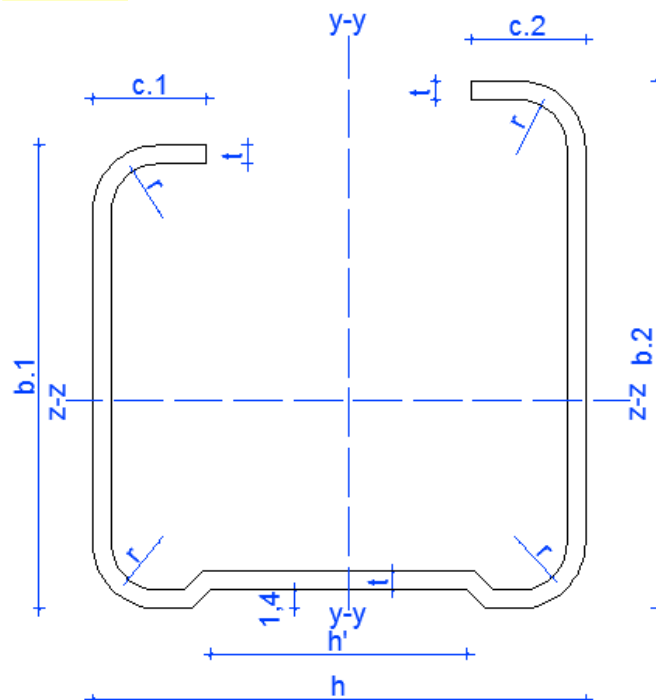
$$c_2 := 7.2\text{mm}$$

$$t := 0.95\text{mm} - 0.004\text{mm} = 0.946 \cdot \text{mm}$$

$$r := 3.6\text{mm} - \frac{t}{2} = 3.127 \cdot \text{mm}$$

Diameter of the hole:

$$d := 10\text{mm}$$



Member lengths:

$$L_{nom} := \begin{pmatrix} 5\text{mm} \\ 20\text{mm} \\ 50\text{mm} \\ 150\text{mm} \\ 500\text{mm} \\ 1500\text{mm} \\ 2500\text{mm} \end{pmatrix}$$

Supports

Use preconfigured states?

config := 2

Configurations:

- 0 - Manual
- 1 - Clamped (0 free axis) without screws
- 2 - Standard fixed (1 free axis) with screws
- 3 - Hinged (2 free axis) with screws

Cross-section type:

double := 0

- 0 - Simple
- 1 - Double
- 2 - Double press-fitted

```
text_testdata := | "No test result" if config = 3 ^ double = 2
                  | "No relevant result - only bolt shear appeared" if config = 2 ^ double = 2
                  | "" otherwise
```

text\_testdata = ""

$$L_{nom} := \begin{cases} \text{submatrix}(L_{nom}, \text{ORIGIN} + 3, \text{ORIGIN} + 6, \text{ORIGIN}, \text{ORIGIN}) & \text{if config} \geq 2 \\ L_{nom} & \text{otherwise} \end{cases} = \begin{pmatrix} 150 \\ 500 \\ 1500 \\ 2500 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

```
ColNum := | counter ← ORIGIN
           | j ← ORIGIN
           | while L_nom_j < max(L_nom) - 0.001 mm
           |   | counter ← counter + 1
           |   | j ← j + 1
           | counter + 1
```

i := ORIGIN .. ColNum + ORIGIN - 1

Nominal length - network length difference:

---

$$\Delta L := \begin{cases} 2 \cdot \left( 10\text{mm} + \frac{d}{2} \right) & \text{if config} > 1 \\ 0\text{mm} & \text{otherwise} \end{cases} = 30 \cdot \text{mm}$$

--- IN CASE OF MANUAL CONFIGURATION ---

$$\nu_y := 0$$

$$\nu_z := 0$$

Screws:

$$\text{screw} := 0$$

Where

0 - There were no screws  
1 - screws were applied

Nominal length - network length difference:

$$\Delta L := \begin{cases} 2 \cdot \left( 5\text{mm} + \frac{d}{2} \right) & \text{if config} = 0 \\ \Delta L & \text{otherwise} \end{cases} = 30 \cdot \text{mm}$$

--- END OF MANUAL CONFIGURATION ---

Calculation of the network length:

$$L_i := L_{\text{nom}_i} - \Delta L$$

$$L = \begin{pmatrix} 120 \\ 470 \\ 1470 \\ 2470 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

$$\nu_y := \begin{cases} \text{if config} > 0 \\ \begin{cases} 0.5 & \text{if config} = 1 \\ 1 & \text{if config} = 2 \\ 1 & \text{if config} = 3 \end{cases} \\ \nu_y & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\nu_z := \begin{cases} \text{if config} > 0 \\ \begin{cases} 0.5 & \text{if config} = 1 \\ 0.5 & \text{if config} = 2 \\ 1 & \text{if config} = 3 \end{cases} \\ \nu_z & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{screw} := \begin{cases} \text{if config} > 0 \\ \begin{cases} 0 & \text{if config} = 1 \\ 1 & \text{if config} = 2 \\ 1 & \text{if config} = 3 \end{cases} \\ \text{screw} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Applied configuration:

$$\nu_y = 1$$

$$\nu_z = 0.5$$

$$\text{screw} = 1$$

$$\text{text} := \begin{cases} \text{"The configuration is INCORRECT!"} & \text{if } (\nu_y \cdot \nu_z = 0) \vee (\Delta L < 0) \\ \text{"The configuration seems to be OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{text} = \text{"The configuration seems to be OK"}$$

### 3.3. Geometrical properties for the effective cross section

#### 3.3.1. Notional flat widths (EN 1993-1-3: 5.1.)

$$c_{1p} := c_1 - \frac{t}{2} - \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (1 - \sin(45^\circ)) = 5.673 \cdot \text{mm}$$

$$b_{1p} := b_1 - t - 2 \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (1 - \sin(45^\circ)) = 31.845 \cdot \text{mm}$$

$$h_p := h' - t - 2 \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (1 - \sin(45^\circ)) = 16.245 \cdot \text{mm}$$

As this part is also stiffened, not h but h' is considered as the basis of the notional flat.

$$b_{2p} := b_2 - t - 2 \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (1 - \sin(45^\circ)) = 36.645 \cdot \text{mm}$$

$$c_{2p} := c_2 - \frac{t}{2} - \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (1 - \sin(45^\circ)) = 5.673 \cdot \text{mm}$$

Gaps at the corners if notional widths are used:

$$g_{rw} := \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (\tan(45^\circ) - \sin(45^\circ)) = 1.054 \cdot \text{mm}$$

$$g_{rs} := \left( r + \frac{t}{2} \right) \cdot (\tan(45^\circ) - \sin(45^\circ)) = 1.054 \cdot \text{mm}$$

```
text := | "The affect of rounded corners can NOT be neglected" if r > 5t
        | "The affect of rounded corners can NOT be neglected" if r > 0.1 min(b1p, b2p, hp)
        | "The affect of rounded corners can be neglected" otherwise
```

text = "The affect of rounded corners can NOT be neglected"

### 3.3.2. Geometrical proportions (EN 1993-1-3: 5.2.)

index := 0

$$\frac{\max(b_{1p}, b_{2p})}{t} = 38.737 < 60$$

$$\frac{\max(c_{1p}, c_{2p})}{t} = 5.996 < 50$$

$$\frac{h_p}{t} = 17.172 < 500$$

$$\text{index} := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{\max(b_{1p}, b_{2p})}{t} > 60 \\ 1 & \text{if } \frac{\max(c_{1p}, c_{2p})}{t} > 50 \\ 1 & \text{if } \frac{h_p}{t} > 500 \\ \text{index} & \text{otherwise} \end{cases}$$

```
text := | "The geometry is NOT proper" if index > 0
        | "OK. The geometry is proper" otherwise
```

text = "OK. The geometry is proper"

**NOTE:** If the geometry is not proper, please read EN-1993-1-3: 5.2. As it is mentioned in this section, the geometrical limitations gurantee that the calculations are validated by sufficient experience, although these limitations can be extended if it is supported by experiments.

$$0.2 < \frac{c_{1p}}{b_{1p}} = 0.178 < 0.6 \quad c_{1p} := \begin{cases} 0 & \text{if } \left[ \left( \frac{c_{1p}}{b_{1p}} < 0.2 \right) \vee \left( \frac{c_{1p}}{b_{1p}} > 0.6 \right) \right] \wedge \text{double} \neq 2 \\ c_{1p} & \text{otherwise} \end{cases} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$0.2 < \frac{c_{2p}}{b_{2p}} = 0.155 < 0.6 \quad c_{2p} := \begin{cases} 0 & \text{if } \left[ \left( \frac{c_{2p}}{b_{2p}} < 0.2 \right) \vee \left( \frac{c_{2p}}{b_{2p}} > 0.6 \right) \right] \wedge \text{double} \neq 2 \\ c_{2p} & \text{otherwise} \end{cases} = 0 \cdot \text{mm}$$

```
text := | "The stiffeners were not modified" if c1p · c2p > 0
        | "One or both stiffeners were neglected due to EN-1993-1-3: 5.2" otherwise
```

text = "One or both stiffeners were neglected due to EN-1993-1-3: 5.2"

Due to the above mentioned section, the slip can be neglected, although if press-fitted technology used, the effect of the slip shall be considered. In this case, the slip is supported by force to the other sections web, so the buckling of the slip is partially obstructed.

### 3.3.3. Classification of the cross-section

$$\epsilon := \sqrt{\frac{235 \frac{N}{mm^2}}{f_y}} = 0.654$$

$$cl_h := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{h_p}{t} \leq 33\epsilon \\ 2 & \text{if } \frac{h_p}{t} \leq 38\epsilon \\ 3 & \text{if } \frac{h_p}{t} \leq 42\epsilon \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} = 3 \quad cl_b := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{\max(b_{1p}, b_{2p})}{t} \leq 33\epsilon \\ 2 & \text{if } \frac{\max(b_{1p}, b_{2p})}{t} \leq 38\epsilon \\ 3 & \text{if } \frac{\max(b_{1p}, b_{2p})}{t} \leq 42\epsilon \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} = 4 \quad cl_c := \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{\max(c_{1p}, c_{2p})}{t} \leq 9\epsilon \\ 2 & \text{if } \frac{\max(c_{1p}, c_{2p})}{t} \leq 10\epsilon \\ 3 & \text{if } \frac{\max(c_{1p}, c_{2p})}{t} \leq 14\epsilon \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} = 3$$

extracurricular calculations:

$$\frac{b_{2p}}{t} = 38.737 \quad 42 \cdot \epsilon = 27.454$$

$$\frac{h_p}{t} = 17.172 \quad 42 \cdot \epsilon = 27.454$$

$$\frac{c_{2p}}{t} = 0 \quad 14 \cdot \epsilon = 9.151$$

*b<sub>2p</sub> is used as the length of the idealized cross-section with sharp corners*

$$cl := \max(cl_h, cl_b, cl_c) = 4$$

text :=   
 "The cross-section is I. class" if cl = 1   
 "The cross-section is II. class" if cl = 2   
 "The cross-section is III. class" if cl = 3   
 "The cross-section is IV. class" otherwise

text = "The cross-section is IV. class"

The calculation will be continued according to the aforementioned classification.

### 3.3.4. Cross-section reduction in according to the local buckling

The colum may not be considered as centrally loaded element. In this case the undermentioned  $\psi$  factors should be modified. See EC 3.1.5:2006 Table 4.1.

$$\psi_h := 1 \quad \psi_b := 1 \quad \psi_c := 1$$

$$k_{h,\sigma} := \begin{cases} \frac{8.2}{(1.05 + \psi_h)} & \text{if } \psi_h < 1 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_{b,\sigma} := \begin{cases} \frac{8.2}{(1.05 + \psi_b)} & \text{if } \psi_b < 1 \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_{c,\sigma} := \begin{cases} \frac{0.578}{(\psi_c + 0.34)} & \text{if } \psi_c < 1 \\ 0.43 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k_{h,\sigma} = 4$$

$$k_{b,\sigma} = 4$$

$$k_{c,\sigma} = 0.43$$

$$\sigma_{c,\max} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 550 \cdot \text{MPa}$$

$$\lambda'_p := \frac{c_{1p}}{t \cdot 28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{c,\sigma}}} = 0$$

$$\lambda_{p,c1} := \frac{c_{1p}}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_{c,\sigma}}} = 0.000$$

$$\lambda_{p,\text{red},c1} := \lambda_{p,c1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c,\max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0.000$$

$$\rho_{c1} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{p,c1} \leq 0.6 \\ \min \left( \frac{1 - \frac{0.188}{\lambda_{p,\text{red},c1}}}{\lambda_{p,\text{red},c1}} + 0.18 \cdot \frac{\lambda_{p,c1} - \lambda_{p,\text{red},c1}}{\lambda_{p,c1} - 0.6}, 1 \right) & \text{if } \lambda_{p,c1} > 0.6 \end{cases} = 1.000$$

$$\lambda_{p,b1} := \frac{b_{1p}}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_{b,\sigma}}} = 0.906$$

$$\lambda_{p,\text{red},b1} := \lambda_{p,b1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c,\max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0.906$$

$$\rho_{b1} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{p,b1} \leq 0.6 \\ \min \left[ \frac{1 - \frac{0.055 \cdot (3 + \psi_b)}{\lambda_{p,\text{red},b1}}}{\lambda_{p,\text{red},b1}} + 0.18 \cdot \frac{\lambda_{p,b1} - \lambda_{p,\text{red},b1}}{\lambda_{p,b1} - 0.6}, 1 \right] & \text{if } \lambda_{p,b1} > 0.6 \end{cases} = 0.836$$

$$\lambda_{p,h} := \frac{h_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_{h,\sigma}}} = 0.462$$

$$\lambda_{p,\text{red},h} := \lambda_{p,h} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c,\max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0.462$$

$$\rho_h := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{p,h} \leq 0.6 \\ \min \left[ \frac{1 - \frac{0.055 \cdot (3 + \psi_h)}{\lambda_{p,\text{red},h}}}{\lambda_{p,\text{red},h}} + 0.18 \cdot \frac{\lambda_{p,h} - \lambda_{p,\text{red},h}}{\lambda_{p,h} - 0.6}, 1 \right] & \text{if } \lambda_{p,h} > 0.6 \end{cases} = 1.000$$

$$\lambda_{p,b2} := \frac{b_{2p}}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_{b,\sigma}}} = 1.043$$

$$\lambda_{p,\text{red},b2} := \lambda_{p,b2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c,\max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 1.043$$

$$\rho_{b2} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{p,b2} \leq 0.6 \\ \min \left[ \frac{1 - \frac{0.055 \cdot (3 + \psi_b)}{\lambda_{p,\text{red},b2}}}{\lambda_{p,\text{red},b2}} + 0.18 \cdot \frac{\lambda_{p,b2} - \lambda_{p,\text{red},b2}}{\lambda_{p,b2} - 0.6}, 1 \right] & \text{if } \lambda_{p,b2} > 0.6 \end{cases} = 0.757$$

$$\lambda_{p.c2} := \frac{c_{2p}}{t} \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_y}{\pi^2 \cdot E \cdot k_{c.\sigma}}} = 0.000$$

$$\lambda_{p.red.c2} := \lambda_{p.c2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{c.max} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0.000$$

$$\rho_{c2} := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_{p.c2} \leq 0.6 \\ \min\left(\frac{1 - \frac{0.188}{\lambda_{p.red.c2}}}{\lambda_{p.red.c2}} + 0.18 \cdot \frac{\lambda_{p.c2} - \lambda_{p.red.c2}}{\lambda_{p.c2} - 0.6}, 1\right) & \text{if } \lambda_{p.c2} > 0.6 \end{cases} = 1.000$$

Cross-section reduction should be considered only if the section is 4. class.

$$\rho_{c1} := \begin{cases} \rho_{c1} & \text{if } cl = 4 = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho_{b1} := \begin{cases} \rho_{b1} & \text{if } cl = 4 = 0.836 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho_h := \begin{cases} \rho_h & \text{if } cl = 4 = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho_{b2} := \begin{cases} \rho_{b2} & \text{if } cl = 4 = 0.757 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\rho_{c2} := \begin{cases} \rho_{c2} & \text{if } cl = 4 = 1 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Effective lengths:

$$c_{1p} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$c_{1.eff} := \rho_{c1} \cdot c_{1p} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$b_{1.eff} := \rho_{b1} \cdot b_{1p} = 26.6 \cdot \text{mm}$$

$$b_{1e1} := \frac{2}{5 - \psi_b} \cdot (\rho_{b1} \cdot b_{1p}) = 13.3 \cdot \text{mm}$$

$$b_{1e2} := \rho_{b1} \cdot b_{1p} - b_{1e1} = 13.3 \cdot \text{mm}$$

$$h_{eff} := \rho_h \cdot h_p = 16.2 \cdot \text{mm}$$

$$b_{2.eff} := \rho_{b2} \cdot b_{2p} = 27.7 \cdot \text{mm}$$

$$b_{2e1} := \frac{2}{5 - \psi_b} \cdot (\rho_{b2} \cdot b_{2p}) = 13.9 \cdot \text{mm}$$

$$b_{2e2} := \rho_{b2} \cdot b_{2p} - b_{2e1} = 13.9 \cdot \text{mm}$$

$$c_{2.eff} := \rho_{c2} \cdot c_{2p} = 0 \cdot \text{mm}$$

Uneffective lengths:

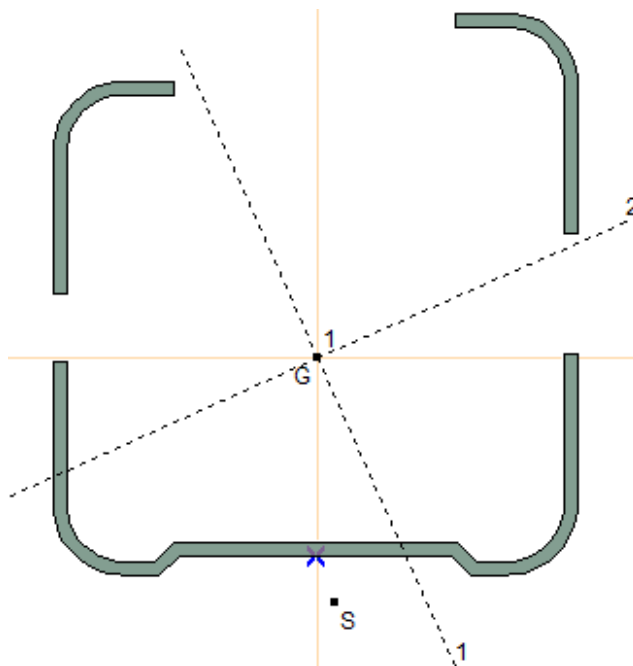
$$(1 - \rho_{c1}) \cdot c_{1p} = 0 \cdot \text{mm}$$

$$(1 - \rho_{b1}) \cdot b_{1p} = 5.23 \cdot \text{mm}$$

$$(1 - \rho_h) \cdot h_p = 0 \cdot \text{mm}$$

$$(1 - \rho_{b2}) \cdot b_{2p} = 8.91 \cdot \text{mm}$$

$$(1 - \rho_{c2}) \cdot c_{2p} = 0 \cdot \text{mm}$$



**WARNING! The geometrical properties below are not refreshed automatically based on these calculations! These should be recalculated manually according to the effective cross-section!**

The following datas are from a FEM software.

SecData :=

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	111.73	21.08	56.81	33.5	967·10 <sup>4</sup>	733·10 <sup>4</sup>	105·10 <sup>3</sup>	787·10 <sup>4</sup>	913·10 <sup>4</sup>	-75.6
1	100.63	23.18	50.64	30.1	394·10 <sup>4</sup>	503·10 <sup>4</sup>	919·10 <sup>3</sup>	535·10 <sup>4</sup>	361·10 <sup>4</sup>	-80.46
2	87.25	0	0	25.6	329·10 <sup>4</sup>	072·10 <sup>4</sup>	286·10 <sup>3</sup>	094·10 <sup>4</sup>	307·10 <sup>4</sup>	-80.46
3	66.37	0	0	18	657·10 <sup>3</sup>	402·10 <sup>4</sup>	375.2	404·10 <sup>4</sup>	642·10 <sup>3</sup>	-87.71
4	223.45	0	0	66.9	243·10 <sup>4</sup>	501·10 <sup>4</sup>	165·10 <sup>3</sup>	576·10 <sup>4</sup>	168·10 <sup>4</sup>	-76.65
5	201.26	0	0	60.1	532·10 <sup>4</sup>	043·10 <sup>4</sup>	199·10 <sup>3</sup>	074·10 <sup>4</sup>	501·10 <sup>4</sup>	-81.88
6	174.5	0	0	51.2	515·10 <sup>4</sup>	154·10 <sup>4</sup>	663·10 <sup>3</sup>	195·10 <sup>4</sup>	474·10 <sup>4</sup>	-76.25
7	132.73	0	0	36.1	986·10 <sup>4</sup>	811·10 <sup>4</sup>	-404.1	995·10 <sup>4</sup>	802·10 <sup>4</sup>	...

Simple section

j := ORIGIN + 2

k := ORIGIN

$$A_{sp} := \text{SecData}_{\text{ORIGIN},k} \text{ mm}^2 = 111.73 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k} \text{ mm}^2 = 87.25 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{ mm}^4 = 20939 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{ mm}^4 = 13072 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 25.6 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{ mm}^6 = 0.4437 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{ mm}^4 = 20723 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{y,eff.sp} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{ mm}^4 = 13289 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y.sp} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{ mm} = 12.34 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z.sp} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{ mm} = 15.41 \cdot \text{mm}$$

$$a_{sp} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{ mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{ mm})^2} = 15.147 \cdot \text{mm}$$

Difference between the x,y axes and the η,ζ axes:

$$\delta_{sp} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 170.46^\circ$$

Double section

j := ORIGIN + 6

$$A_{db} := \text{SecData}_{\text{ORIGIN}+4,k} \text{ mm}^2 = 223.45 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c,eff.db} := \text{SecData}_{j,k} \text{ mm}^2 = 174.5 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{ mm}^4 = 41949 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{ mm}^4 = 34742 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 51.2 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{ mm}^6 = 13.0000 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{ mm}^4 = 41542 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{y,eff.db} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{ mm}^4 = 35149 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y.db} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{ mm} = 14.19 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z.db} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{ mm} = 15.43 \cdot \text{mm}$$



$$a_{db} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{ mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{ mm})^2} = 0 \cdot \text{mm}$$

Difference between the x,y axes and the  $\eta, \zeta$  axes:  $\delta_{db} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 166.25^\circ$

Double (press-fitted) section

$$j := \text{ORIGIN} + 5$$

$$A_{dbpf} := \text{SecData}_{\text{ORIGIN}+4,k} \text{ mm}^2 = 223.45 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{c.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k} \text{ mm}^2 = 201.26 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{ mm}^4 = 50739 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{ mm}^4 = 35006 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 60.1 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{ mm}^6 = 60.0000 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{ mm}^4 = 50425 \cdot \text{mm}^4$$

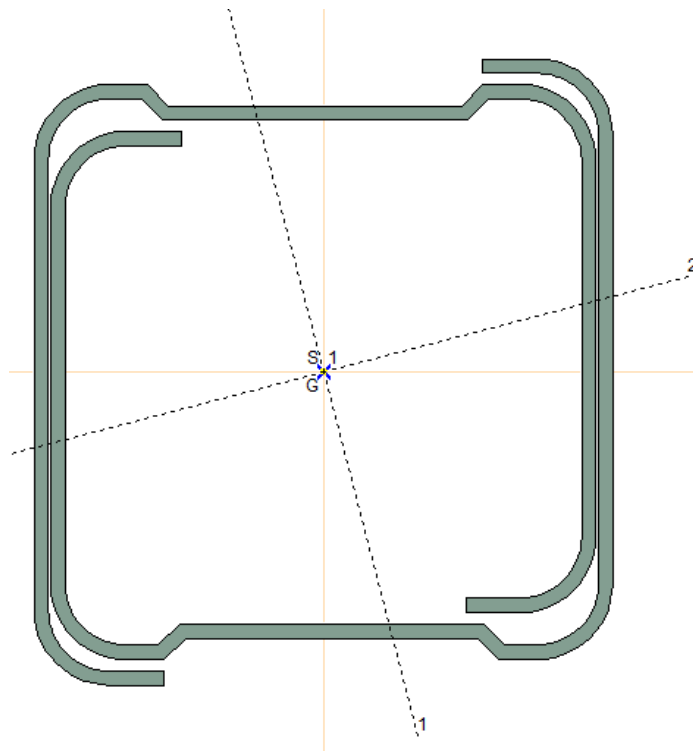
$$I_{y.\text{eff}.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{ mm}^4 = 35319 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{ mm} = 13.25 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z.dbpf} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{ mm} = 15.83 \cdot \text{mm}$$

$$a_{dbpf} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{ mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{ mm})^2} = 0 \cdot \text{mm}$$

Difference between the x,y axes and the  $\eta, \zeta$  axes:  $\delta_{dbpf} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 171.88^\circ$



$$A := \begin{cases} A_{sp} & \text{if double} = 0 = 111.73 \cdot \text{mm}^2 \\ A_{db} & \text{if double} = 1 \\ A_{dbpf} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{c.\text{eff}} := \begin{cases} A_{c.\text{eff}.sp} & \text{if double} = 0 = 87.25 \cdot \text{mm}^2 \\ A_{c.\text{eff}.db} & \text{if double} = 1 \\ A_{c.\text{eff}.dbpf} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{1,\text{eff}} := \begin{cases} I_{1,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 2.094 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{1,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{1,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{2,\text{eff}} := \begin{cases} I_{2,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 1.307 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{2,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{2,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{t,\text{eff}} := \begin{cases} I_{t,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 0.0026 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{t,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{t,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{\omega,\text{eff}} := \begin{cases} I_{\omega,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 0.444 \cdot \text{cm}^6 \\ I_{\omega,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{\omega,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{z,\text{eff}} := \begin{cases} I_{z,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 2.072 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{z,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{z,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{y,\text{eff}} := \begin{cases} I_{y,\text{eff.sp}} & \text{if double} = 0 = 1.329 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{y,\text{eff.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{y,\text{eff.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_y := \begin{cases} i_{y,\text{sp}} & \text{if double} = 0 = 12.34 \cdot \text{mm} \\ i_{y,\text{db}} & \text{if double} = 1 \\ i_{y,\text{dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_z := \begin{cases} i_{z,\text{sp}} & \text{if double} = 0 = 15.41 \cdot \text{mm} \\ i_{z,\text{db}} & \text{if double} = 1 \\ i_{z,\text{dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a := \begin{cases} a_{\text{sp}} & \text{if double} = 0 = 15.147 \cdot \text{mm} \\ a_{\text{db}} & \text{if double} = 1 \\ a_{\text{dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\delta := \begin{cases} \delta_{\text{sp}} & \text{if double} = 0 = 170.46^\circ \\ \delta_{\text{db}} & \text{if double} = 1 \\ \delta_{\text{dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_s := \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + a^2} = 24.883 \cdot \text{mm}$$

### 3.3.5. Cross-section reduction in according to the distortional buckling

As a simpler calculation, we do NOT iterate the effective cross-section according to the changing of the geometrical input. Although it can be eliminated if  $\lambda \cdot d > 1$  is true. For a more precise calculation, these effects may be considered and calculated here!

**OPTIONAL ITERATIONS SHOULD BE REPEATED FROM HERE**

$$A_{\text{st}} := \left( \frac{b_{1,\text{eff}} + b_{2,\text{eff}} + c_{1,\text{eff}} + c_{2,\text{eff}}}{2} \right) \cdot t = 25.705 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_{\text{st.CG}} := \frac{b_{1,\text{eff}} \cdot t \cdot (0.5b_{1,\text{eff}} + g_{\text{rs}}) + b_{2,\text{eff}} \cdot t \cdot (0.5b_{2,\text{eff}} + g_{\text{rs}})}{2A_{\text{st}}} = 14.646 \cdot \text{mm}$$

$$z_{\text{st.CG}} := \frac{c_{1,\text{eff}} \cdot t \cdot (0.5c_{1,\text{eff}} + g_{\text{rs}}) + c_{2,\text{eff}} \cdot t \cdot (0.5c_{2,\text{eff}} + g_{\text{rs}})}{2A_{\text{st}}} = 0.000 \cdot \text{mm}$$

$$I_{a.st} := \frac{b_{1,eff} + b_{2,eff}}{2} \cdot \frac{t^3}{12} + \left[ \begin{array}{l} \frac{c_{1,eff} + c_{2,eff}}{2} \cdot \frac{t^3}{12} + \frac{c_{1,eff}^3}{2} \cdot \frac{t}{12} + \frac{c_{2,eff}^3}{2} \cdot \frac{t}{12} \dots \\ + \frac{c_{1,eff} + c_{2,eff}}{2} \cdot \frac{t^3}{12} - \frac{c_{1,eff}^3}{2} \cdot \frac{t}{12} - \frac{c_{2,eff}^3}{2} \cdot \frac{t}{12} \cdot \cos[2 \cdot (\pi - 90^\circ)] \end{array} \right] = 1.917 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{a.st} := \left[ I_{a.st} + \frac{c_{1,eff} + c_{2,eff}}{2} \cdot t \cdot \left[ \left( 0.5 \frac{c_{1,eff} + c_{2,eff}}{2} + g_{rs} \right) \cdot \sin(90^\circ) \right] \right]^2 - A_{st} \cdot z_{st.CG}^2 = 1.917 \cdot \text{mm}^4$$

Spring stiffness per unit length

$$b_{dist.1} := b_1 - t - y_{st.CG} = 19.308 \cdot \text{mm} \quad K_1 := \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{1.5 \cdot (h - t) b_{dist.1}^2 + b_{dist.1}^3} = 1.782 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$b_{dist.2} := b_2 - t - y_{st.CG} = 24.108 \cdot \text{mm} \quad K_2 := \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{1.5 \cdot (h - t) b_{dist.2}^2 + b_{dist.2}^3} = 1.073 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Critical stress for distortional buckling:

$$\sigma_{cr.st} := \frac{\sqrt{K_1 \cdot E \cdot I_{a.st}} + \sqrt{K_2 \cdot E \cdot I_{a.st}}}{A_{st}} = 58.512 \cdot \text{MPa}$$

Slenderness

$$\lambda_d := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr.st}}} = 3.066$$

Reduction factor

$$\chi_d := \begin{cases} 1 & \text{if } \lambda_d \leq 0.65 \\ 1.47 - 0.723 \cdot \lambda_d & \text{if } 0.65 < \lambda_d < 1.38 \\ \frac{0.66}{\lambda_d} & \text{if } \lambda_d \geq 1.38 \end{cases} \quad \chi_d = 0.215$$

**OTHER OPTIONAL ITERATIONS CAN BE INSERTED HERE**

Reduced thickness:

$$t_{red} := t \cdot \chi_d = 0.204 \cdot \text{mm}$$

**WARNING! The geometrical properties below are not refreshed automatically based on these calculations! These should be recalculated manually according to the effective cross-section!**

Simple section

$$j := \text{ORIGIN} + 3$$

$$A_{c,eff,dist.sp} := \text{SecData}_{j,k} \cdot \text{mm}^2 = 66.37 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{mm}^4 = 14036 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{mm}^4 = 4642 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 18 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{mm}^6 = 0.3206 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{mm}^4 = 14021 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{y,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{mm}^4 = 4657 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{mm} = 8.38 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z,\text{dist.sp}} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{mm} = 14.54 \cdot \text{mm}$$

$$a_{\text{dist.sp}} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{mm})^2} = 9.734 \cdot \text{mm}$$

Difference between the x,y axes and the  $\eta,\zeta$  axes:

$$\delta_{\text{dist.sp}} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 177.71^\circ$$

Double section

$$j := \text{ORIGIN} + 7$$

$$A_{c,\text{eff.dist.db}} := \text{SecData}_{j,k} \text{mm}^2 = 132.73 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{mm}^4 = 29948 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{mm}^4 = 28018 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 36.1 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{mm}^6 = 12.0000 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{mm}^4 = 28107 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{y,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{mm}^4 = 29860 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{mm} = 15.00 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z,\text{dist.db}} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{mm} = 14.55 \cdot \text{mm}$$

$$a_{\text{dist.db}} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{mm})^2} = 0 \cdot \text{mm}$$

Difference between the x,y axes and the  $\eta,\zeta$  axes:

$$\delta_{\text{dist.db}} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 77.62^\circ$$

Double (press-fitted) section

$$j := \text{ORIGIN} + 7$$

$$A_{c,\text{eff.dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k} \text{mm}^2 = 132.73 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{1,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+7} \text{mm}^4 = 29948 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{2,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+8} \text{mm}^4 = 28018 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{t,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+3} \cdot \text{mm}^4 = 36.1 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{\omega,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+10} \text{mm}^6 = 12.0000 \cdot \text{cm}^6$$

$$I_{z,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+5} \text{mm}^4 = 28107 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_{y,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+4} \text{mm}^4 = 29860 \cdot \text{mm}^4$$

$$i_{y,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+17} \text{mm} = 15.00 \cdot \text{mm}$$

$$i_{z,\text{dist.dbpf}} := \text{SecData}_{j,k+18} \text{mm} = 14.55 \cdot \text{mm}$$

$$a_{\text{dist.dbpf}} := \sqrt{(\text{SecData}_{j,k+23} \text{ mm})^2 + (\text{SecData}_{j,k+24} \text{ mm})^2} = 0 \text{ mm}$$

Difference between the x,y axes and the  $\eta, \zeta$  axes:

$$\delta_{\text{dist.dbpf}} := (90 - \text{SecData}_{j,k+9})^\circ = 77.62^\circ$$

$$A_{\text{c.eff.dist}} := \begin{cases} A_{\text{c.eff.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 66.37 \cdot \text{mm}^2 \\ A_{\text{c.eff.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ A_{\text{c.eff.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{1.\text{dist}} := \begin{cases} I_{1.\text{dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 1.404 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{1.\text{dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{1.\text{dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{2.\text{dist}} := \begin{cases} I_{2.\text{dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 0.464 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{2.\text{dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{2.\text{dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{\text{t.dist}} := \begin{cases} I_{\text{t.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 18 \cdot \text{mm}^4 \\ I_{\text{t.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{\text{t.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{\omega.\text{dist}} := \begin{cases} I_{\omega.\text{dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 0.321 \cdot \text{cm}^6 \\ I_{\omega.\text{dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{\omega.\text{dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{\text{x.dist}} := \begin{cases} I_{\text{z.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 1.402 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{\text{z.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{\text{z.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{\text{y.dist}} := \begin{cases} I_{\text{y.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 0.466 \cdot \text{cm}^4 \\ I_{\text{y.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ I_{\text{y.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_{\text{y.dist}} := \begin{cases} i_{\text{y.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 8.38 \cdot \text{mm} \\ i_{\text{y.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ i_{\text{y.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_{\text{z.dist}} := \begin{cases} i_{\text{z.dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 14.54 \cdot \text{mm} \\ i_{\text{z.dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ i_{\text{z.dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a_{\text{dist}} := \begin{cases} a_{\text{dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 9.734 \cdot \text{mm} \\ a_{\text{dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ a_{\text{dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i_{\text{s.dist}} := \sqrt{i_{\text{y.dist}}^2 + i_{\text{z.dist}}^2 + a_{\text{dist}}^2} = 19.401 \cdot \text{mm}$$

$$\delta_{\text{dist}} := \begin{cases} \delta_{\text{dist.sp}} & \text{if double} = 0 = 177.71^\circ \\ \delta_{\text{dist.db}} & \text{if double} = 1 \\ \delta_{\text{dist.dbpf}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Buckling factors according to the rotated inertias:

$$\nu_{\eta} := \nu_y \cdot \cos(\delta_{\text{dist}})^2 + \nu_z \cdot \sin(\delta_{\text{dist}})^2 = 0.999$$

$$\nu_{\zeta} := \nu_z \cdot \cos(\delta_{\text{dist}})^2 + \nu_y \cdot \sin(\delta_{\text{dist}})^2 = 0.501$$

Maximal slenderness ratio

Maximal slenderness ratio may be necessary to decide whether fya can be used in the axial resistance calculation, see 6.1.3.1(1) of EN 1993-1-3:2006).

Relative slenderness of the web:

$$\lambda_{\text{rel.h}} := \frac{\lambda_{\text{p.h}}}{0.5 + \sqrt{0.25 - 0.055 \cdot (3 + 1)}} = 0.687$$

Relative slenderness for the stiffener flange:

$$\lambda_{\text{rel.fl}} := \frac{\max(\lambda_{\text{p.b1}}, \lambda_{\text{p.b2}})}{0.5 + \sqrt{0.25 - 0.055 \cdot (3 + 1)}} = 1.549$$

Relative slenderness for the stiffener outstand:

$$\lambda_{\text{rel.st}} := \frac{\max(\lambda_{\text{p.c1}}, \lambda_{\text{p.c2}})}{0.5 + \sqrt{0.25 - 0.188}} = 0$$

Relative slenderness for distortional buckling:

$$\lambda_{\text{rel.d}} := \frac{\lambda_{\text{d}}}{0.65} = 4.717$$

Maximal slenderness ratio:

$$\lambda_{\text{rel.max}} := \max(\lambda_{\text{rel.h}}, \lambda_{\text{rel.fl}}, \lambda_{\text{rel.st}}, \lambda_{\text{rel.d}}) \quad \lambda_{\text{rel.max}} = 4.717$$

## 4. Buckling resistance

### 4.1. Initial conditions

curve := "c" (See EN 1993-1-1 Table 6.1. and 6.2.)

$$\alpha := \begin{cases} 0.13 & \text{if curve} = \text{"a0"} \\ 0.21 & \text{if curve} = \text{"a"} \\ 0.34 & \text{if curve} = \text{"b"} \\ 0.49 & \text{if curve} = \text{"c"} \\ 0.76 & \text{if curve} = \text{"d"} \\ \text{"error"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha = 0.49$$

$$\gamma_{\text{M1}} = 1$$

### 4.2. Flexural buckling resistance - $\eta$ axis

$$N_{cr,\eta}(L) := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{1,eff}}{(\nu_\eta \cdot L)^2} \qquad N_{cr,\eta}(L) = \begin{pmatrix} 3.019 \times 10^3 \\ 196.776 \\ 20.116 \\ 7.125 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\eta}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,eff} \cdot f_y}{N_{cr,\eta}(L)}} \qquad \lambda'_{\eta}(L) = \begin{pmatrix} 0.126 \\ 0.494 \\ 1.545 \\ 2.595 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{fl,\eta}(L) := \frac{1}{\sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta}(L)^2}{2} \right]^2 - \lambda'_{\eta}(L)^2}}}$$

$$\chi_{fl,\eta} := \chi_{fl,\eta}(L)$$

$$\chi_{fl,\eta_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{fl,\eta_i} > 1 \\ \chi_{fl,\eta_i} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \chi_{fl,\eta} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.846 \\ 0.301 \\ 0.124 \end{pmatrix}$$

$$N_{fl,\eta,Rd} := \frac{\chi_{fl,\eta} \cdot A_{c,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \qquad N_{fl,\eta,Rd} = \begin{pmatrix} 47.987 \\ 40.618 \\ 14.422 \\ 5.943 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

### 4.3. Flexural buckling resistance- $\zeta$ axis

$$N_{cr,\zeta}(L) := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{2,eff}}{(\nu_\zeta \cdot L)^2} \qquad N_{cr,\zeta}(L) = \begin{pmatrix} 7.502 \times 10^3 \\ 489.05 \\ 49.994 \\ 17.707 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\zeta}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,eff} \cdot f_y}{N_{cr,\zeta}(L)}} \qquad \lambda'_{\zeta}(L) = \begin{pmatrix} 0.08 \\ 0.313 \\ 0.98 \\ 1.646 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{fl,\zeta}(L) := \frac{1}{\sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\zeta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\zeta}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\zeta}(L) - 0.2) + \lambda'_{\zeta}(L)^2}{2} \right]^2 - \lambda'_{\zeta}(L)^2}}}$$

$$\chi_{fl,\zeta} := \chi_{fl,\zeta}(L) \qquad \begin{pmatrix} 1 \\ 0.942 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{fl,\zeta_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{fl,\zeta_i} > 1 \\ \chi_{fl,\zeta_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\chi_{fl,\zeta} = \begin{pmatrix} 0.552 \\ 0.272 \end{pmatrix}$$

$$N_{fl,\zeta,Rd} := \frac{\chi_{fl,\zeta} \cdot A_{c,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{fl,\zeta,Rd} = \begin{pmatrix} 47.987 \\ 45.222 \\ 26.479 \\ 13.03 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

#### 4.4. Torsional buckling resistance

$$N_{cr,\tau(L)} := \frac{1}{i_s^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 E \cdot I_{2,eff} \cdot a^2}{L^2} + \frac{\pi^2 E \cdot I_{\omega,eff}}{L^2} + G \cdot I_{t,eff} \right)$$

$$N_{cr,\tau(L)} = \begin{pmatrix} 803.656 \\ 55.51 \\ 8.673 \\ 5.228 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\tau(L)} := \sqrt{\frac{A_{c,eff} \cdot f_y}{N_{cr,\tau(L)}}}$$

$$\lambda'_{\tau(L)} = \begin{pmatrix} 0.244 \\ 0.93 \\ 2.352 \\ 3.03 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{\tau(L)} := \frac{1}{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\tau(L)} - 0.2) + \lambda'_{\tau(L)}{}^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\tau(L)} - 0.2) + \lambda'_{\tau(L)}{}^2}{2} \right]^2 - \lambda'_{\tau(L)}{}^2}}$$

$$\chi_{\tau} := \chi_{\tau(L)}$$

$$\chi_{\tau_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{\tau_i} > 1 \\ \chi_{\tau_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\chi_{\tau} = \begin{pmatrix} 0.977 \\ 0.582 \\ 0.148 \\ 0.093 \end{pmatrix}$$

$$N_{\tau,Rd} := \frac{\chi_{\tau} \cdot A_{c,eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{\tau,Rd} = \begin{pmatrix} 46.905 \\ 27.912 \\ 7.088 \\ 4.482 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

#### 4.5. Distortional buckling resistance

##### 4.5.1. Distortional Flexural buckling resistance - $\eta$ axis

$$N_{cr,\eta,dist(L)} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{1,dist}}{(\nu_{\eta} \cdot L)^2}$$

$$N_{cr,\eta,dist(L)} = \begin{pmatrix} 2.023 \times 10^3 \\ 131.905 \\ 13.484 \\ 4.776 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\eta,dist(L)} := \sqrt{\frac{A_{c,eff,dist} \cdot f_y}{N_{cr,\eta,dist(L)}}}$$

$$\lambda'_{\eta,dist(L)} = \begin{pmatrix} 0.134 \\ 0.526 \\ 1.645 \\ 2.765 \end{pmatrix}$$



$$\chi_{fl,\eta,dist}(L) := \frac{1}{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta,dist}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta,dist}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\eta,dist}(L) - 0.2) + \lambda'_{\eta,dist}(L)^2}{2} \right]^2 + -\lambda'_{\eta,dist}(L)^2}} \dots$$

$$\chi_{fl,\eta,dist} := \chi_{fl,\eta,dist}(L)$$

$$\chi_{fl,\eta,dist_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{fl,\eta,dist_i} > 1 \\ \chi_{fl,\eta,dist_i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \chi_{fl,\eta,dist} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.828 \\ 0.272 \\ 0.11 \end{pmatrix}$$

$$N_{fl,\eta,dist.Rd} := \frac{\chi_{fl,\eta,dist} \cdot A_{c,eff,dist} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{fl,\eta,dist.Rd} = \begin{pmatrix} 36.504 \\ 30.236 \\ 9.92 \\ 4.031 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

