Zkoušky trubních těles DN 500

Zkoušky únosnosti defektních svarů při kombinovaném namáhání vnitřním přetlakem a axiální silou

Ing. Petr Pařízek

CEPS a.s.

CEPS prováděl expertní práce týkající se speciálního zatěžování vzorků potrubí

Zadání – ověřit únosnost a bezpečnost stávajících montážních obvodových svarů na trubních tělesech při zatěžování vnitřním přetlakem a vnější tahovou silou.

Cíl a důvody zkoušek – posouzení, nakolik defektní svary snižují únosnost potrubí, které je při provozním tlaku namáháno přídavnou axiální silou, například z pohybu zeminy. Tuto otázku vyvolala velká provozní havárie, ke které došlo právě při takové kombinaci namáhání potrubí.

Výsledky a závěry experimentálních zkoušek byly jedním z řady posudků od několika organizací, kterými musel zákazník **dokladovat stav a bezpečnost svých plynovodů vůči státním orgánům**.

Dodaný trubní materiál

Bylo dodáno **12 ks výřezů** potrubí z plynovodů **DN 500**, přičemž každý z výřezů obsahoval **defektní svar**.

Jednalo se o defekty lehčí – jako nedostatečná krycí vrstva, ale i defekty zásadní – jako neprovařený kořen a zápaly.

Z těchto výřezů CEPS vyrobil stejný počet zkušebních potrubních těles takzvané **plné velikosti** (*full size*), tedy těles o délce kolem **5D**, kdy obvodové svary již neovlivňují pevnostní chování vzorku.

Příprava a zkoušení trubních těles DN 500

1. svařování trubních těles
2. úprava hydraulického rámu
3. vyztužení dýnek DN 500 do rámu
4. montáž tenzometrů
5. montáž snímačů akustické emise
6. řízené tlakování k mezi kluzu
7. tlakování na mez pevnosti
8. cyklování tělesa
9. zatížení axiální silou
10. kombinace zatížení

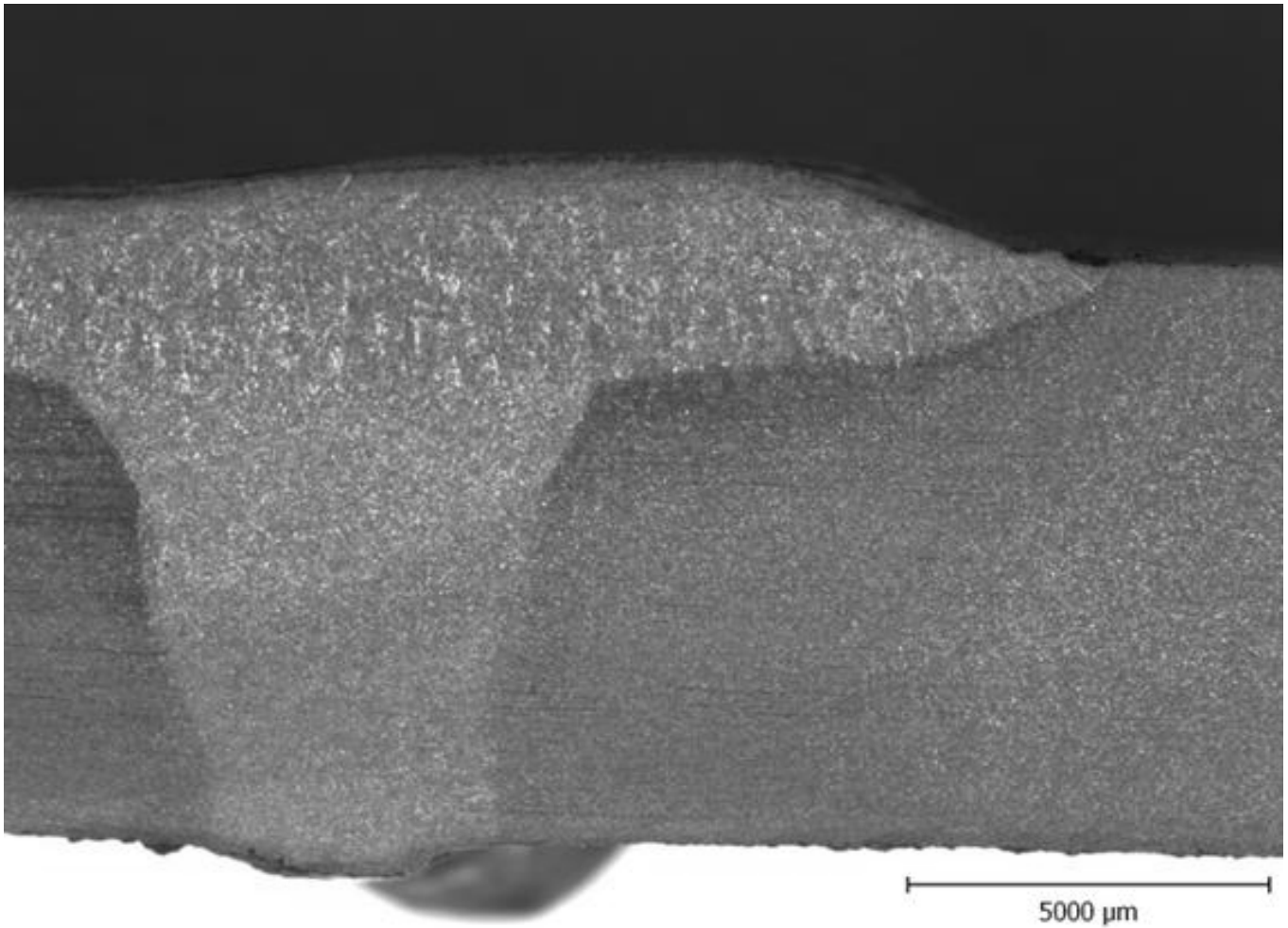
Příprava a zkoušení trubních těles DN 500

Pro účely takovéto kombinace zatížení byl zmodernizován a pro dimenzi DN 500 upraven speciální **zkušební hydraulický rám**, který na „plných“ trubních vzorcích umožňuje vyvodit **axiální sílu** až **500 tun**.