#### 4.5.2. Distortional Flexural buckling resistance- $\zeta$ axis

$$N_{cr,\zeta,dist}(L) := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{2,dist}}{(\nu_{\zeta} \cdot L)^2} \quad N_{cr,\zeta,dist}(L) = \begin{pmatrix} 2.664 \times 10^3 \\ 173.657 \\ 17.752 \\ 6.288 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\zeta,dist}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,eff,dist} \cdot f_y}{N_{cr,\zeta,dist}(L)}} \quad \lambda'_{\zeta,dist}(L) = \begin{pmatrix} 0.117 \\ 0.458 \\ 1.434 \\ 2.409 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{fl,\zeta,dist}(L) := \frac{1}{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\zeta,dist}(L) - 0.2) + \lambda'_{\zeta,dist}(L)^2}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\zeta,dist}(L) - 0.2) + \lambda'_{\zeta,dist}(L)^2}{2} \right]^2 + -\lambda'_{\zeta,dist}(L)^2}} \dots$$

$$\chi_{fl,\zeta,dist} := \chi_{fl,\zeta,dist}(L)$$

$$\chi_{fl,\zeta,dist_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{fl,\zeta,dist_i} > 1 \\ \chi_{fl,\zeta,dist_i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \chi_{fl,\zeta,dist} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.866 \\ 0.337 \\ 0.142 \end{pmatrix}$$

$$N_{fl,\zeta,dist.Rd} := \frac{\chi_{fl,\zeta,dist} \cdot A_{c,eff,dist} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{fl,\zeta,dist.Rd} = \begin{pmatrix} 36.504 \\ 31.609 \\ 12.298 \\ 5.166 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

#### 4.5.3. Distortional Torsional buckling resistance

$$N_{cr,\tau,\text{dist}}(L) := \frac{1}{i_{s,\text{dist}}^2} \cdot \left( \frac{\pi^2 E \cdot I_{2,\text{dist}} \cdot a_{\text{dist}}^2}{L^2} + \frac{\pi^2 E \cdot I_{\omega,\text{dist}}}{L^2} + G \cdot I_{t,\text{dist}} \right) \quad N_{cr,\tau,\text{dist}}(L) = \begin{pmatrix} 294.667 \\ 22.819 \\ 5.8 \\ 4.549 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$\lambda'_{\tau,\text{dist}}(L) := \sqrt{\frac{A_{c,\text{eff},\text{dist}} \cdot f_y}{N_{cr,\tau,\text{dist}}(L)}} \quad \lambda'_{\tau,\text{dist}}(L) = \begin{pmatrix} 0.352 \\ 1.265 \\ 2.509 \\ 2.833 \end{pmatrix}$$

$$\chi_{\tau,\text{dist}}(L) := \frac{1}{\sqrt{\frac{\left[ \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda'_{\tau,\text{dist}}(L) - 0.2) + \lambda'_{\tau,\text{dist}}(L)^2}{2} \right]^2}{+ -\lambda'_{\tau,\text{dist}}(L)^2}}}$$

$$\chi_{\tau,\text{dist}} := \chi_{\tau,\text{dist}}(L)$$

$$\chi_{\tau,\text{dist}_i} := \begin{cases} 1 & \text{if } \chi_{\tau,\text{dist}_i} > 1 \\ \chi_{\tau,\text{dist}_i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \chi_{\tau,\text{dist}} = \begin{pmatrix} 0.922 \\ 0.404 \\ 0.132 \\ 0.106 \end{pmatrix}$$

$$N_{\tau,\text{dist},\text{Rd}} := \frac{\chi_{\tau,\text{dist}} \cdot A_{c,\text{eff},\text{dist}} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{\tau,\text{dist},\text{Rd}} = \begin{pmatrix} 33.673 \\ 14.748 \\ 4.806 \\ 3.856 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

#### 4.6. Global buckling resistance

$$N_{b,\text{Rd},\text{nondist}_i} := \min \left[ \left( N_{fl,\eta,\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle}, \left[ \left( N_{fl,\zeta,\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle} \right], \left( N_{\tau,\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle} \right] \quad N_{b,\text{Rd},\text{nondist}} = \begin{pmatrix} 46.905 \\ 27.912 \\ 7.088 \\ 4.482 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$N_{b,\text{Rd},\text{dist}_i} := \min \left[ \left( N_{fl,\eta,\text{dist},\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle}, \left[ \left( N_{fl,\zeta,\text{dist},\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle} \right], \left( N_{\tau,\text{dist},\text{Rd}}^T \right)^{\langle i \rangle} \right] \quad N_{b,\text{Rd},\text{dist}} = \begin{pmatrix} 33.673 \\ 14.748 \\ 4.806 \\ 3.856 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$N_{b.Rd_i} := \min \left[ \left( N_{b.Rd.nondist}^T \right)^{\langle i \rangle}, \left( N_{b.Rd.dist}^T \right)^{\langle i \rangle} \right]$$

$$N_{b.Rd} = \begin{pmatrix} 33.673 \\ 14.748 \\ 4.806 \\ 3.856 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

### 5. Resistance at the support

$$A_{net} := \begin{cases} A - 2 \cdot d \cdot t & \text{if double} = 0 \\ (A - 4 \cdot d \cdot t) & \text{otherwise} \end{cases} = 92.81 \cdot \text{mm}^2$$

$$N_{pl.Rd} := f_y \cdot A_{net} = 51.045 \cdot \text{kN}$$

$$F_{Rd} := \begin{cases} 2 \cdot d \cdot t \cdot f_y & \text{if double} = 0 \\ 4 \cdot d \cdot t \cdot f_y & \text{otherwise} \end{cases} = 10.406 \cdot \text{kN}$$

### 6. Total resistance

$$N_{Rd.dist_i} := \begin{cases} \min \left[ \left( N_{b.Rd}^T \right)^{\langle i \rangle}, \left( N_{b.Rd.dist}^T \right)^{\langle i \rangle}, N_{pl.Rd} \right] & \text{if screw} = 0 \\ \min \left[ \left( N_{b.Rd}^T \right)^{\langle i \rangle}, \left( N_{b.Rd.dist}^T \right)^{\langle i \rangle}, N_{pl.Rd}, F_{Rd} \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{Rd.dist} = \begin{pmatrix} 10.406 \\ 10.406 \\ 4.806 \\ 3.856 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

$$N_{Rd.nondist_i} := \begin{cases} \min \left[ \left( N_{b.Rd.nondist}^T \right)^{\langle i \rangle}, N_{pl.Rd} \right] & \text{if screw} = 0 \\ \min \left[ \left( N_{b.Rd.nondist}^T \right)^{\langle i \rangle}, N_{pl.Rd}, F_{Rd} \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{Rd.nondist} = \begin{pmatrix} 10.406 \\ 10.406 \\ 7.088 \\ 4.482 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

Failure mode:

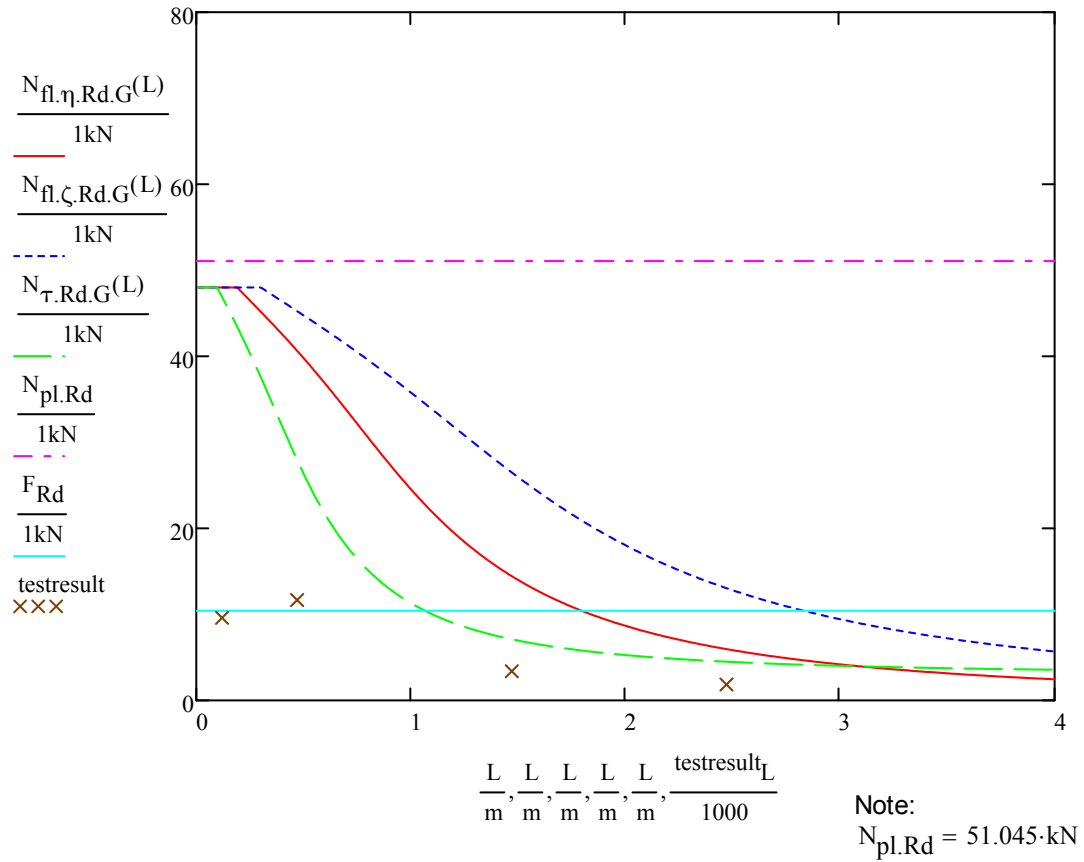
$$\text{text}_i := \begin{cases} \text{"Global buckling around } \eta \text{-axis"} & \text{if } N_{Rd.dist_i} = N_{fl.\eta.dist.Rd_i} \\ \text{"Global buckling around } \zeta \text{-axis"} & \text{if } N_{Rd.dist_i} = N_{fl.\zeta.dist.Rd_i} \\ \text{"Torsional buckling"} & \text{if } N_{Rd.dist_i} = N_{\tau.dist.Rd_i} \\ \text{"Cross section under compression"} & \text{if } N_{Rd.dist_i} = N_{pl.Rd} \\ \text{"Bearing failure"} & \text{if } N_{Rd.dist_i} = F_{Rd} \\ \text{"ERROR"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{text} = \begin{pmatrix} \text{"Bearing failure"} \\ \text{"Bearing failure"} \\ \text{"Torsional buckling"} \\ \text{"Torsional buckling"} \end{pmatrix}$$

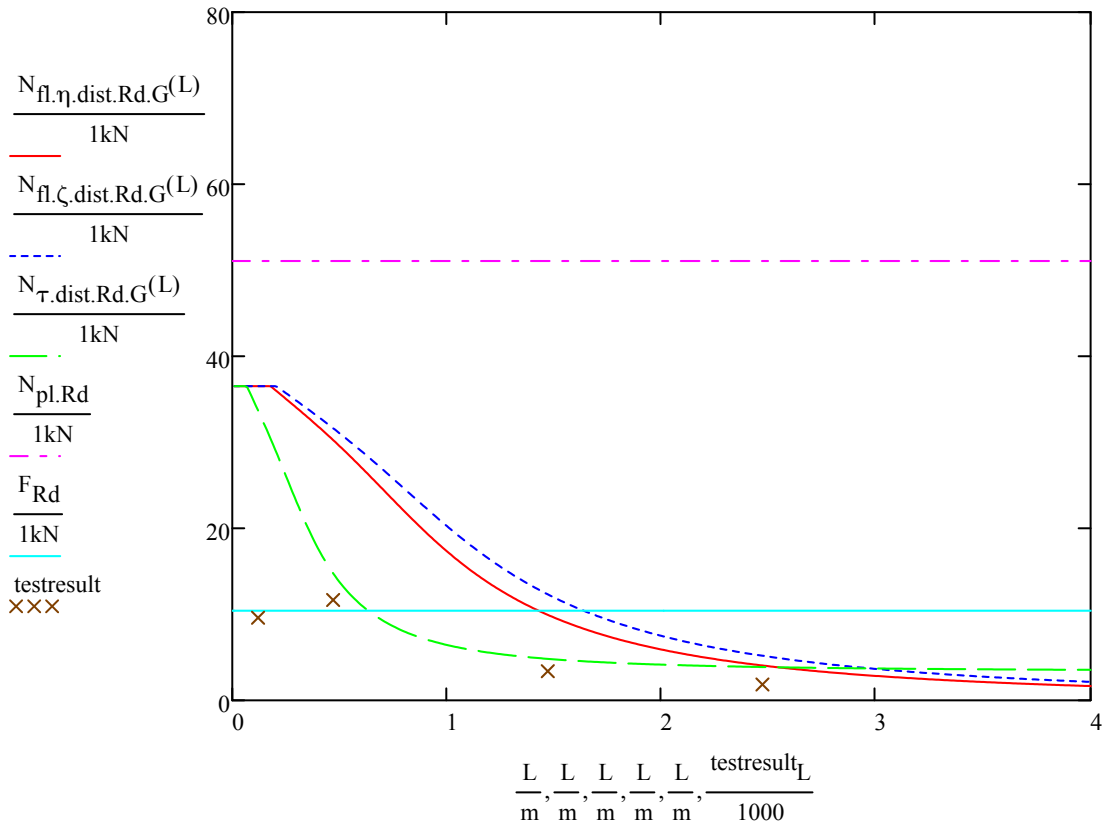
7. Diagrams of resistances

$L := 0m, 0.01m.. 4m$

RESISTANCE IN NON-DISTORTIONAL MODE

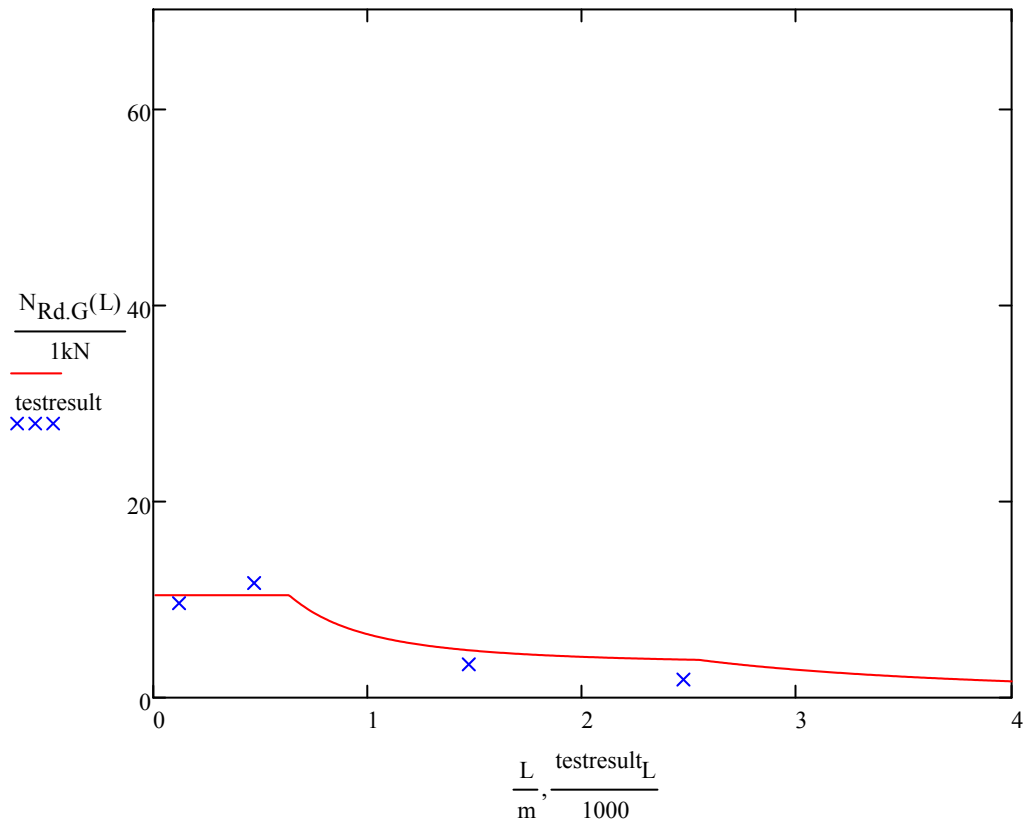


RESISTANCE IN DISTORTIONAL MODE

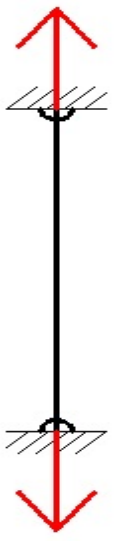
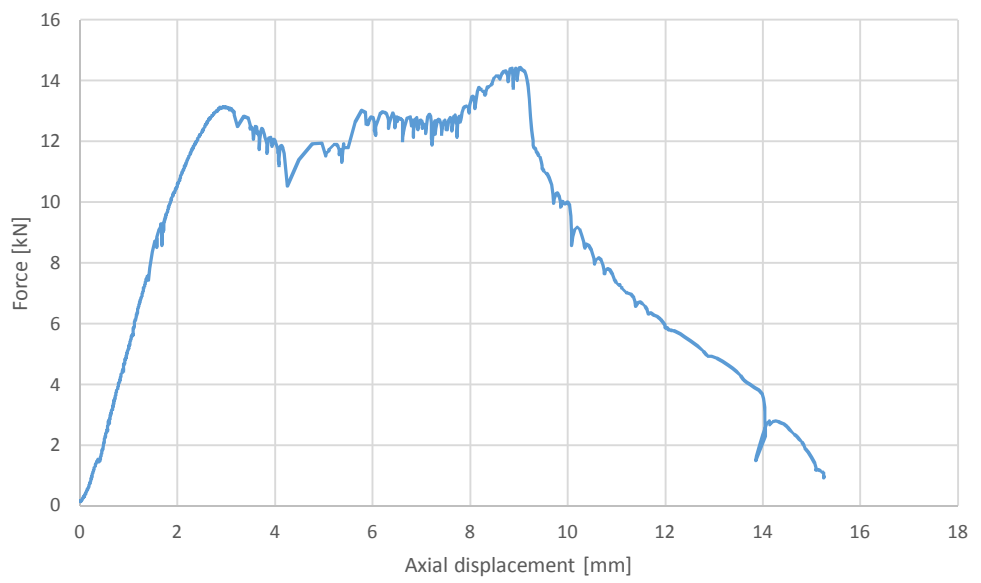
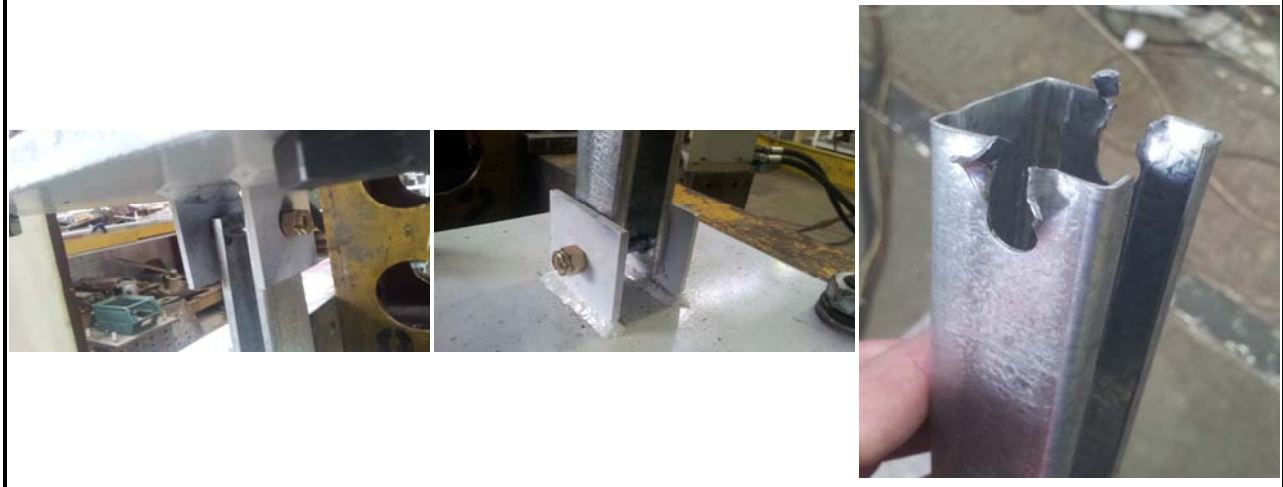



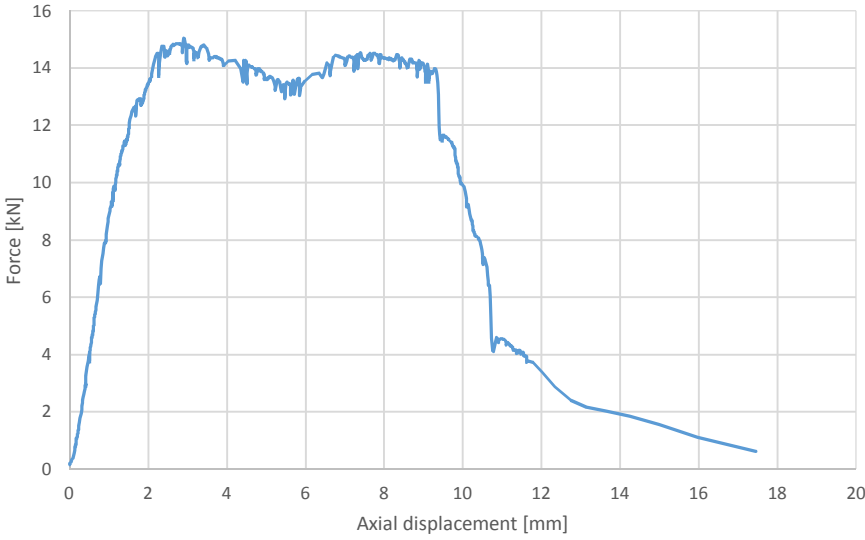

Note:  
 $N_{pl.Rd} = 51.045 \cdot kN$


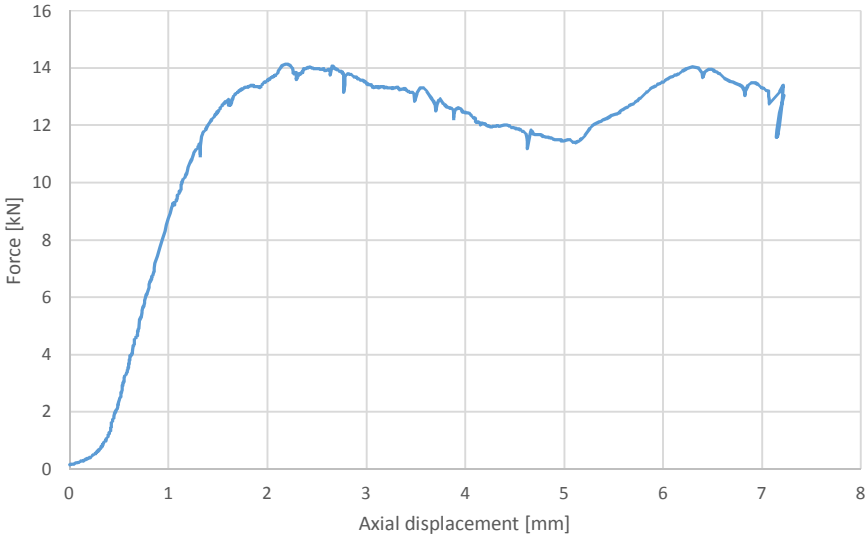

ABSOLUTE RESISTANCE




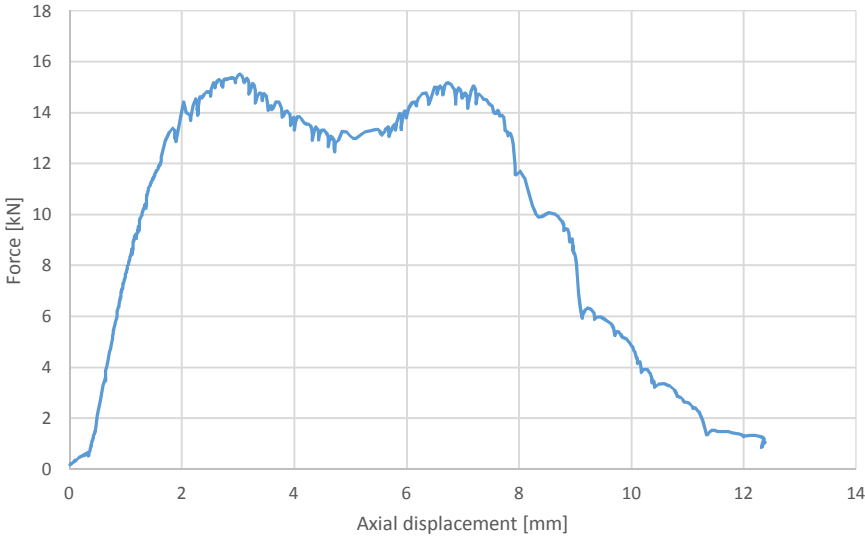

Additional note:


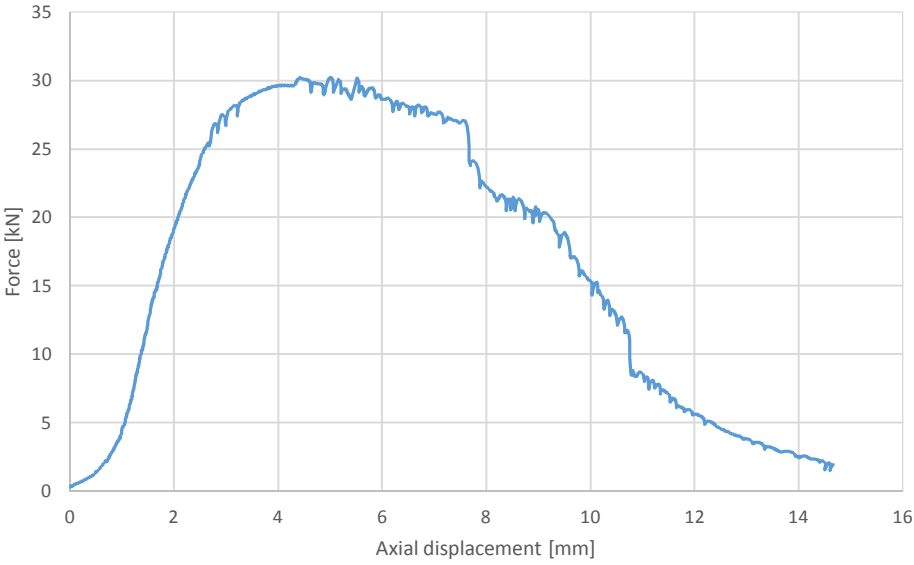
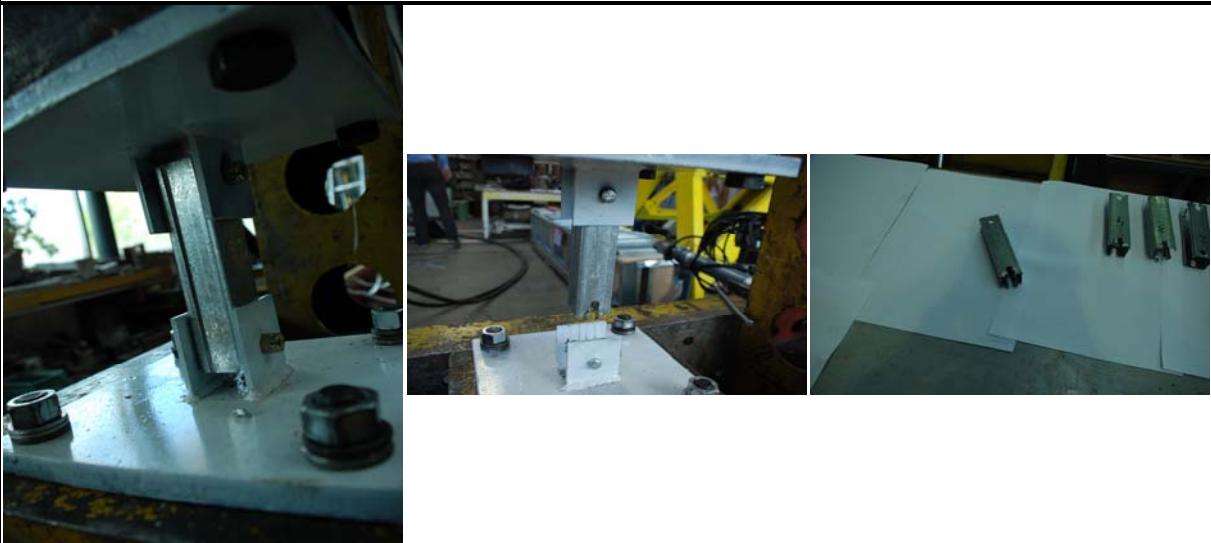
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	1	Test's code	T_SIN_FX 150 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 09:17:08
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.00	
Displacement at the maximal load	[mm]	10.26	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the upper side. All the 4 holes started to oval. The bolts had no visible damage.</p>			


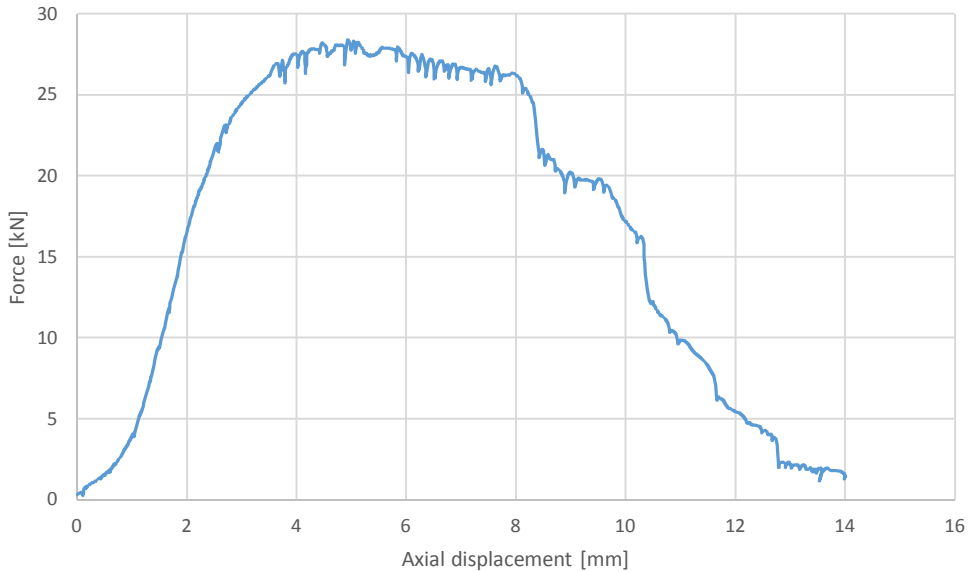

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	2	Test's code	T_SIN_FX 150 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 09:32:34
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.04	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.92	
<b>Description of the test</b>			
<p>Bolt bearing at the lower side. All the 4 holes started to oval. The bolts had no visible damage.</p>			


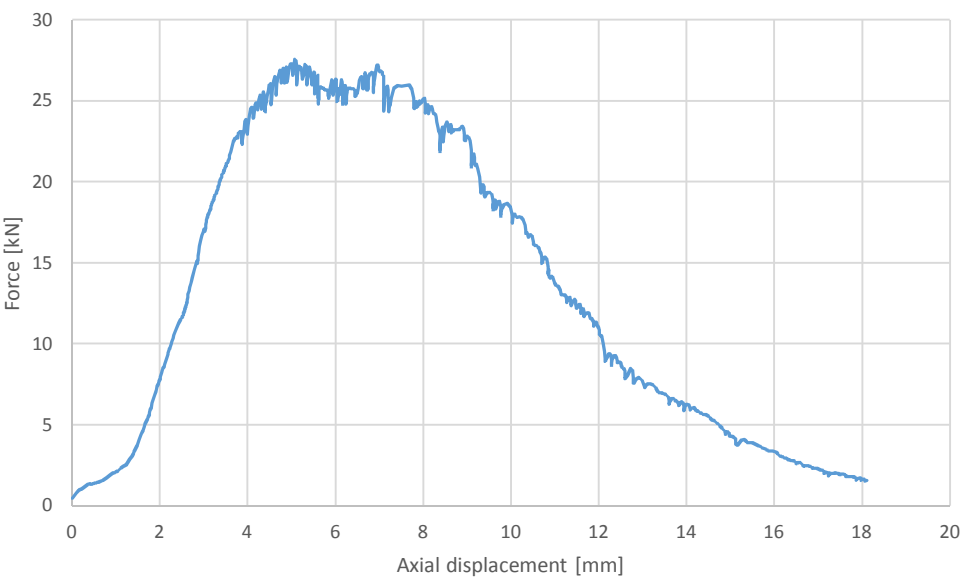

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	3	Test's code	T_SIN_FX 150 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 09:41:57
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	14.13	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.02	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the upper side. All the 4 holes started to oval. The bolts had no visible damage.</p>			


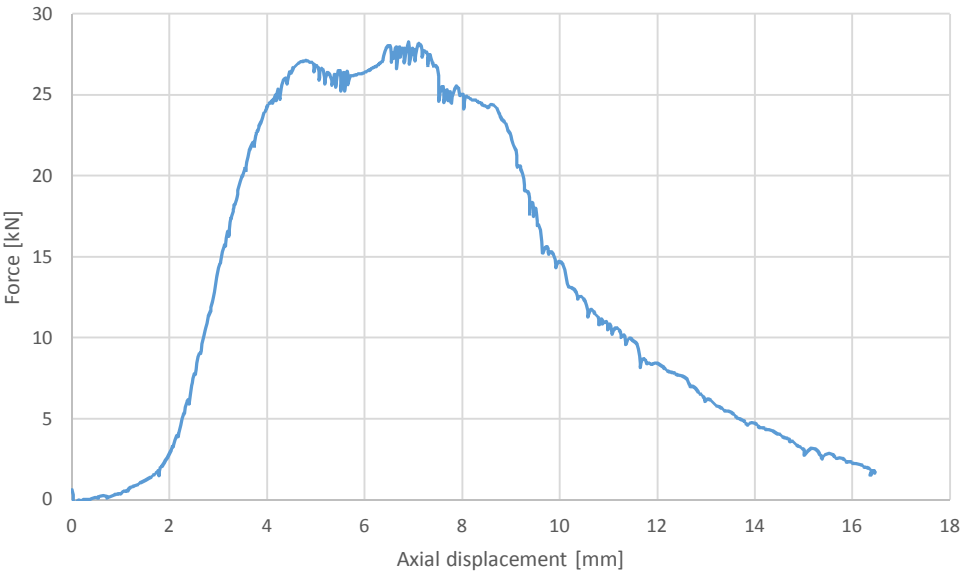
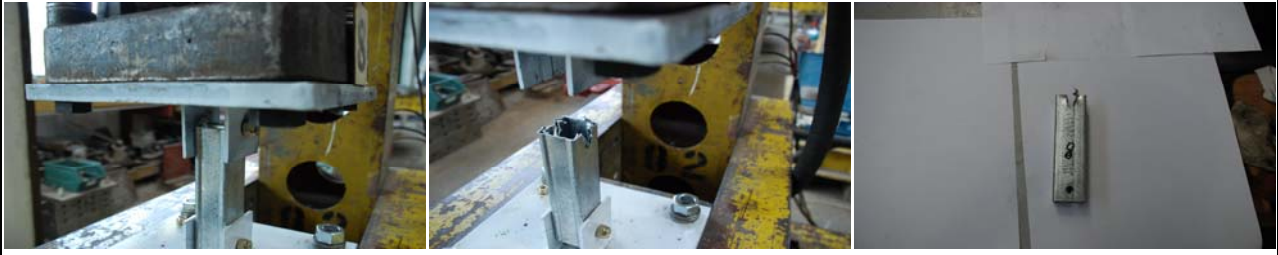



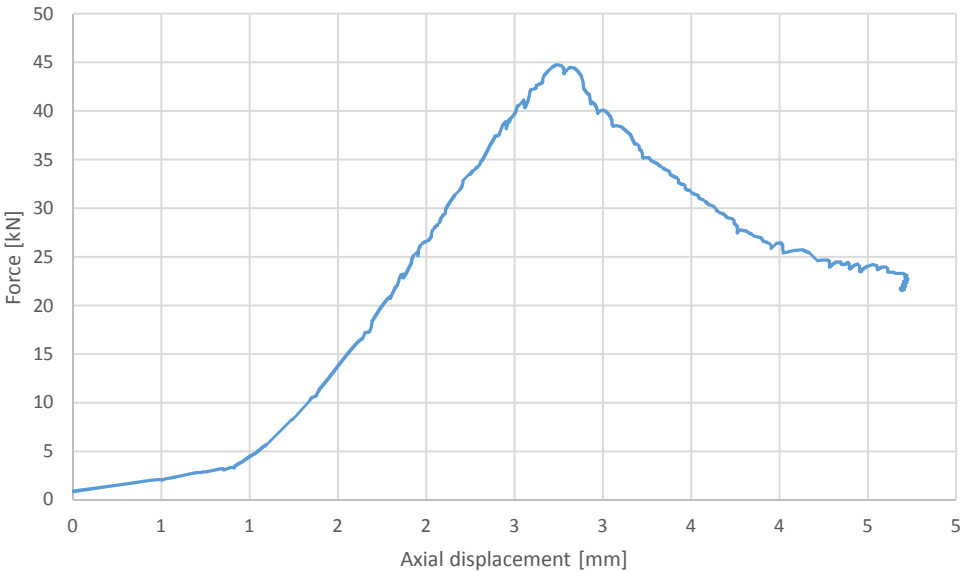

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	4	Test's code	T_SIN_FX 150 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 10:02:29
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.51	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.20	
<b>Description of the test</b>			
<p>Bolt bearing at the upper side. All the 4 holes started to oval. The bolts had no visible damage.</p>			


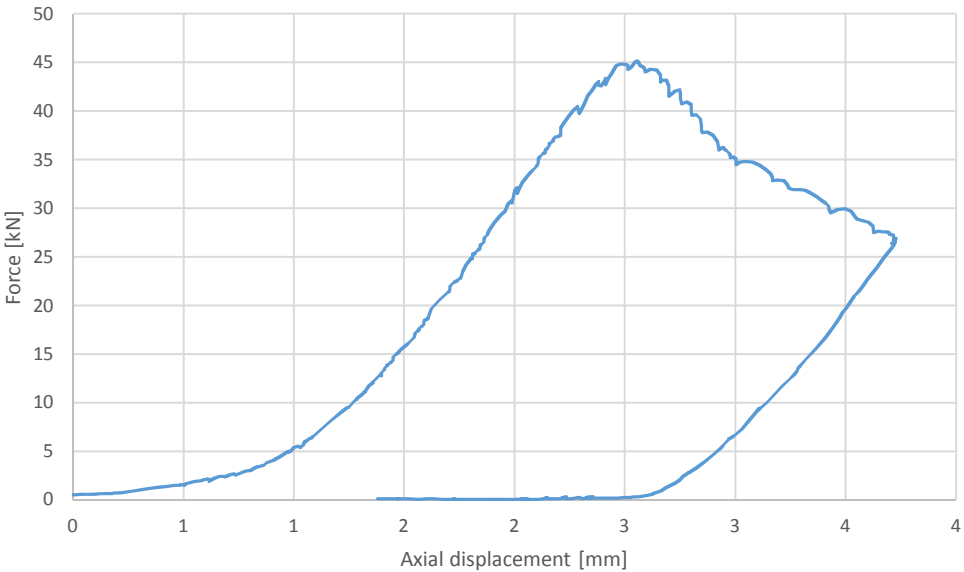

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	5	Test's code	T_DB_FX 150 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 10:40:58
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	30.23	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.63	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the lower side. All the 4 holes started to oval.</p>			


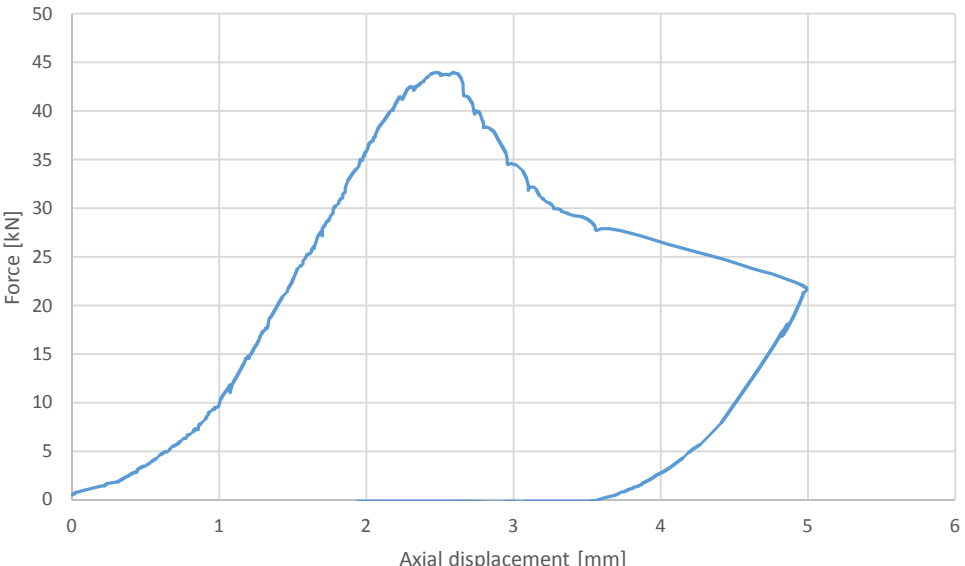

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	6	Test's code	T_DB_FX 150 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 11:05:14
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	28.37	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.56	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the lower side. All the 4 holes started to oval.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	7	Test's code	T_DB_FX 150 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 11:29:06
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	27.55	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.17	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the upper side. All the 4 holes started to oval.</p>			


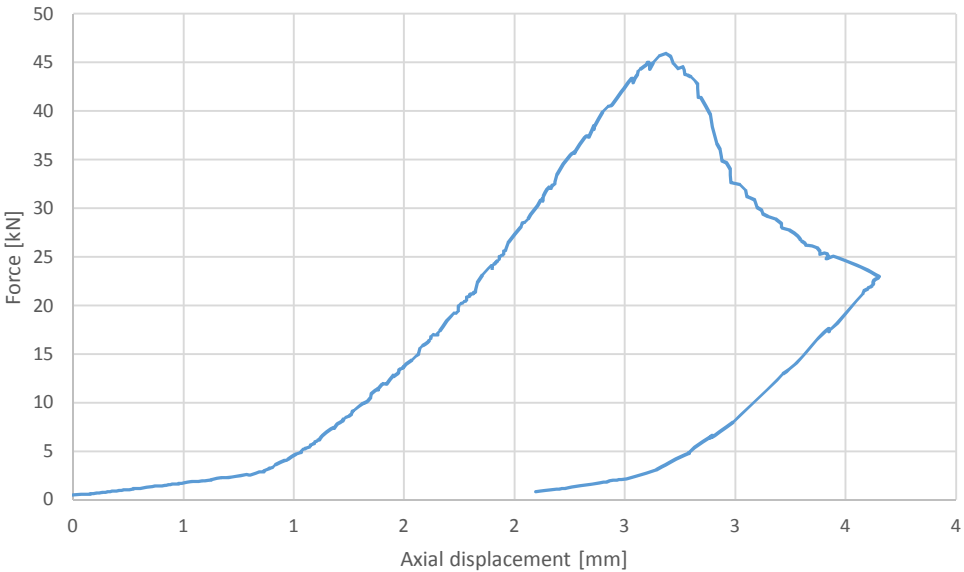
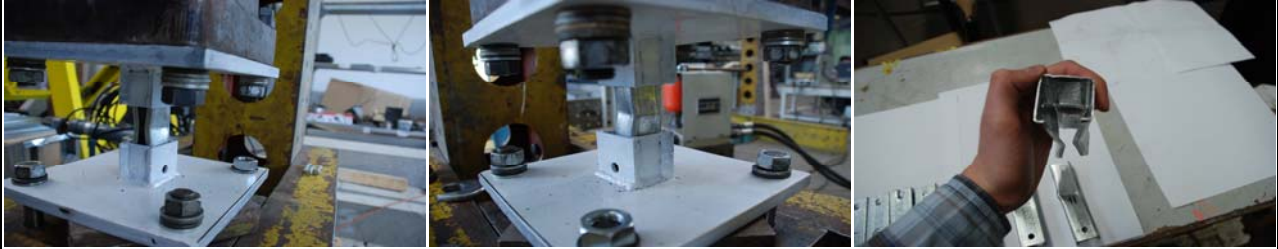
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	8	Test's code	T_DB_FX 150 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 11:39:54
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	26.93	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.62	
Description of the test			
<p>Bolt bearing at the upper side. All the 4 holes started to oval.</p>			


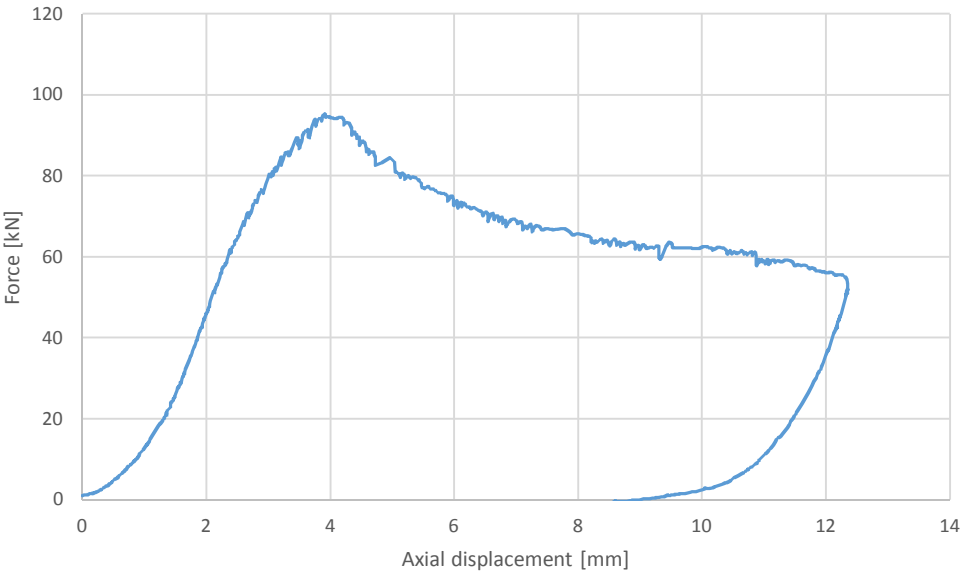

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák																
		Machine type	Hydraulic actuator 250																
Test number	9	Test's code	C_SIN_CL 150 mm #1																
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm																
Support	Clamped	Date	08 May 2014 12:51:01																
Test layout	Results																		
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td></tr> <tr><td>3</td><td>35</td></tr> <tr><td>3.04</td><td>44.75</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td></tr> <tr><td>5</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	2	2	10	3	35	3.04	44.75	4	30	5	25
Axial displacement [mm]	Force [kN]																		
0	0																		
1	2																		
2	10																		
3	35																		
3.04	44.75																		
4	30																		
5	25																		
<b>Pictures</b>																			
																			
Resistance	[kN]	44.75																	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.04																	
<b>Description of the test</b>																			
Distortional buckling and local plastic mechanism.																			