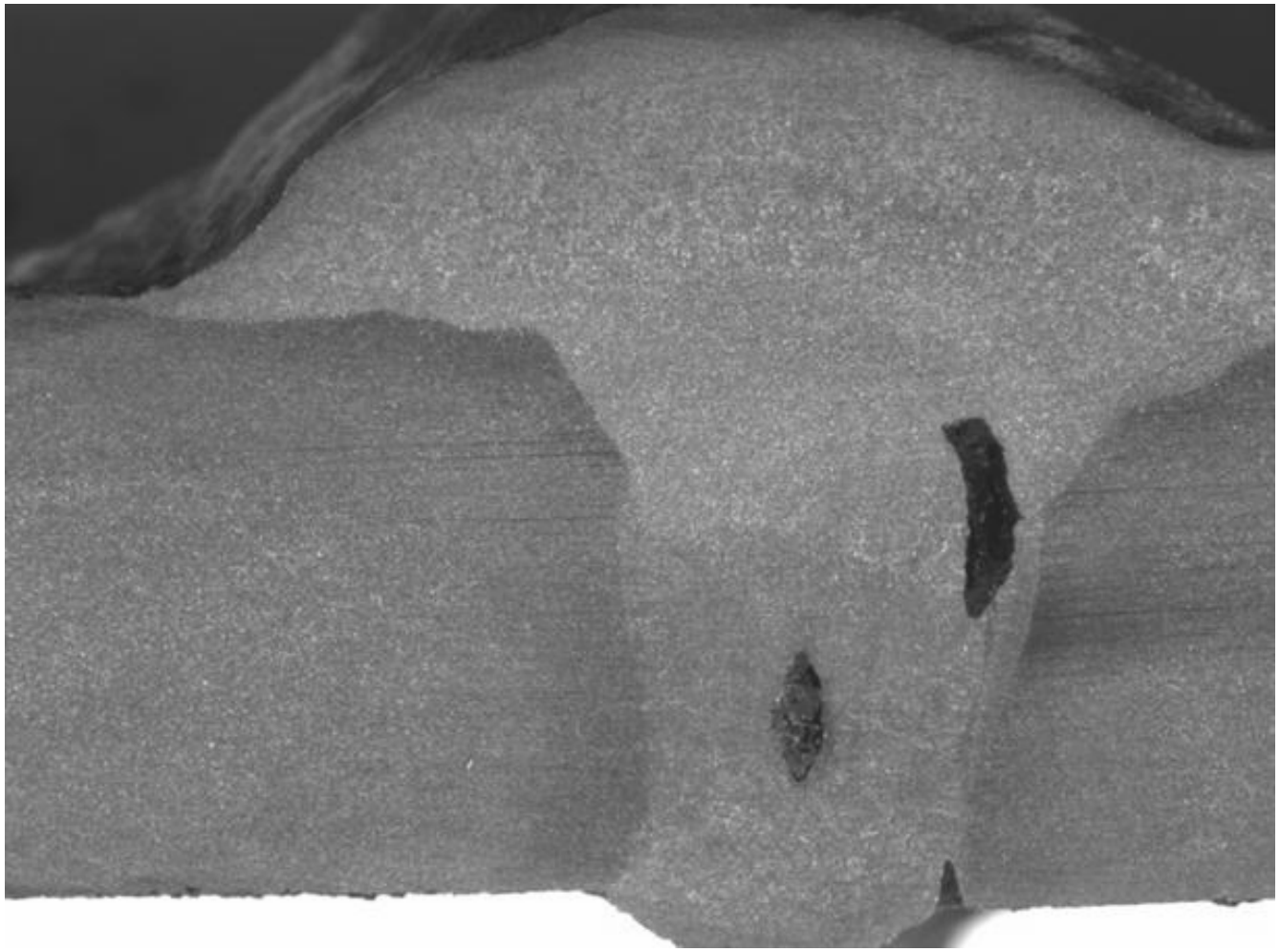
Při různých způsobech zatěžování byly při experimentech měřeny a počítány tyto veličiny

- přetlak v trubním tělese,
- množství přičerpávané vody,
- obvodová deformace trubního tělesa,
- přetlak v hydraulice – tahová síla na trubní těleso,
- obvodové a podélné napětí v trubním tělese,
- lokální deformace stěny trub tenzometry,
- akustické emisní události.

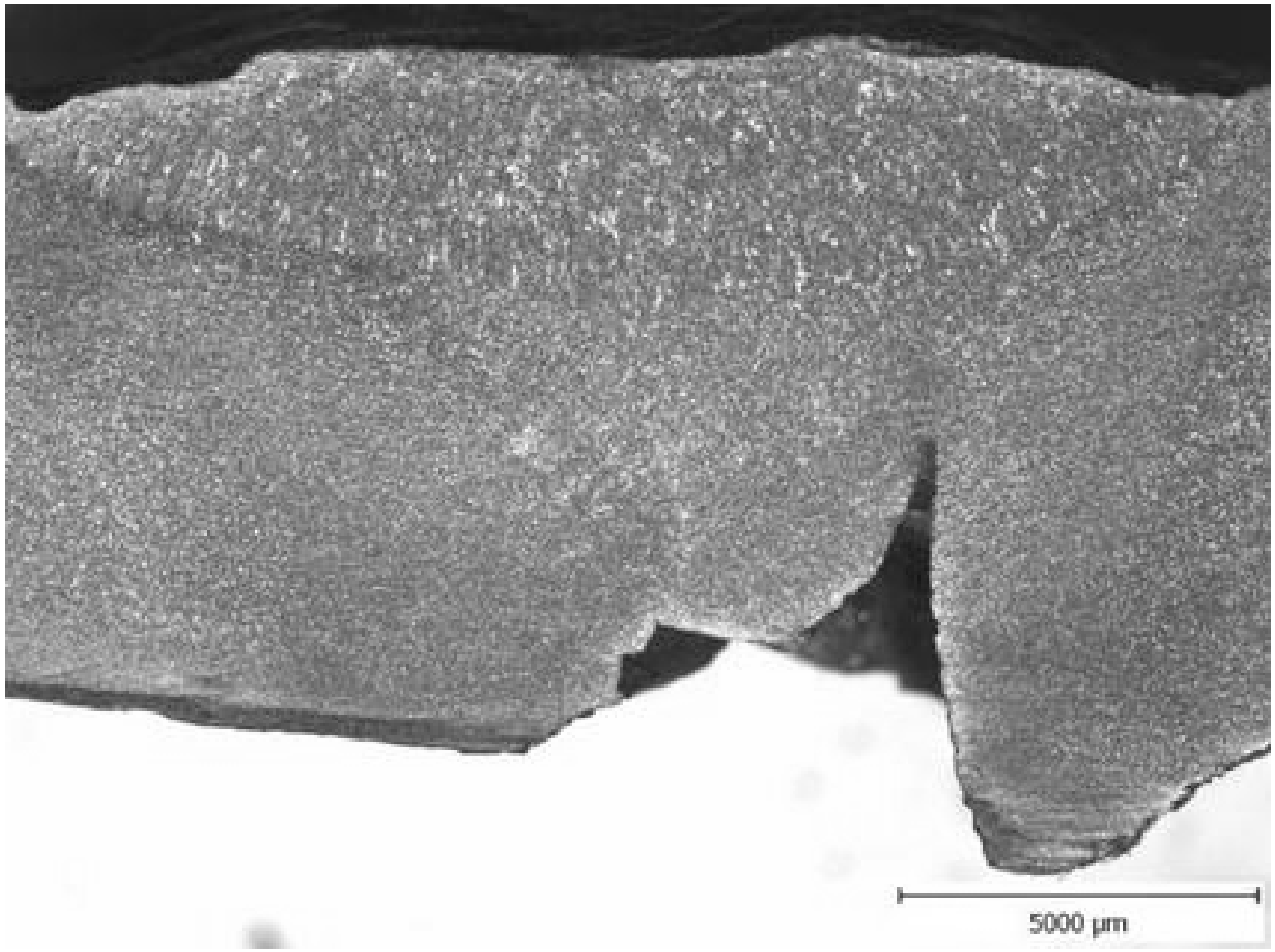
Makrosnímek obvodového svaru na trubce A v místě bez závad