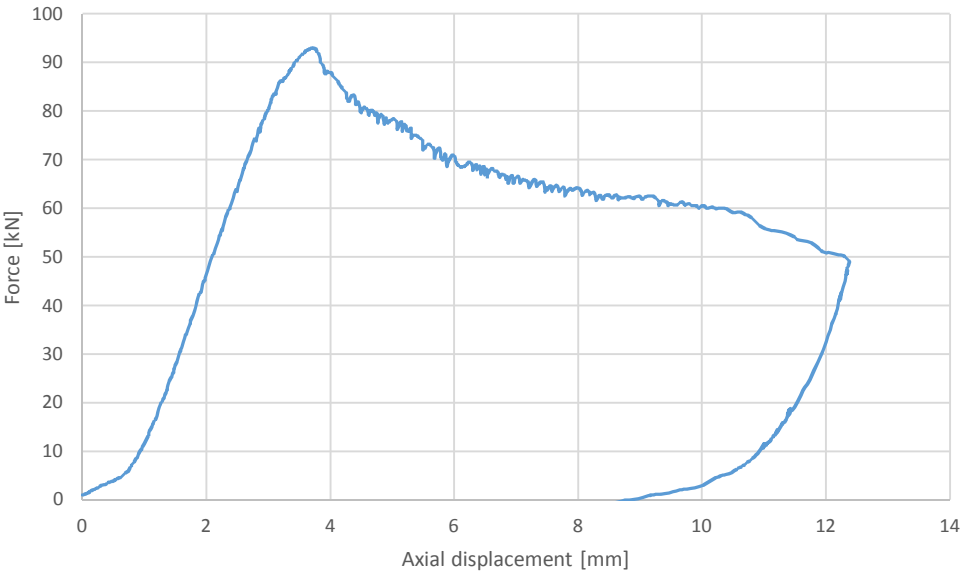

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák														
		Machine type	Hydraulic actuator 250														
Test number	10	Test's code	C_SIN_CL 150 mm #2														
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm														
Support	Clamped	Date	08 May 2014 12:56:53														
Test layout	Results																
	 <table border="1"> <caption>Approximate data points from the Force vs. Axial displacement graph</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>15</td></tr> <tr><td>3</td><td>45</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>27</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	5	2	15	3	45	4	30	4.5	27
Axial displacement [mm]	Force [kN]																
0	0																
1	5																
2	15																
3	45																
4	30																
4.5	27																
Pictures																	
																	
Resistance	[kN]	45.13															
Displacement at the maximal load	[mm]	3.94															
Description of the test																	
Distortional buckling and local plastic mechanism.																	


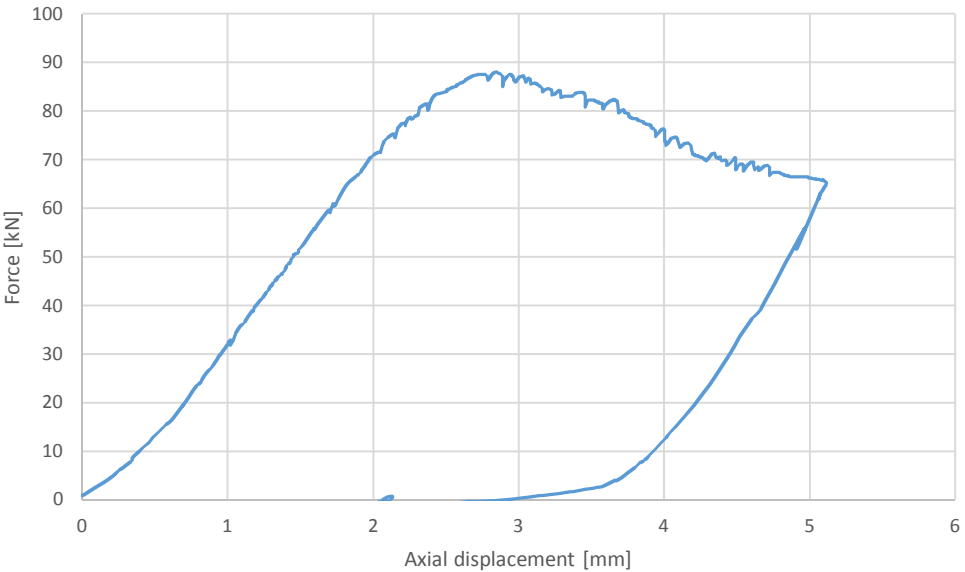

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	11	Test's code	C_SIN_CL 150 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 13:05:32
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	43.96	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.34	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism.</p>			


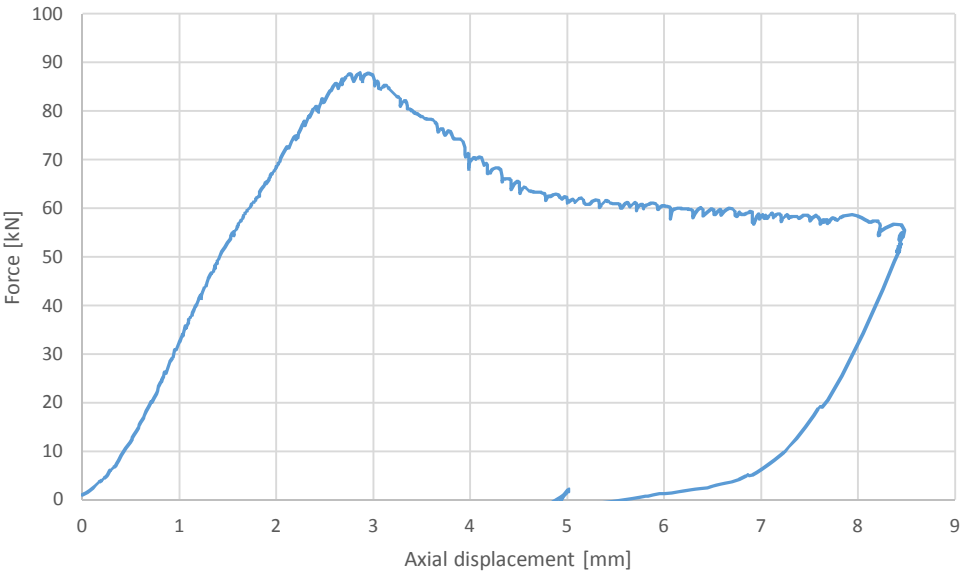



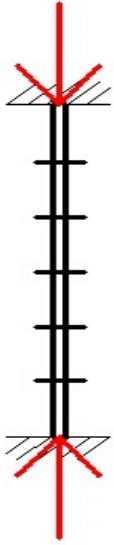
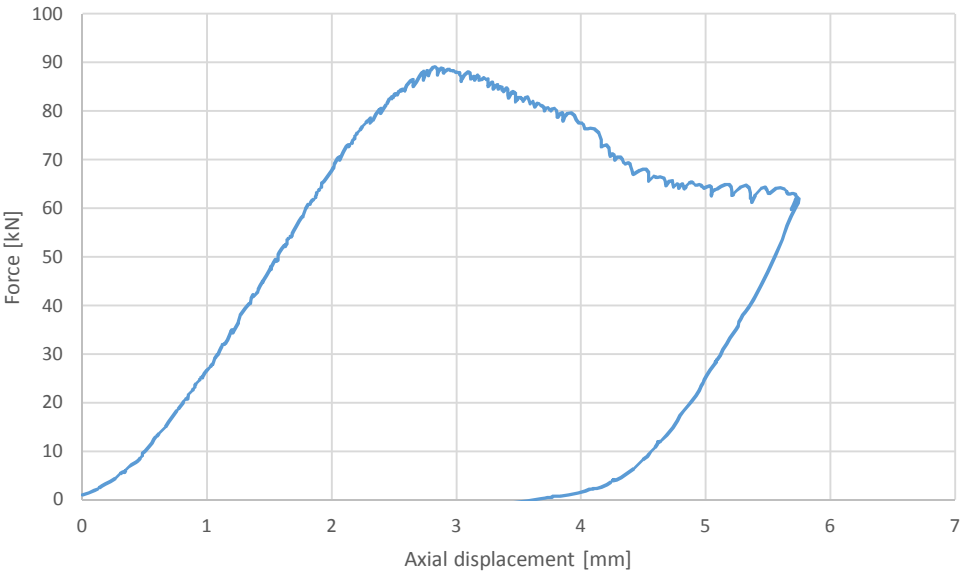

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	12	Test's code	C_SIN_CL 150 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 13:11:07
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	45.91	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.77	
Description of the test			
Distortional buckling and local plastic mechanism.			

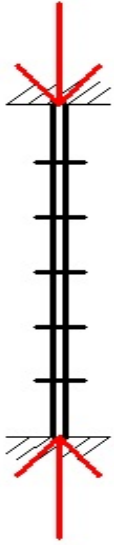
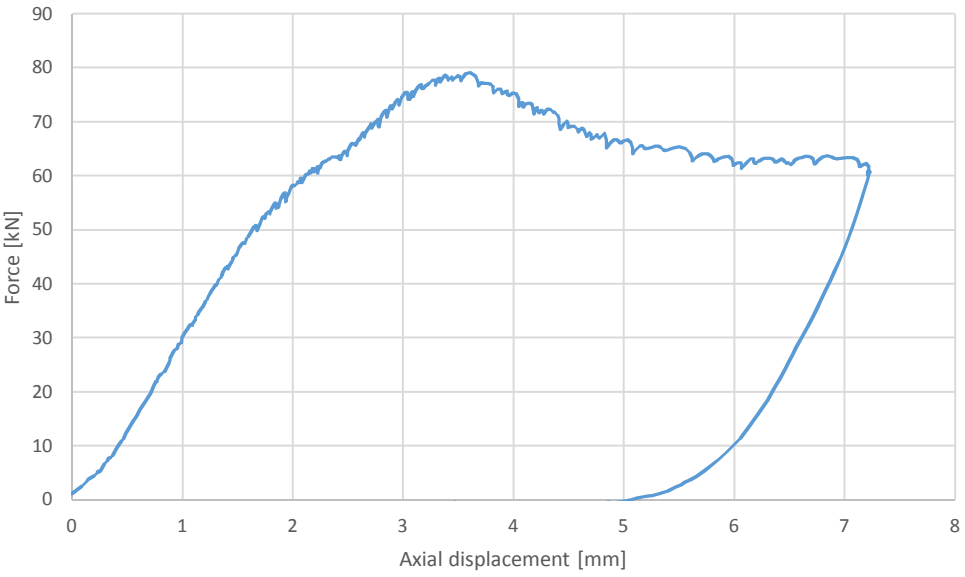

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	13	Test's code	C_DB_CL 150 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 13:17:59
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	95.35	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.52	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastic mechanism. The longitudinal axis deformed.</p>			

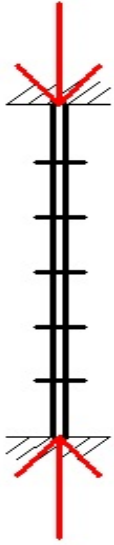
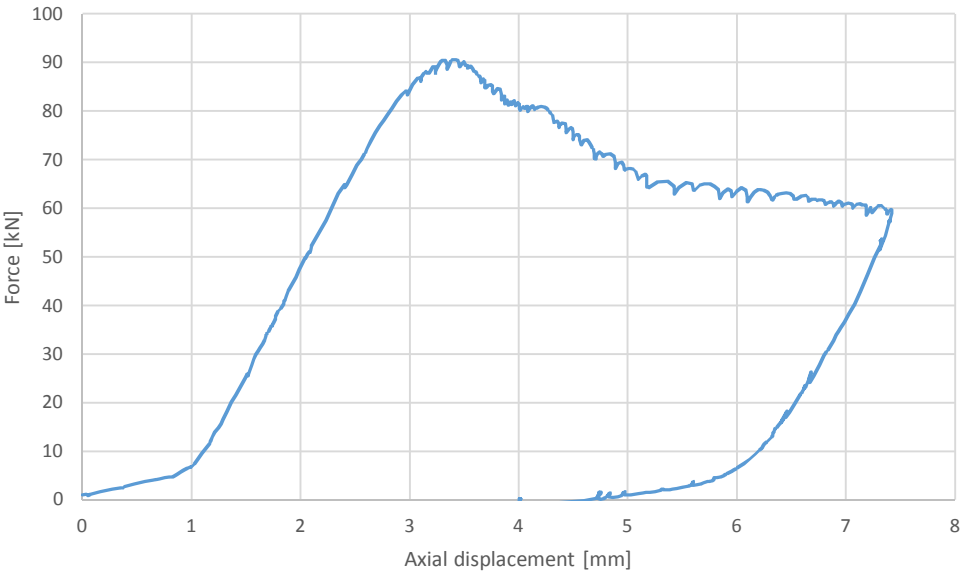

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	14	Test's code	C_DB_CL 150 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 13:35:30
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	92.96	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.57	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastich mechanism. The longitudinal axis deformed.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	15	Test's code	C_DB_CL 150 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 14:09:11
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	88.00	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.90	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastich mechanism. The longitudinal axis deformed.</p>			

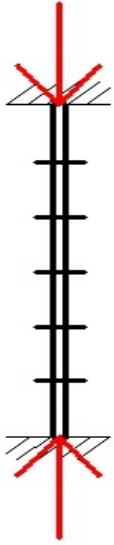
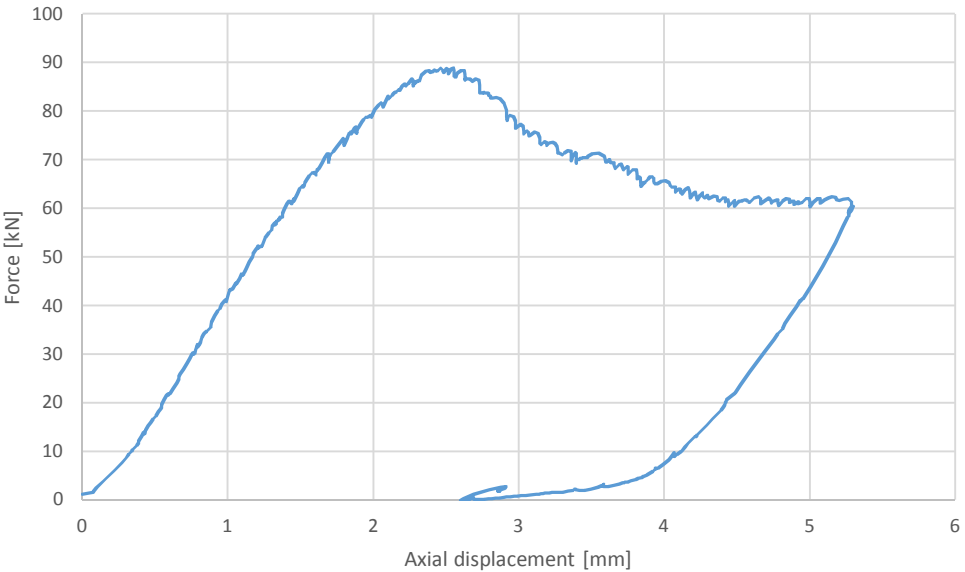

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	16	Test's code	C_DB_CL 150 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 14:16:44
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	87.86	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.10	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastich mechanism. The longitudinal axis deformed.</p>			


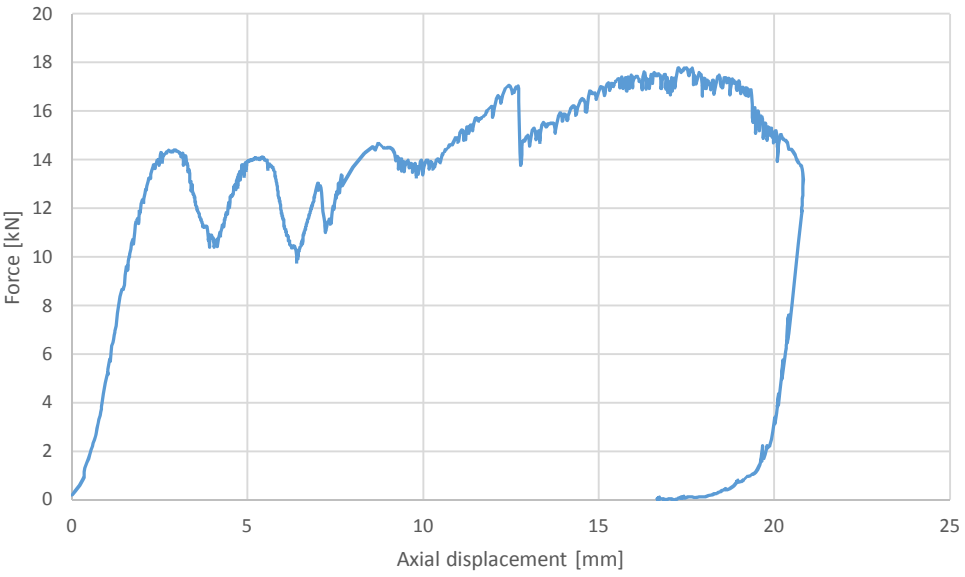

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	17	Test's code	C_DBSCR_CL 150 mm #1
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 14:25:38
Test layout	<b>Results</b>		
 <p>1 screw/150 mm</p>			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	89.05	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.13	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastic mechanism. The longitudinal axis deformed. The screw had no mentionable effect.</p>			


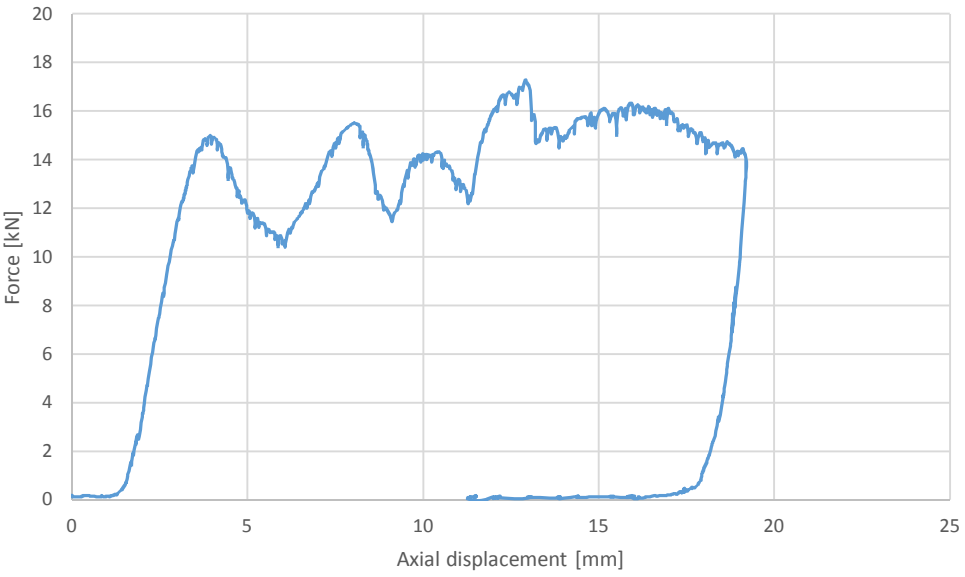

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	18	Test's code	C_DBSCR_CL 150 mm #2
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 14:32:11
Test layout	<b>Results</b>		
 <p>1 screw/150 mm</p>			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	79.08	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.33	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastic mechanism. The longitudinal axis deformed. The screw had no mentionable effect.</p>			


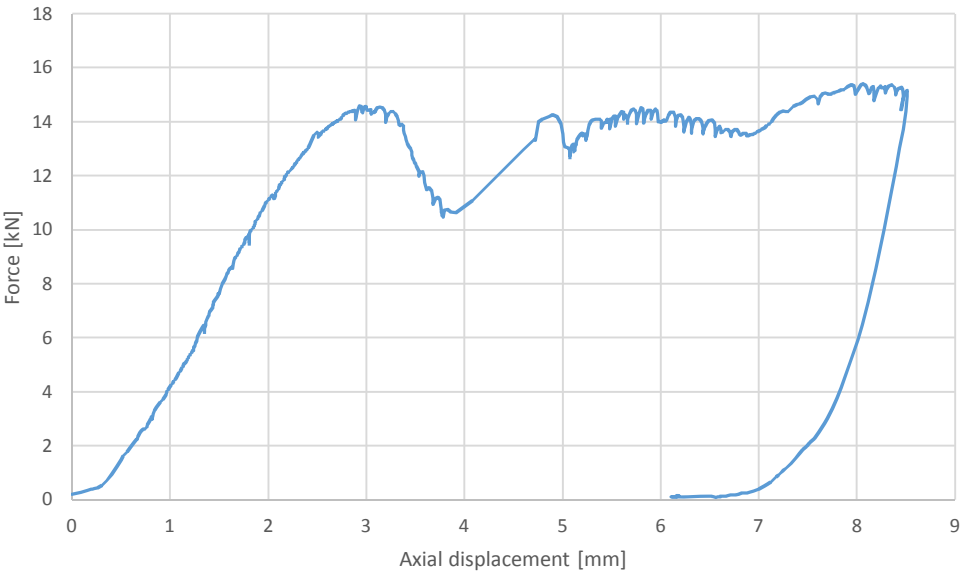

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	19	Test's code	C_DBSCR_CL 150 mm #3
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 15:02:01
Test layout	<b>Results</b>		
 <p>1 screw/150 mm</p>			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	90.51	
Displacement at the maximal load	[mm]	15.22	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastic mechanism. The longitudinal axis deformed. The screw had no mentionable effect.</p>			


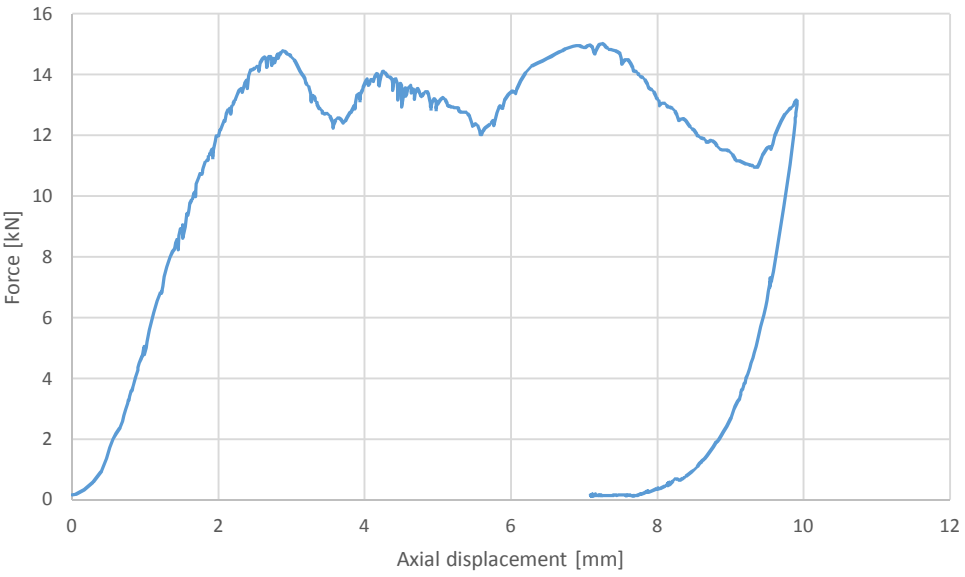




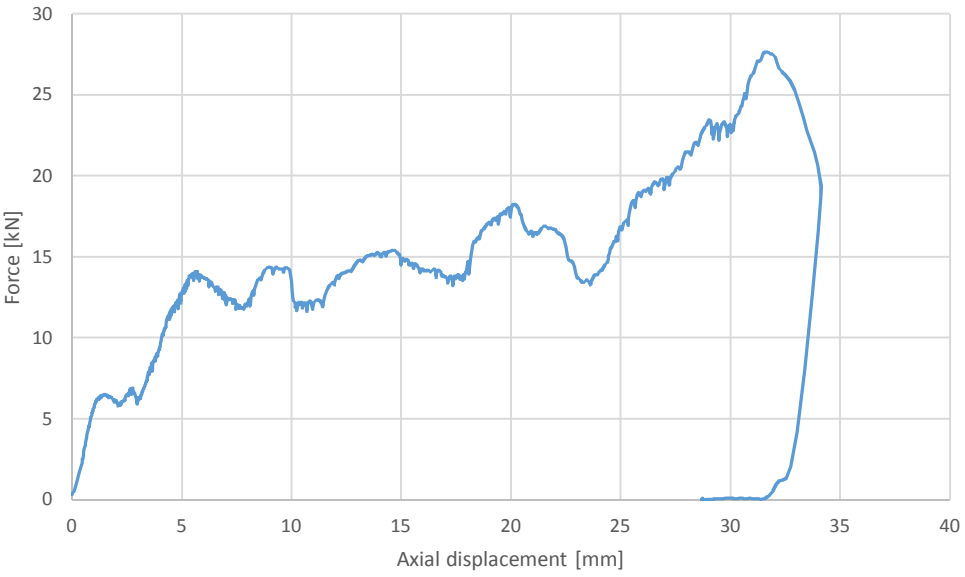

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	20	Test's code	C_DBSCR_CL 150 mm #4
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	150 mm
Support	Clamped	Date	08 May 2014 15:10:45
Test layout	<b>Results</b>		
 <p>1 screw/150 mm</p>			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	88.82	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.58	
<b>Description of the test</b>			
<p>Local plastic mechanism. The longitudinal axis deformed. The screw had no mentionable effect.</p>			


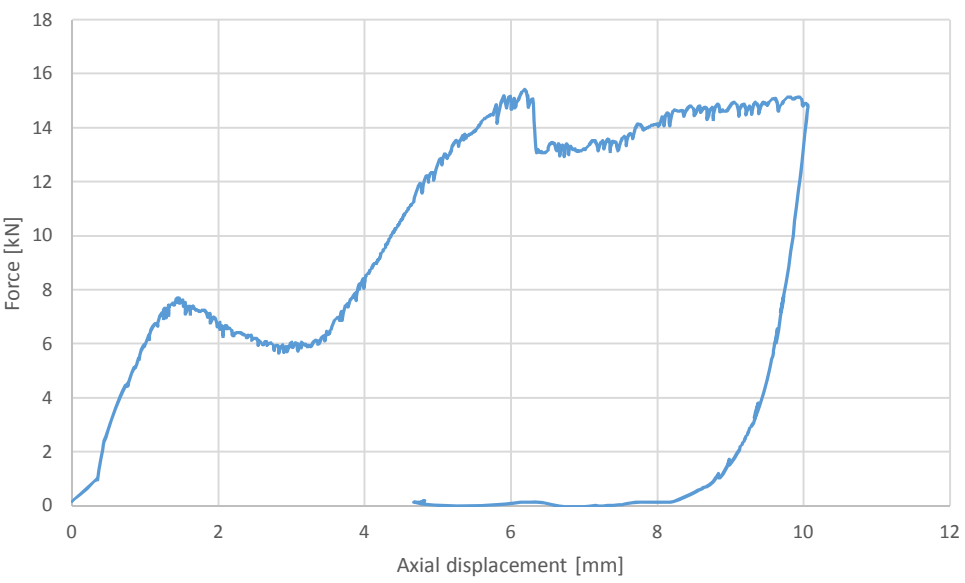

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	21	Test's code	C_SIN_HG 150 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard hinged	Date	08 May 2014 15:38:48
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.33	
Displacement at the maximal load	[mm]	17.36	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Recurring plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			


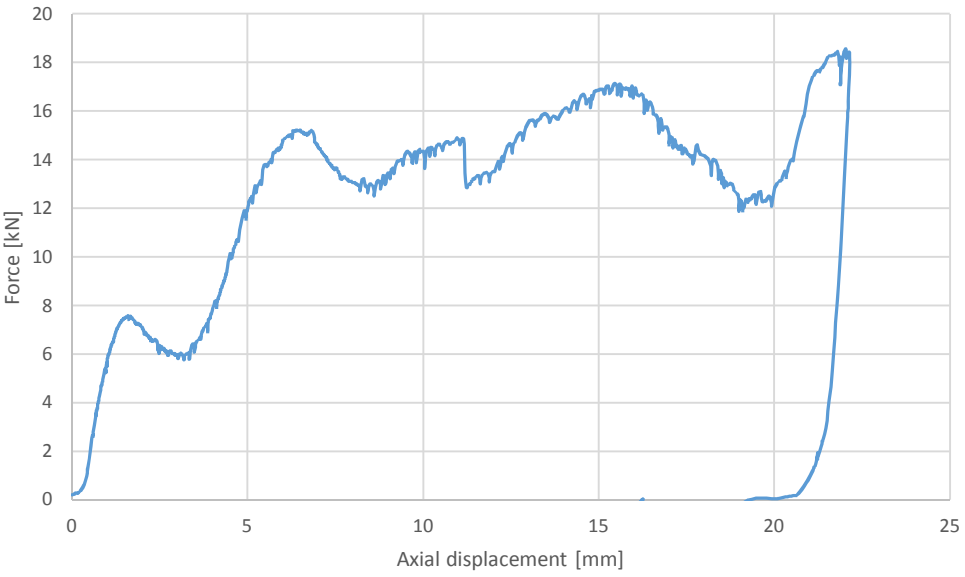

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	22	Test's code	C_SIN_HG 150 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard hinged	Date	08 May 2014 15:49:31
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.72	
Displacement at the maximal load	[mm]	12.99	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Recurring plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	23	Test's code	C_SIN_HG 150 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard hinged	Date	08 May 2014 16:46:06
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.32	
Displacement at the maximal load	[mm]	8.30	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Recurring plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			


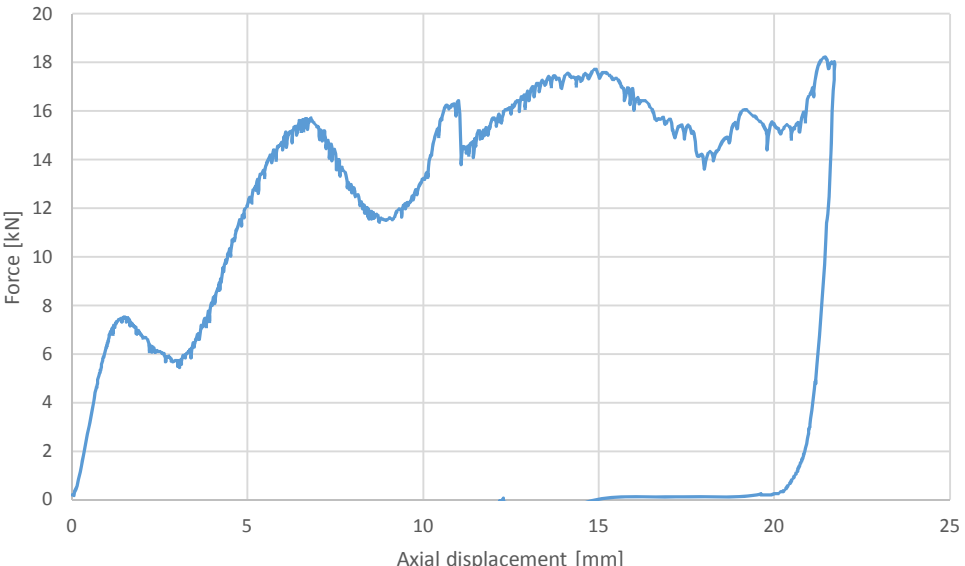

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	24	Test's code	C_SIN_HG 150 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard hinged	Date	08 May 2014 16:52:27
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.02	
Displacement at the maximal load	[mm]	7.32	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Recurring plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			


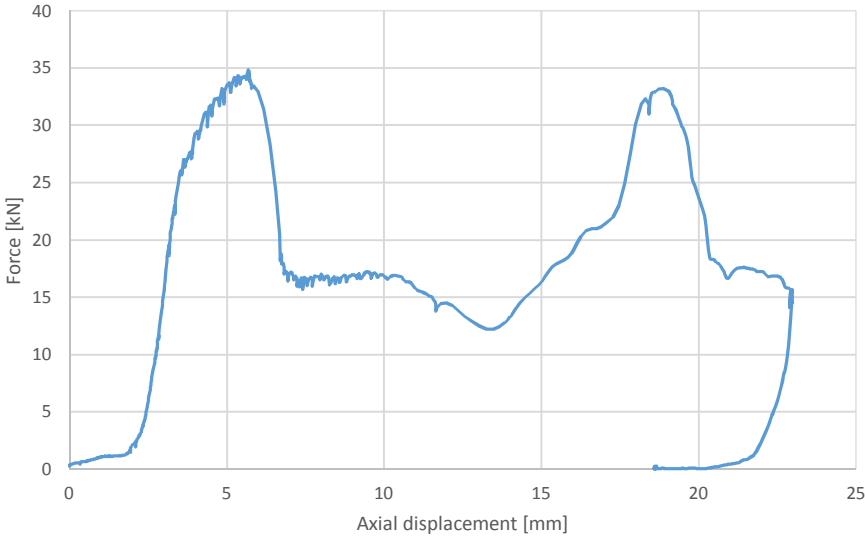

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	25	Test's code	C_SIN_FX 150 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 17:37:24
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.07	
Displacement at the maximal load	[mm]	32.44	
Description of the test			
<p>Distortional buckling. Recurring plastic deformations at the bolts, the lips approached.</p>			


Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	26	Test's code	C_SIN_FX 150 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 18:00:22
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.45	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.24	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	27	Test's code	C_SIN_FX 150 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 18:12:42
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.81	
Displacement at the maximal load	[mm]	22.12	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	28	Test's code	C_SIN_FX 150 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	08 May 2014 18:24:49
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.13	
Displacement at the maximal load	[mm]	22.13	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling. Plastic deformations at the bolts. The lips approached.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	29B	Test's code	C_DB_FX 150 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	09 May 2014 11:20:28
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	34.85	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.79	
<b>Description of the test</b>			
<p>Upper bolt shear at one side then at the other. Note: During the test "29/A", the beam slanted. Due to this error, we stopped the test, supported the machine from a new direction and restarted the test as "Test 29/B".</p>			

<b>Test reports</b>		<b>Authors</b>	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		<b>Machine type</b>	Hydraulic actuator 250
<b>Test number</b>	30	<b>Test's code</b>	C_DB_FX 150 mm #2
<b>Element profile</b>	Double	<b>Nominal Length</b>	150 mm
<b>Support</b>	Standard fixed	<b>Date</b>	09 May 2014 00:00:00
<b>Test layout</b>	<b>Results</b>		
			





**Pictures**


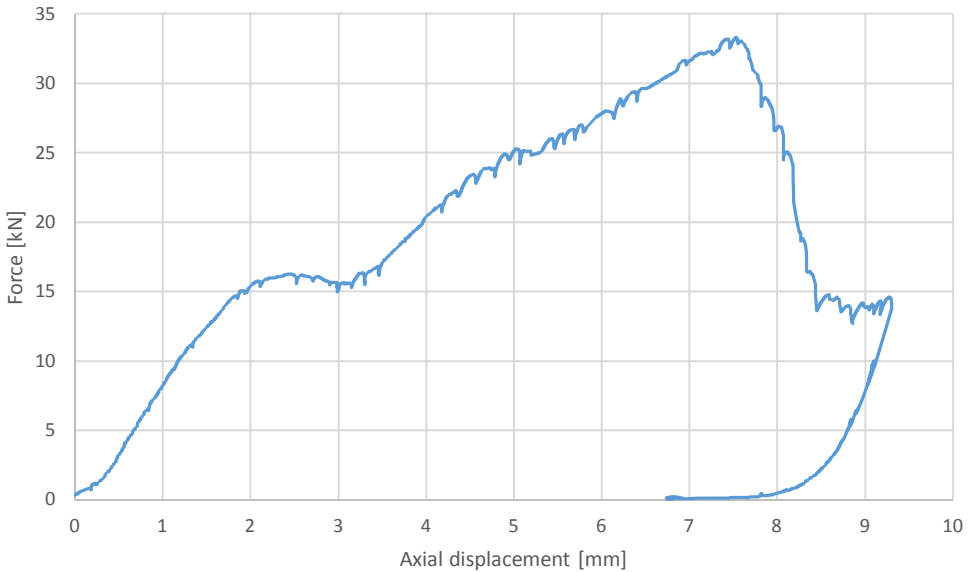




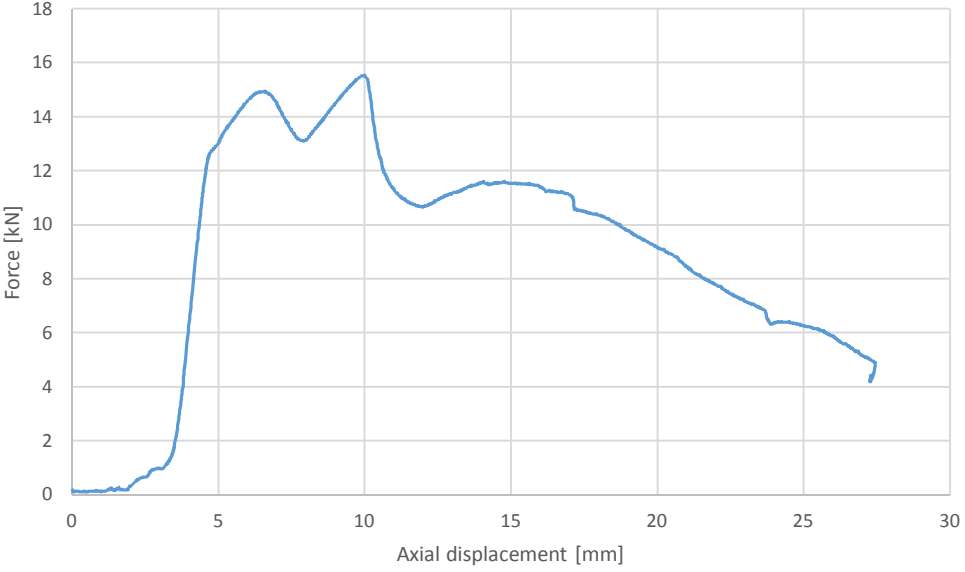

<b>Resistance</b>	<b>[kN]</b>	34.22
<b>Displacement at the maximal load</b>	<b>[mm]</b>	


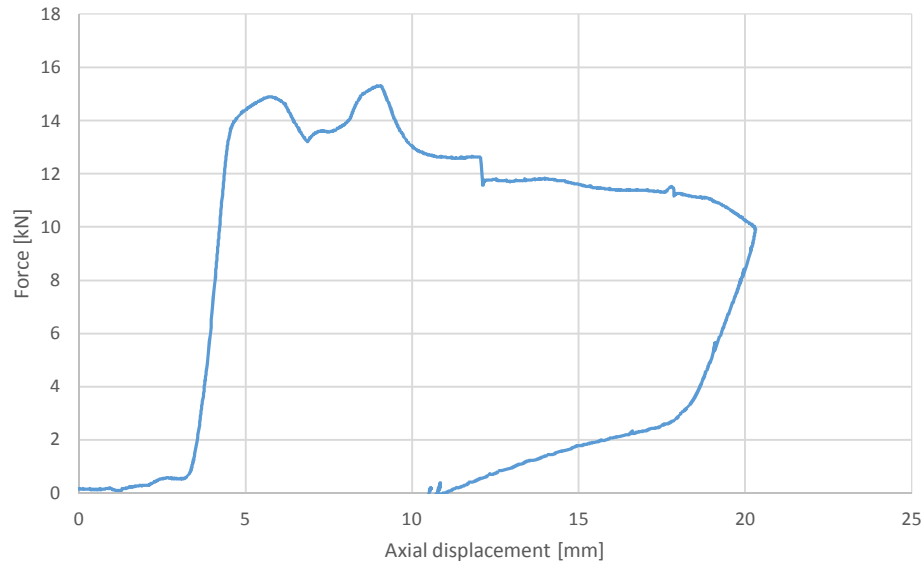


**Description of the test**


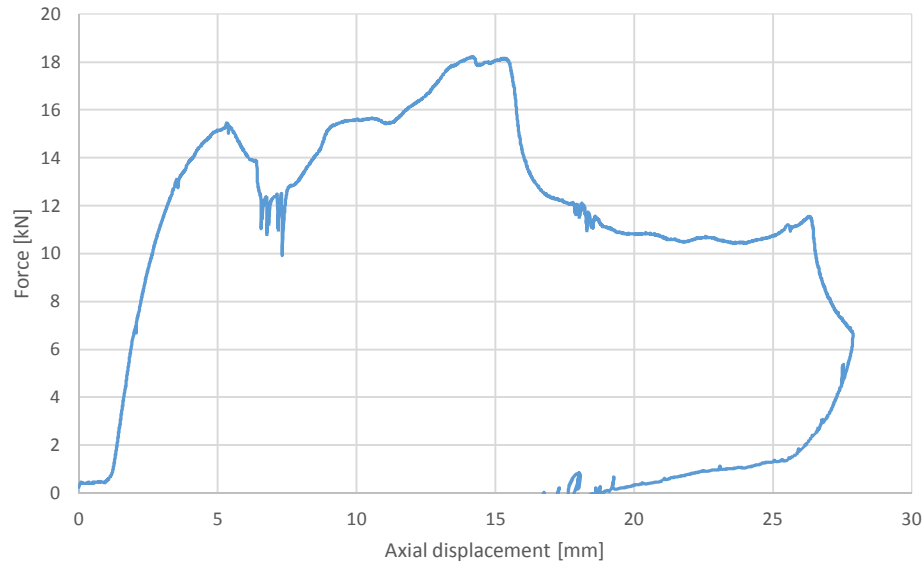
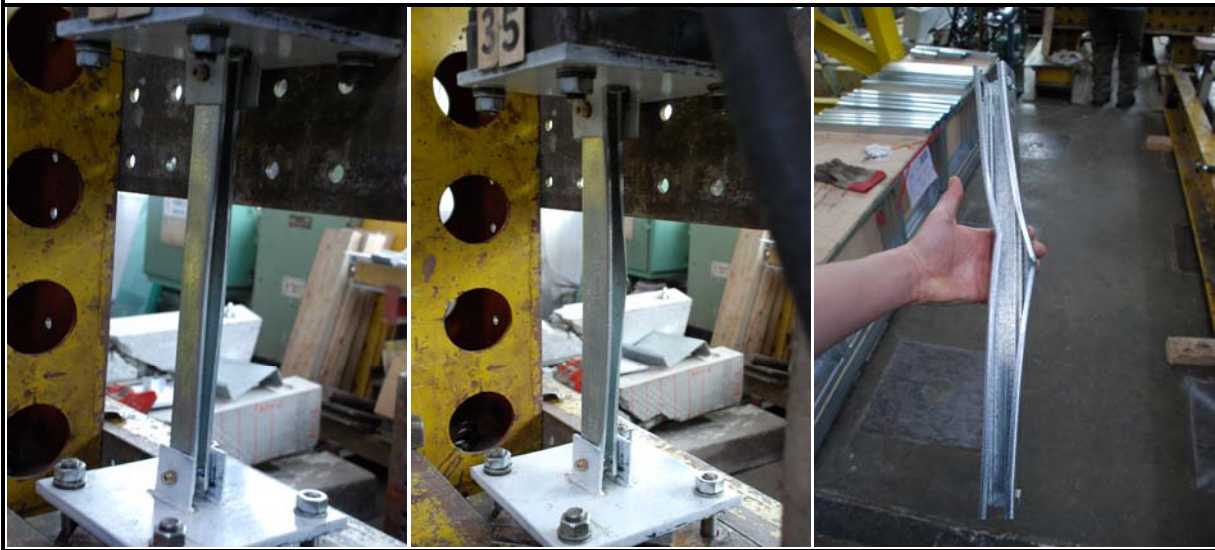
Bolt shear at the lower side.

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	31	Test's code	C_DB_FX 150 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	09 May 2014 00:00:00
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
			
Resistance	[kN]	31.35	
Displacement at the maximal load	[mm]		
Description of the test			
Bolt shear at the lower side.			


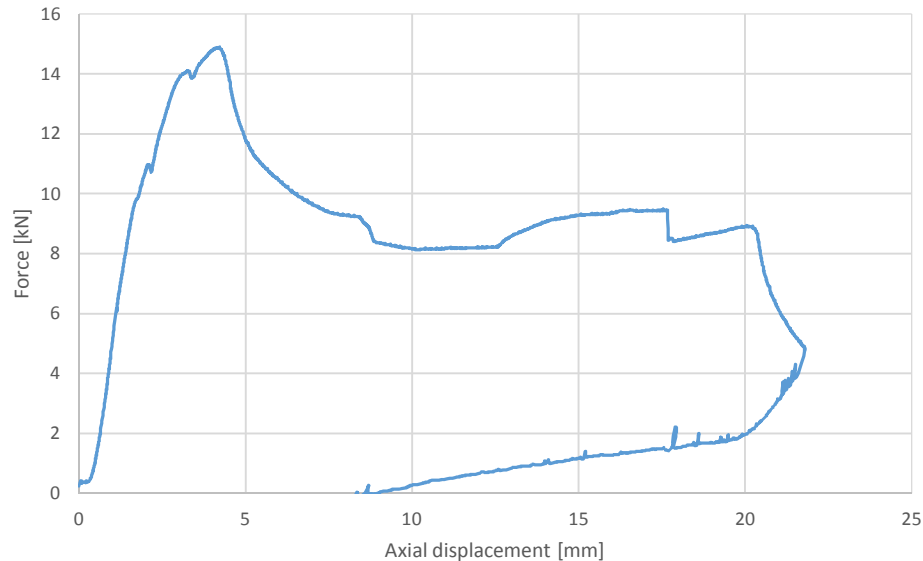



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	32	Test's code	C_DB_FX 150 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	150 mm
Support	Standard fixed	Date	09 May 2014 12:51:21
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	33.29	
Displacement at the maximal load	[mm]	7.62	
Description of the test			
Bolt shear at the lower side.			


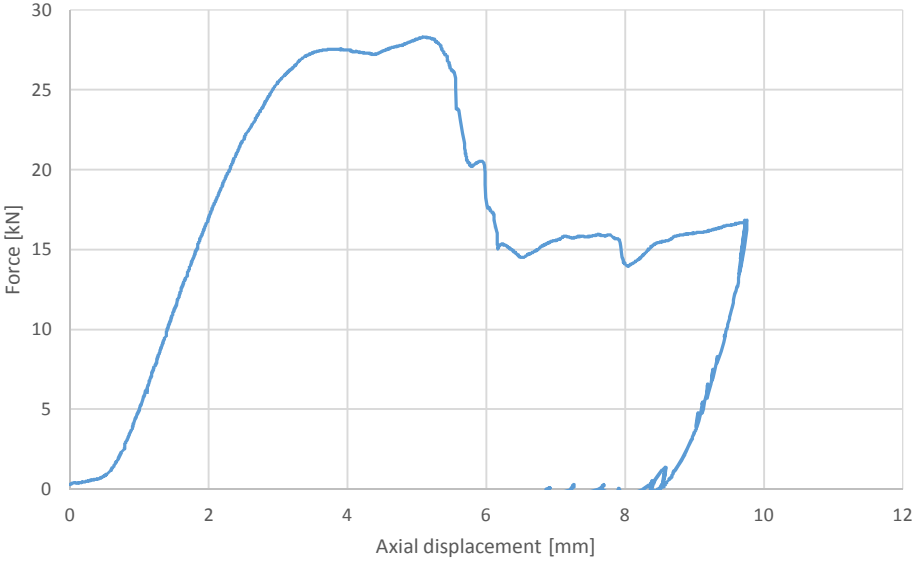
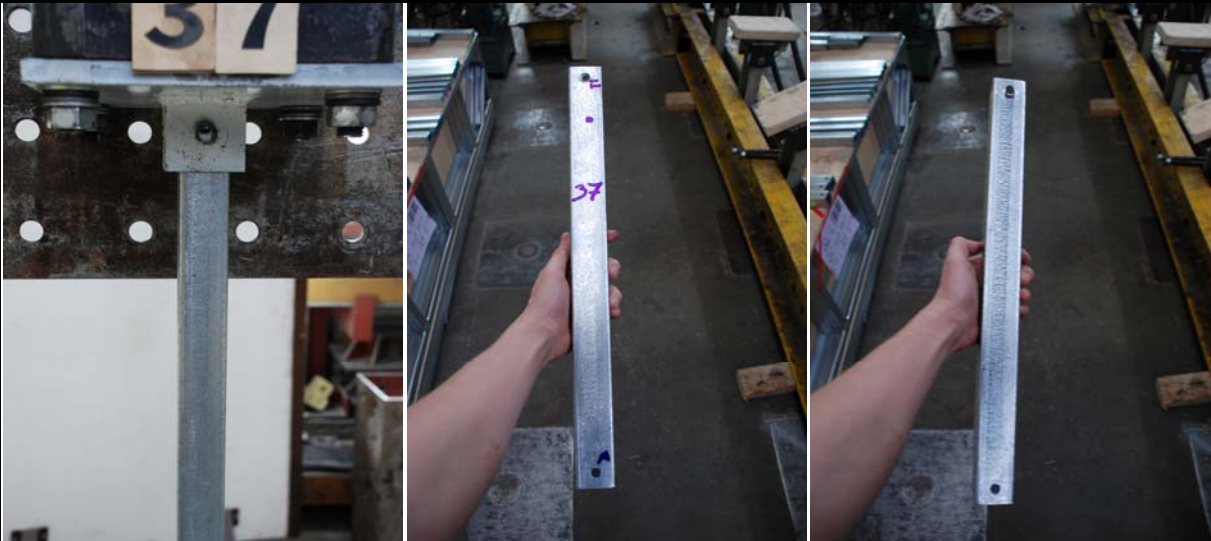
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	33	Test's code	C_SIN_FX 500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 10:50:24
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.83	
Displacement at the maximal load	[mm]	10.99	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling at the upper side. Later the lips at half-height cracked. The final form was torsional buckling.</p>			


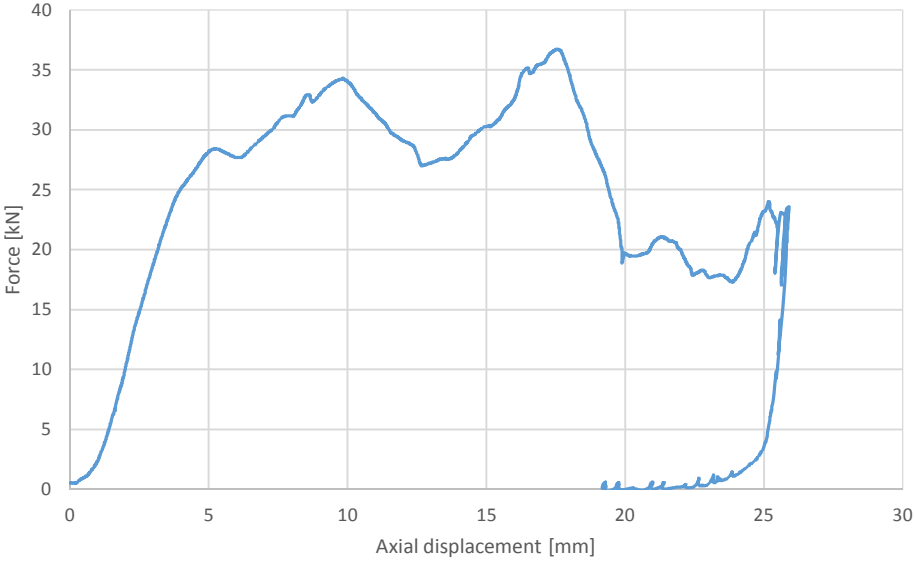



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	34	Test's code	C_SIN_FX 500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 11:02:21
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.87	
Displacement at the maximal load	[mm]	10.77	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling at the upper side. Later the lips at half-height cracked. The final form was torsional buckling. Note: During the test a 12 kN preload was applied.</p>			


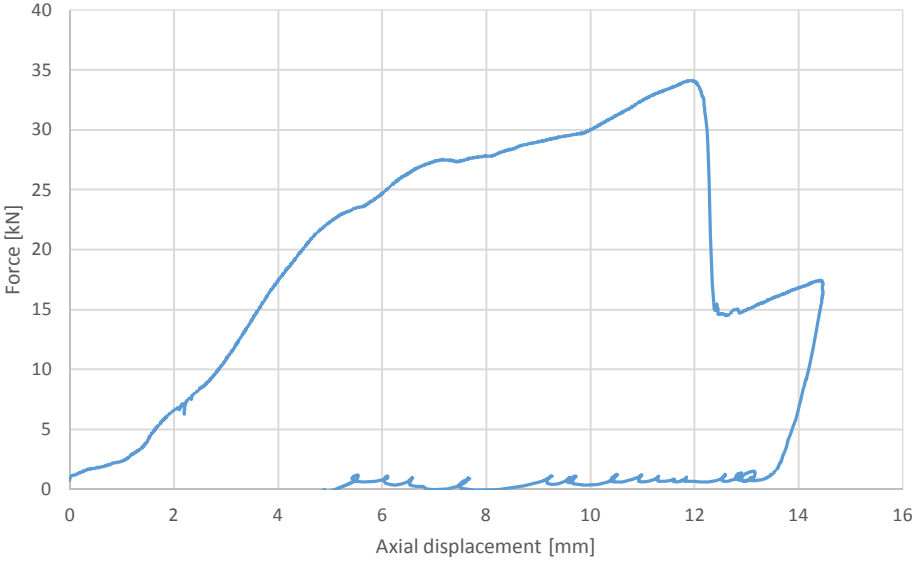



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	35	Test's code	C_SIN_FX 500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 11:16:49
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.15	
Displacement at the maximal load	[mm]	15.73	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling at the upper side. Later the lips at half-height cracked. The final form was torsional buckling. Note: the machine got a new support to minimize warping.</p>			


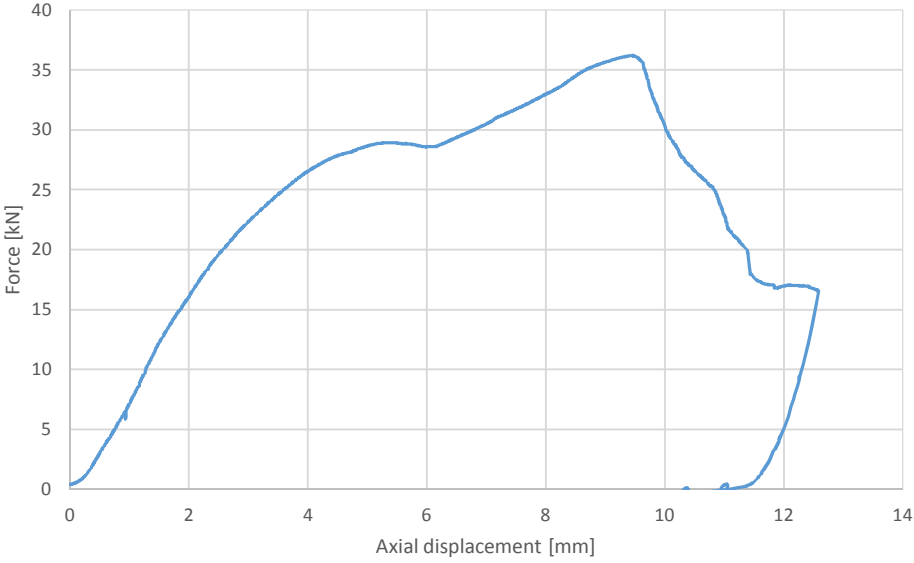





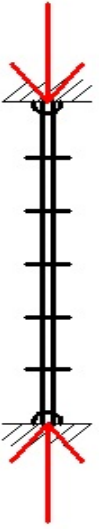
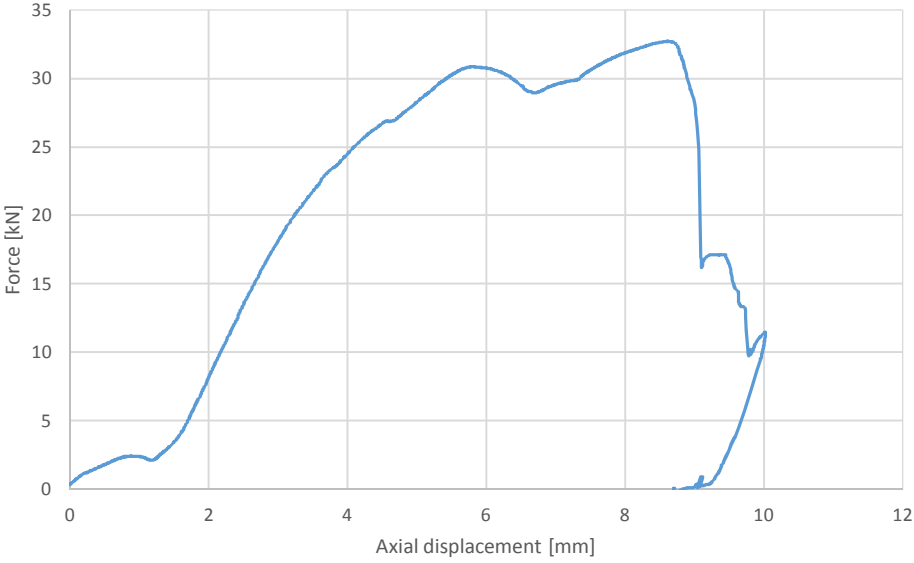
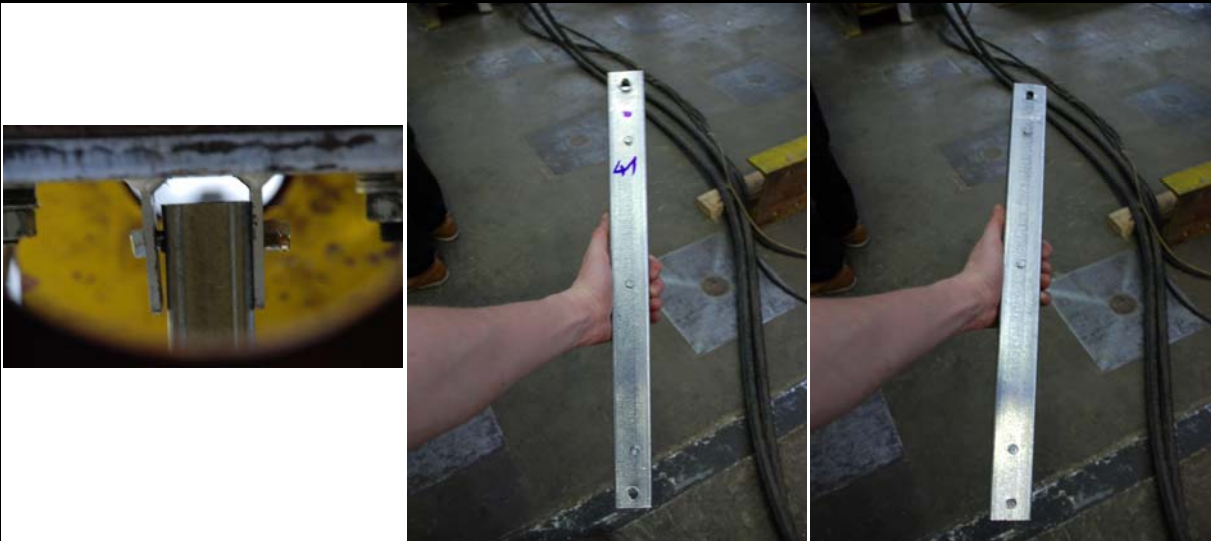
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	36	Test's code	C_SIN_FX 500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 11:32:11
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
			
Resistance	[kN]	14.90	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.40	
Description of the test			
<p>3 wave distortional buckling. Later the lips cracked at half-height. The final form was torsional buckling.</p>			


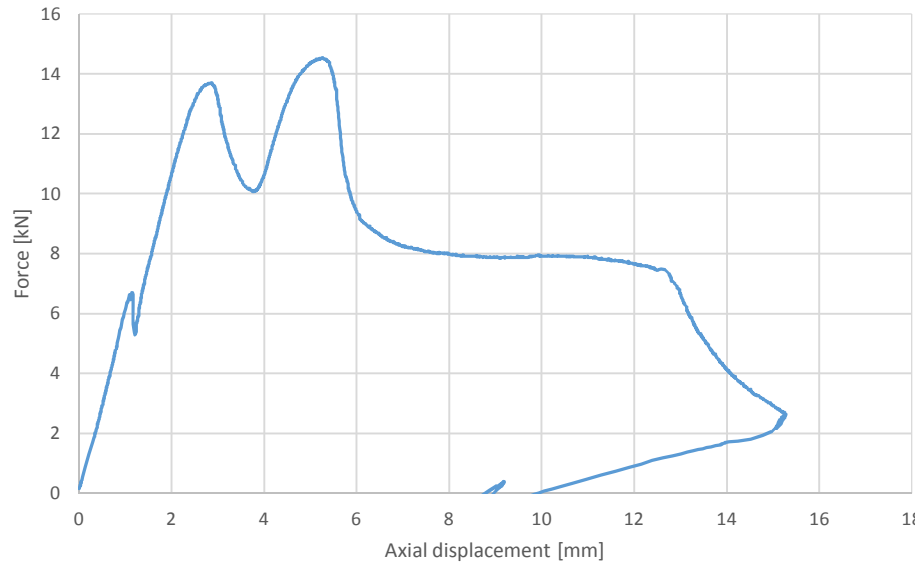
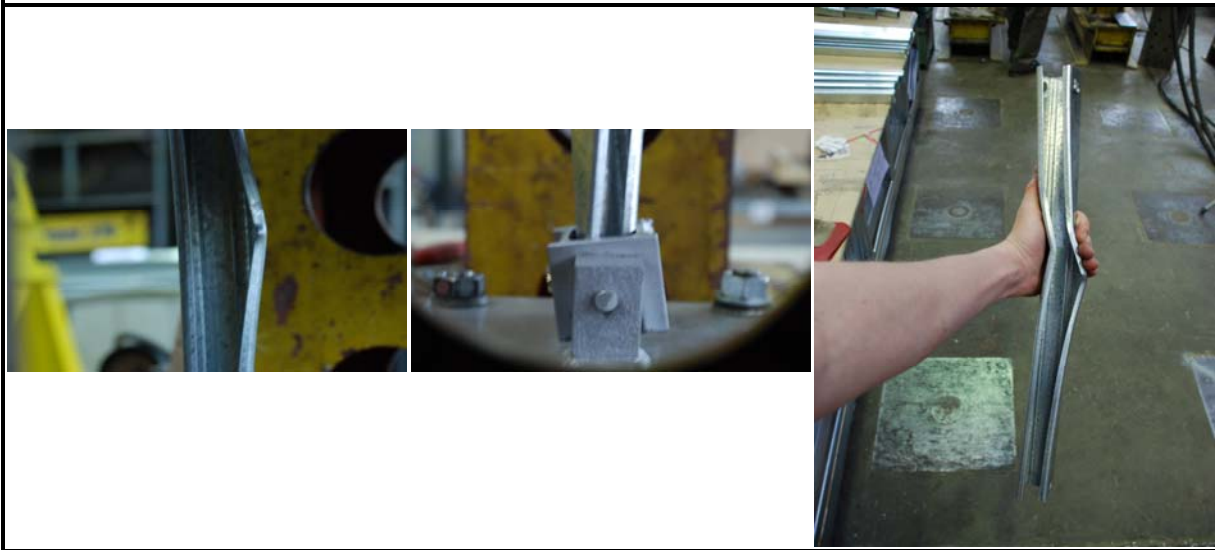
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	37	Test's code	C_DB_FX 500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 11:45:44
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	28.30	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.11	
Description of the test			
Slight distortional buckling, then bolt shear at the upper side.			


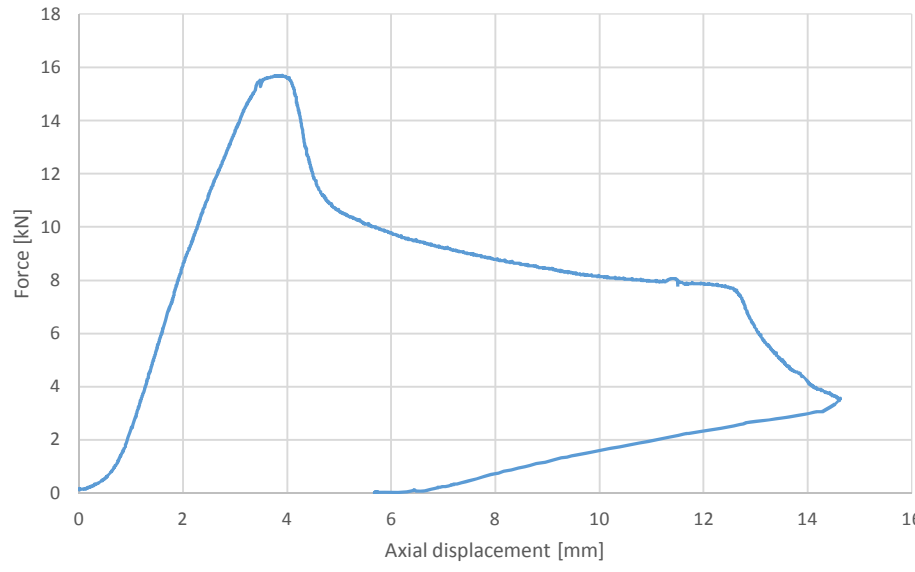
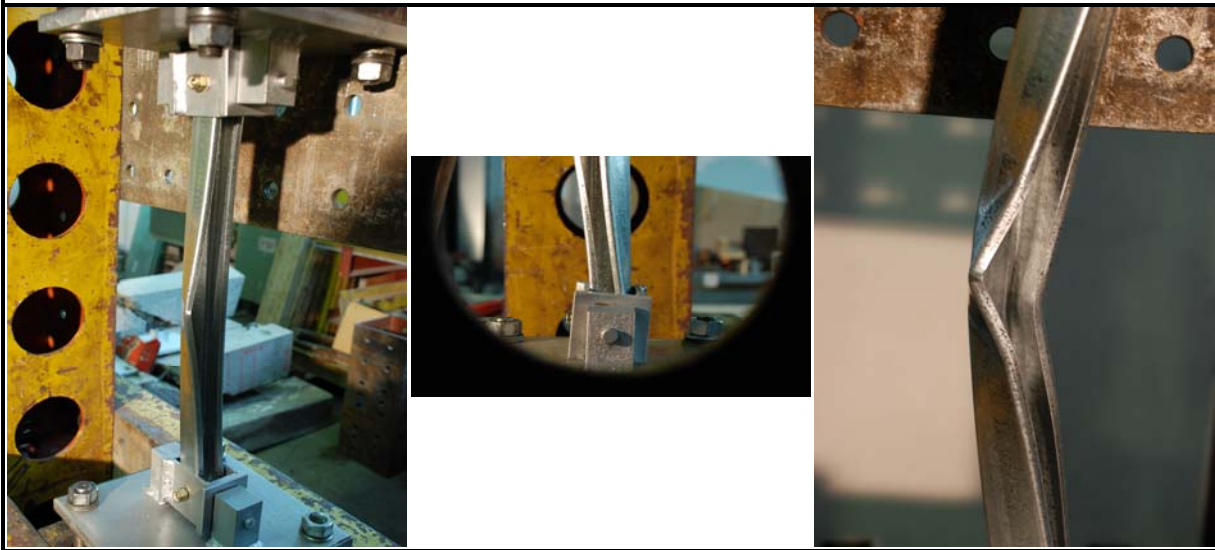
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	38	Test's code	C_DB_FX 500 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 14:18:28
Test layout	Results		
			
Pictures			
 			
Resistance	[kN]	34.30	
Displacement at the maximal load	[mm]	17.55	
Description of the test			
<p>Slight distortional buckling, then bolt shear at the lower side. Due to the large displacements the lower side of the element touched the support at an unplanned area.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	39	Test's code	C_DB_FX 500 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 14:38:29
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	34.12	
Displacement at the maximal load	[mm]	12.00	
Description of the test			
Slight distortional buckling, then bolt shear at the upper side.			


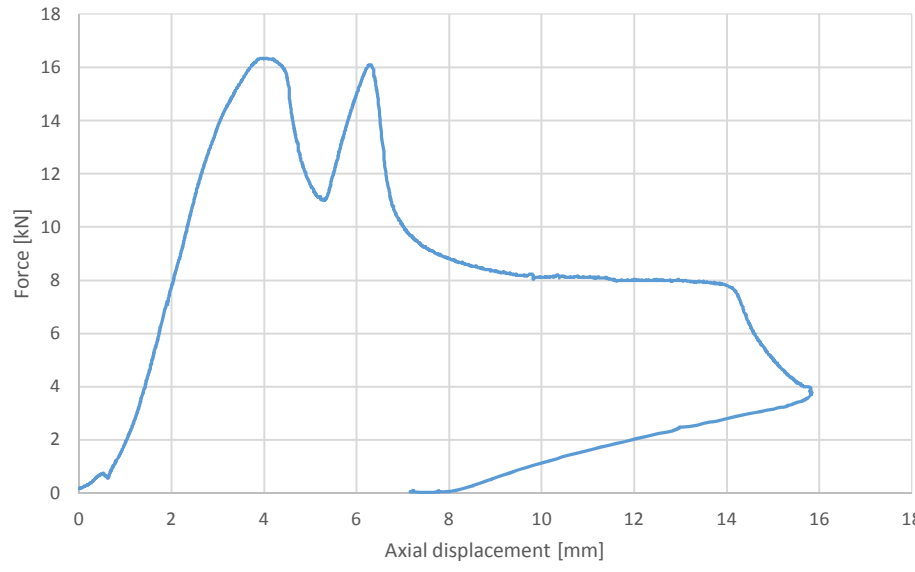
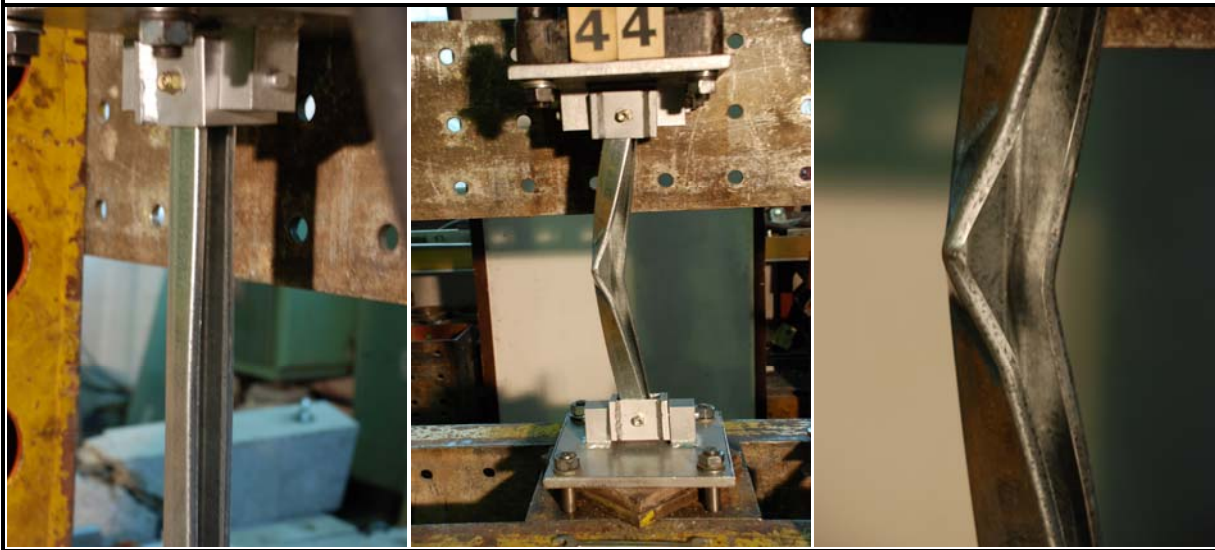
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	40	Test's code	C_DB_FX 500 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 15:03:33
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	36.22	
Displacement at the maximal load	[mm]	10.60	
Description of the test			
<p>Slight distortional buckling, then bolt shear. Note: during the test a 20 kN tensional force was applied. After that the test was restarted.</p>			


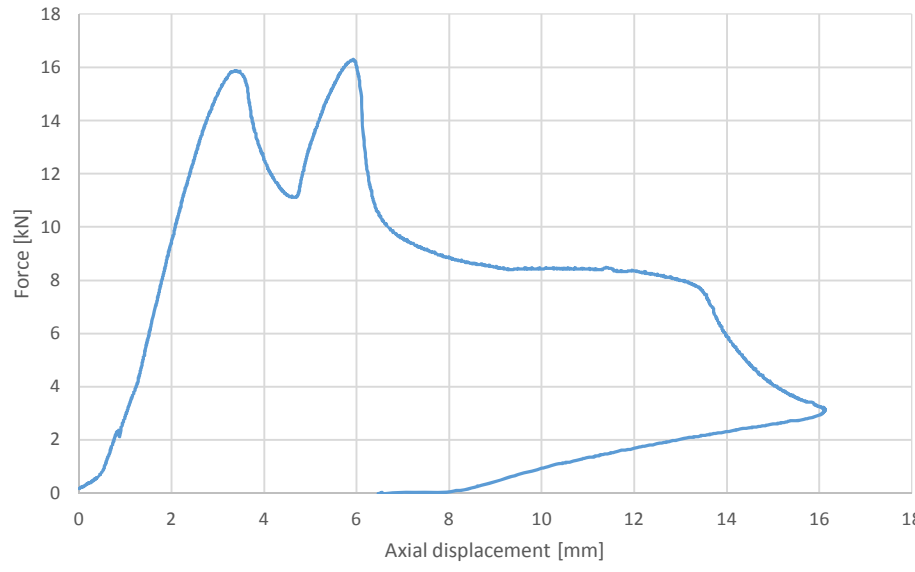

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	41	Test's code	C_DBSCR_FX 500 mm #1
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	500 mm
Support	Standard fixed	Date	13 May 2014 15:21:22
Test layout	Results		
 <p>3 screws/500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	30.85	
Displacement at the maximal load	[mm]	8.89	
Description of the test			
Slight distortional buckling, then bolt shear.			


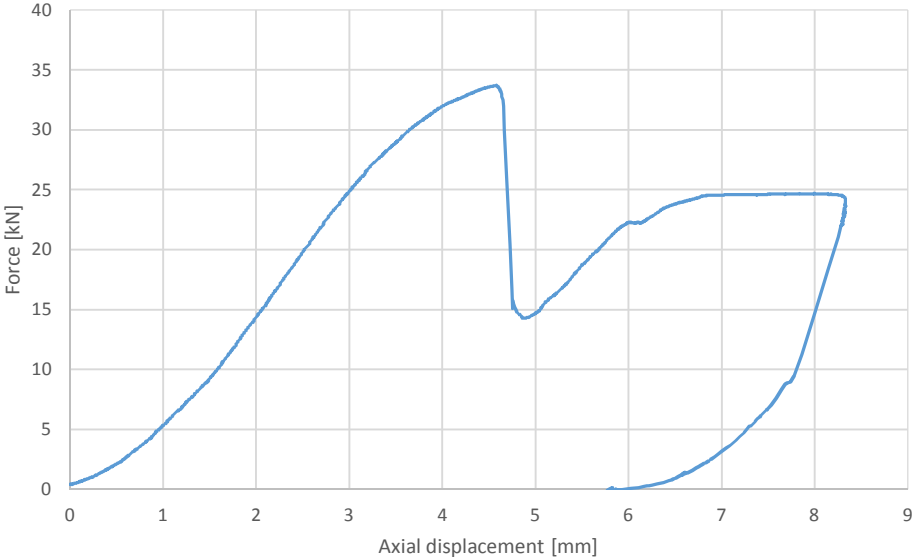



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	42	Test's code	C_SIN_HG 500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard hinged	Date	13 May 2014 15:48:14
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.41	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.42	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, then one lip at half-height cracked. Later torsional buckling. Finally the other lip also cracked. All degree of freedom at the supports were used.</p>			


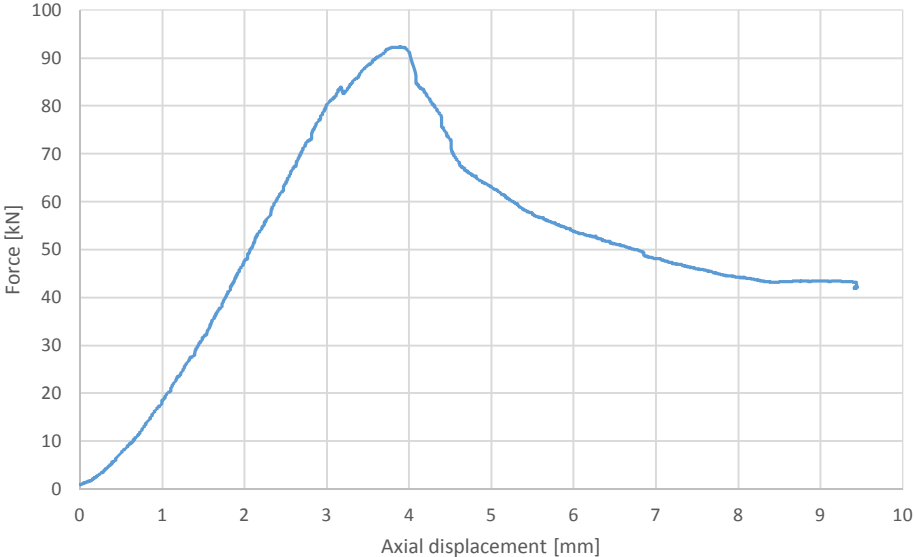

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	43	Test's code	C_SIN_HG 500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard hinged	Date	13 May 2014 15:59:34
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	15.70	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.12	
Description of the test			
<p>1. local maximum: Distortional buckling. 2. local maximum: one lip at half-height cracked. Later torsional buckling. 3. (last) turning point: the other lip also cracked. All degree of freedom at the supports was used.</p>			


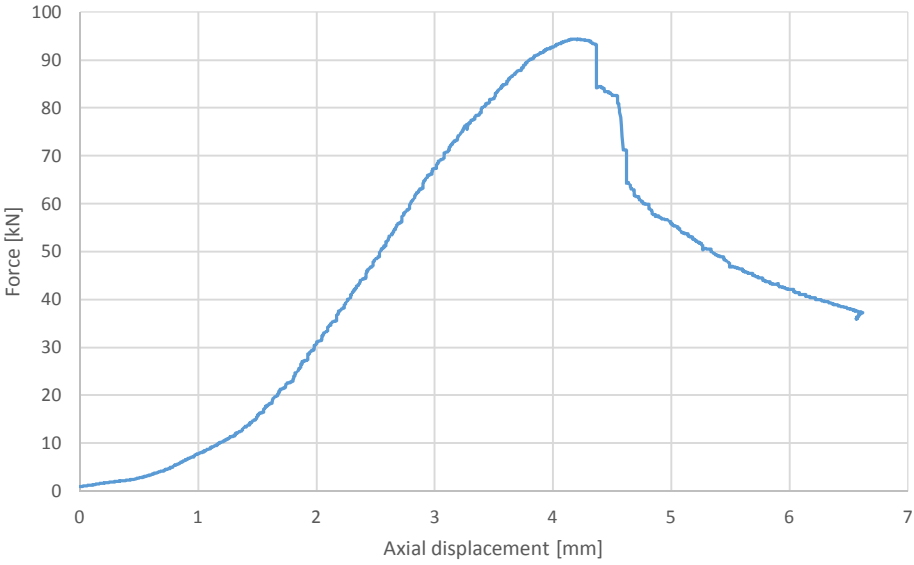




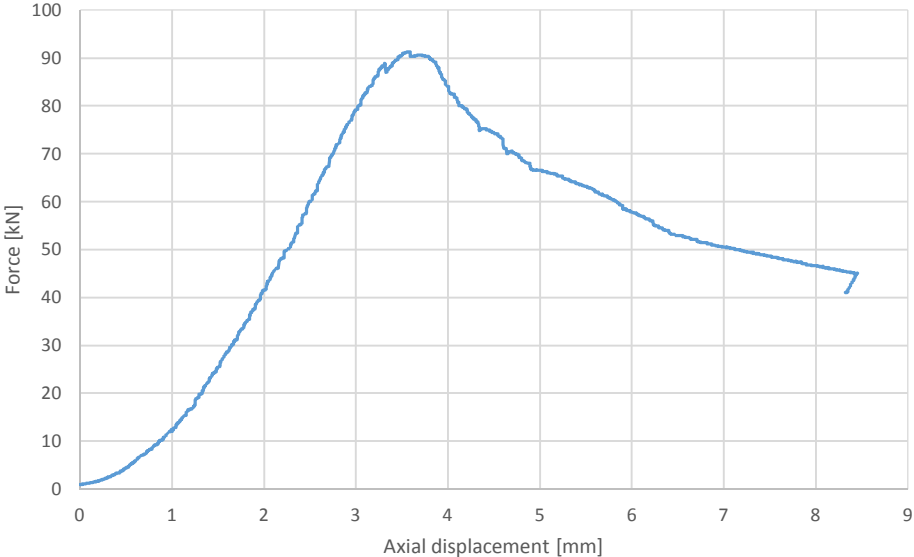
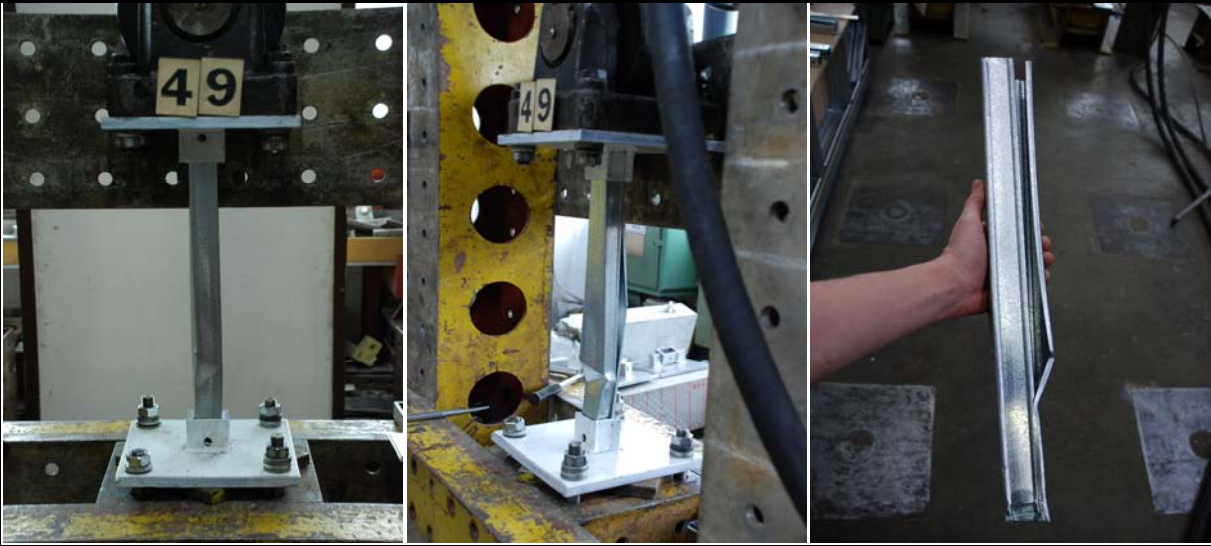
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	44	Test's code	C_SIN_HG 500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard hinged	Date	13 May 2014 16:10:24
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	16.34	
Displacement at the maximal load	[mm]	6.10	
<b>Description of the test</b>			
<p>1. local maximum: Distortional buckling. 2. local maximum: one lip at half-height cracked. Later torsional buckling. 3. (last) turning point: the other lip also cracked. All degree of freedom at the supports was used.</p>			