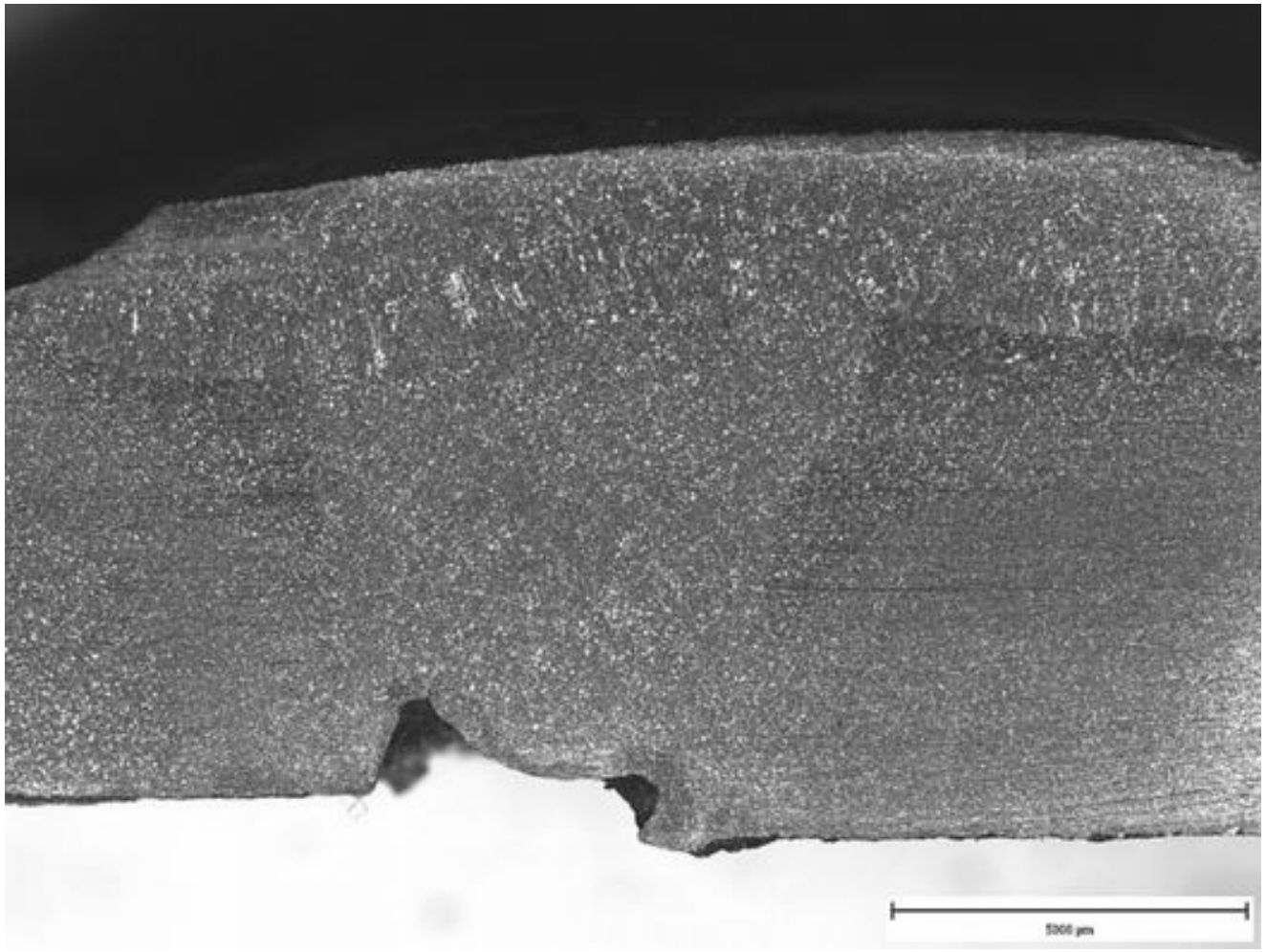
Makrosnímek jiného místa obvodového svaru trubky A s vadami typu pórů s trhlinkou a se zápalem v kořenové oblasti



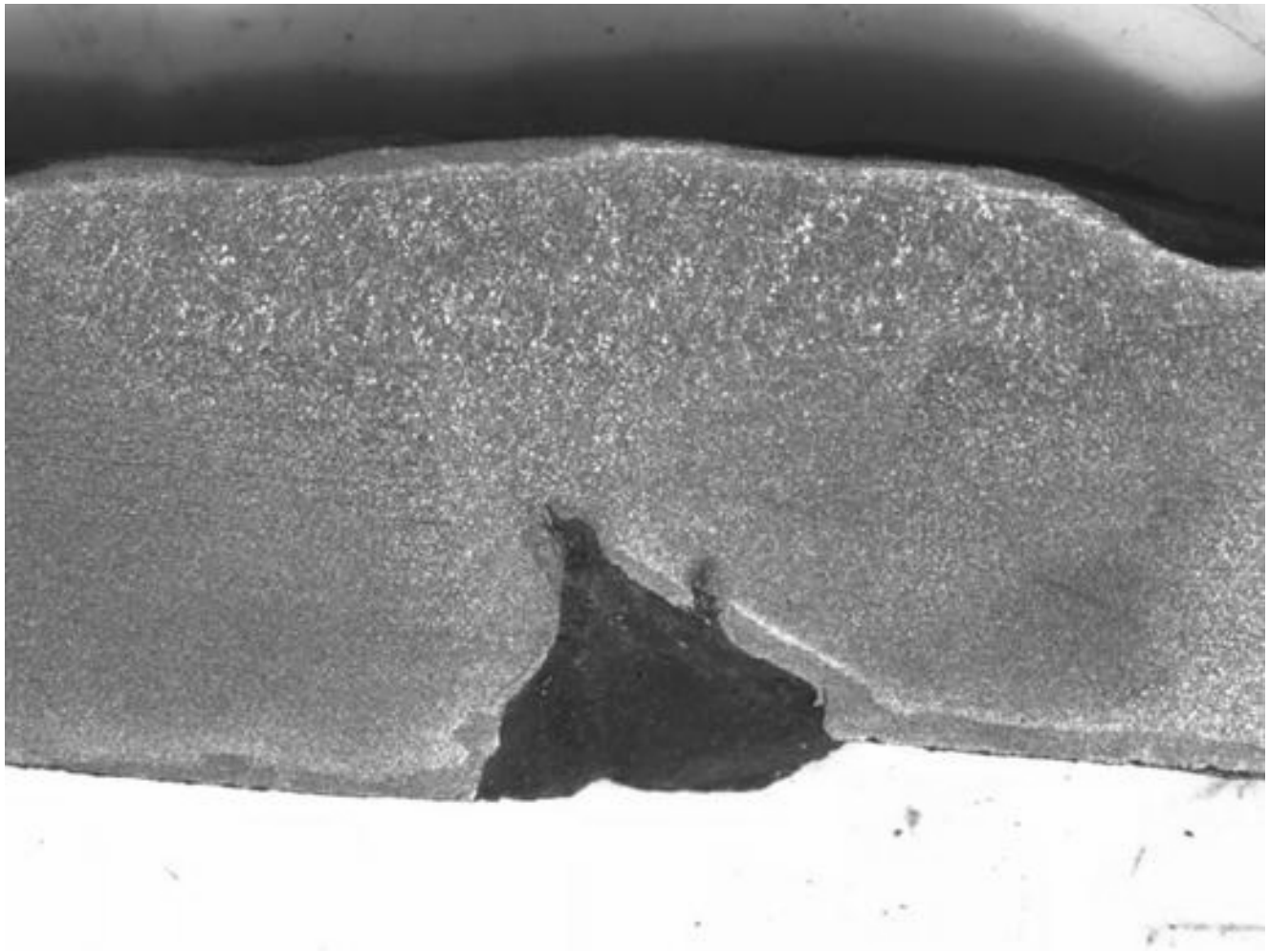
Makrosnímek svaru na výřezu A s hrubým neprůvarem v kořenové oblasti



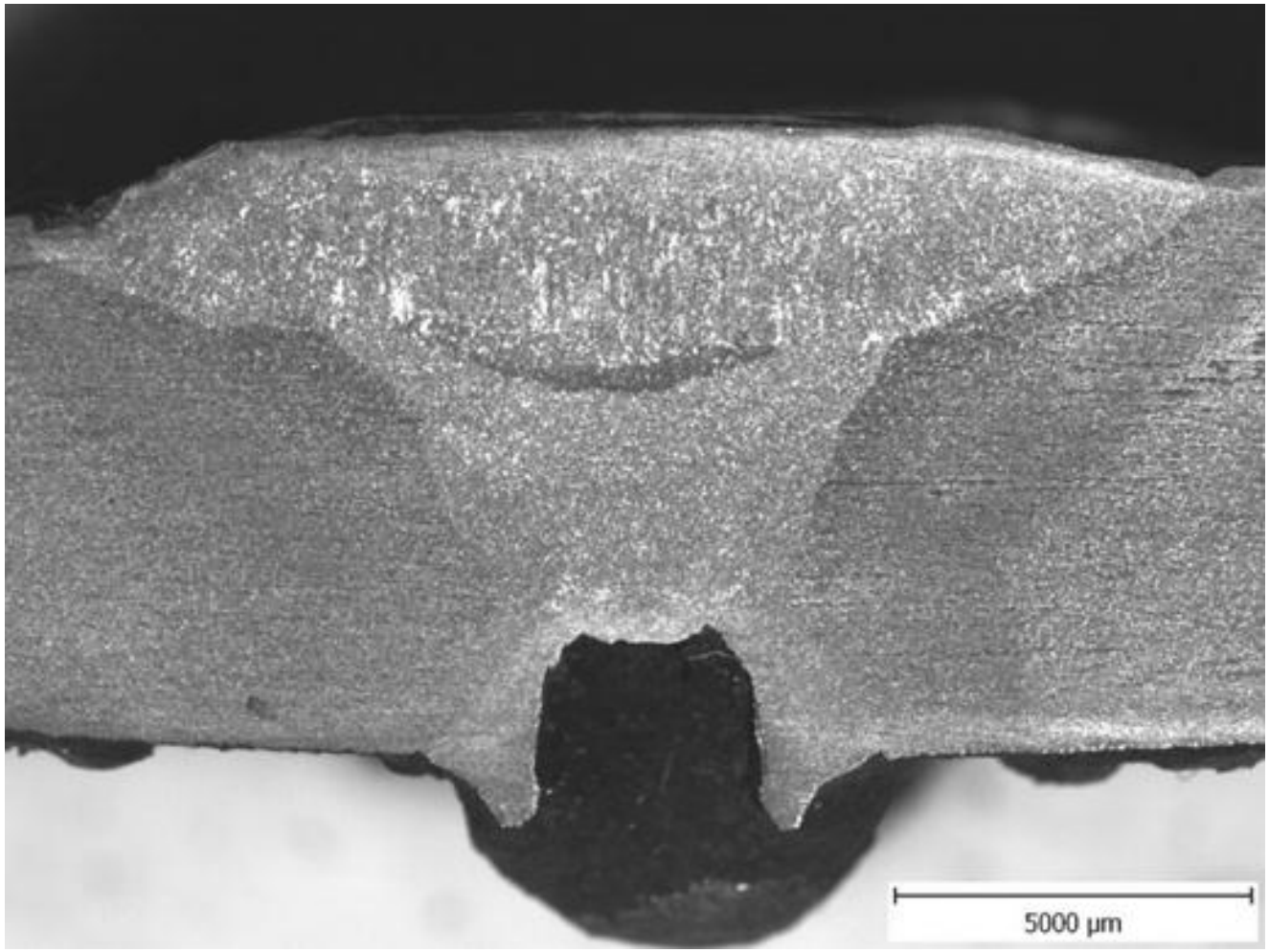
Makrosnímek svaru na výřezu B s nedokonalým průvarem v kořenové oblasti – výbrus B1



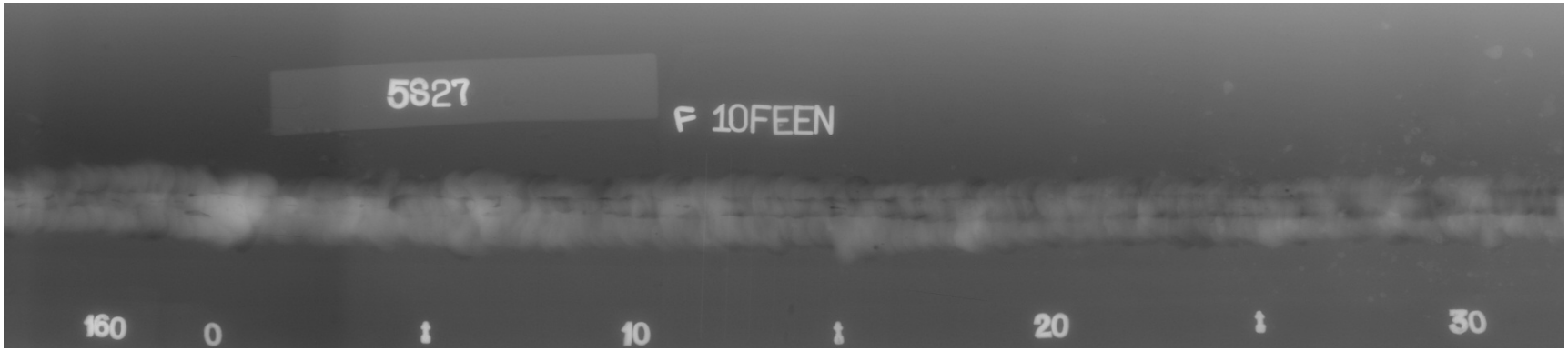
Makrosnímek svaru na výřezu B s hrubým neprůvarem v kořenové oblasti – výbrus B2