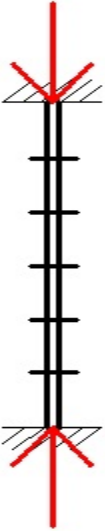
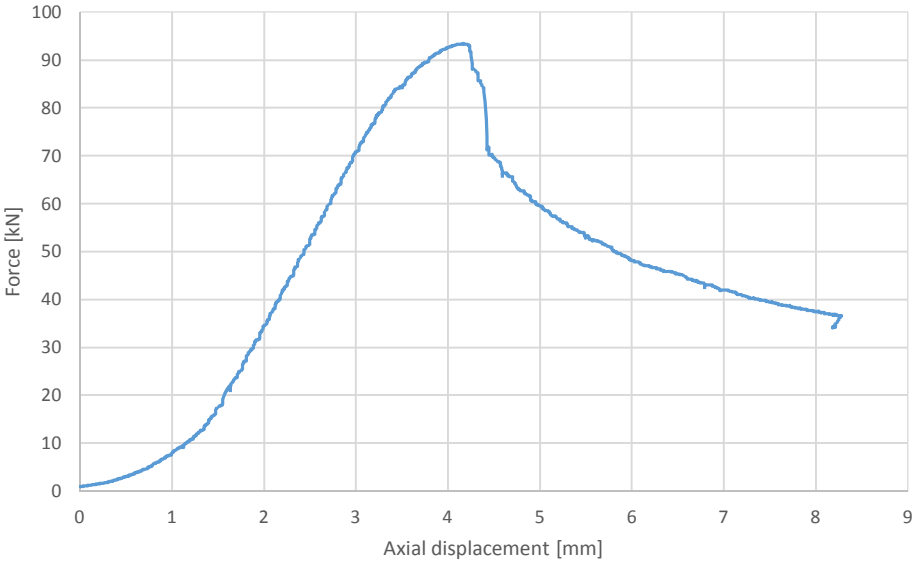
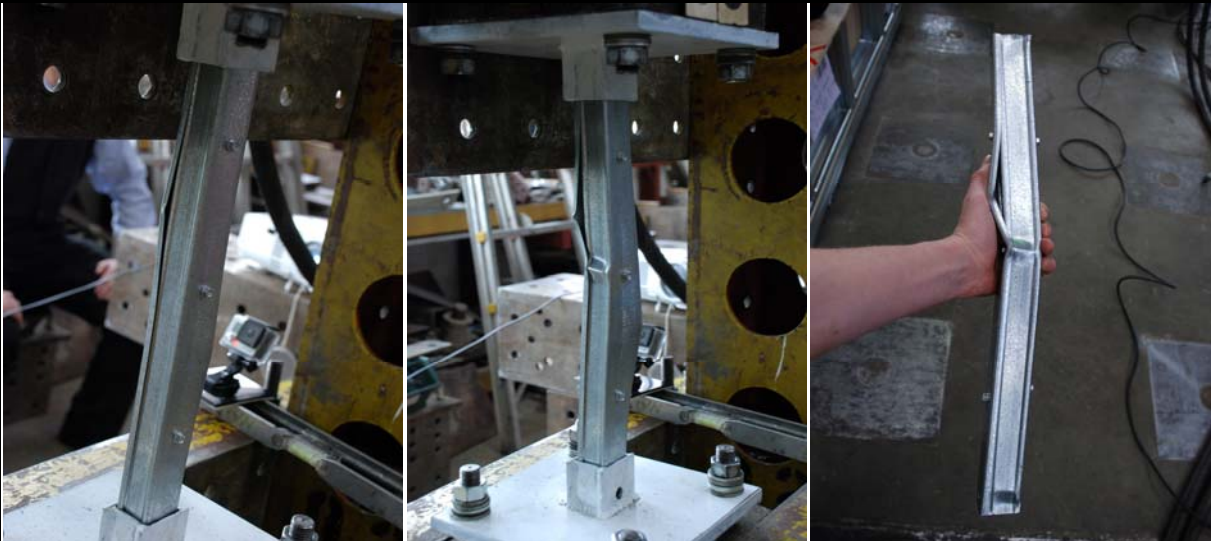
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	45	Test's code	C_SIN_HG 500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Standard hinged	Date	13 May 2014 16:22:35
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	16.30	
Displacement at the maximal load	[mm]	7.24	
<b>Description of the test</b>			
<p>First appeared distortional buckling, then one lips at half-height cracked. The final form was torsional warping, while the other lip also cracked.</p>			

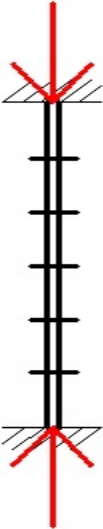
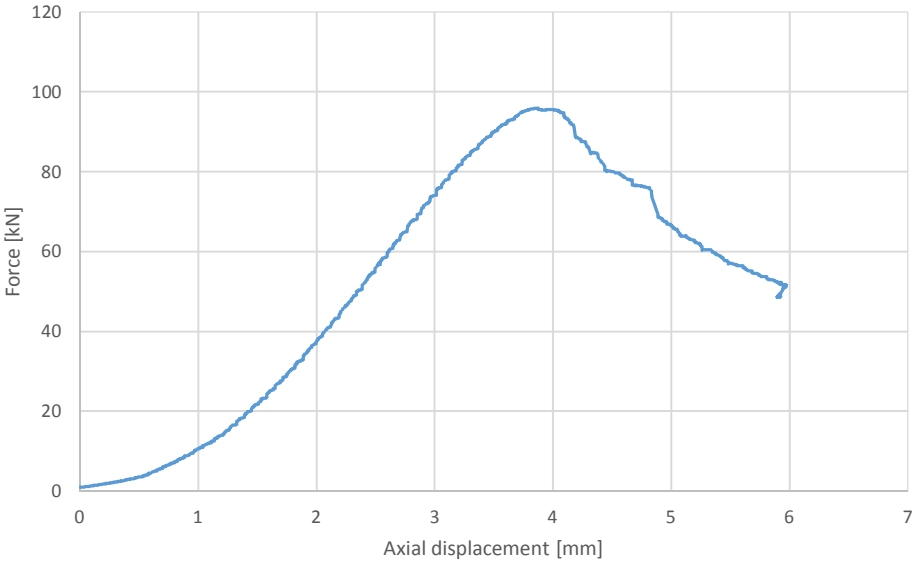
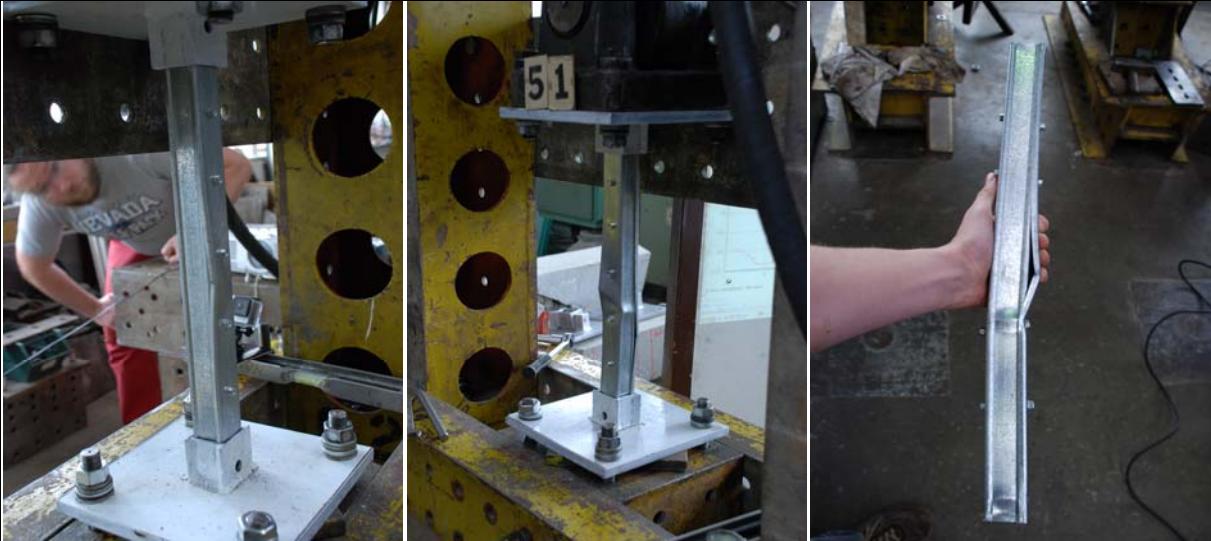
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	46	Test's code	C_DB_HG 500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Standard hinged	Date	13 May 2014 16:34:31
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	33.71	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.54	
Description of the test			
Upper bolt shear at one side then at the other.			

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	47	Test's code	C_DB_CL 500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 10:41:17
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	92.33	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.73	
Description of the test			
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism.</p>			

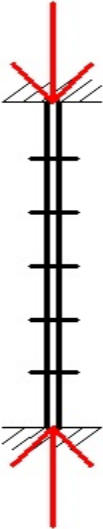
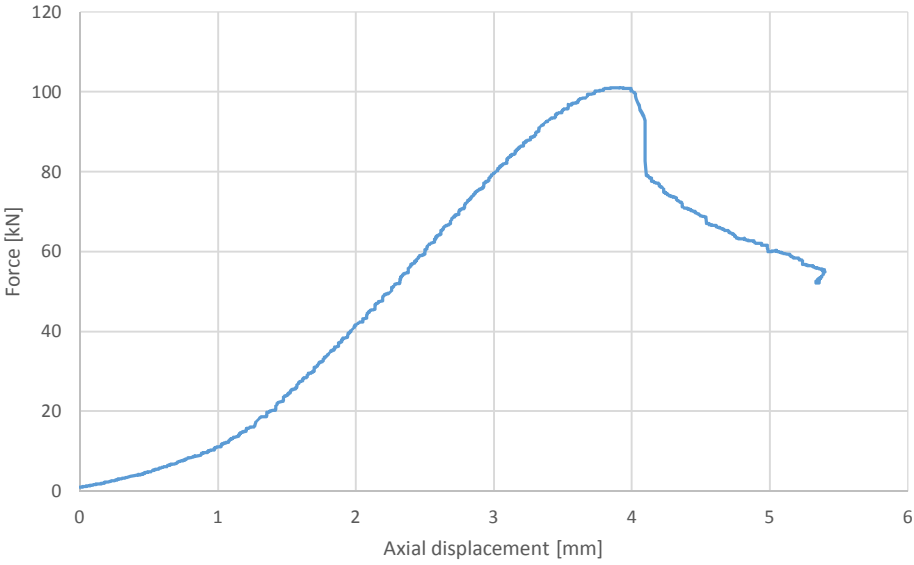

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák																						
		Machine type	Hydraulic actuator 250																						
Test number	48	Test's code	C_DB_CL 500 mm #2																						
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm																						
Support	Clamped	Date	14 May 2014 10:52:25																						
Test layout	Results																								
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>30</td></tr> <tr><td>3</td><td>65</td></tr> <tr><td>4</td><td>90</td></tr> <tr><td>4.35</td><td>94.39</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>85</td></tr> <tr><td>5</td><td>60</td></tr> <tr><td>6</td><td>45</td></tr> <tr><td>7</td><td>35</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	10	2	30	3	65	4	90	4.35	94.39	4.5	85	5	60	6	45	7	35
Axial displacement [mm]	Force [kN]																								
0	0																								
1	10																								
2	30																								
3	65																								
4	90																								
4.35	94.39																								
4.5	85																								
5	60																								
6	45																								
7	35																								
Pictures																									
																									
Resistance	[kN]	94.39																							
Displacement at the maximal load	[mm]	4.35																							
Description of the test																									
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism at both side.</p>																									


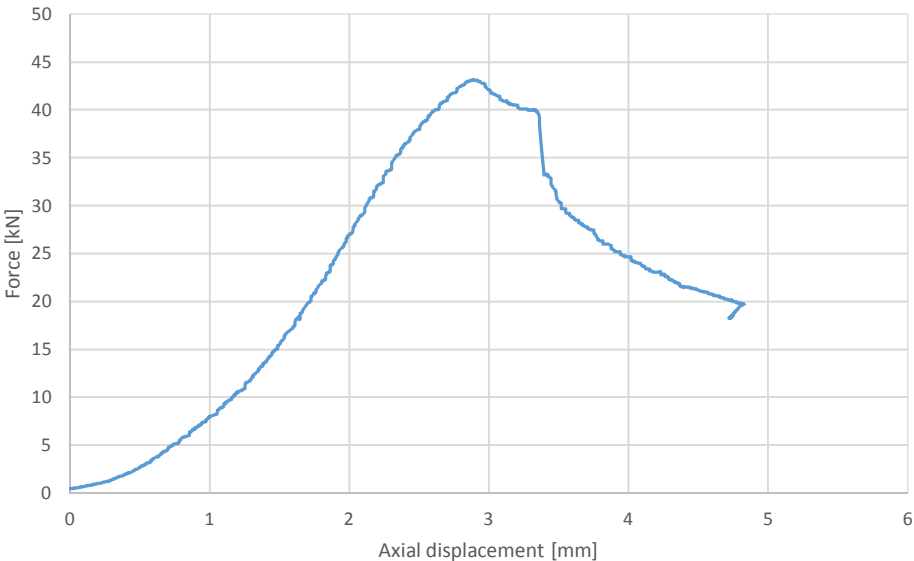
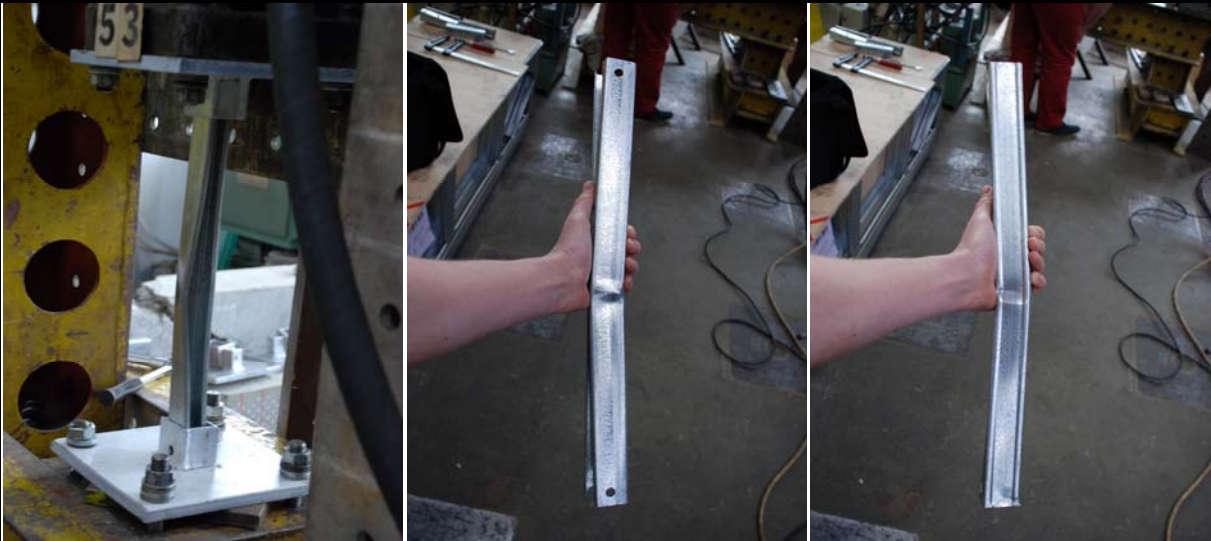
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	49	Test's code	C_DB_CL 500 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 11:03:52
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	91.31	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.71	
Description of the test			
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism at both side.</p>			


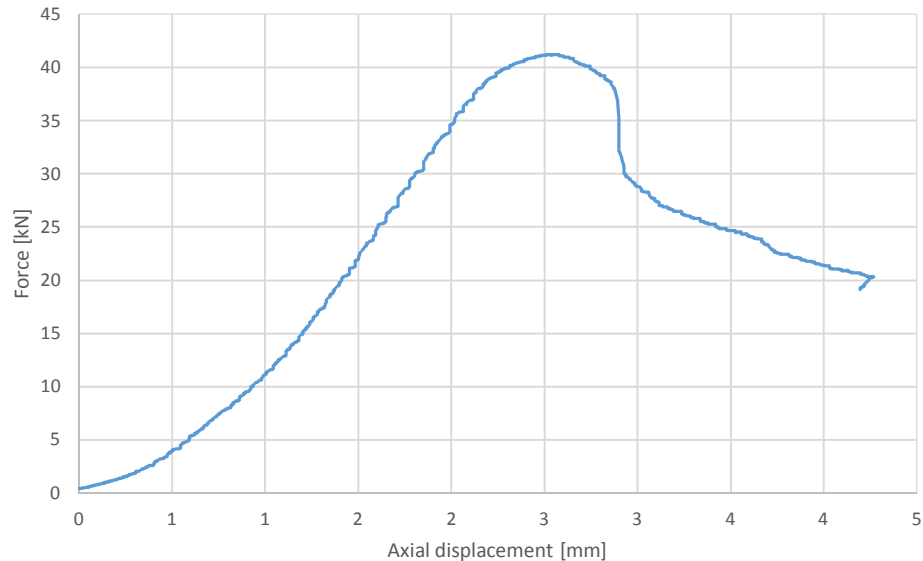
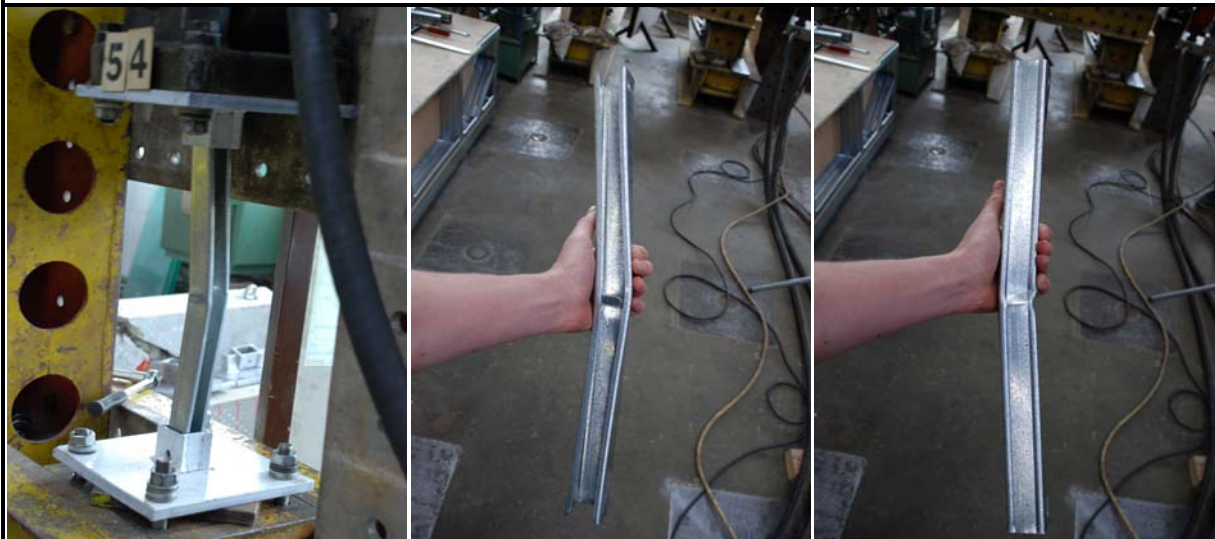
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	50	Test's code	C_DBSCR_CL 500 mm #1
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 11:44:21
Test layout	Results		
 <p>3 screws/500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	93.39	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.71	
Description of the test			
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism.</p>			


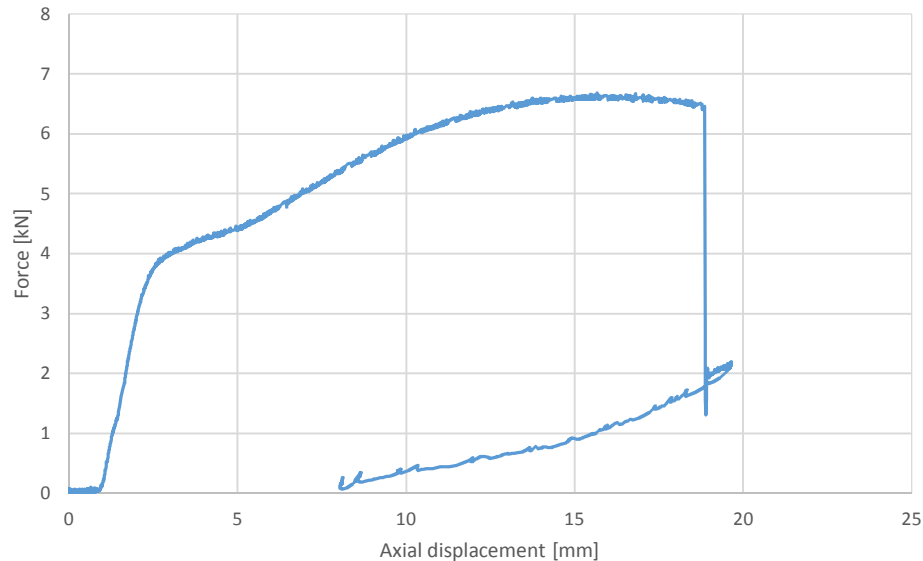
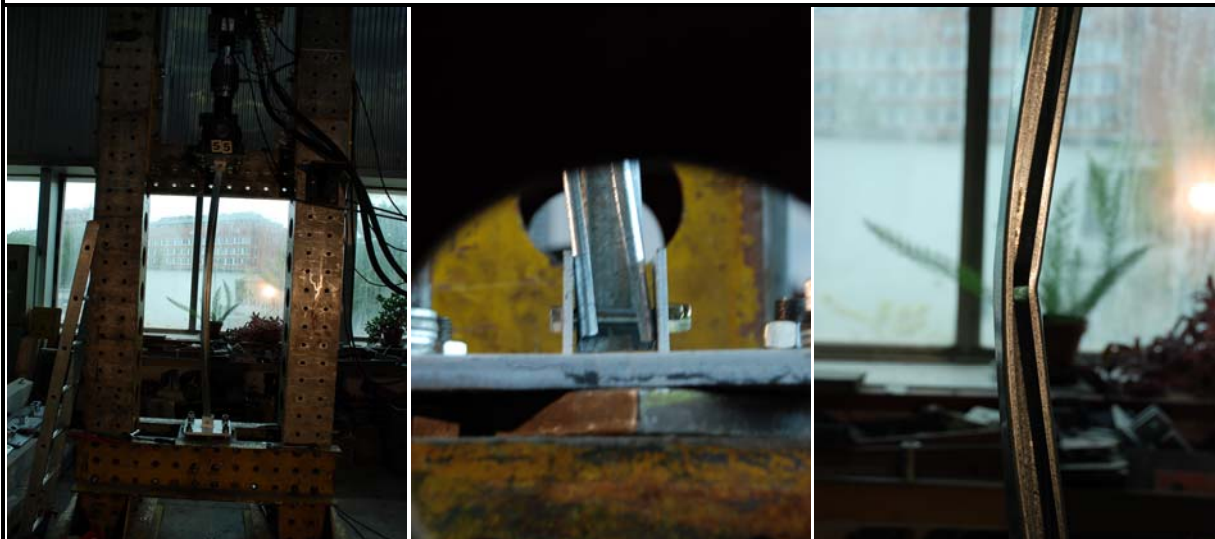
Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	51	Test's code	
		C_DBSCR_CL 500 mm #2	
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	
		500 mm	
Support	Clamped	Date	
		14 May 2014 12:13:08	
Test layout	Results		
 <p>5 screws/500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	95.88	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.00	
Description of the test			
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism.</p>			


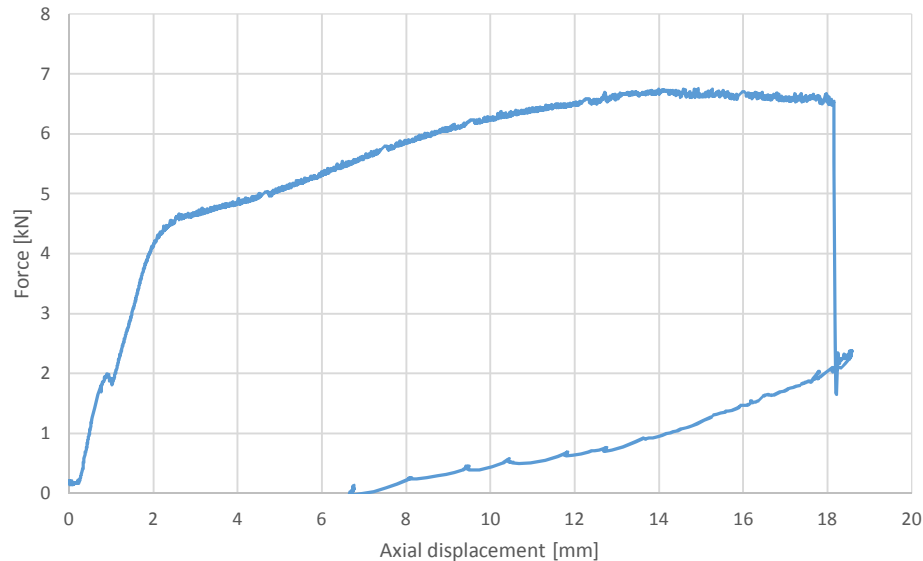




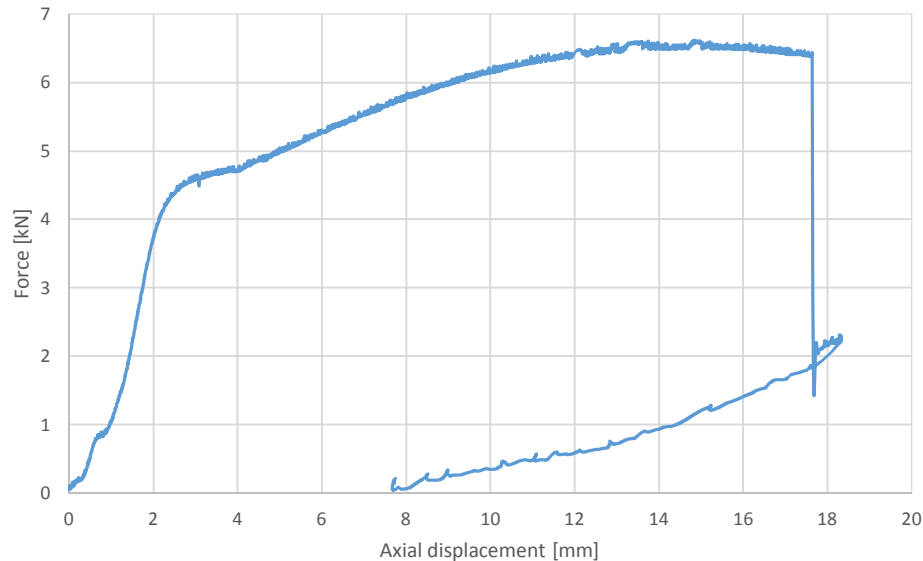

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	52	Test's code	C_DBSCR_CL 500 mm #3
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 12:48:50
Test layout	Results		
 <p>7 screws/500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	101.07	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.31	
Description of the test			
<p>Partial separation of the sections, distortional buckling, then local plastic mechanism.</p>			


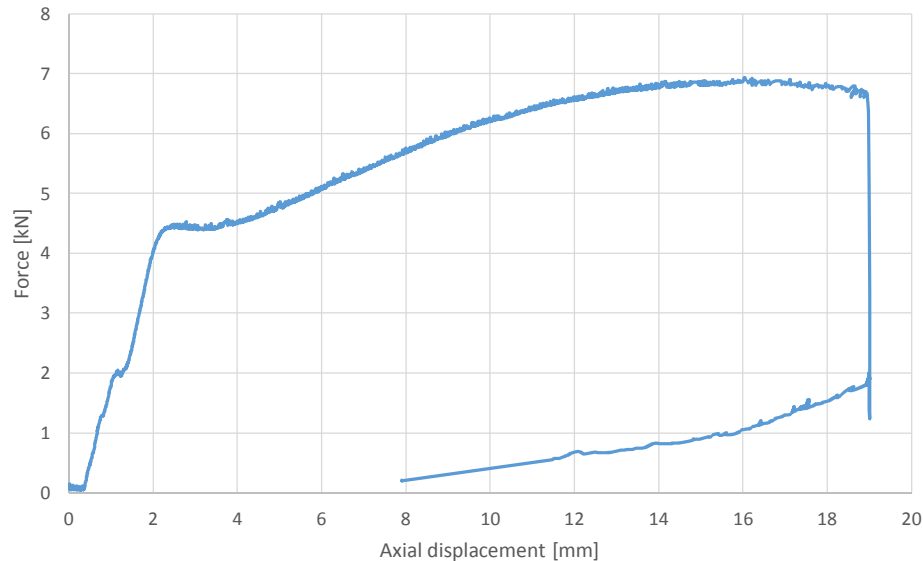

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	53	Test's code	C_SIN_CL 500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 12:58:46
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	43.15	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.30	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling, torsional buckling, then local plastic mechanism.</p>			


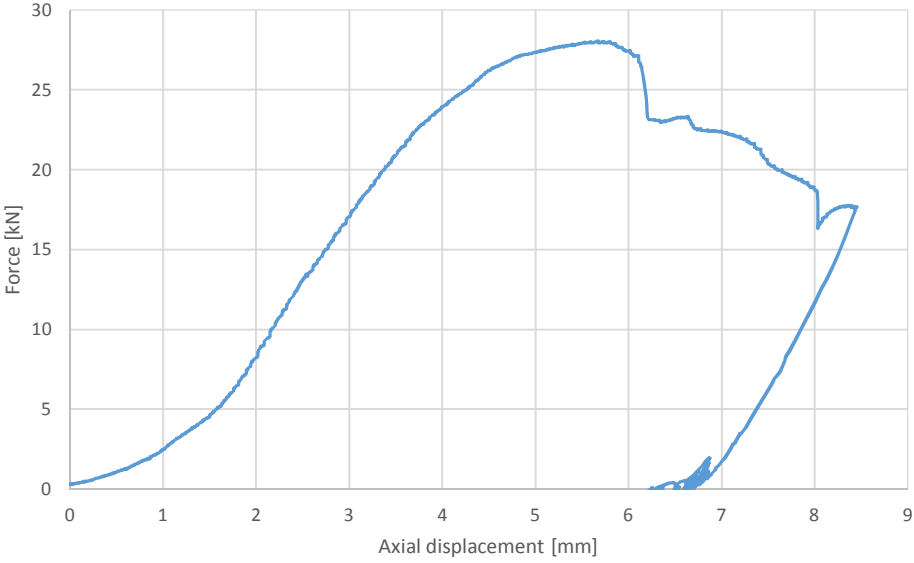



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	54	Test's code	C_SIN_CL 500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	500 mm
Support	Clamped	Date	14 May 2014 13:05:21
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	41.19	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.01	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, torsional buckling, then local plastic mechanism.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	55	Test's code	C_SIN_FX 1500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard fixed	Date	15 May 2014 08:33:38
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	4.35	
Displacement at the maximal load	[mm]	16.08	
Description of the test			
Torsional buckling, later local plastic mechanism.			


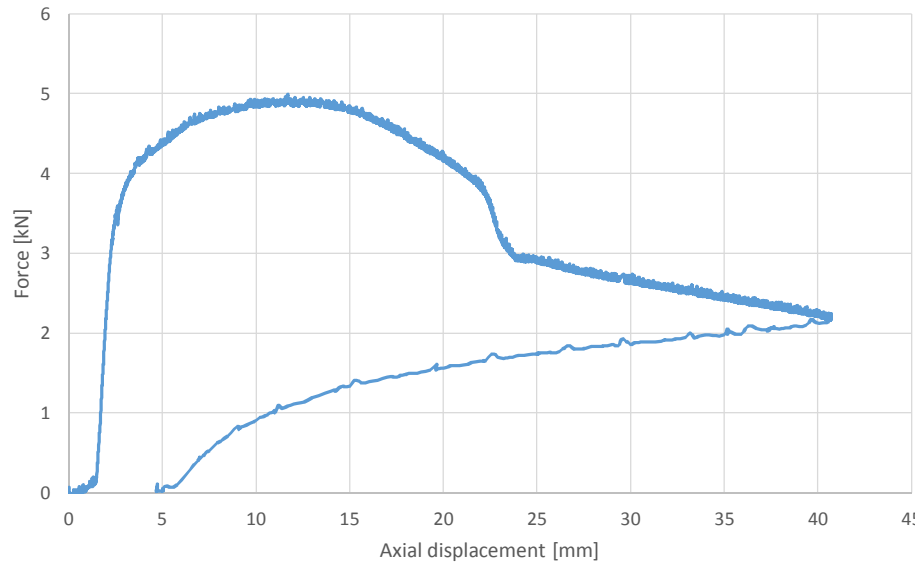

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	56	Test's code	C_SIN_FX 1500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard fixed	Date	15 May 2014 08:59:50
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	4.60	
Displacement at the maximal load	[mm]	15.10	
Description of the test			
Torsional buckling, later local plastic mechanism.			


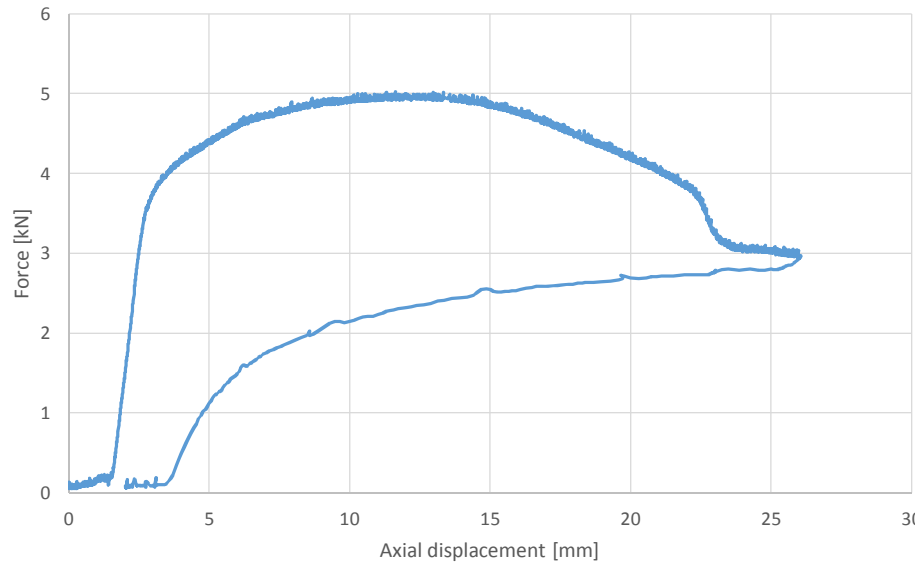

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	57	Test's code	C_SIN_FX 1500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard fixed	Date	15 May 2014 09:21:05
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	4.60	
Displacement at the maximal load	[mm]	14.90	
Description of the test			
Torsional buckling, later local plastic mechanism.			


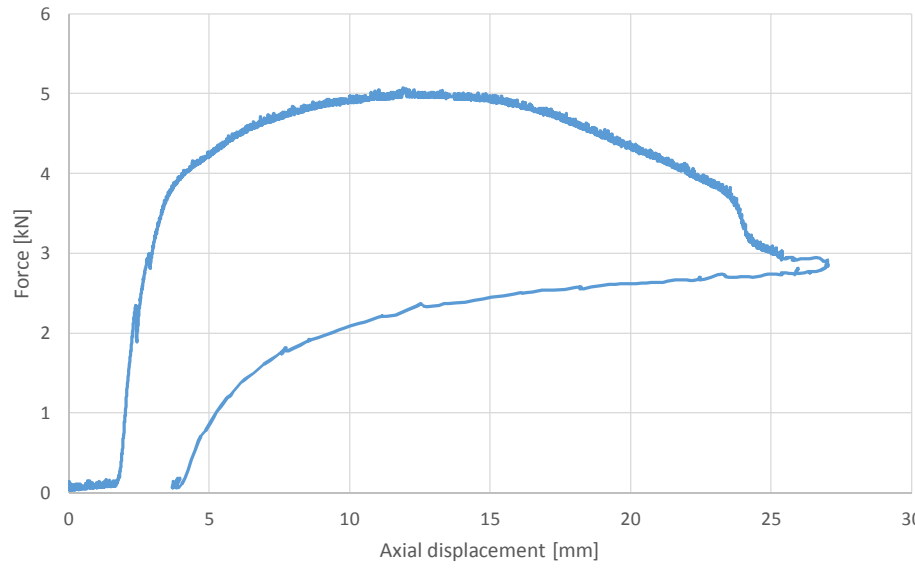

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	58	Test's code	C_SIN_FX 1500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard fixed	Date	15 May 2014 09:43:07
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	4.54	
Displacement at the maximal load	[mm]	27.51	
<b>Description of the test</b>			
<p>Torsional buckling, later local plastic mechanism. Note: the machine applied a slight unplanned chargeback after the torsional buckling.</p>			


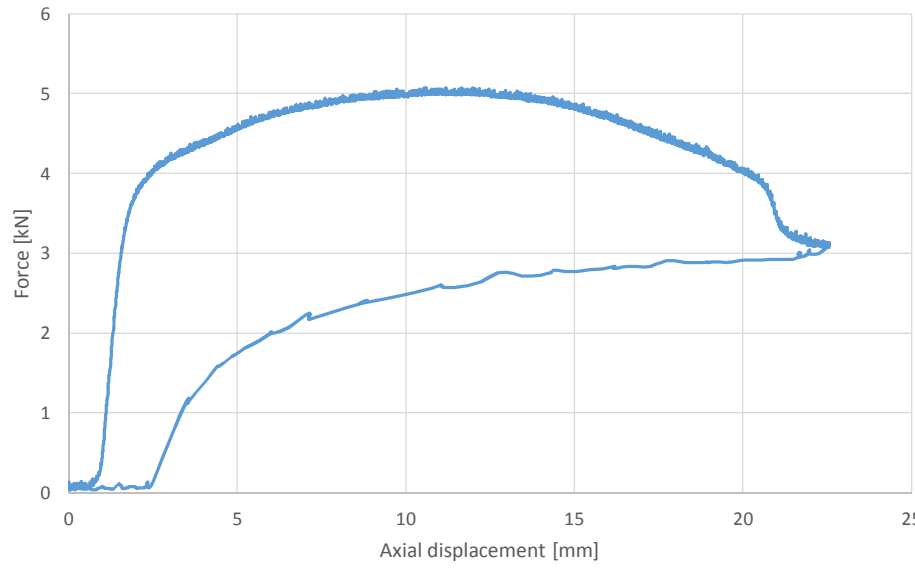
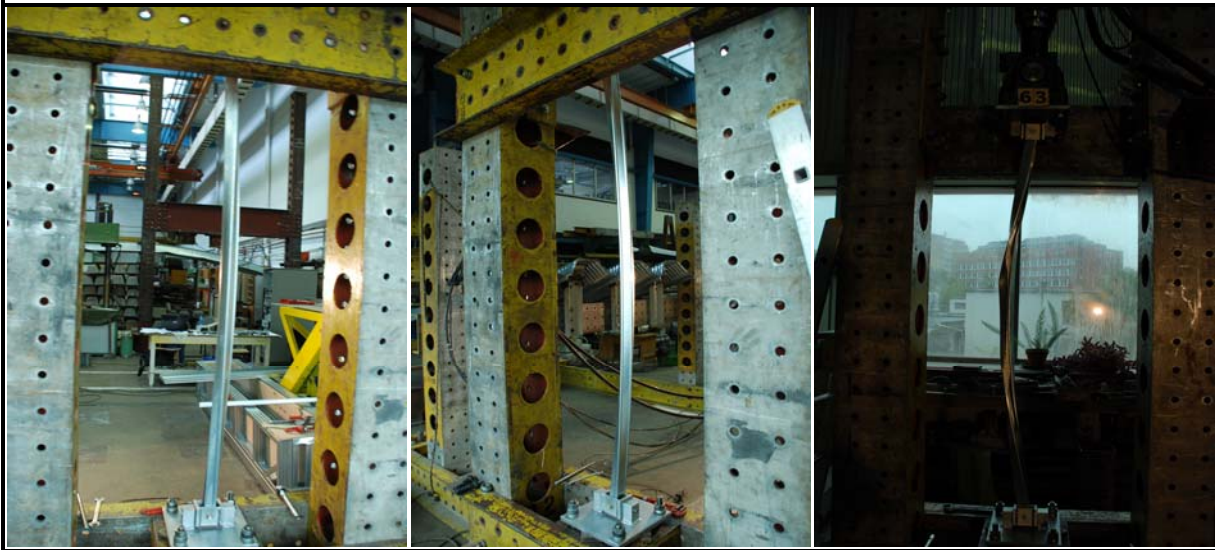
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	59	Test's code	C_DB_FX 1500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard fixed	Date	15 May 2014 10:18:48
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	28.06	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.76	
Description of the test			
Bolt shear at the upper side.			


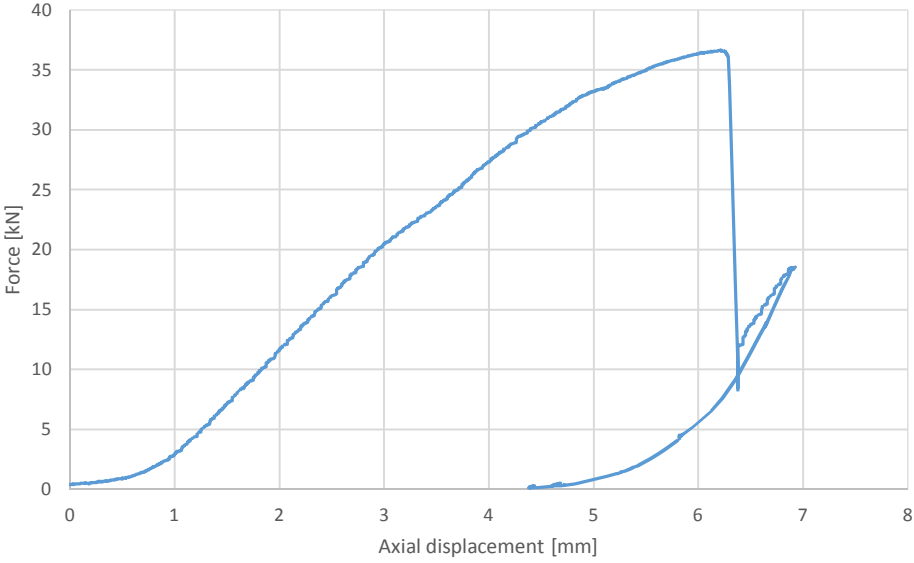




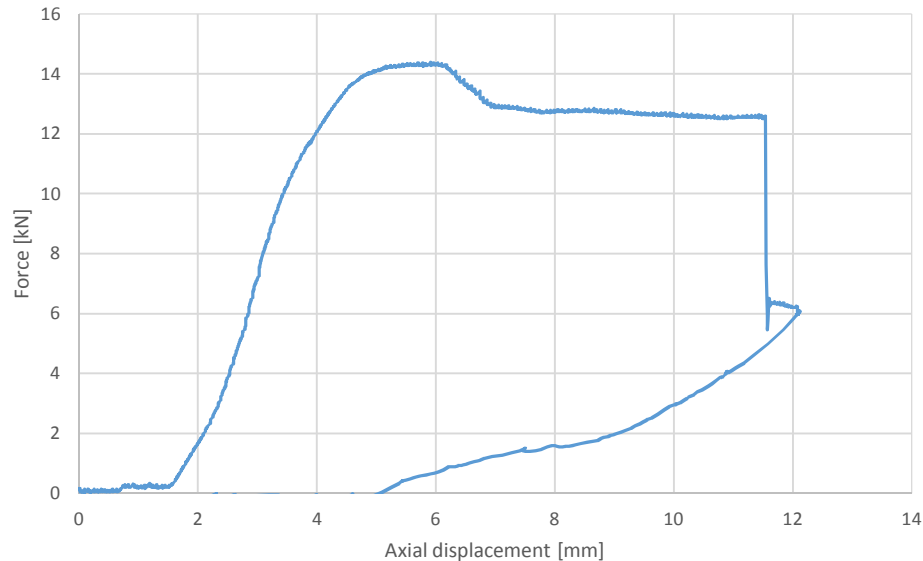

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	60	Test's code	C_SIN_HG 1500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard hinged	Date	15 May 2014 10:45:09
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	4.37	
Displacement at the maximal load	[mm]	11.76	
Description of the test			
Torsional buckling, later local mechanisms at the upper half.			