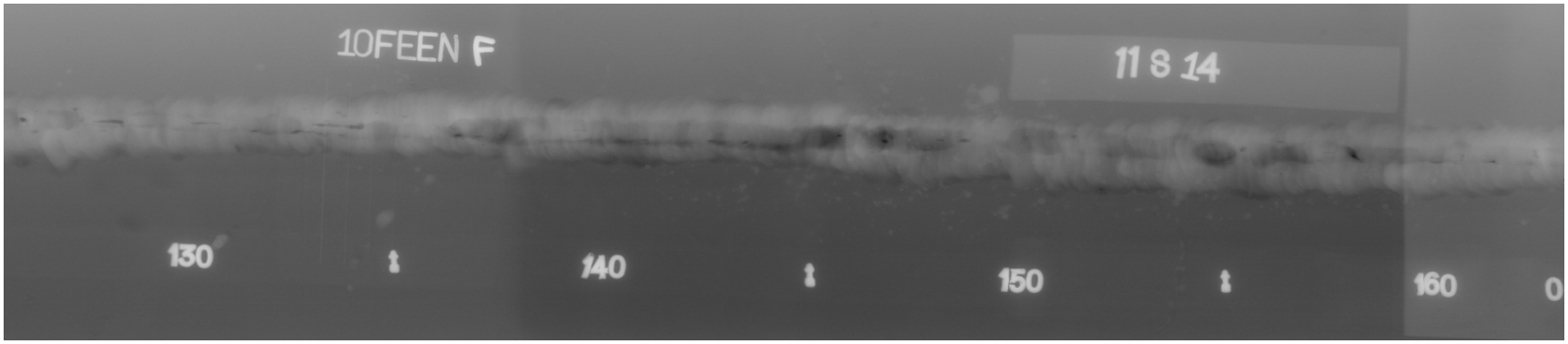


Makrosnímek svaru na výřezu B s hrubým neprůvarem v kořenové oblasti – výbrus B3

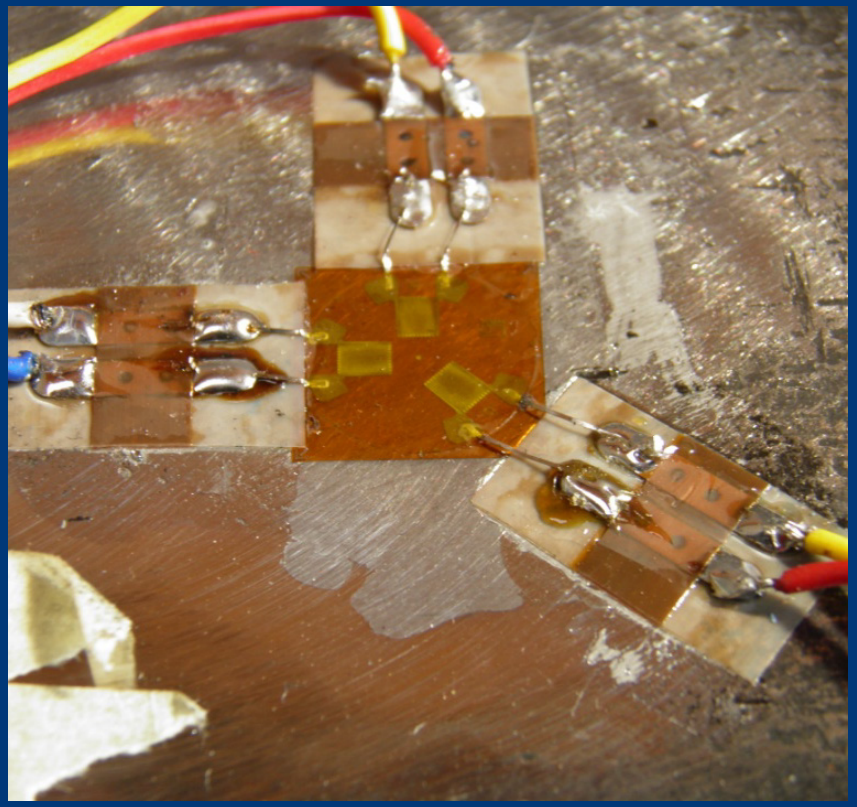


Výběr trubek pro zatěžování z RT snímků

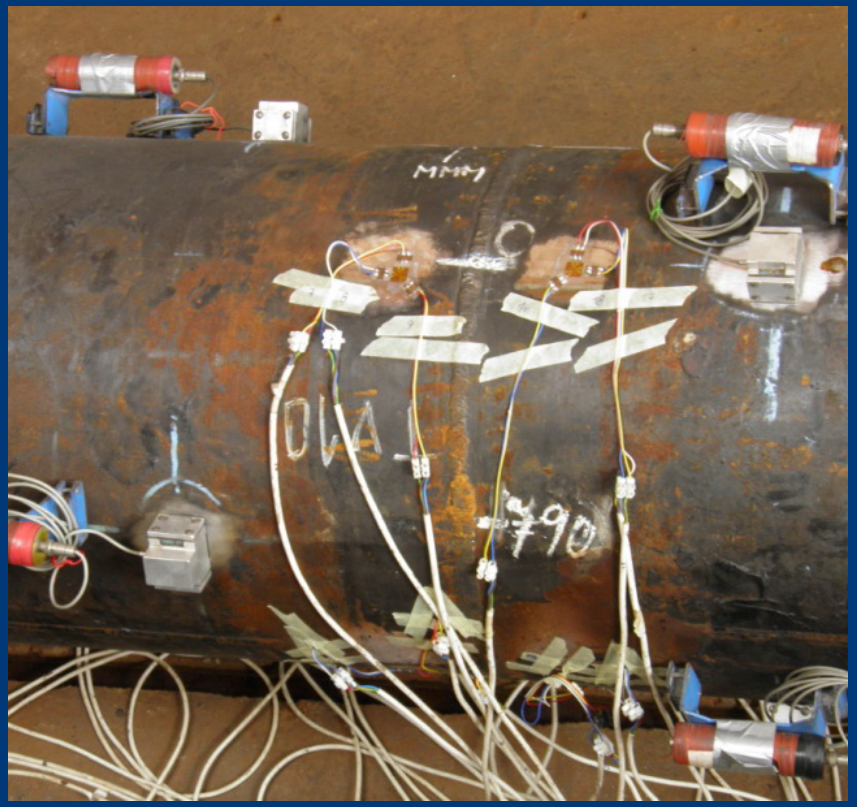




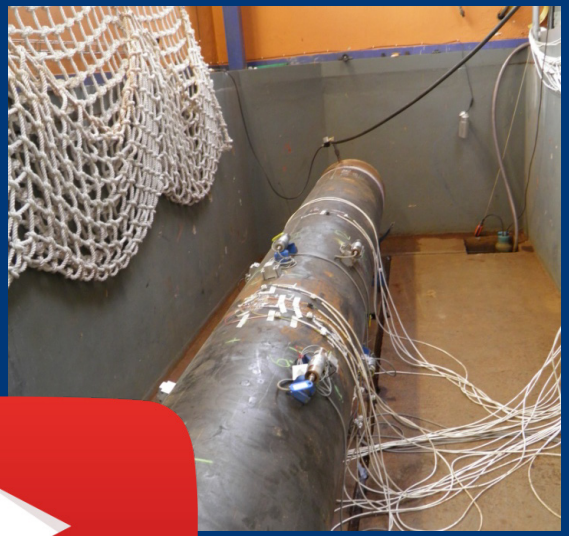
Instalace tenzometrů a snímačů akustické emise



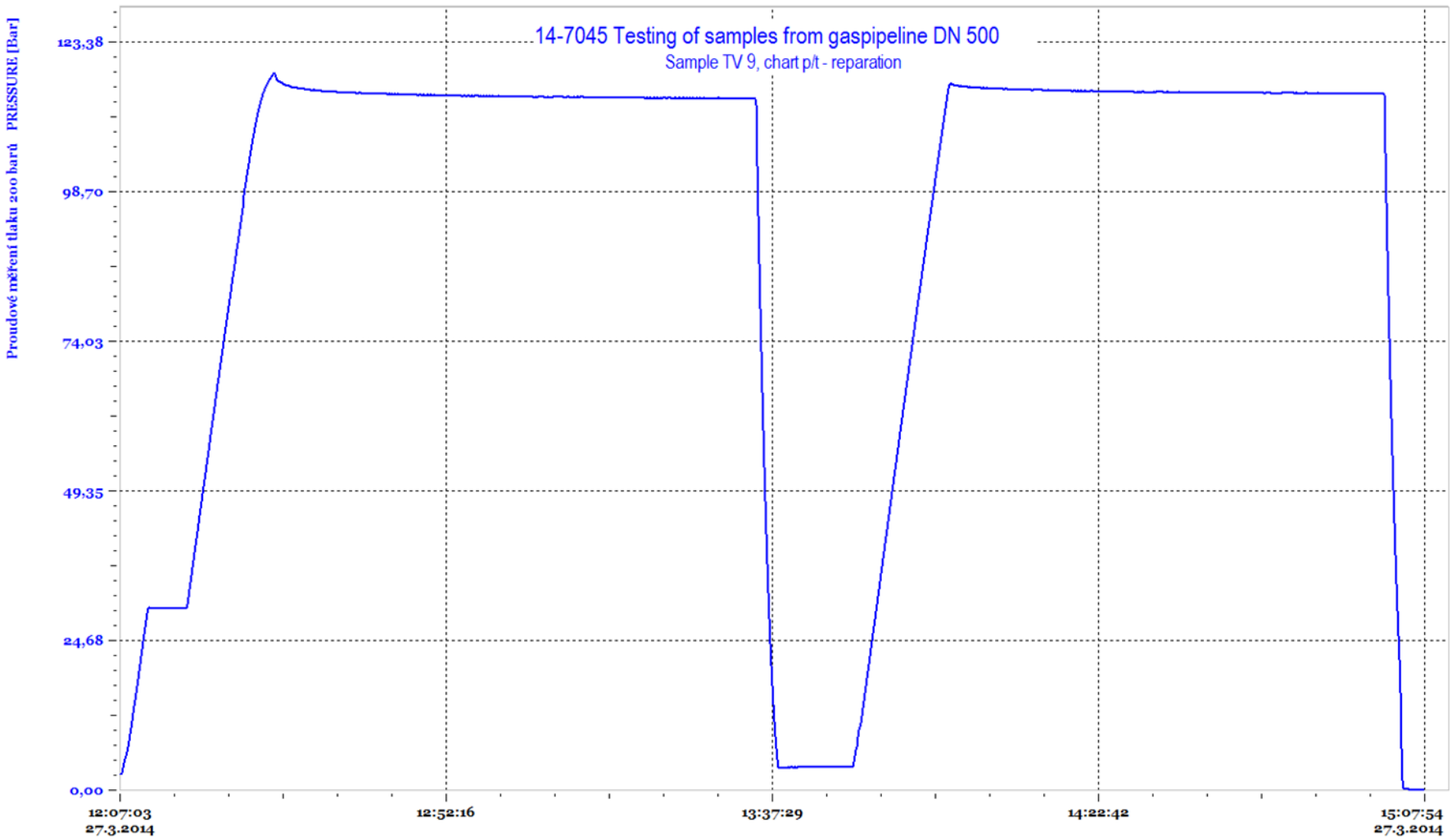
Instalace tenzometrů a snímačů akustické emise