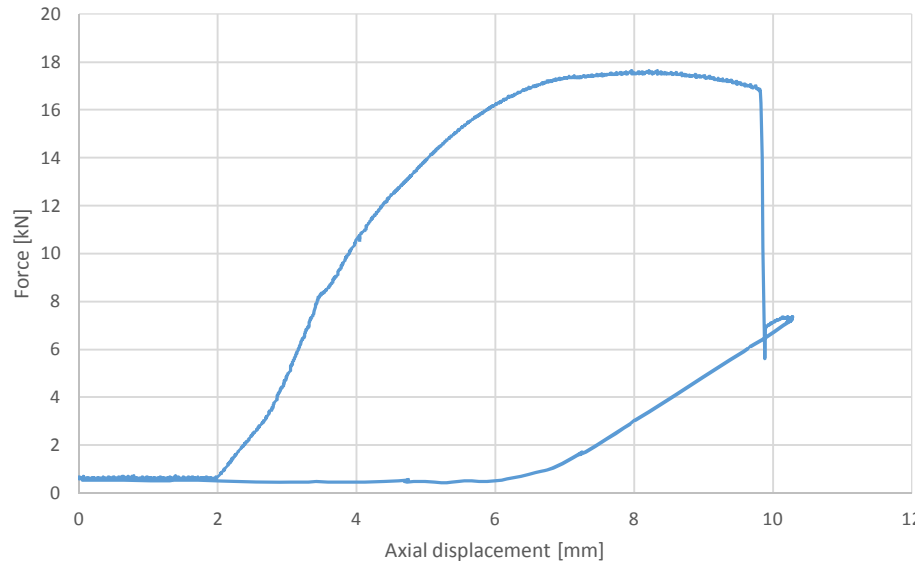

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	61	Test's code	C_SIN_HG 1500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard hinged	Date	15 May 2014 11:26:52
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	4.25	
Displacement at the maximal load	[mm]	11.68	
<b>Description of the test</b>			
Torsional buckling, later local mechanisms at the upper half.			


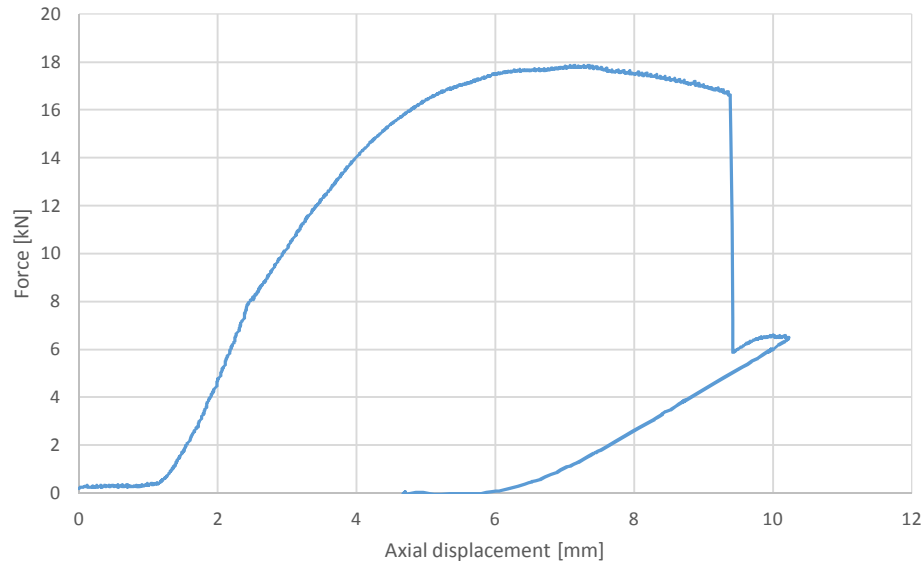



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	62	Test's code	C_SIN_HG 1500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard hinged	Date	15 May 2014 11:53:50
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	4.32	
Displacement at the maximal load	[mm]	11.96	
Description of the test			
Torsional buckling, later local mechanisms at the upper half.			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	63	Test's code	C_SIN_HG 1500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard hinged	Date	15 May 2014 12:18:50
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	4.29	
Displacement at the maximal load	[mm]	10.59	
<b>Description of the test</b>			
Torsional buckling, later local mechanisms at the upper half.			


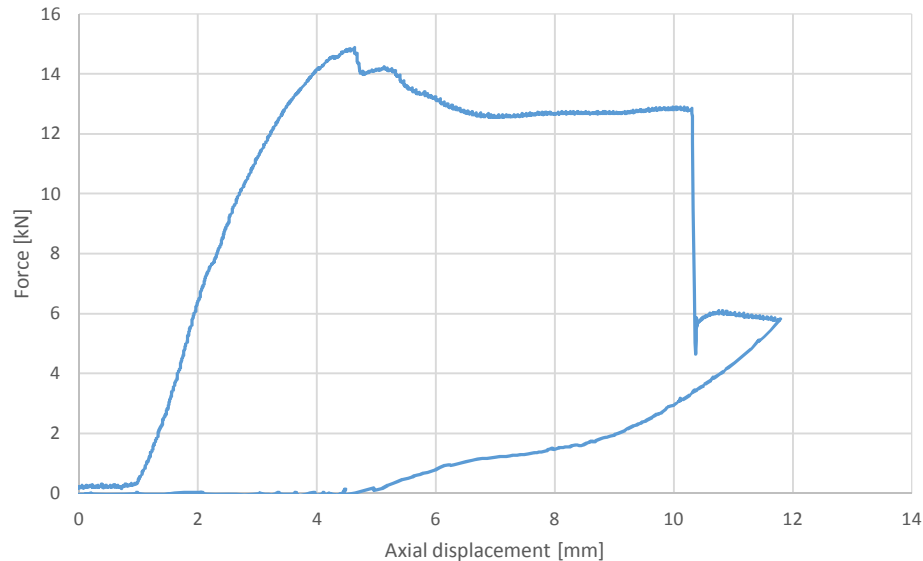
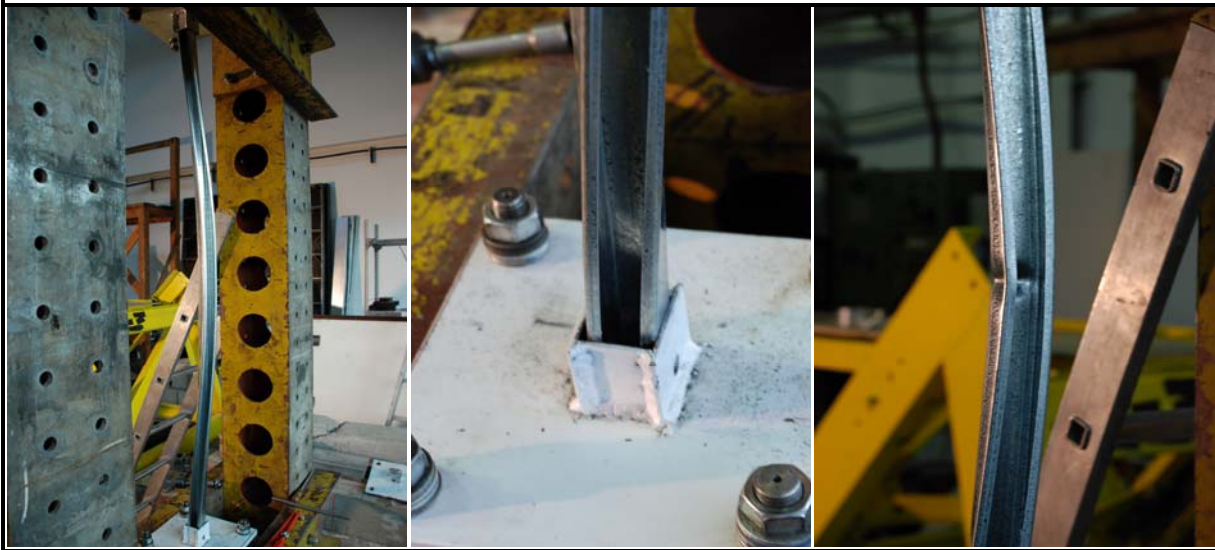
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	64	Test's code	C_DB_HG 1500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Standard hinged	Date	16 May 2014 11:00:22
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	36.66	
Displacement at the maximal load	[mm]	7.02	
Description of the test			
Bolt shear at the lower side.			


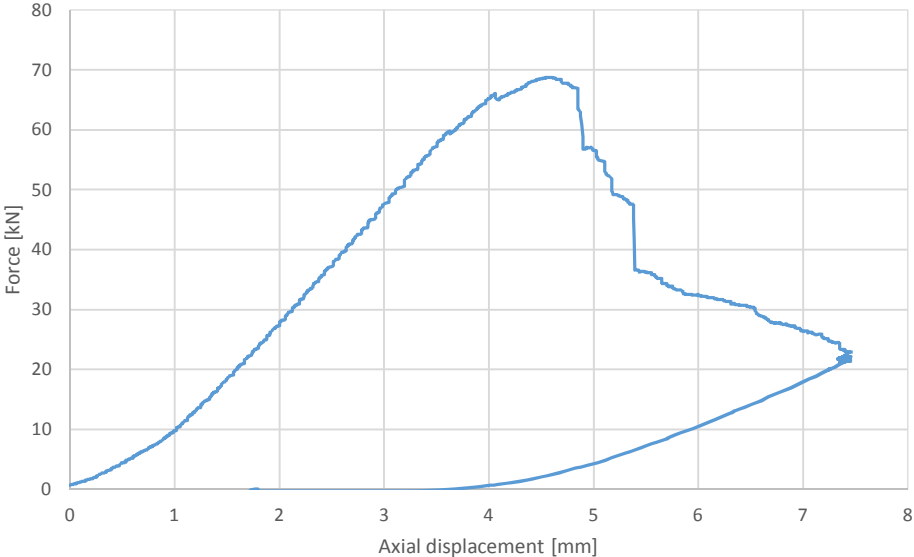

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	65	Test's code	C_SIN_CL 1500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 11:33:56
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	14.39	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.98	
Description of the test			
Torsional buckling, later local mechanism at the shorter belt.			


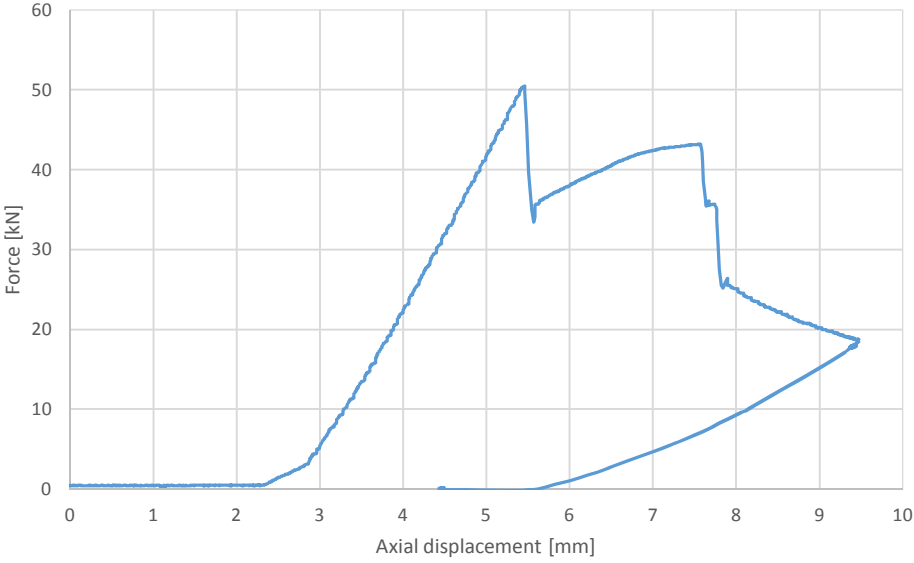

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	66	Test's code	C_SIN_CL 1500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 11:50:39
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	17.64	
Displacement at the maximal load	[mm]	8.27	
Description of the test			
Torsional buckling, later local mechanism at the longer belt.			


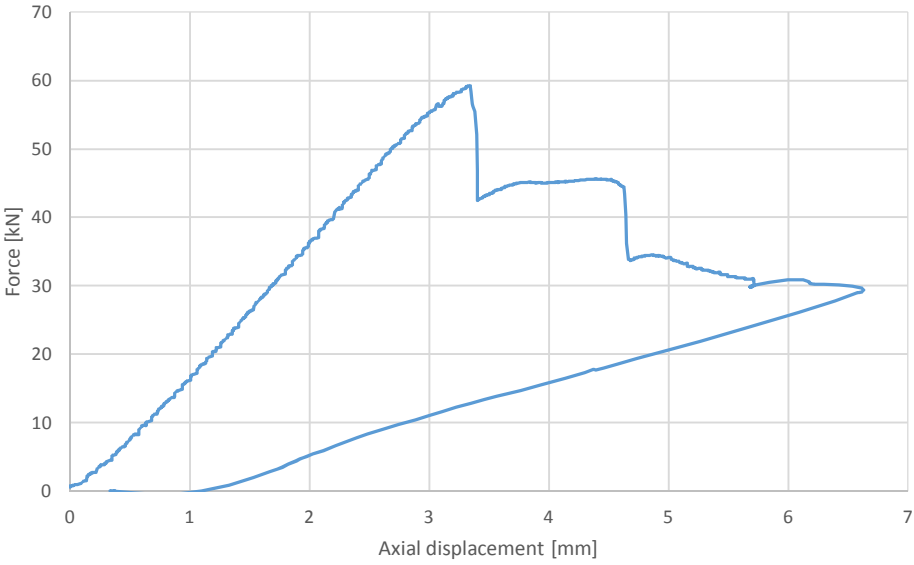

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	67	Test's code	C_SIN_CL 1500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 12:08:50
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
			
Resistance	[kN]	17.86	
Displacement at the maximal load	[mm]	7.11	
<b>Description of the test</b>			
Torsional buckling, later local mechanism at the longer belt.			


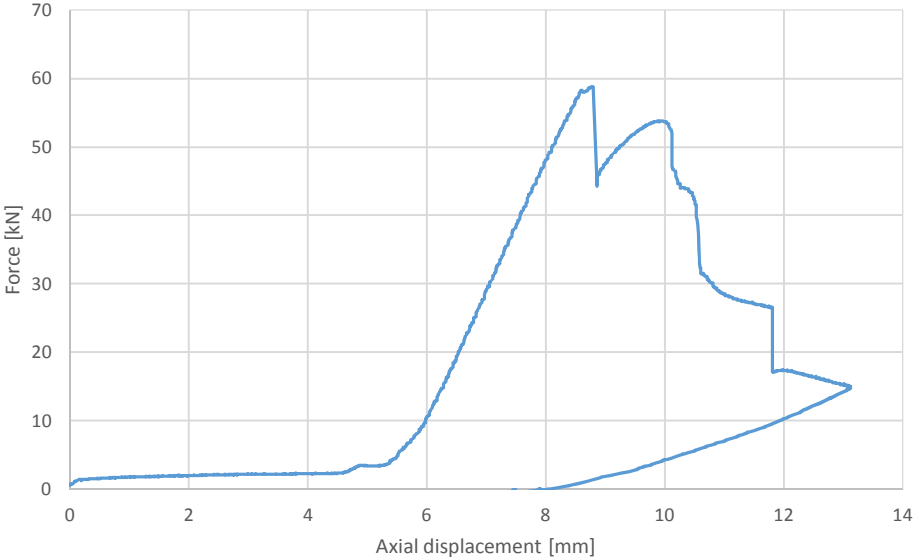



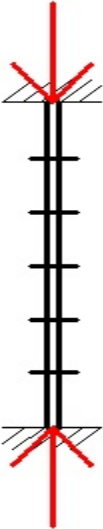
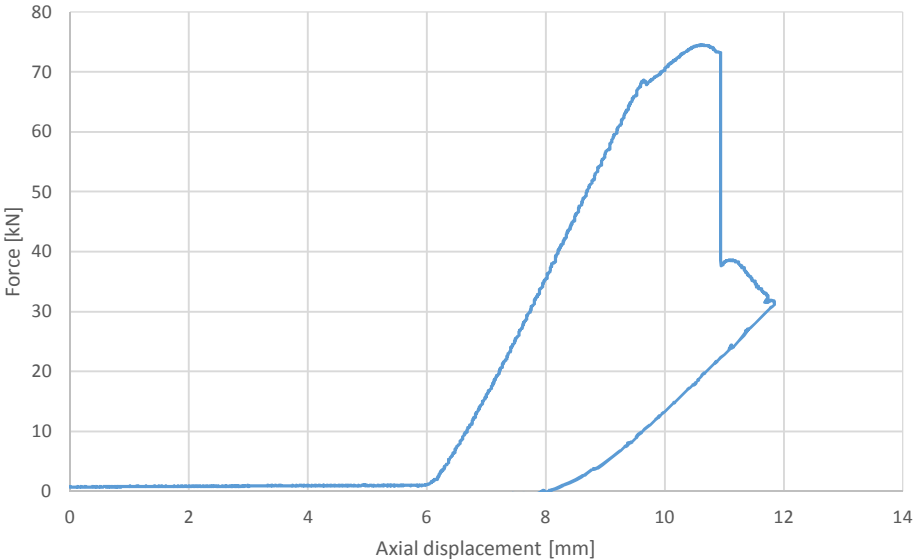

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	68	Test's code	C_SIN_CL 1500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 12:21:48
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	14.88	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.70	
Description of the test			
Torsional buckling, later local mechanism at the shorter belt.			


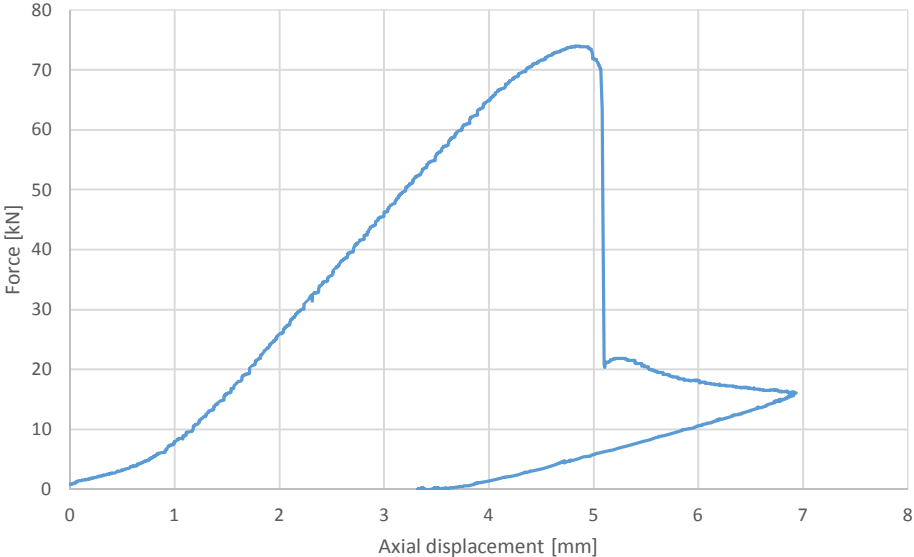

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	69	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 12:38:43
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	68.77	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.79	
Description of the test			
<p>Distortional, then double local plastic mechanism.</p>			


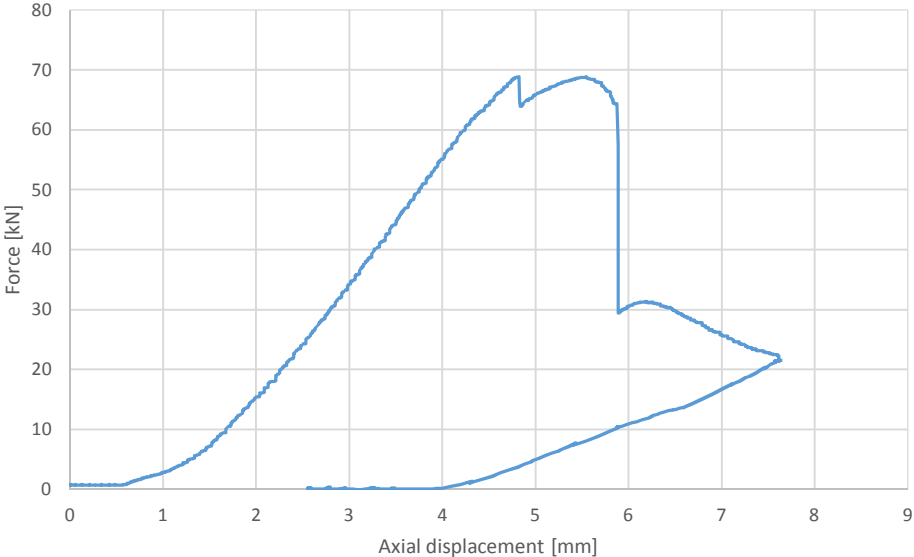

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	70	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 12:53:56
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	50.76	
Displacement at the maximal load	[mm]	9.40	
Description of the test			
<p>Suddenly full global separation and 2 different torsional buckling. Finally local plastic mechanism at the lips.</p>			

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	71	Test's code	
		C_DB_CL 1500 mm #3	
Element profile	Double	Nominal Length	
		1500 mm	
Support	Clamped	Date	
		16 May 2014 13:13:09	
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance		[kN]	59.25
Displacement at the maximal load		[mm]	3.65
Description of the test			
<p>Distortional buckling, then partial separation: 1 element with local plastic mechanism and the other with torsional buckling.</p>			


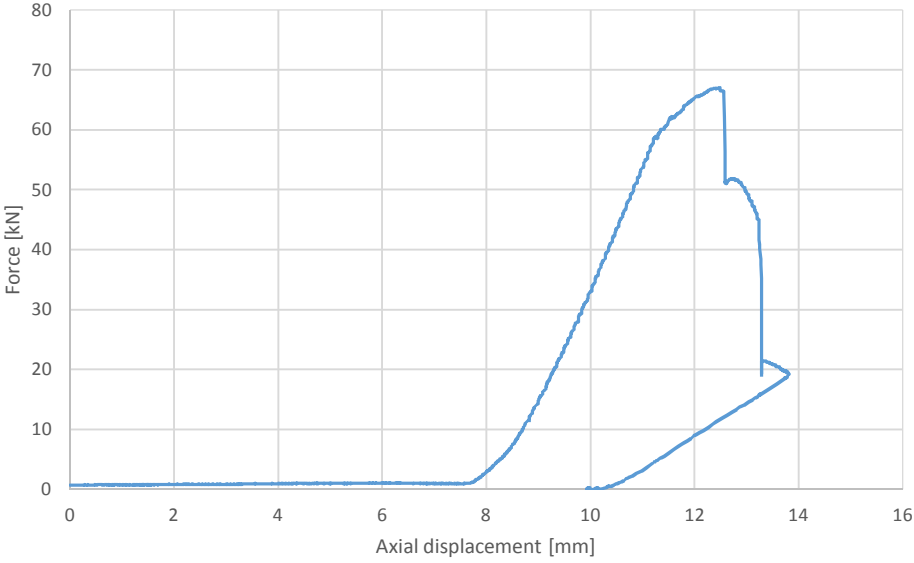

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	72	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 13:34:36
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	58.80	
Displacement at the maximal load	[mm]	9.41	
Description of the test			
<p>Suddenly full global separation and 2 different torsional buckling. Finally local plastic mechanism at the lips.</p>			

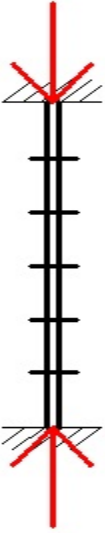
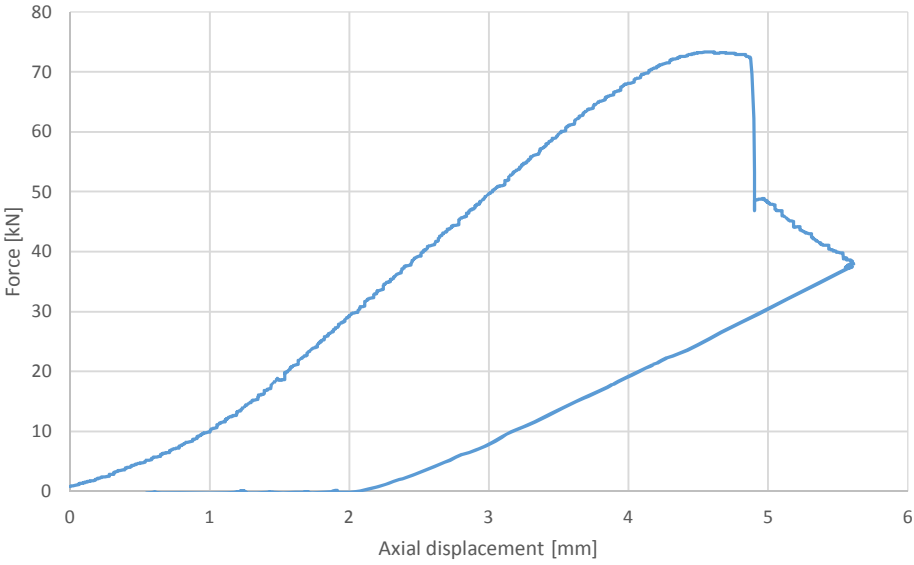
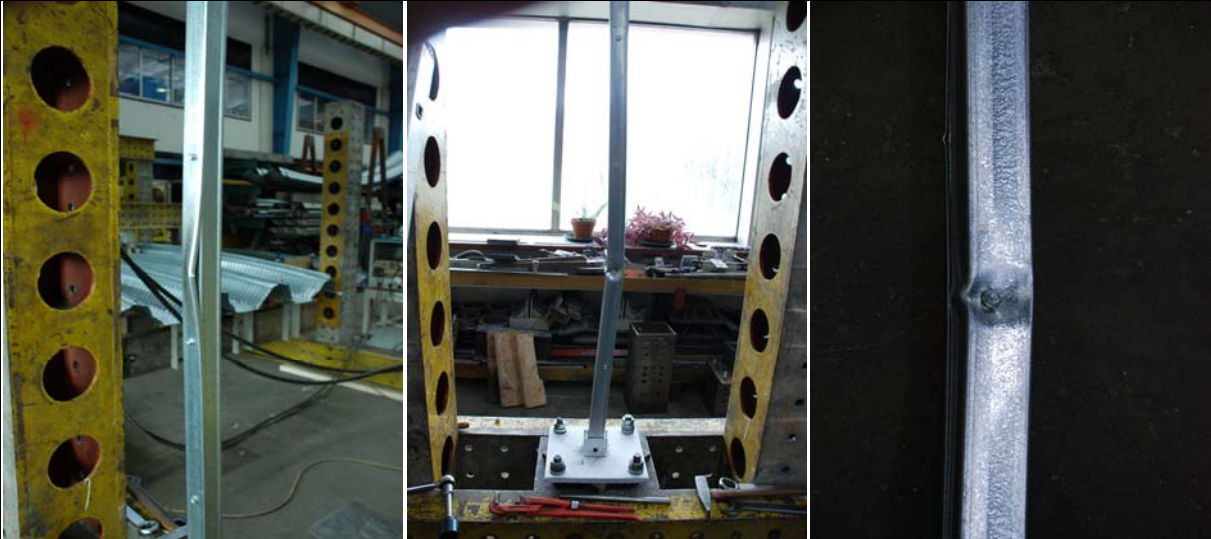
Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	73	Test's code	
		C_DBSCR_CL 1500 mm #1	
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	
		1500 mm	
Support	Clamped	Date	
		16 May 2014 13:55:24	
Test layout	Results		
 <p>5 screws/1500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance		[kN]	74.53
Displacement at the maximal load		[mm]	11.96
Description of the test			
Distortional buckling, later local plastic mechanism.			

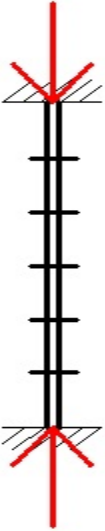
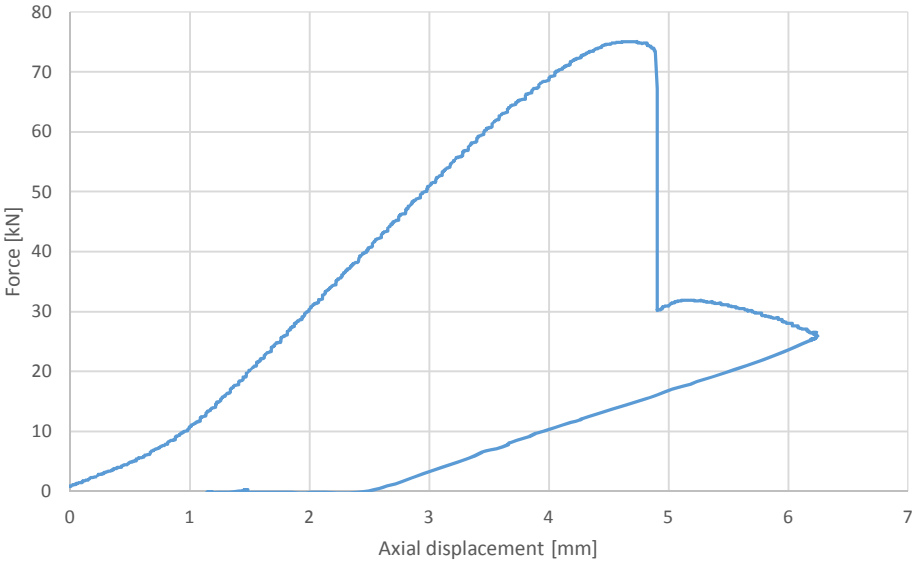

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	74	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #5
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 14:14:16
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	73.99	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.13	
<b>Description of the test</b>			
<p>The full cross-section cracked suddenly at the middle of the element.</p>			

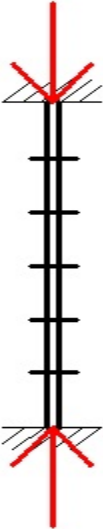
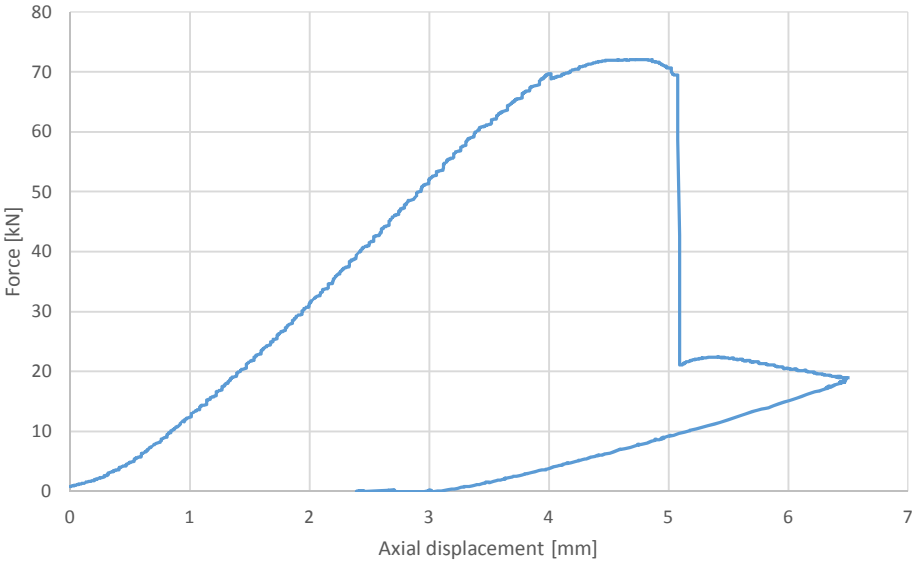

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	75	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #6
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 14:32:20
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	68.89	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.00	
<b>Description of the test</b>			
<p>Partial separation: 1 element with local plastic mechanism and the other with torsional buckling.</p>			


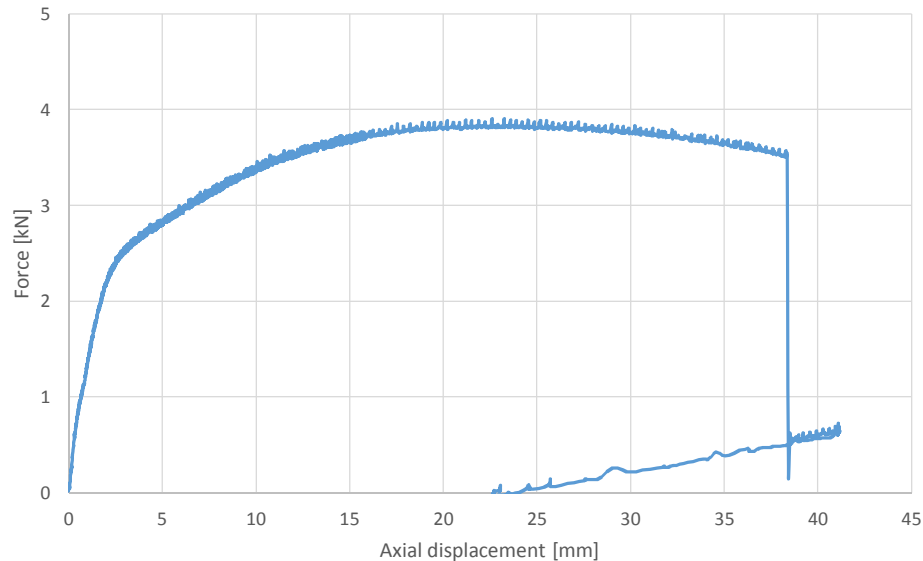




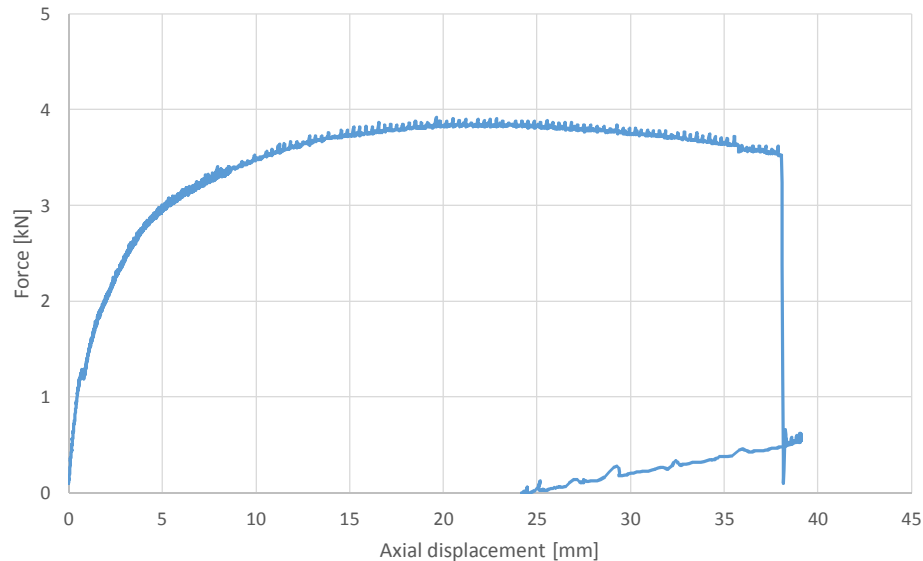
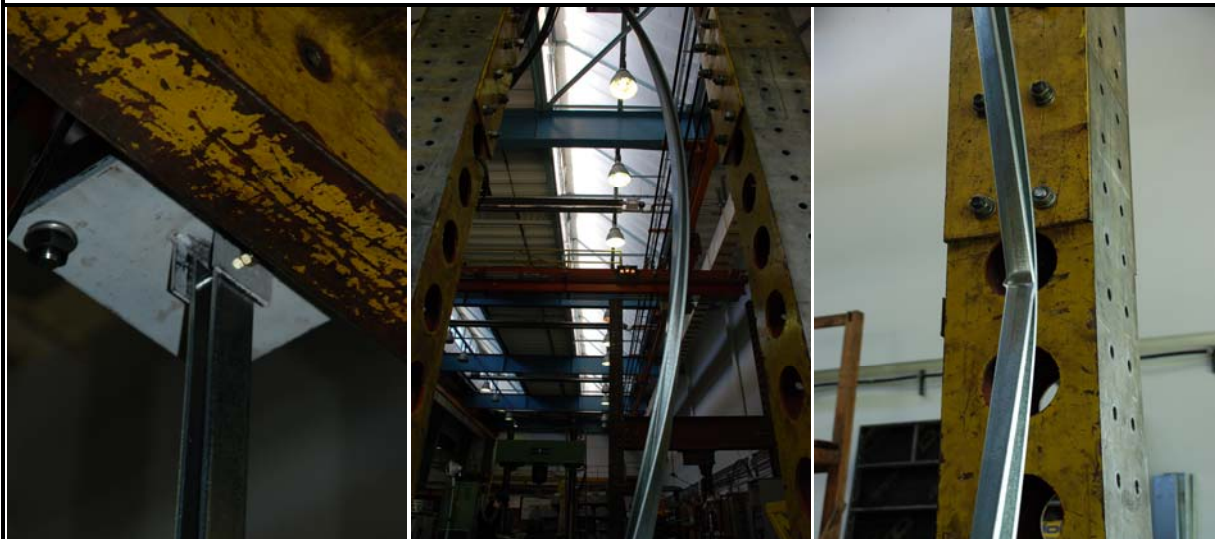
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	76	Test's code	C_DB_CL 1500 mm #7
Element profile	Double	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 14:47:59
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	67.06	
Displacement at the maximal load	[mm]	14.57	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional, then double local plastic mechanism.</p>			


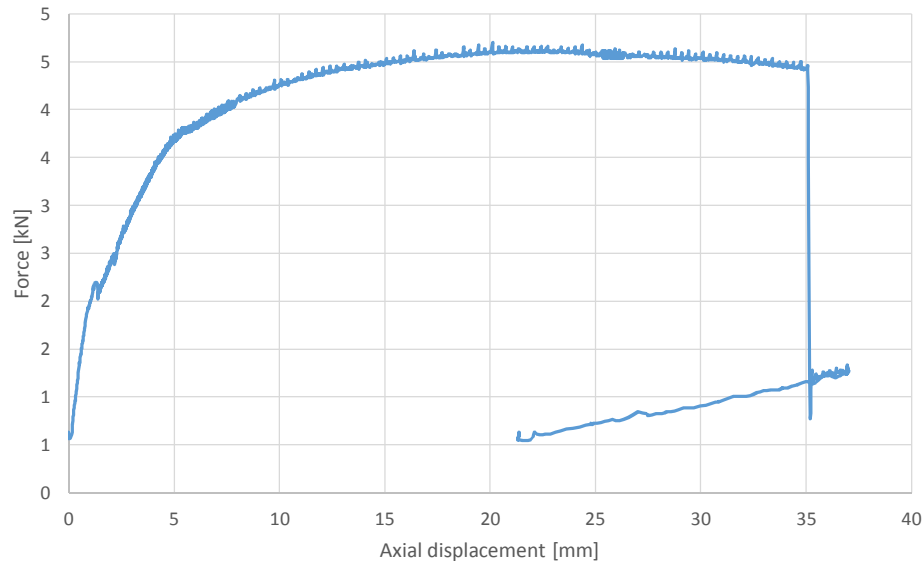

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	77	Test's code	C_DBSCR_CL 1500 mm #2
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 15:05:32
Test layout	Results		
 <p>5 screws/1500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	73.39	
Displacement at the maximal load	[mm]	5.06	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, later local plastic mechanism.</p>			


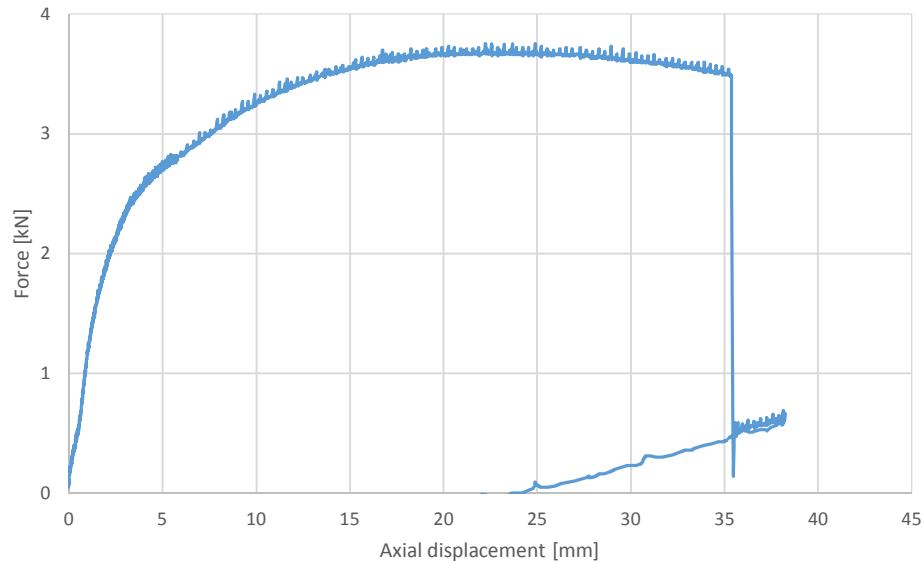
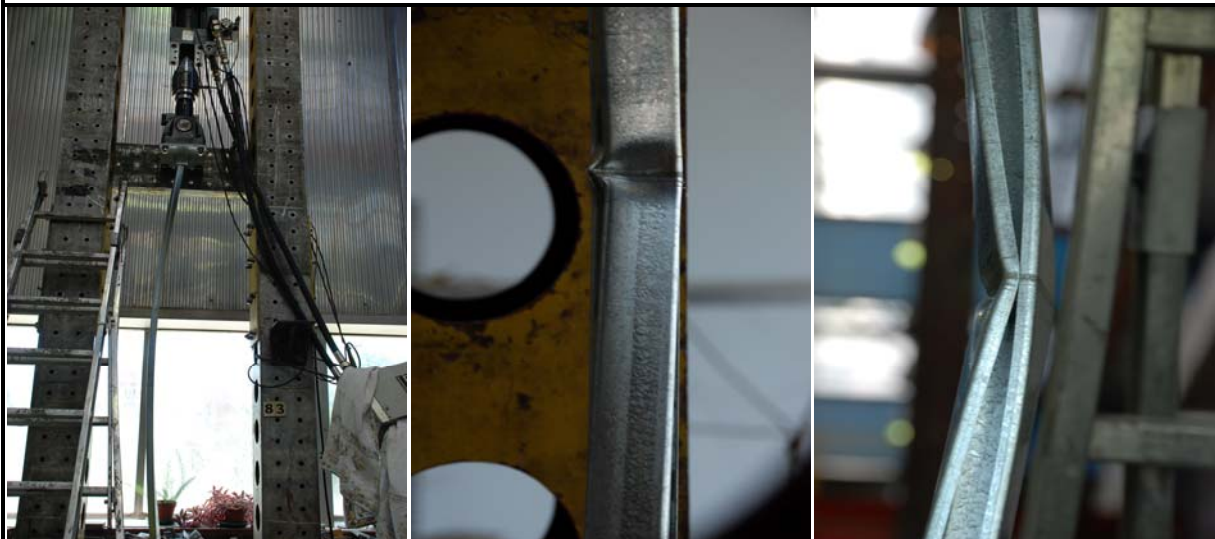
Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	78	Test's code	
		C_DBSCR_CL 1500 mm #3	
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	
		1500 mm	
Support	Clamped	Date	
		16 May 2014 15:14:35	
Test layout	Results		
 <p>5 screws/1500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance		[kN]	75.09
Displacement at the maximal load		[mm]	5.62
Description of the test			
Distortional buckling, later local plastic mechanism.			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	79	Test's code	C_DBSCR_CL 1500 mm #4
Element profile	Double Screwed	Nominal Length	1500 mm
Support	Clamped	Date	16 May 2014 15:24:04
Test layout	Results		
 <p>5 screws/1500 mm</p>			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	72.09	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.84	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, later local plastic mechanism.</p>			