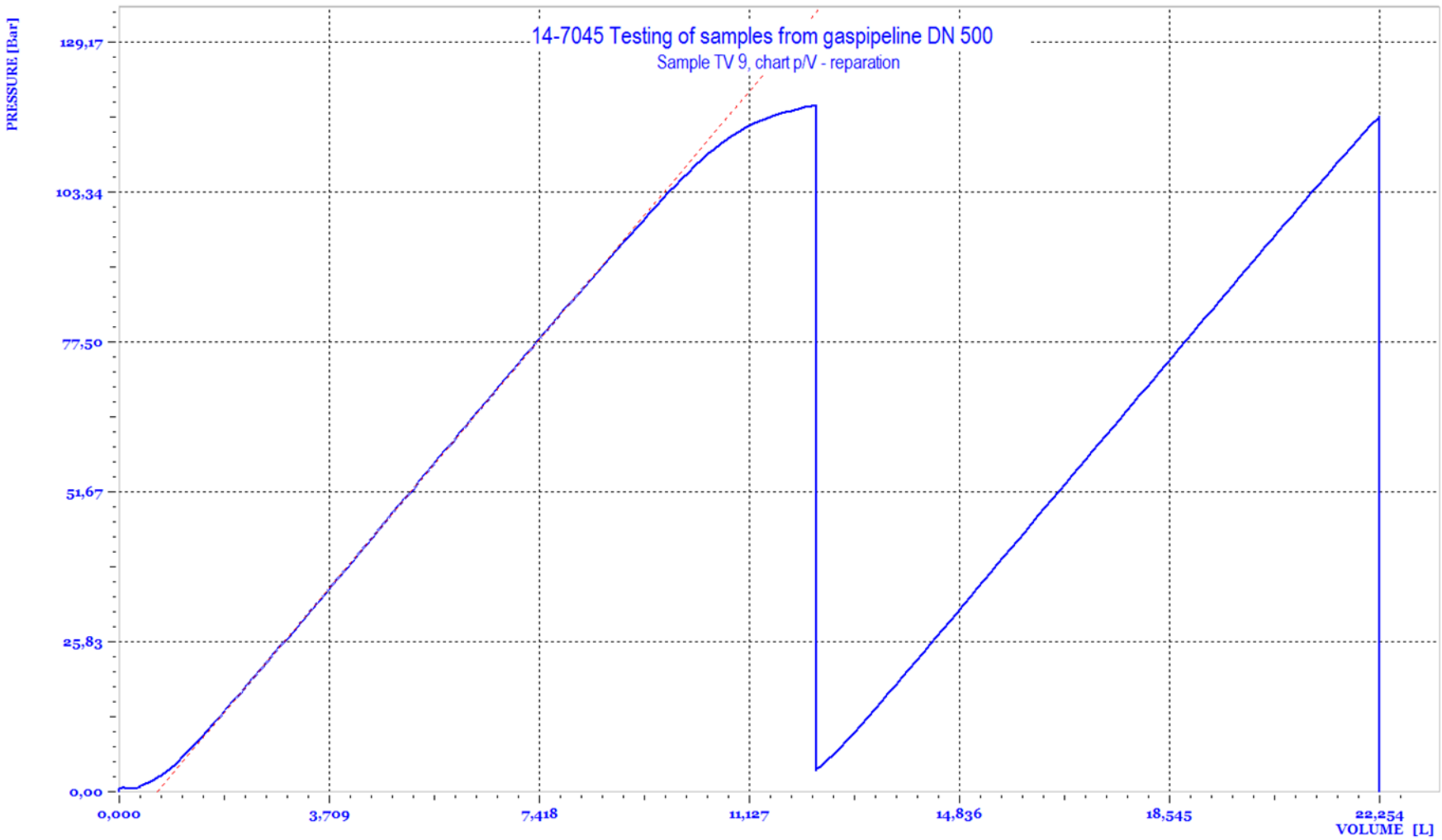
Tlakování a cyklování trubního tělesa

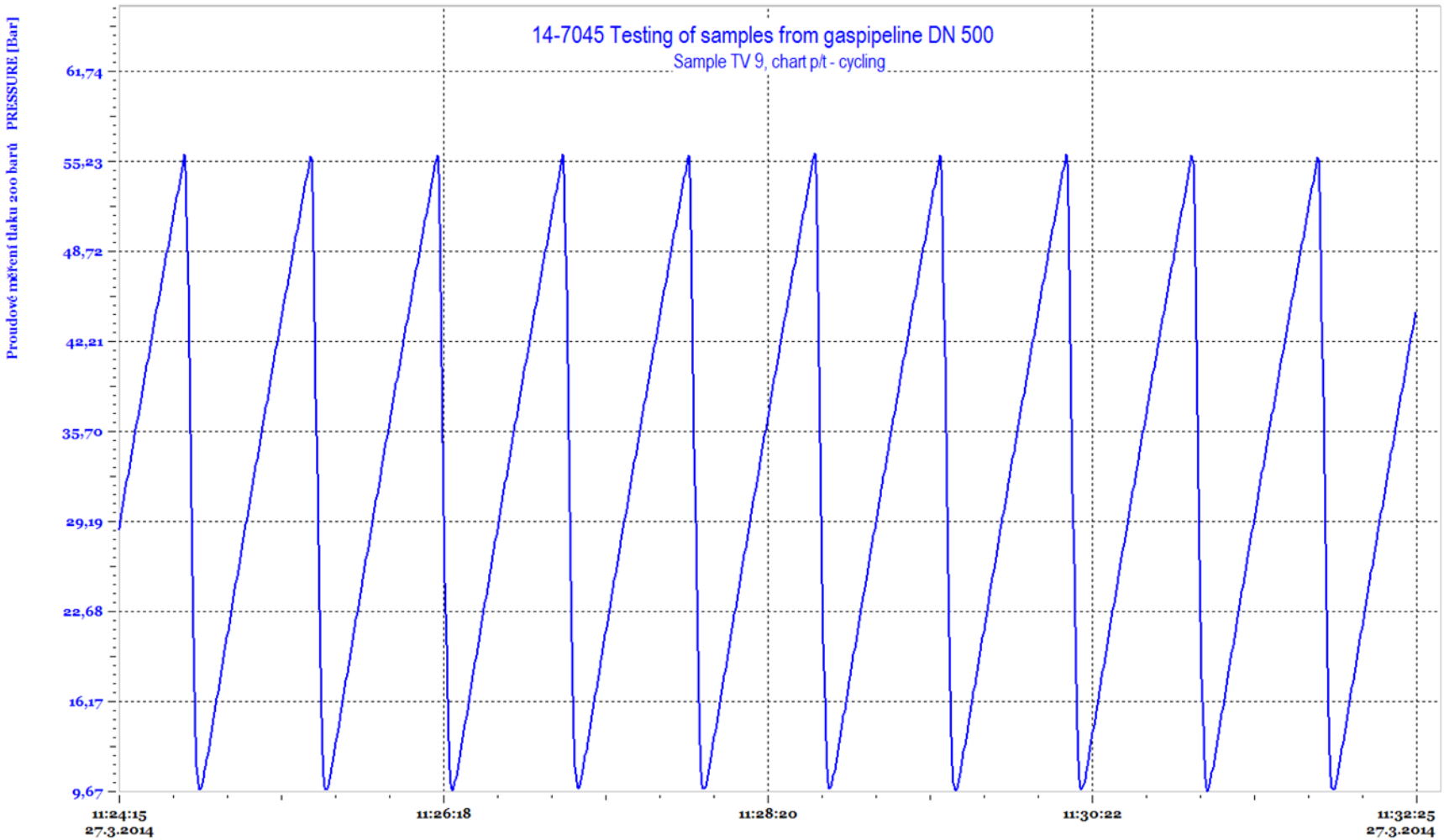


Tlakování tělesa k mezi kluzu – graf *p-t*

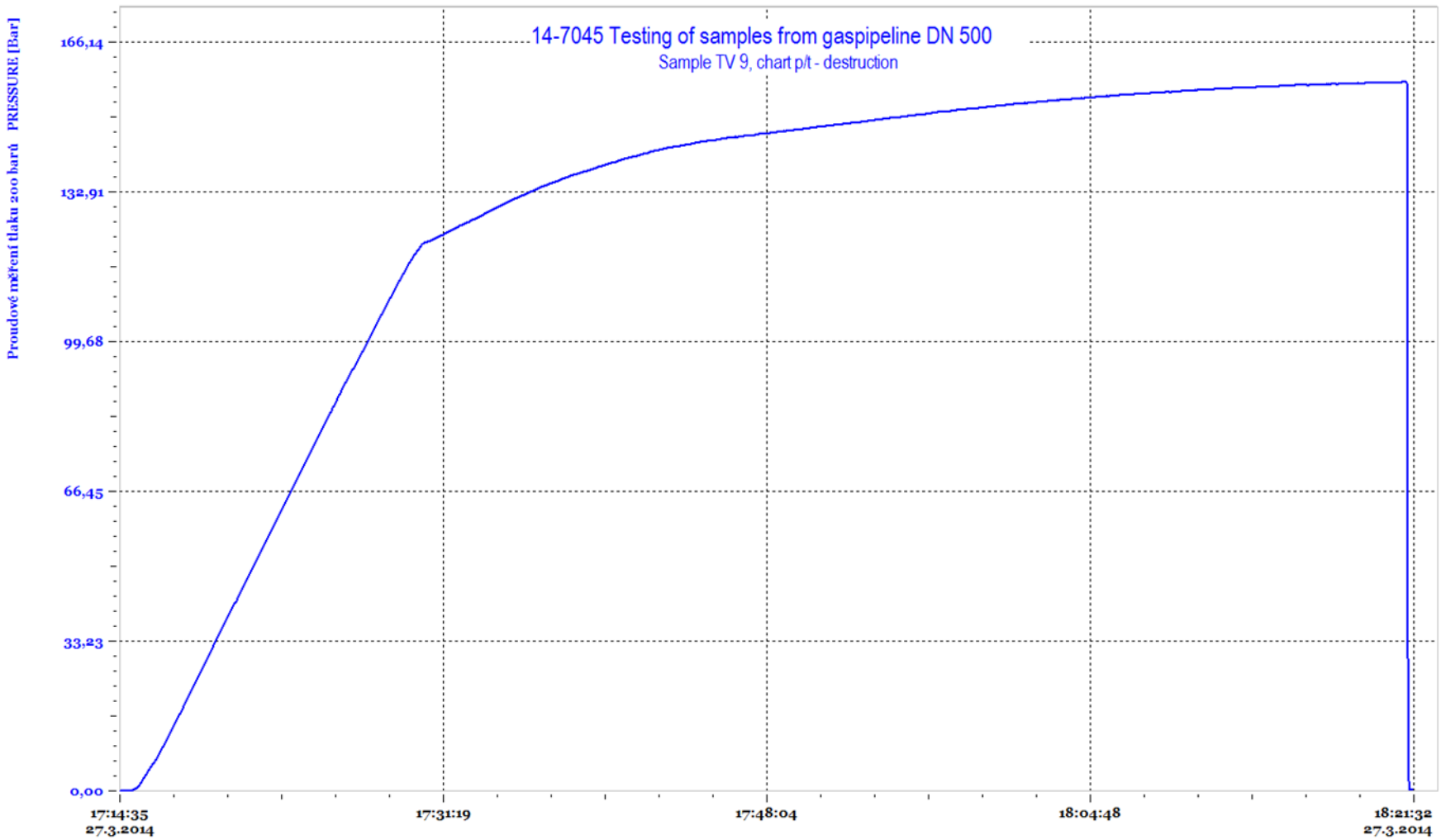


Tlakování tělesa k mezi kluzu – graf *p-V*