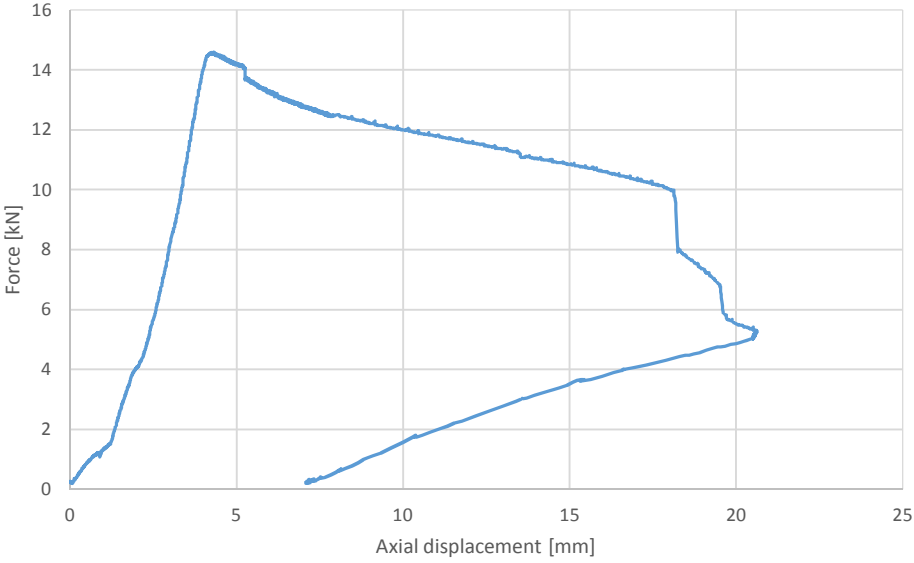

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	80	Test's code	C_SIN_FX 2500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 10:37:33
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	2.75	
Displacement at the maximal load	[mm]	22.63	
Description of the test			
<p>Torsional buckling (+distortional start), later local plastic mechanism. The speed of the displacement was slowed down till the maximal load due to the weak resistance.</p>			


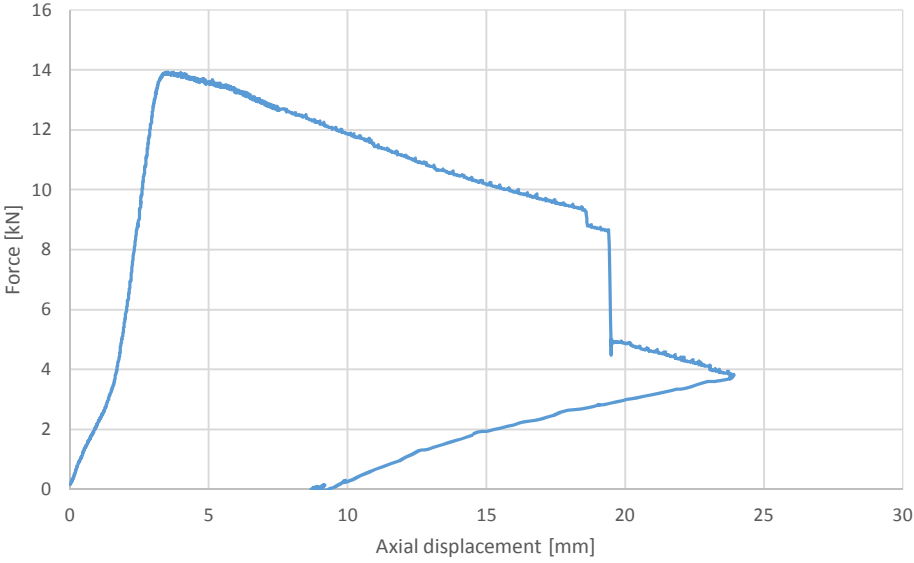

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	81	Test's code	C_SIN_FX 2500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 11:24:52
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	3.03	
Displacement at the maximal load	[mm]	19.68	
<b>Description of the test</b>			
<p>Torsional buckling (+distortional start), later local plastic mechanism. The speed of the displacement was slowed down till the maximal load due to the weak resistance.</p>			


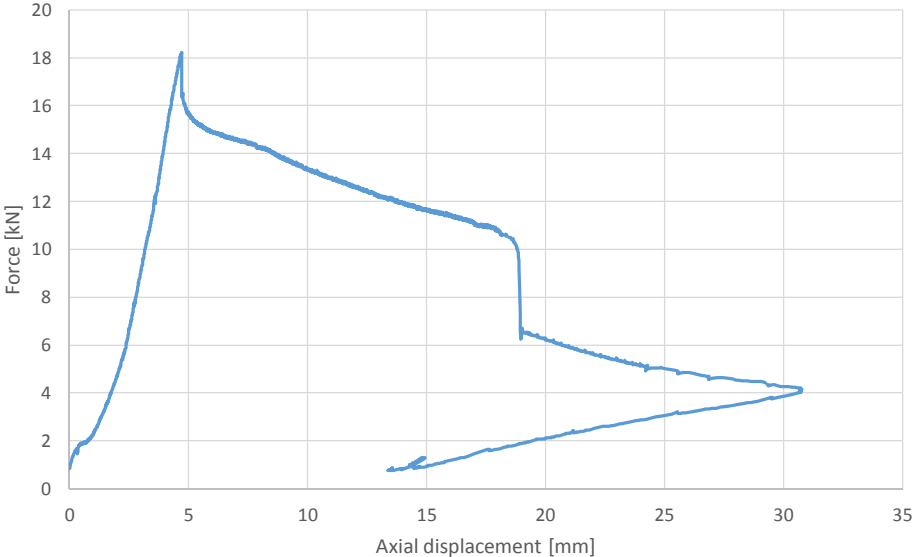

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	82	Test's code	C_SIN_FX 2500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 11:57:21
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	3.42	
Displacement at the maximal load	[mm]	20.15	
Description of the test			
<p>Torsional buckling (+distortional start), later local plastic mechanism. The speed of the displacement was slowed down till the maximal load due to the weak resistance.</p>			


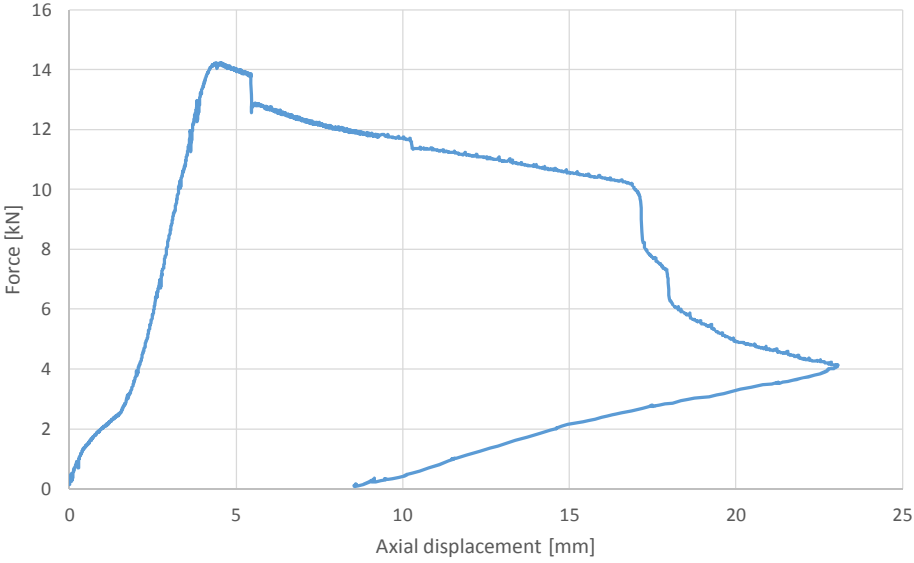

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	83	Test's code	C_SIN_FX 2500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 12:27:06
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	2.90	
Displacement at the maximal load	[mm]	22.27	
Description of the test			
<p>Torsional buckling (+distortional start), later local plastic mechanism. The speed of the displacement was slowed down till the maximal load due to the weak resistance.</p>			


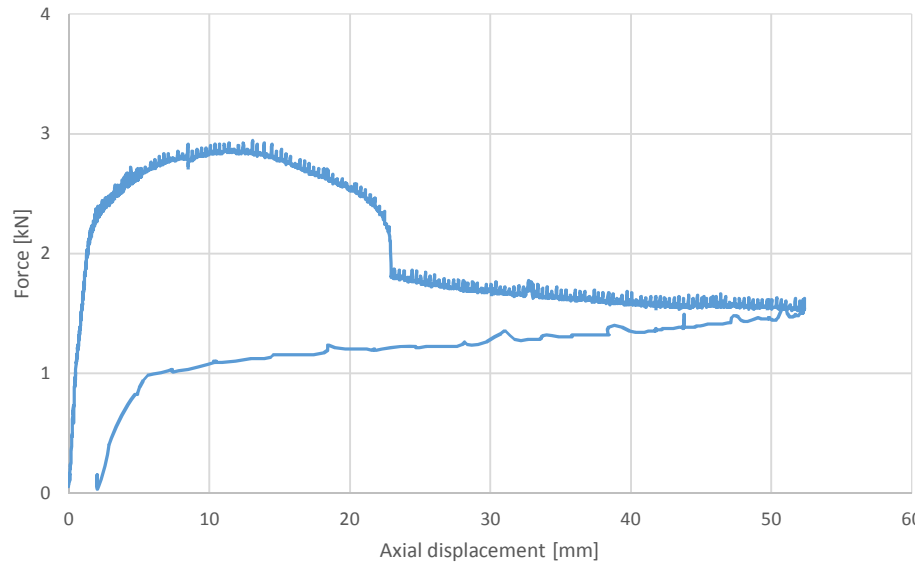
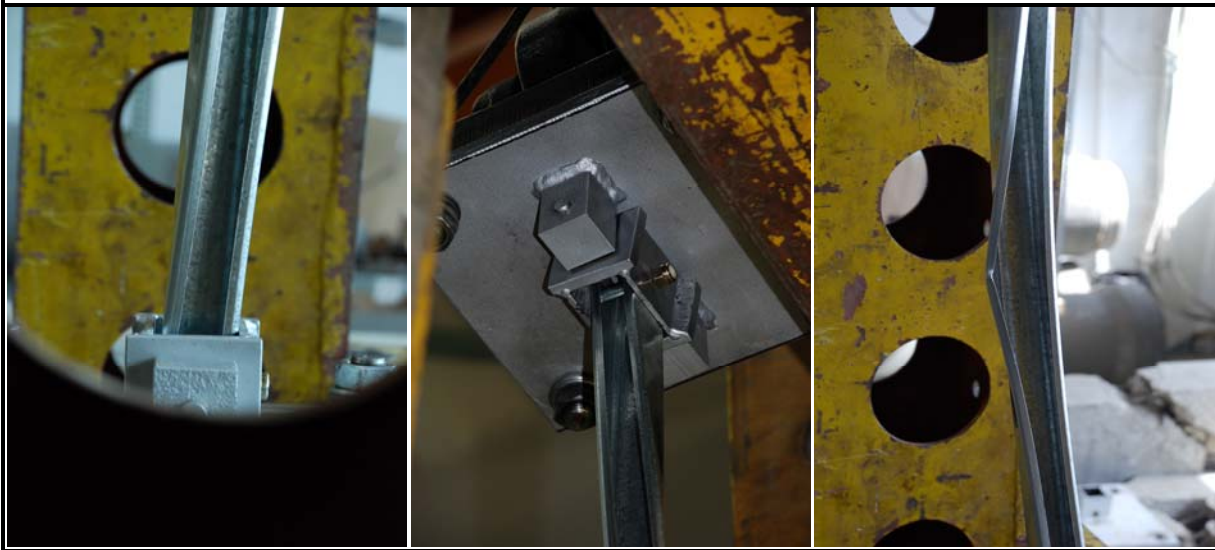



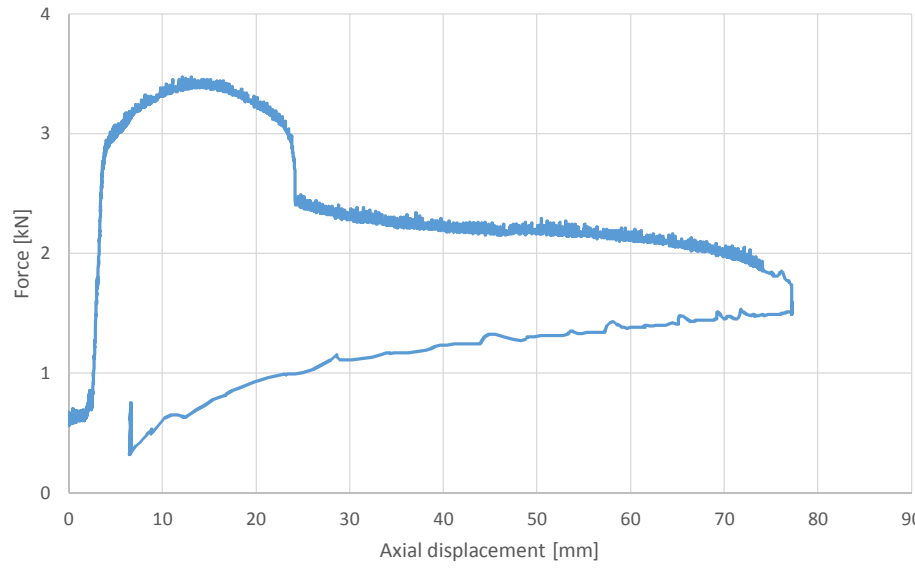

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Hydraulic actuator 250	
Test number	84	Test's code	C_DB_FX 2500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 13:00:48
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	14.60	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.10	
Description of the test			
<p>First distortional buckling, later global buckling, then one lip displaced at half-height which lead to local plastic mechanism later. Finally the whole cross-section cracked at half-height.</p>			


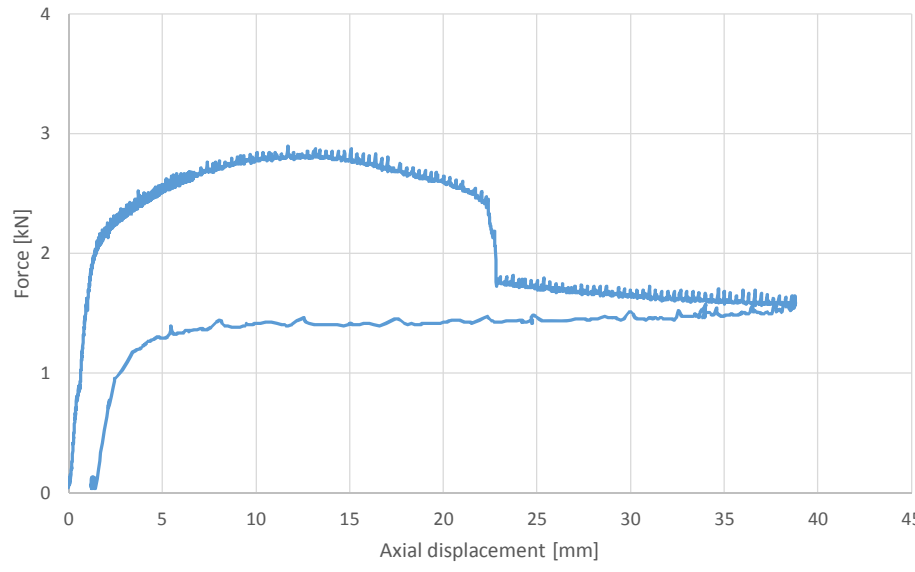
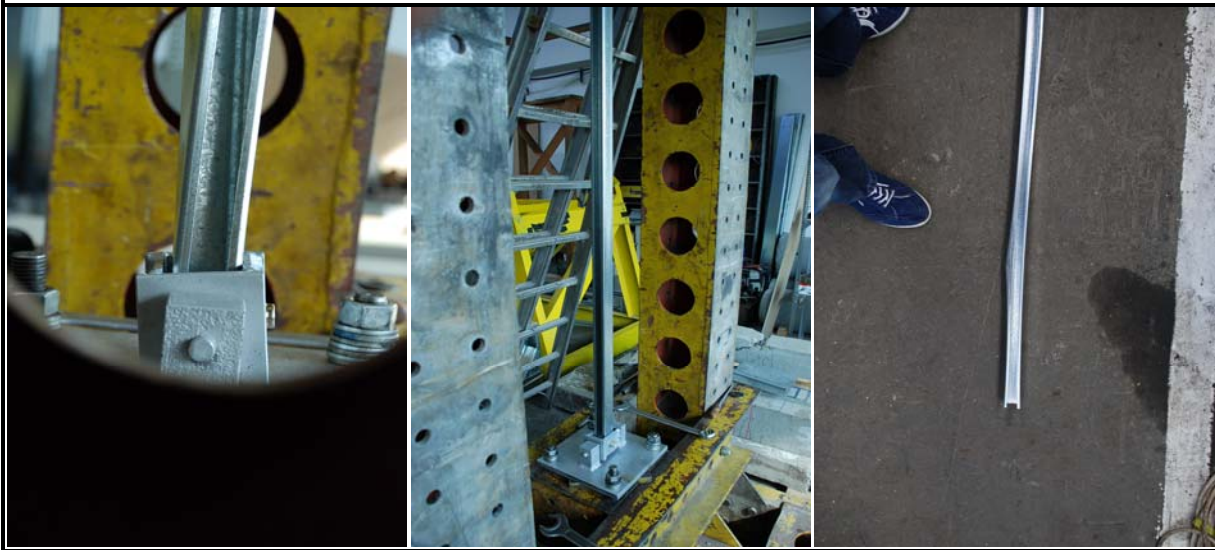
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	85	Test's code	C_DB_FX 2500 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 13:30:32
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	13.93	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.65	
<b>Description of the test</b>			
<p>First distortional buckling, later global buckling, then a pair of lips displaced suddenly. These lips cracked after a while. Finally the whole cross-section cracked here at half-height.</p>			


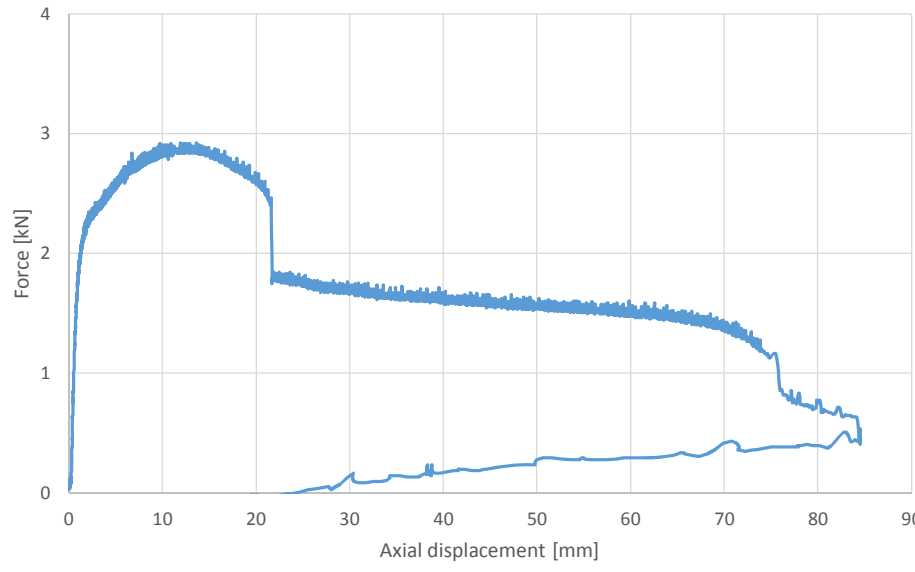

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	86	Test's code	C_DB_FX 2500 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 13:53:25
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	15.60	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.75	
<b>Description of the test</b>			
<p>First distortional buckling, later global buckling, then one lip displaced at half-height which lead to local plastic mechanism later. This local plastic mechanism had slighter effect than at #84. Finally the whole cross-section cracked at half-height.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	87	Test's code	C_DB_FX 2500 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard fixed	Date	19 May 2014 14:34:22
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	14.24	
Displacement at the maximal load	[mm]	4.47	
<b>Description of the test</b>			
<p>First distortional buckling, later global buckling, then one lip displaced at half-height which lead to local plastic mechanism later. Finally the whole cross-section cracked at half-height.</p>			


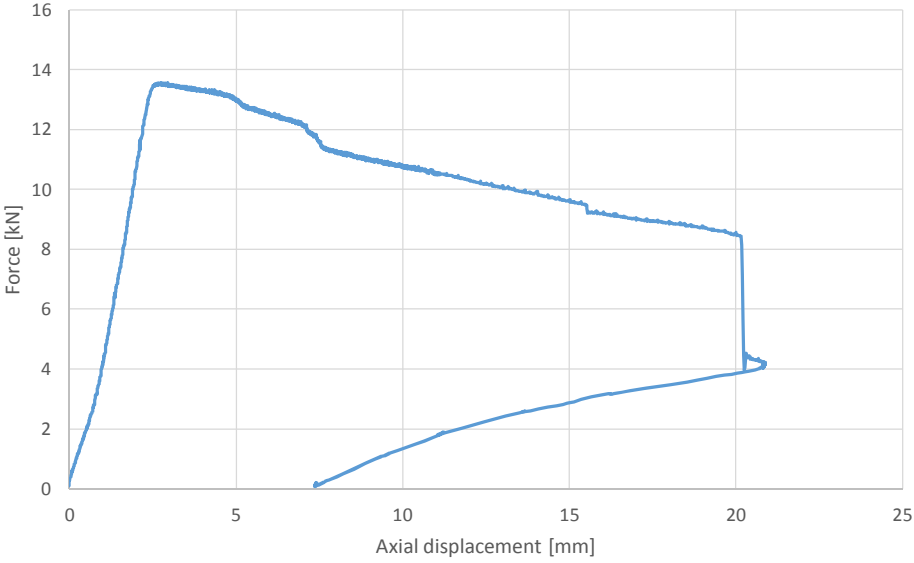

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	88	Test's code	C_SIN_HG 2500 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 15:16:36
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
<b>Resistance</b>	<b>[kN]</b>	2.46	
<b>Displacement at the maximal load</b>	<b>[mm]</b>	13.13	
<b>Description of the test</b>			
<p>Torsional buckling, later local plastic mechanism. The extra degree of freedom was not used till a soft touch, when suddenly the support changed position, although this had no effect on the diagram. The local plastic mechanism appeared at the lower half of the beam as the inflexion could also be found here before the mechanism.</p>			


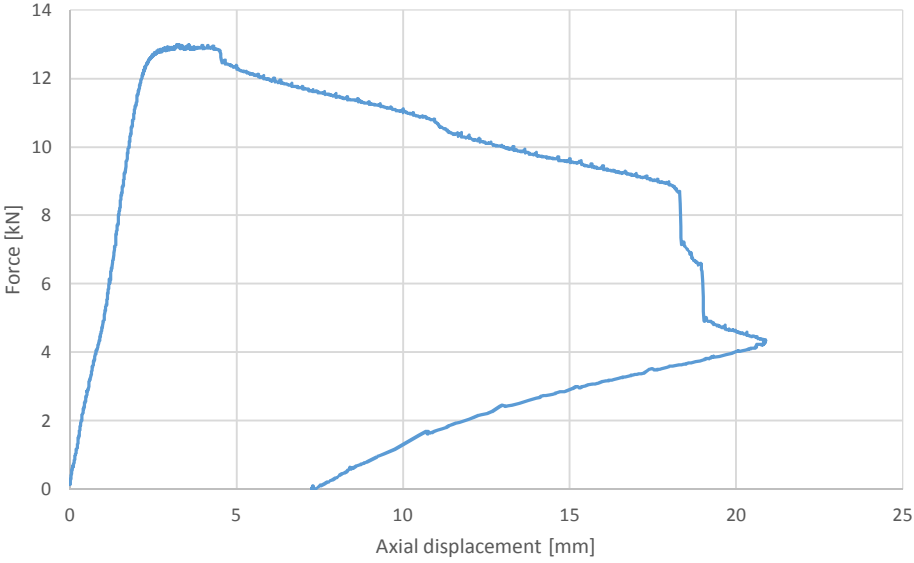

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	89	Test's code	C_SIN_HG 2500 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 15:39:21
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	2.40	
Displacement at the maximal load	[mm]	12.16	
<b>Description of the test</b>			
<p>Torsional buckling, later local plastic mechanism. The local plastic mechanism appeared at the lower half of the beam but the inflexion in the elastic stage was at half-height.</p>			


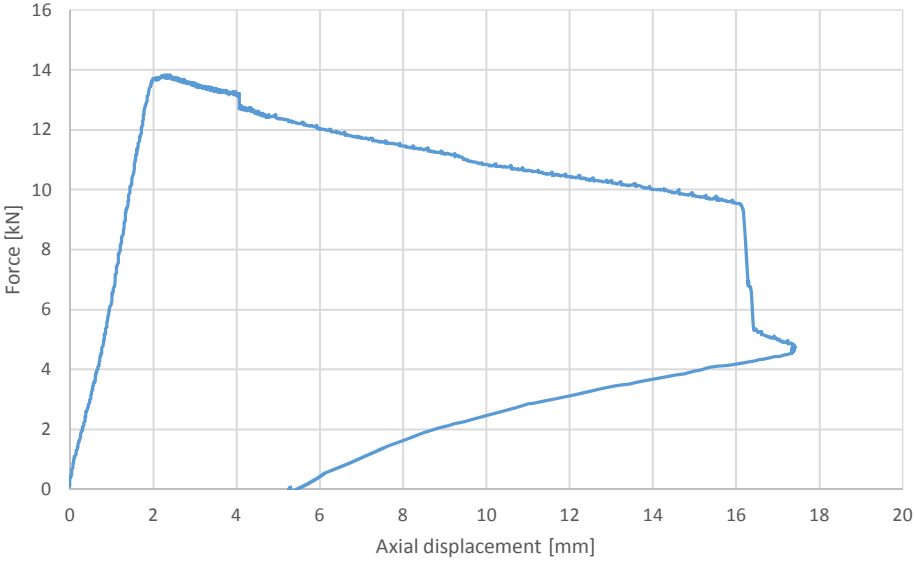

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	90	Test's code	C_SIN_HG 2500 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 16:17:20
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	2.31	
Displacement at the maximal load	[mm]	11.77	
Description of the test			
<p>Torsional buckling, later local plastic mechanism. The local plastic mechanism appeared at the lower half of the beam but the inflexion in the elastic stage was at half-height.</p>			


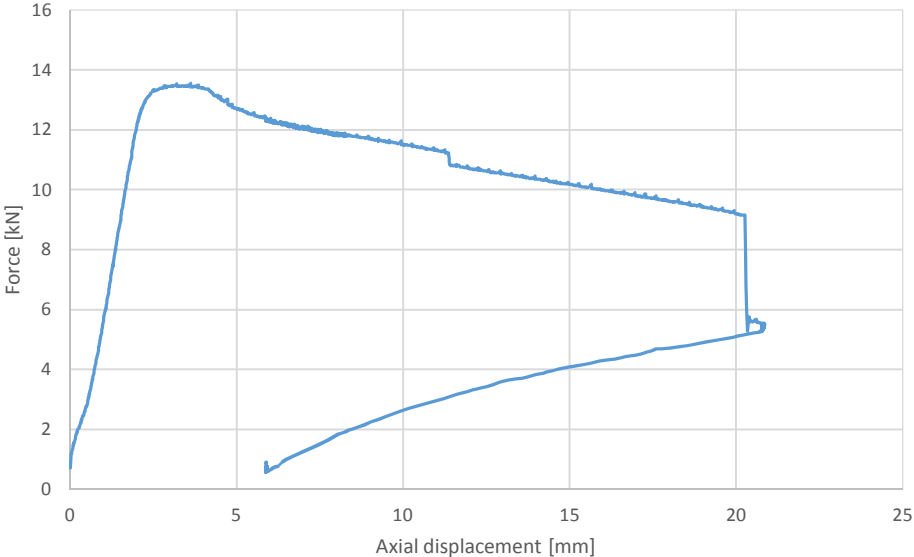

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	91	Test's code	C_SIN_HG 2500 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 16:44:06
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	2.35	
Displacement at the maximal load	[mm]	11.98	
<b>Description of the test</b>			
<p>Torsional buckling, later local plastic mechanism. The local plastic mechanism appeared at the upper half of the beam but the inflexion in the elastic stage was at half-height.</p>			


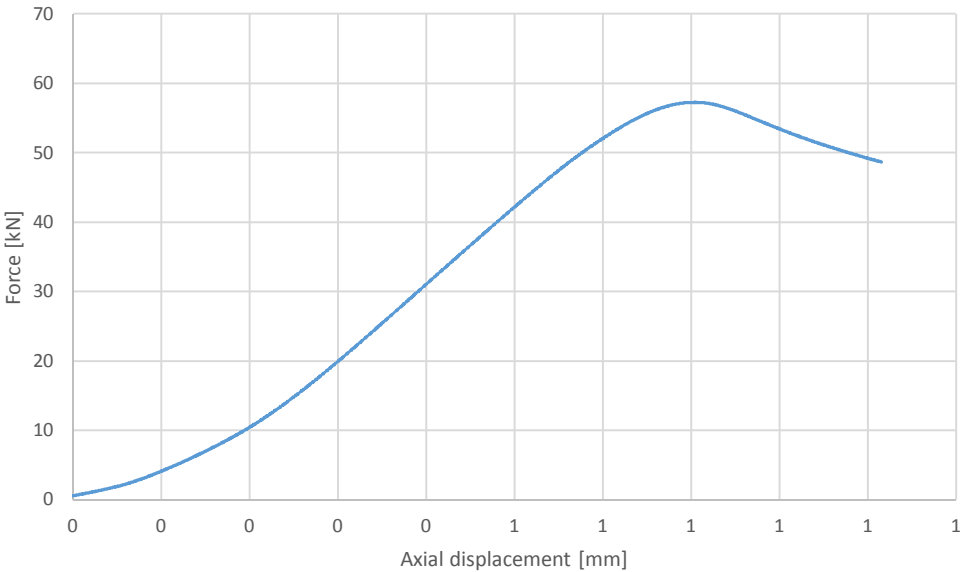




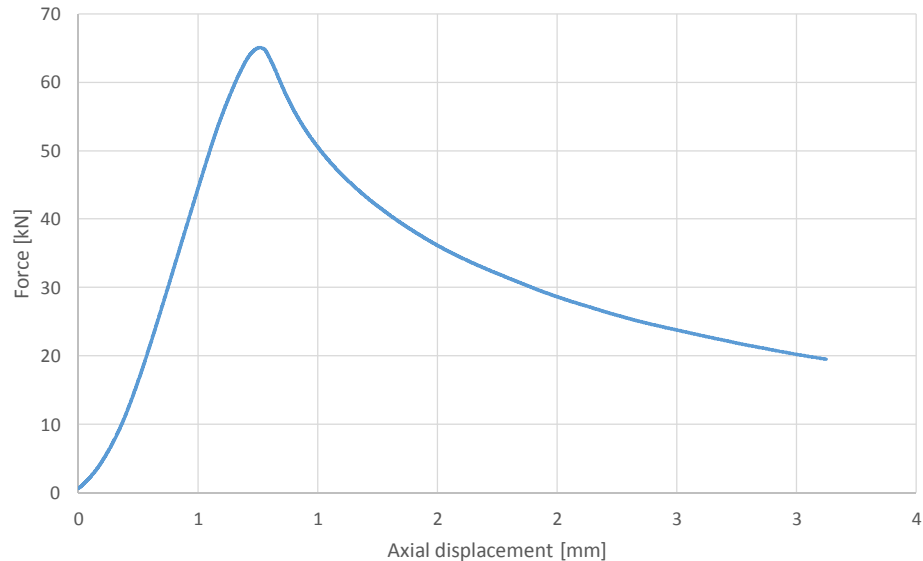


Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	92	Test's code	C_DB_HG 2500 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 17:22:54
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.57	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.97	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, global buckling and later local plastic mechanism appeared.</p>			


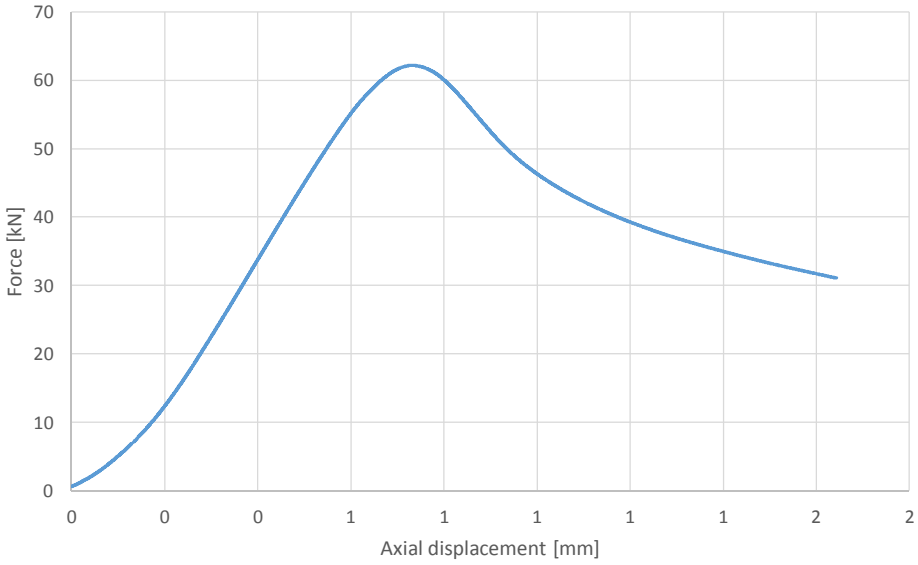
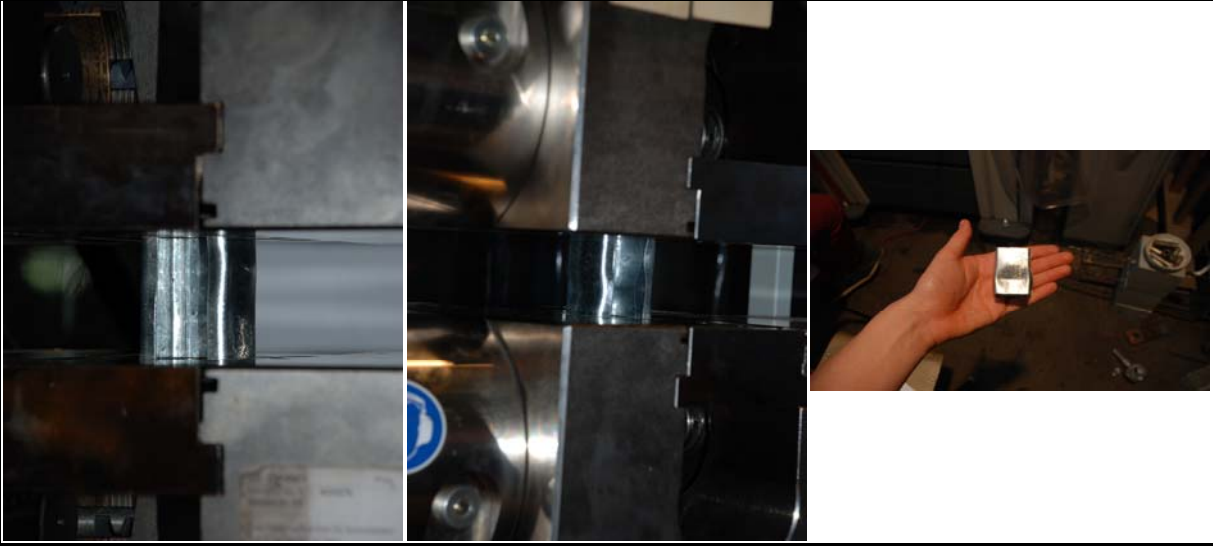
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	93	Test's code	C_DB_HG 2500 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 17:49:02
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	12.99	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.29	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, global buckling and later local plastic mechanism appeared.</p>			


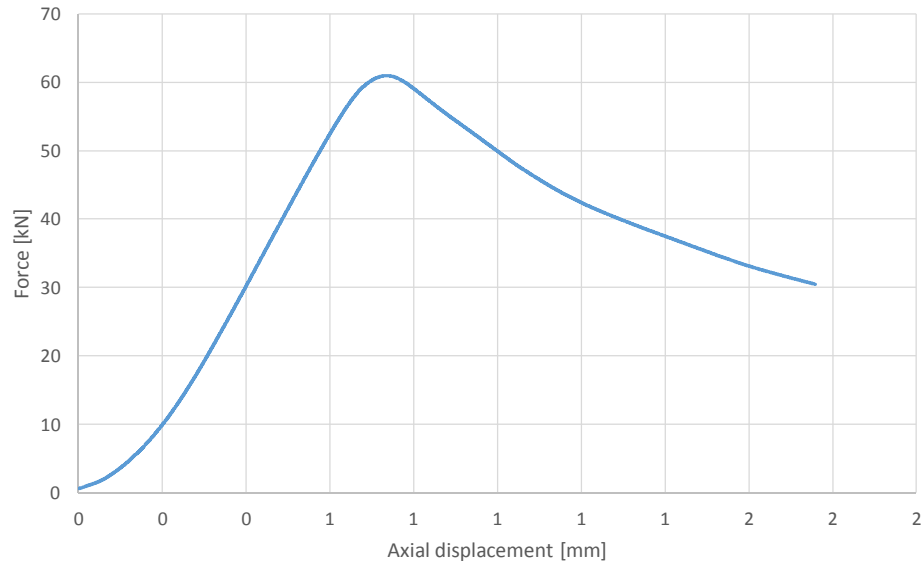
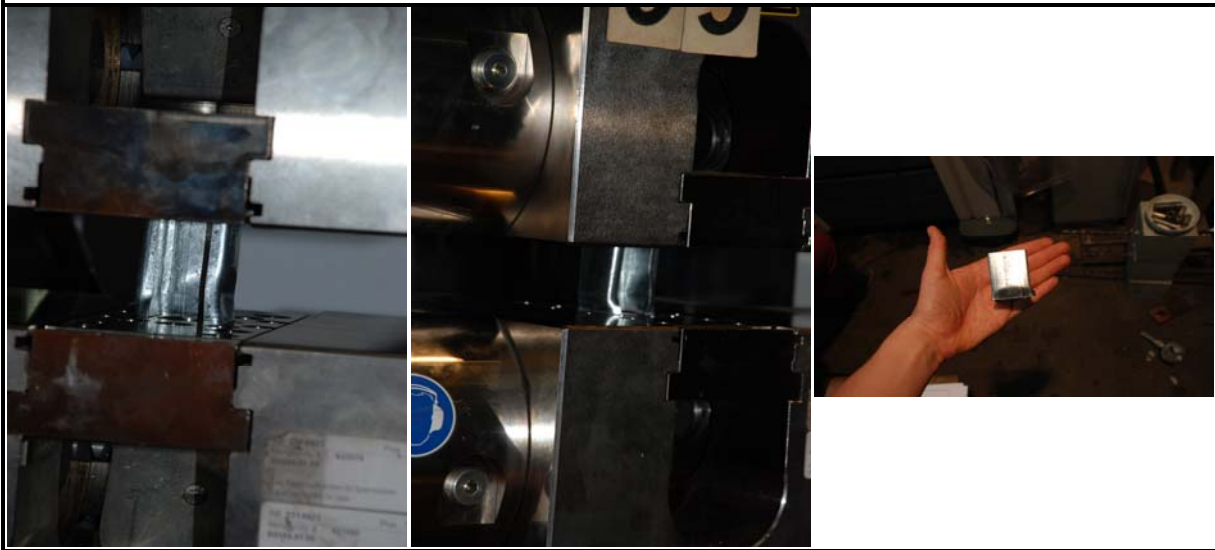
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	94	Test's code	C_DB_HG 2500 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 18:11:10
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.84	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.33	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, global buckling and later local plastic mechanism appeared.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	95	Test's code	C_DB_HG 2500 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	2500 mm
Support	Standard hinged	Date	19 May 2014 18:29:35
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	13.55	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.66	
Description of the test			
<p>Distortional buckling, global buckling and later local plastic mechanism appeared.</p>			


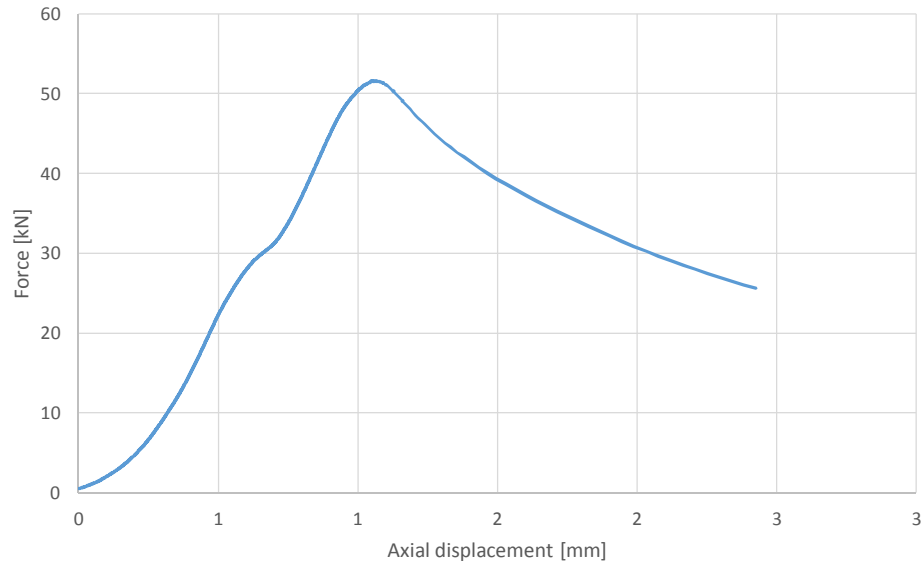



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Hydraulic actuator 250
Test number	96	Test's code	C_SIN_CL 50 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	50 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 10:49:08
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	57.23	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.73	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. Note: The machine was fast. After this test it was corrected.</p>			


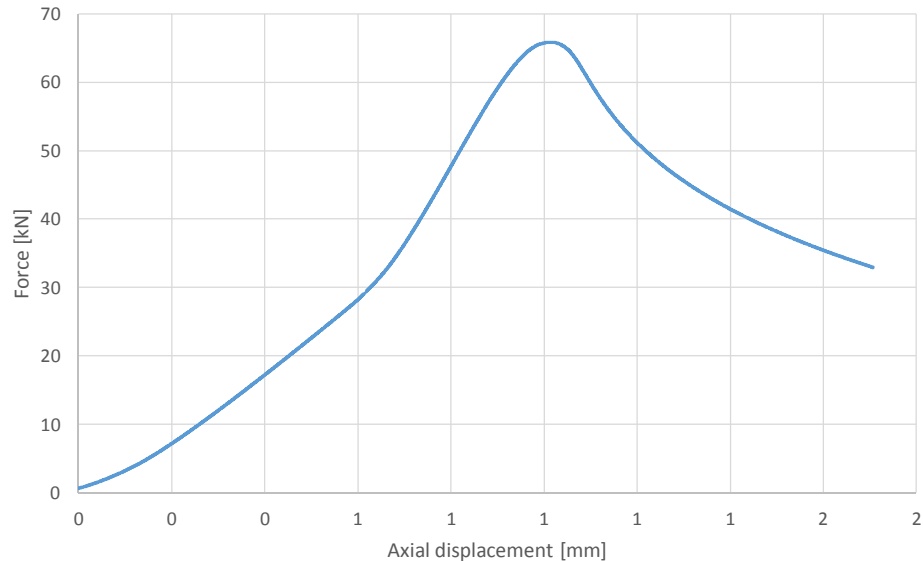

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák																		
		Machine type	Zwick Roell Z400																		
Test number	97	Test's code	C_SIN_CL 50 mm #2																		
Element profile	Single	Nominal Length	50 mm																		
Support	Clamped	Date	27 May 2014 10:53:44																		
Test layout	Results																				
	 <table border="1"> <caption>Approximate data points from the Force vs. Axial displacement graph</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>15</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>45</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>65</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>45</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>35</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>25</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	0.5	15	1.0	45	1.5	65	2.0	45	2.5	35	3.0	25	3.5	20
Axial displacement [mm]	Force [kN]																				
0	0																				
0.5	15																				
1.0	45																				
1.5	65																				
2.0	45																				
2.5	35																				
3.0	25																				
3.5	20																				
Pictures																					
																					
Resistance	[kN]	65.04																			
Displacement at the maximal load	[mm]	2.50																			
Description of the test																					
Distortional buckling and local plastic mechanism.																					