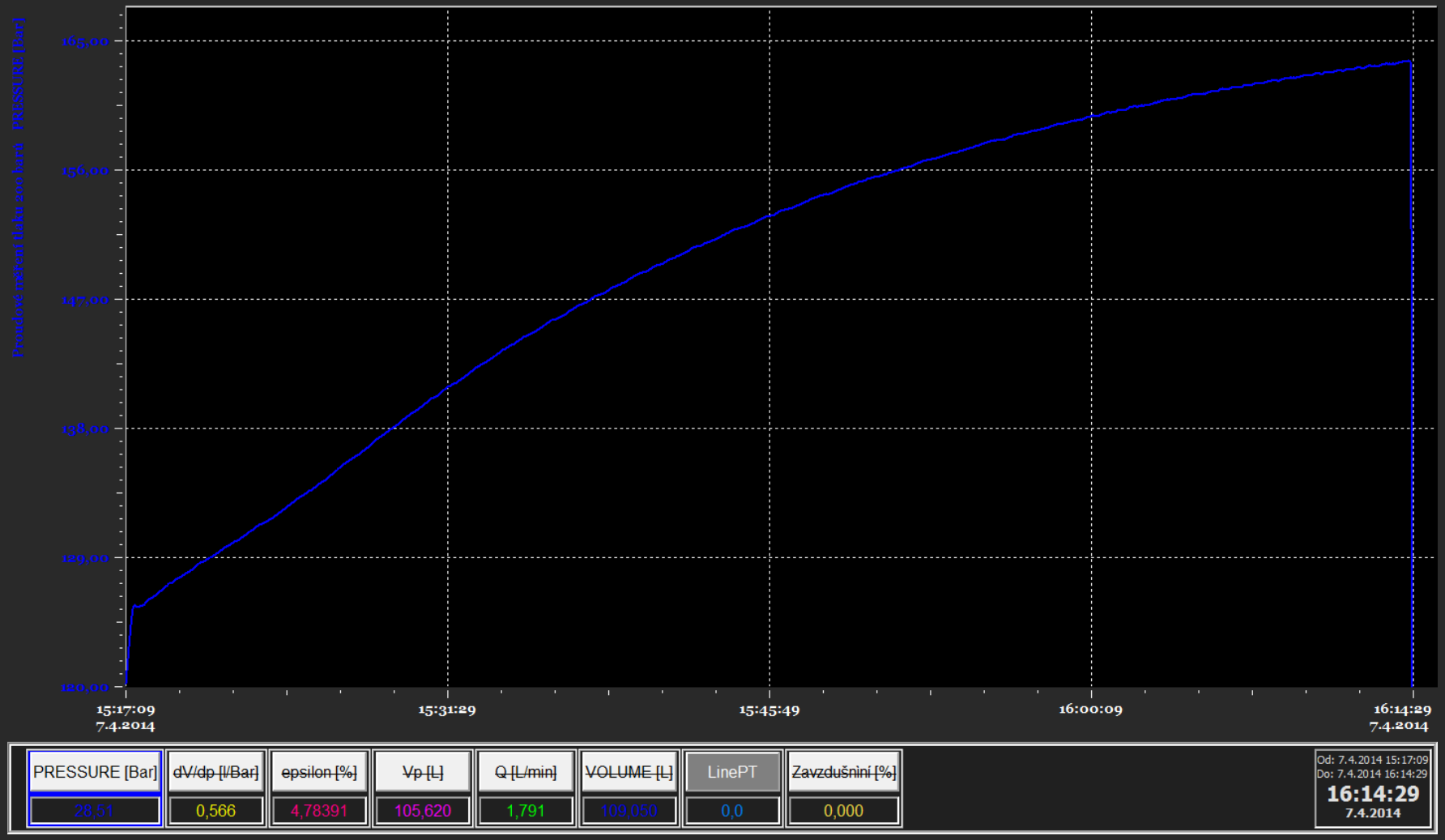



14-7045 Testing of samples from gaspipeline DN 500
Sample TV 9, chart p/t - cycling
Proudové měření tlaku 200 barů PRESSURE [Bar]
61,74
55,23
48,72
42,21
35,70
29,19
22,68
16,17
9,67
11:24:15
27.3.2014
11:26:18
11:28:20
11:30:22
11:32:25
27.3.2014