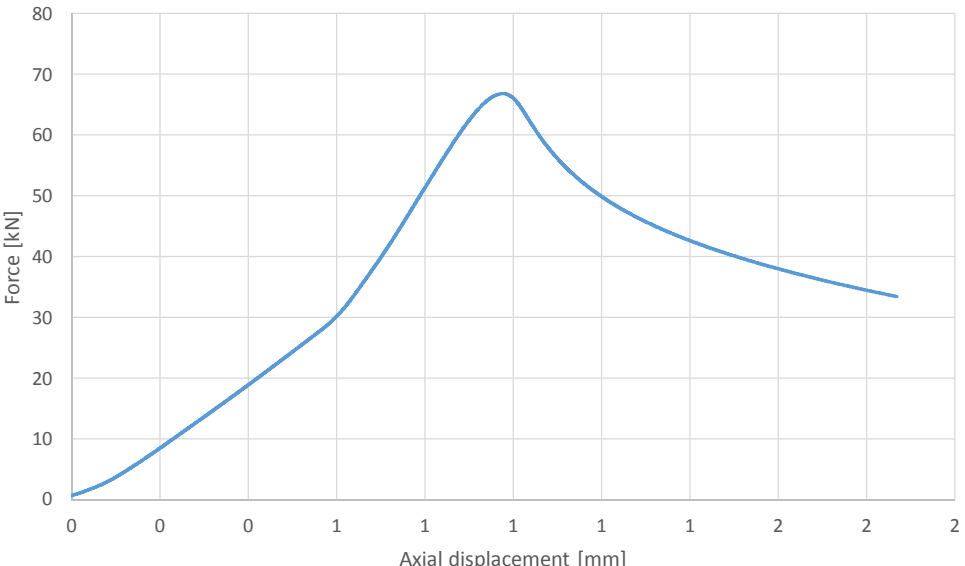

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák																
		Machine type	Zwick Roell Z400																
Test number	98	Test's code	C_SIN_CL 50 mm #3																
Element profile	Single	Nominal Length	50 mm																
Support	Clamped	Date	27 May 2014 10:05:34																
Test layout	Results																		
	 <table border="1"> <caption>Approximate data points from the Force vs. Axial displacement graph</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>35.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>55.0</td></tr> <tr><td>1.86</td><td>62.15</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>55.0</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>45.0</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>35.0</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0.0	0.0	0.5	35.0	1.0	55.0	1.86	62.15	2.0	55.0	2.5	45.0	3.0	35.0
Axial displacement [mm]	Force [kN]																		
0.0	0.0																		
0.5	35.0																		
1.0	55.0																		
1.86	62.15																		
2.0	55.0																		
2.5	45.0																		
3.0	35.0																		
Pictures																			
																			
Resistance	[kN]	62.15																	
Displacement at the maximal load	[mm]	1.86																	
Description of the test																			
Distortional buckling and local plastic mechanism.																			


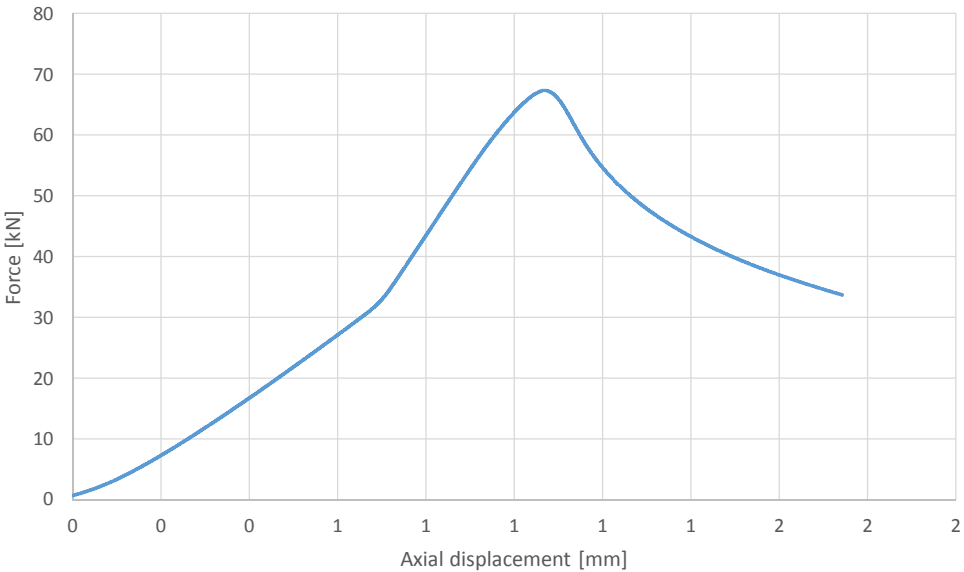

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák												
		Machine type	Zwick Roell Z400												
Test number	99	Test's code	C_SIN_CL 50 mm #4												
Element profile	Single	Nominal Length	50 mm												
Support	Clamped	Date	27 May 2014 11:12:42												
Test layout	Results														
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>55.0</td></tr> <tr><td>1.46</td><td>60.96</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>35.0</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0.0	0.0	0.5	25.0	1.0	55.0	1.46	60.96	2.0	35.0
Axial displacement [mm]	Force [kN]														
0.0	0.0														
0.5	25.0														
1.0	55.0														
1.46	60.96														
2.0	35.0														
<b>Pictures</b>															
															
Resistance	[kN]	60.96													
Displacement at the maximal load	[mm]	1.46													
<b>Description of the test</b>															
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism.</p>															


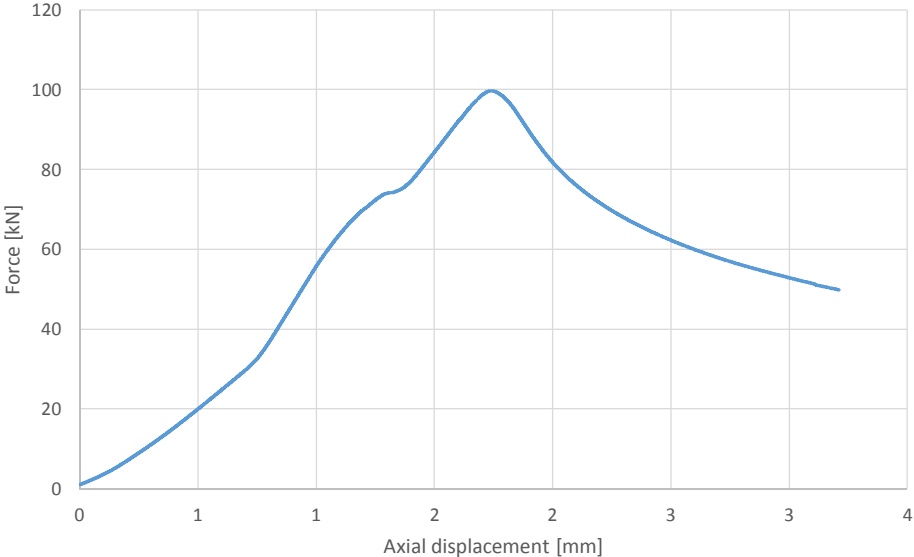





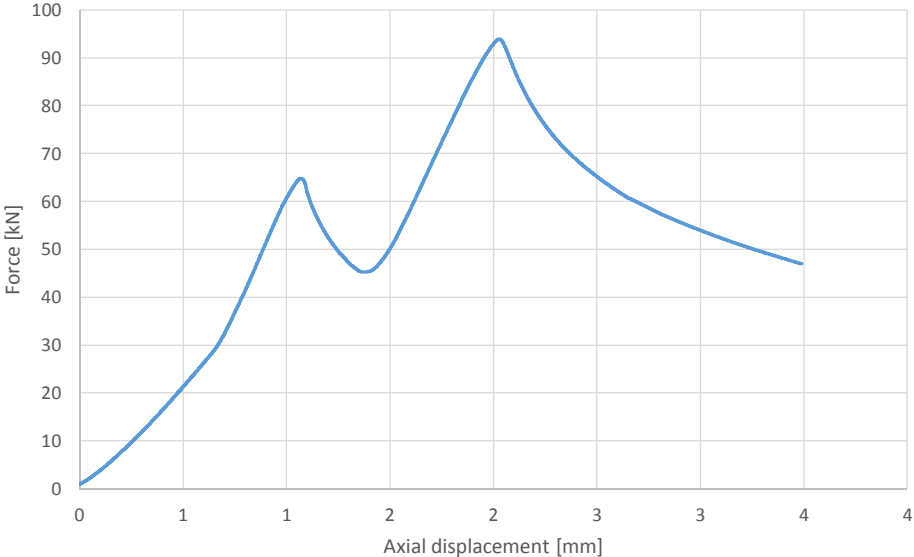


Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	100	Test's code	C_SIN_CL 20 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 11:24:28
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
			
Resistance	[kN]	51.62	
Displacement at the maximal load	[mm]	1.81	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The upper support had imperfections, which might influenced the test. There results should be considere as invalid.</p>			


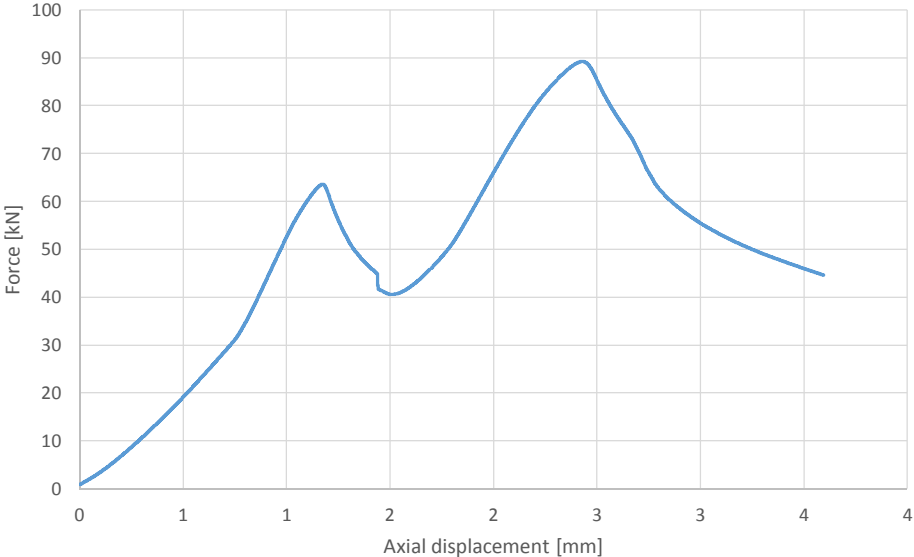


Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák														
		Machine type	Zwick Roell Z400														
Test number	101	Test's code	C_SIN_CL 20 mm #2														
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm														
Support	Clamped	Date	27 May 2014 11:32:28														
Test layout	Results																
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>10.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>1.54</td><td>66.85</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>45.0</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>35.0</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0.0	0.0	0.5	10.0	1.0	25.0	1.54	66.85	2.0	45.0	2.5	35.0
Axial displacement [mm]	Force [kN]																
0.0	0.0																
0.5	10.0																
1.0	25.0																
1.54	66.85																
2.0	45.0																
2.5	35.0																
Pictures																	
																	
Resistance	[kN]	65.85															
Displacement at the maximal load	[mm]	1.54															
Description of the test																	
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism.</p>																	


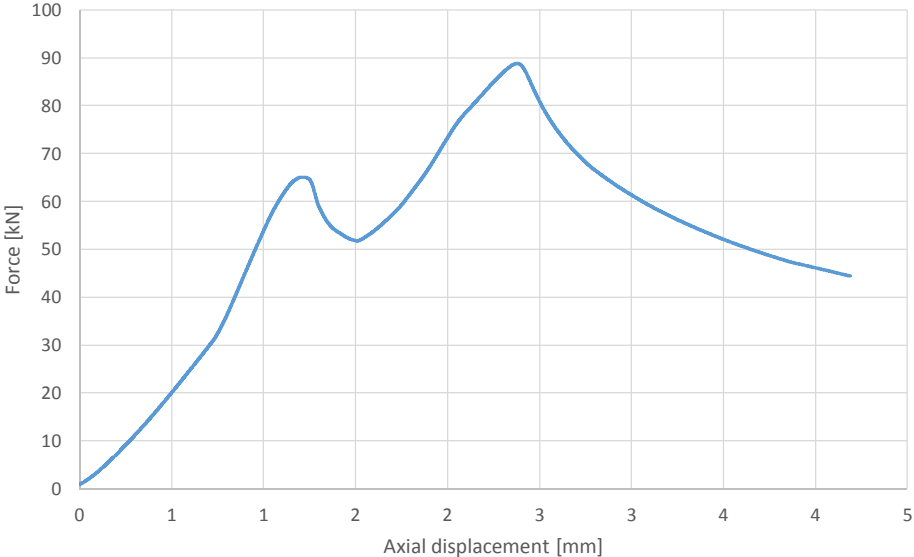
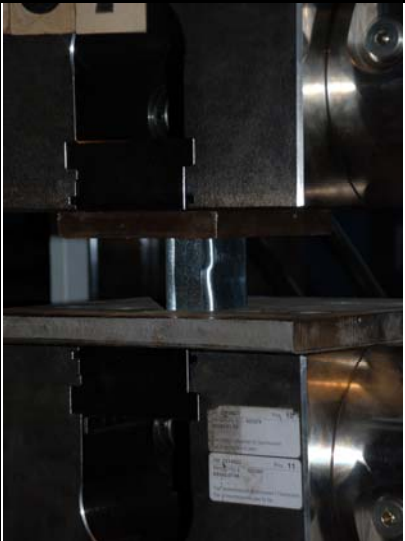

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	102	Test's code	C_SIN_CL 20 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 11:39:22
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	66.79	
Displacement at the maximal load	[mm]	1.24	
Description of the test			
Distortional buckling and local plastic mechanism.			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	103	Test's code	C_SIN_CL 20 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 11:45:19
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	67.31	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.03	
Description of the test			
Distortional buckling and local plastic mechanism.			


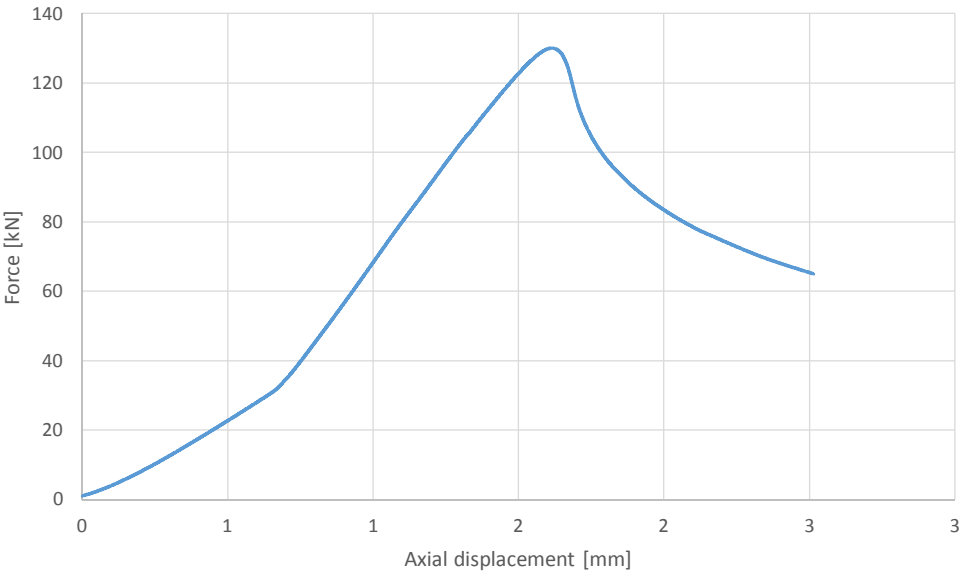

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák														
		Machine type	Zwick Roell Z400														
Test number	104	Test's code	C_DB_CL 50 mm #1														
Element profile	Double	Nominal Length	50 mm														
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:05:27														
Test layout	Results																
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>20</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td></tr> <tr><td>2.56</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>65</td></tr> <tr><td>4</td><td>50</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	20	2	80	2.56	100	3	65	4	50
Axial displacement [mm]	Force [kN]																
0	0																
1	20																
2	80																
2.56	100																
3	65																
4	50																
<b>Pictures</b>																	
																	
Resistance	[kN]	71.70															
Displacement at the maximal load	[mm]	2.56															
<b>Description of the test</b>																	
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>																	


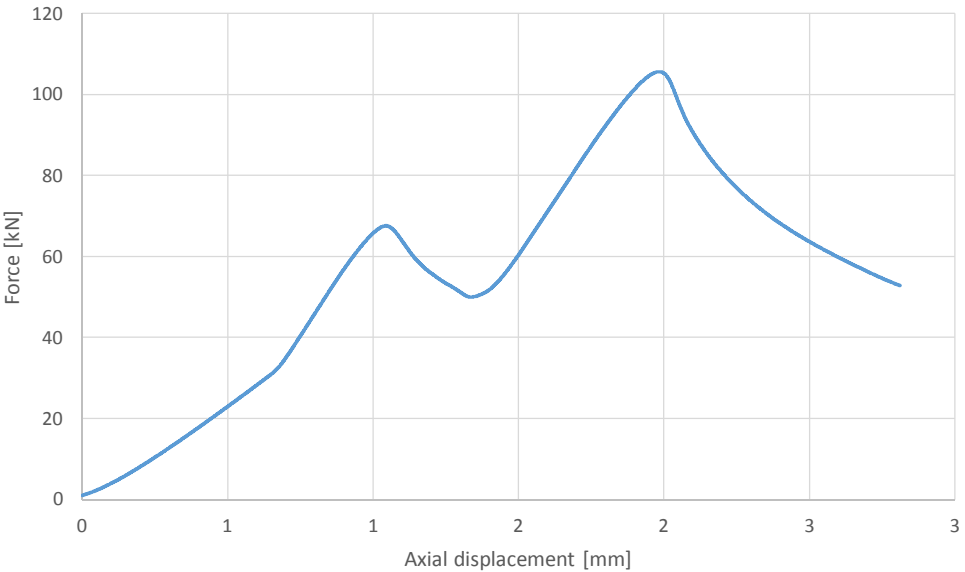

Test reports		Authors	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák	
		Machine type	
		Zwick Roell Z400	
Test number	105	Test's code	C_DB_CL 50 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	50 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:18:03
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance		[kN]	61.40
Displacement at the maximal load		[mm]	2.35
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>			


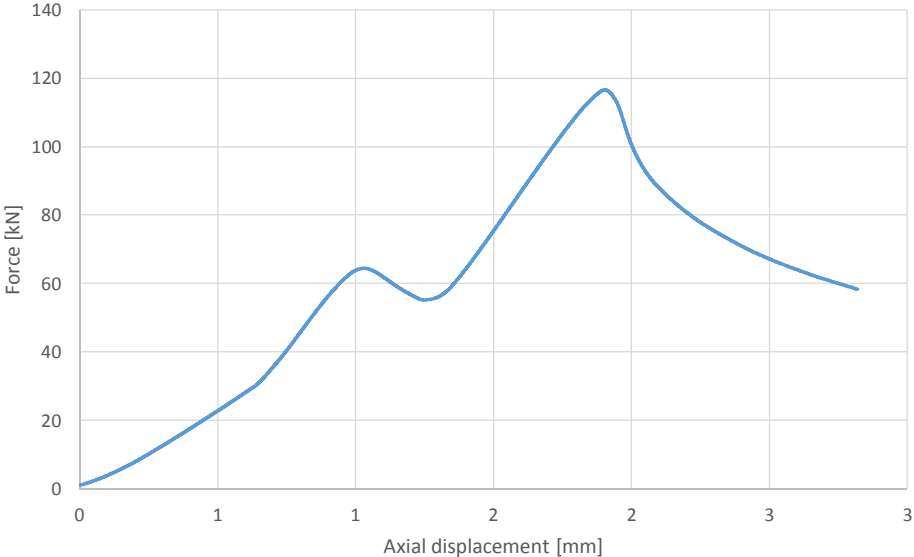
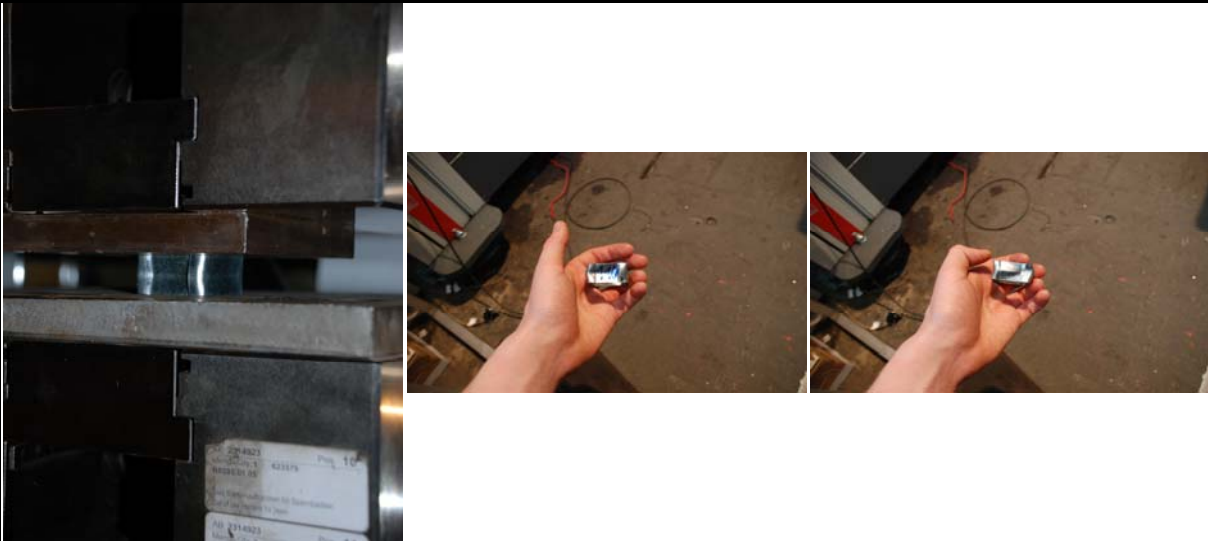
Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	106	Test's code	C_DB_CL 50 mm #3
Element profile	Double	Nominal Length	50 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:29:09
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	62.48	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.20	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. One of the elements suddenly displaced and the elements were absolutely divided. The imperfections also reduced here the strenght.</p>			


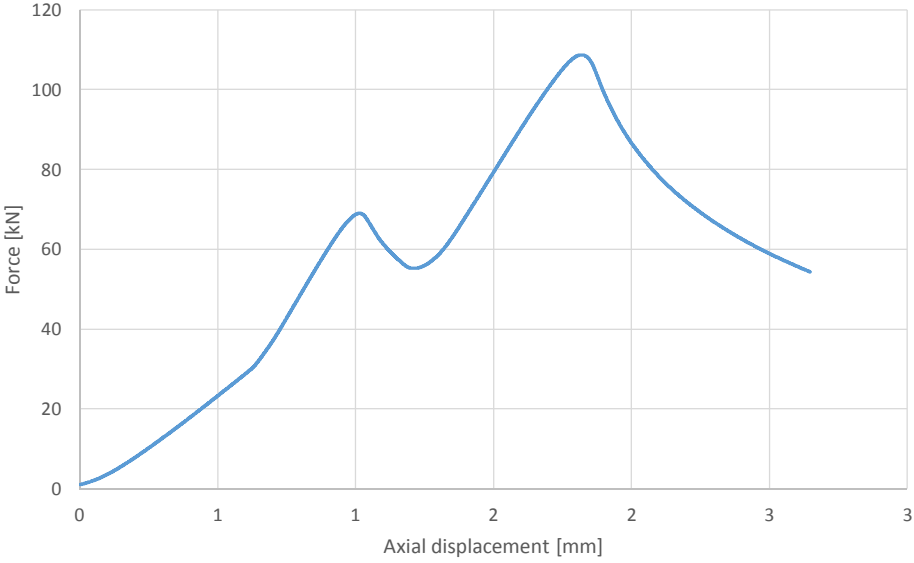

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	107	Test's code	C_DB_CL 50 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	50 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:38:22
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	64.57	
Displacement at the maximal load	[mm]	3.07	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>			


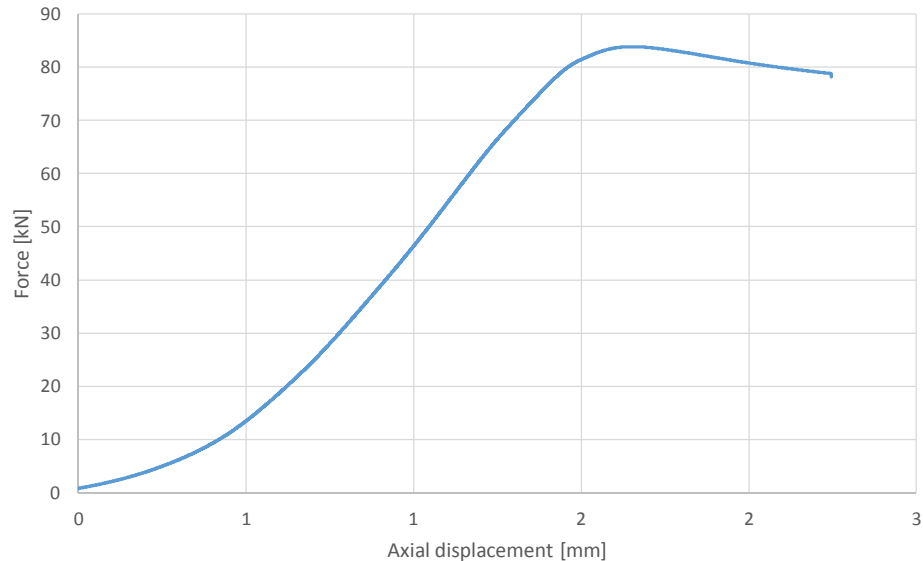




Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	108	Test's code	C_DB_CL 20 mm #1
Element profile	Double	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:49:15
Test layout	<b>Results</b>		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[kN]	129.95	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.44	
<b>Description of the test</b>			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections could partially work together.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	109	Test's code	C_DB_CL 20 mm #2
Element profile	Double	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 12:57:58
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	67.24	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.83	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>			

Test reports		Authors																	
		Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák																	
		Machine type																	
		Zwick Roell Z400																	
Test number	110	Test's code																	
		C_DB_CL 20 mm #3																	
Element profile	Double	Nominal Length																	
		20 mm																	
Support	Clamped	Date																	
		27 May 2014 13:06:49																	
Test layout	Results																		
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>25</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>65</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>55</td></tr> <tr><td>2.73</td><td>115</td></tr> <tr><td>3</td><td>70</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>60</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	25	1.1	65	1.5	55	2.73	115	3	70	3.5	60
Axial displacement [mm]	Force [kN]																		
0	0																		
1	25																		
1.1	65																		
1.5	55																		
2.73	115																		
3	70																		
3.5	60																		
Pictures																			
																			
Resistance	[kN]	64.07																	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.73																	
Description of the test																			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>																			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	111	Test's code	C_DB_CL 20 mm #4
Element profile	Double	Nominal Length	20 mm
Support	Clamped	Date	27 May 2014 13:18:13
Test layout	Results		
			
Pictures			
			
Resistance	[kN]	68.68	
Displacement at the maximal load	[mm]	2.88	
Description of the test			
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. The cross-sections can not work fully together due to the imperfections of the ends of the elements.</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák												
		Machine type	Zwick Roell Z400												
Test number	112	Test's code	C_SIN_CL 5 mm #1												
Element profile	Single	Nominal Length	5 mm												
Support	Clamped	Date	27 May 2014 13:34:32												
Test layout	Results														
	 <table border="1"> <caption>Graph Data Points (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Axial displacement [mm]</th> <th>Force [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>15</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td></tr> <tr><td>2.37</td><td>83.82</td></tr> <tr><td>3</td><td>78</td></tr> </tbody> </table>			Axial displacement [mm]	Force [kN]	0	0	1	15	2	80	2.37	83.82	3	78
Axial displacement [mm]	Force [kN]														
0	0														
1	15														
2	80														
2.37	83.82														
3	78														
Pictures															
															
Resistance	[kN]	83.82													
Displacement at the maximal load	[mm]	2.37													
Description of the test															
<p>Distortional buckling and local plastic mechanism. Note: Even at these sort members the displaced form was distortional.</p>															

Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák

Zwick Roell Z400

C\_SIN\_CL 5 mm #2

5 mm

#####

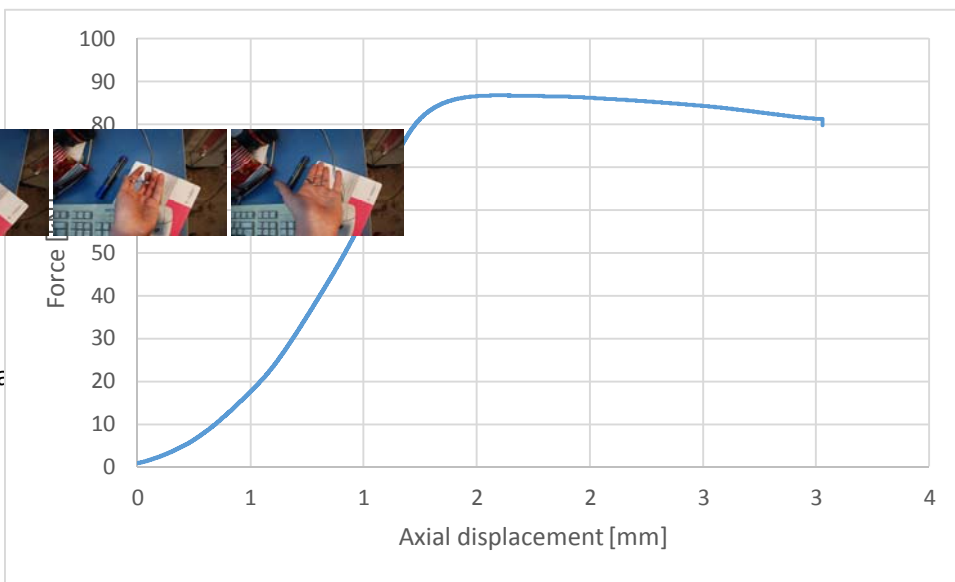
113

Single


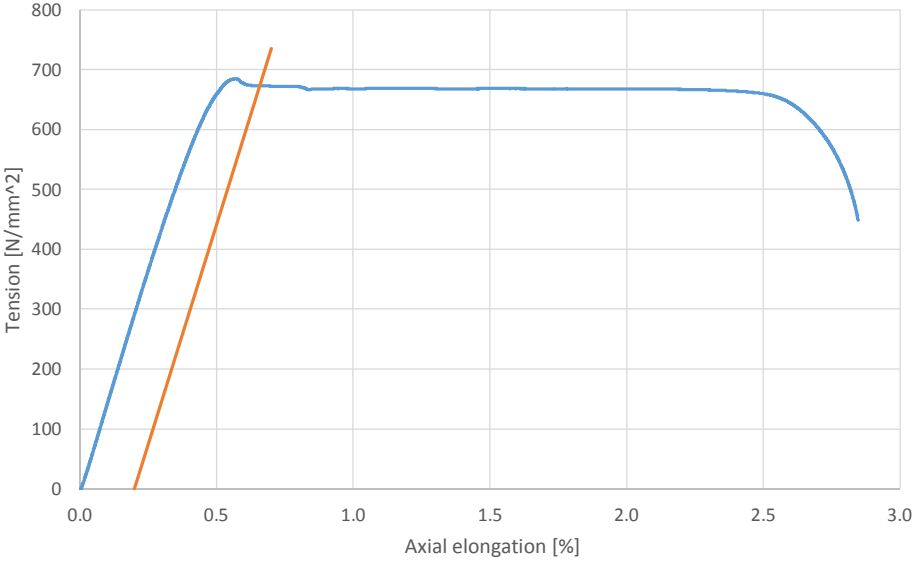

Clamped


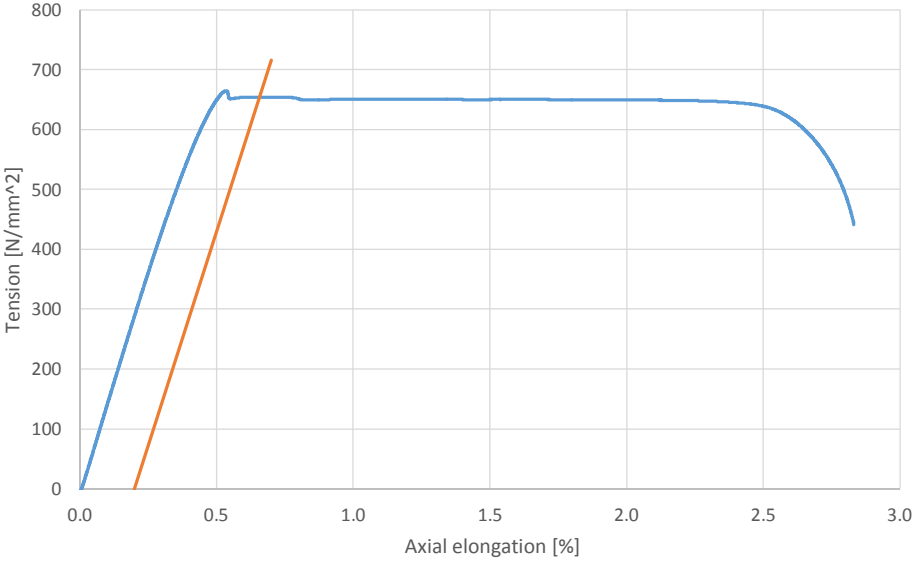



Distortional


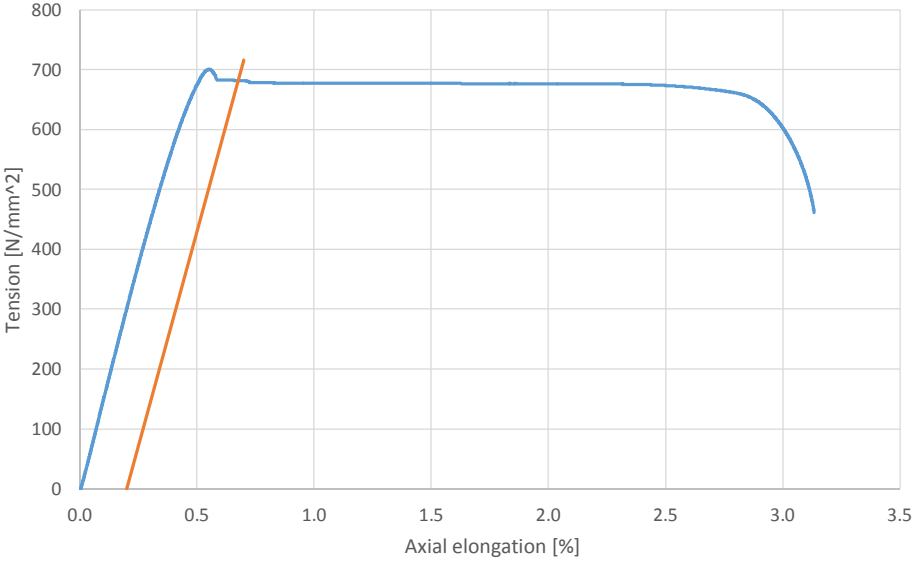
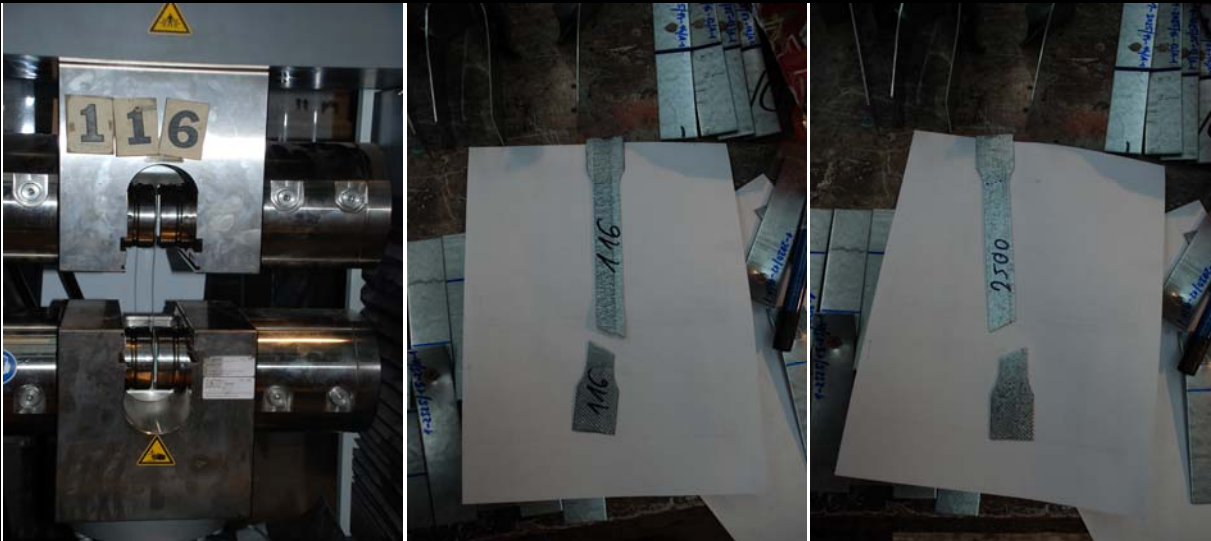



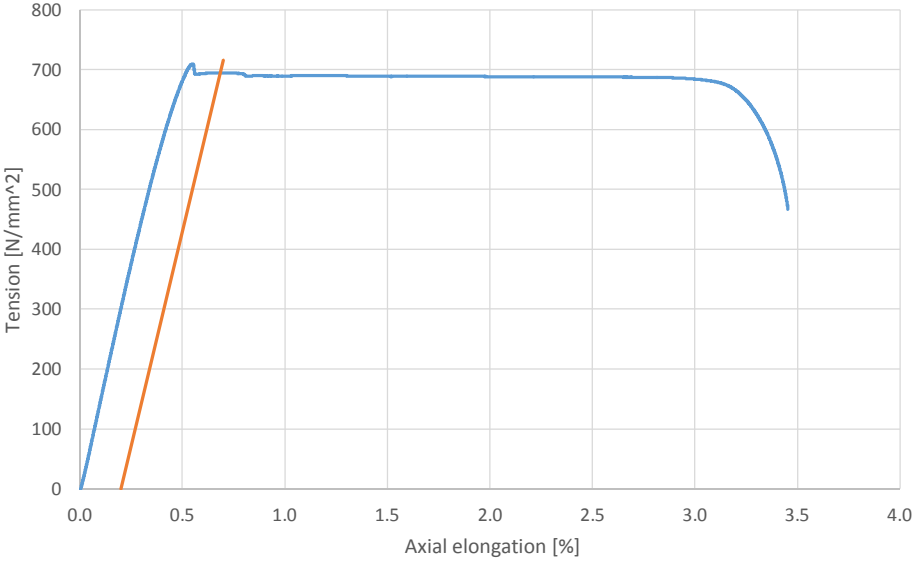
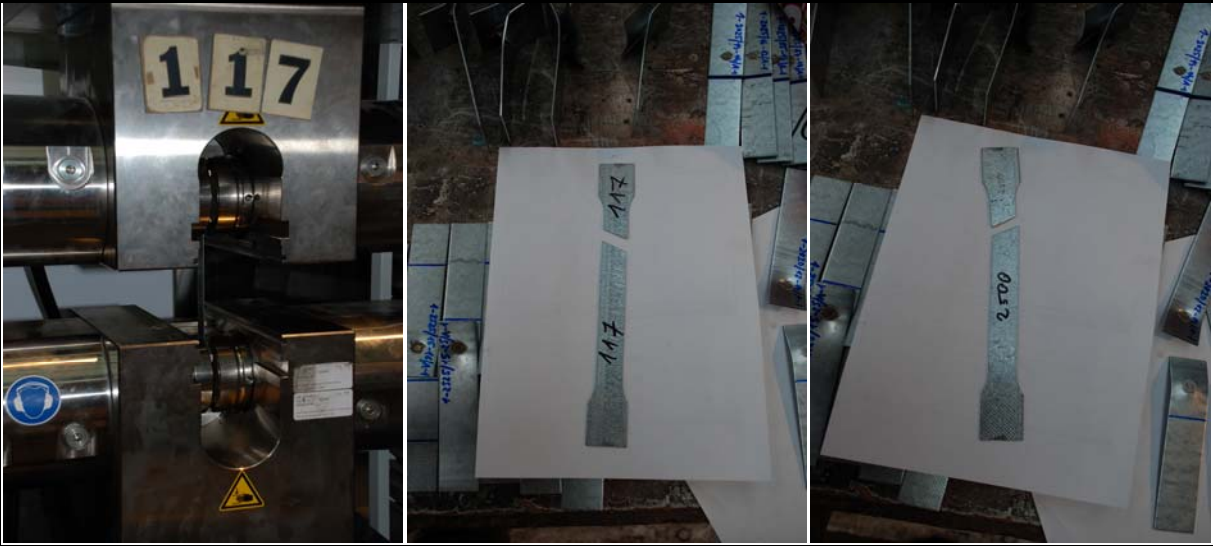
Displaced form was distortional.

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	114	Test's code	T_SIN_HG 20 mm #1
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Standard hinged	Date	05/27/2014 6::2::7
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[N/mm <sup>2</sup> ]	672.00	
Displacement at the maximal load	[%]	0.67	
<b>Description of the test</b>			
<p>Standard material strenght test. Parameters: b.min=20.26 mm t.min =1.01 mm L=14 0mm Origin: 1500 mm beam</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	115	Test's code	T_SIN_HG 20 mm #2
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Standard hinged	Date	05/27/2014 6::1::4
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[N/mm <sup>2</sup> ]	654.00	
Displacement at the maximal load	[%]	0.62	
<b>Description of the test</b>			
<p>Standard material strenght test. Parameters: b.min=20.32 mm t.min =1.03 mm L=140 mm Origin: 1500 mm beam</p>			



Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	116	Test's code	T_SIN_HG 20 mm #3
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Standard hinged	Date	05/27/2014 6::7::6
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[N/mm <sup>2</sup> ]	682.00	
Displacement at the maximal load	[%]	0.63	
<b>Description of the test</b>			
<p>Standard material strenght test. Parameters: b.min=20.27 mm t.min =0.99 mm L=140 mm Origin: 2500 mm beam</p>			

Test reports		Authors	Sándor Ádány, Attila Joó, Máté Szedlák
		Machine type	Zwick Roell Z400
Test number	117	Test's code	T_SIN_HG 20 mm #4
Element profile	Single	Nominal Length	20 mm
Support	Standard hinged	Date	05/27/2014 6::2::2
Test layout	Results		
			
<b>Pictures</b>			
			
Resistance	[N/mm <sup>2</sup> ]	694.00	
Displacement at the maximal load	[%]	0.67	
<b>Description of the test</b>			
<p>Standard material strenght test. Parameters: b.min=20.28 mm t.min =0.98 mm L=140 mm Origin: 2500 mm beam</p>			