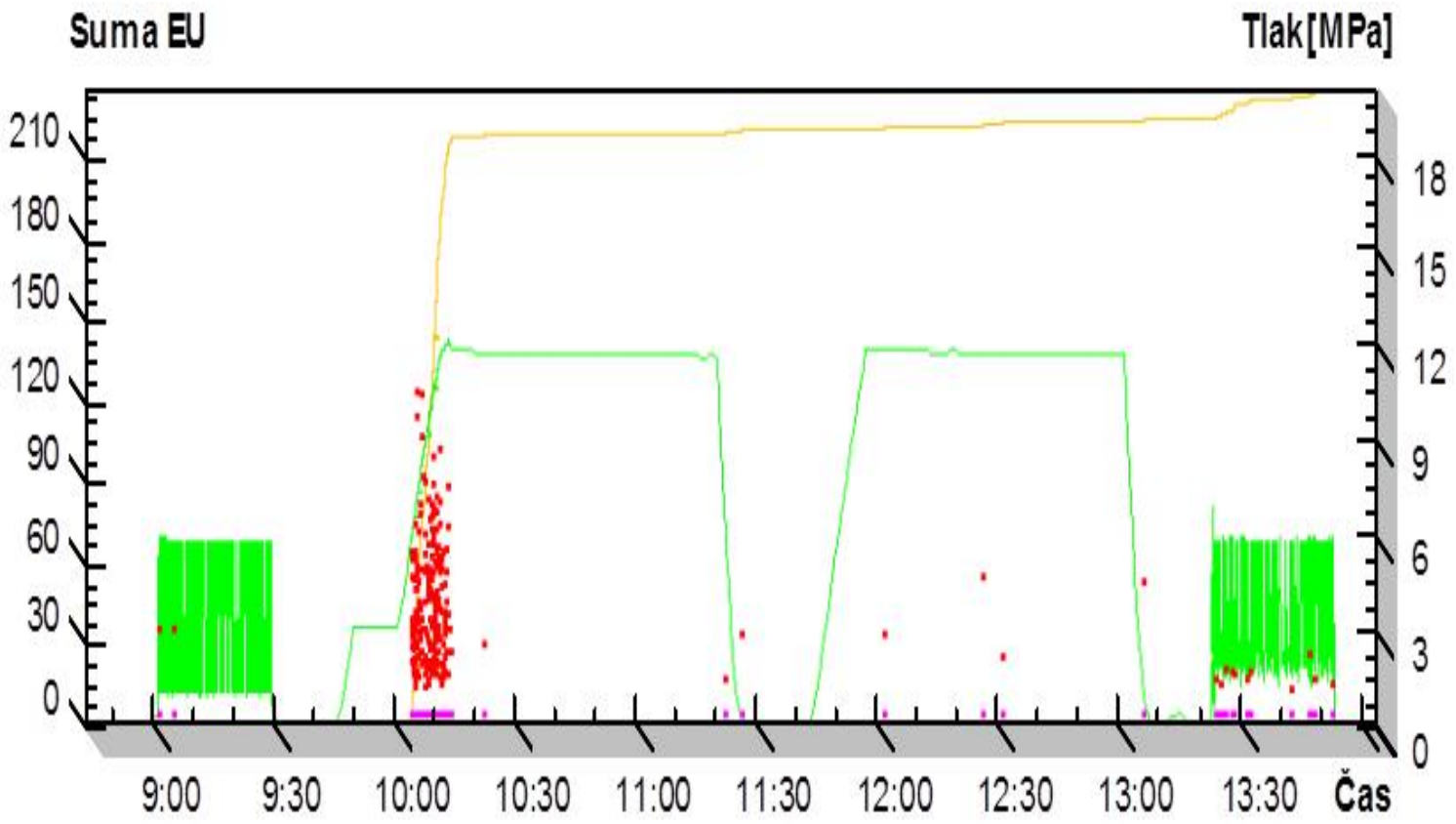
Tlakování tělesa na mez pevnosti – graf *p*



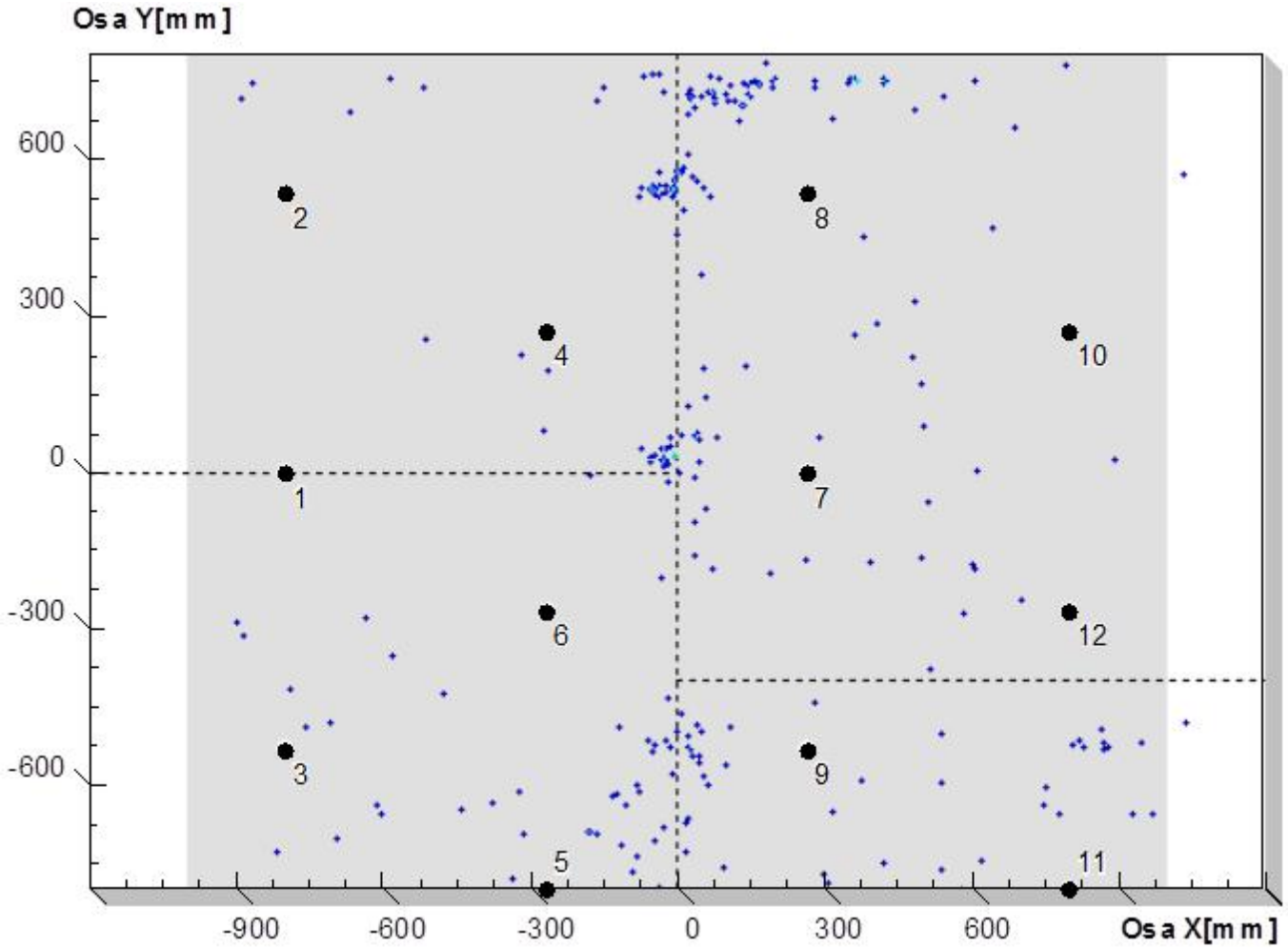
Tlakování tělesa na mez pevnosti – graf *p-t*



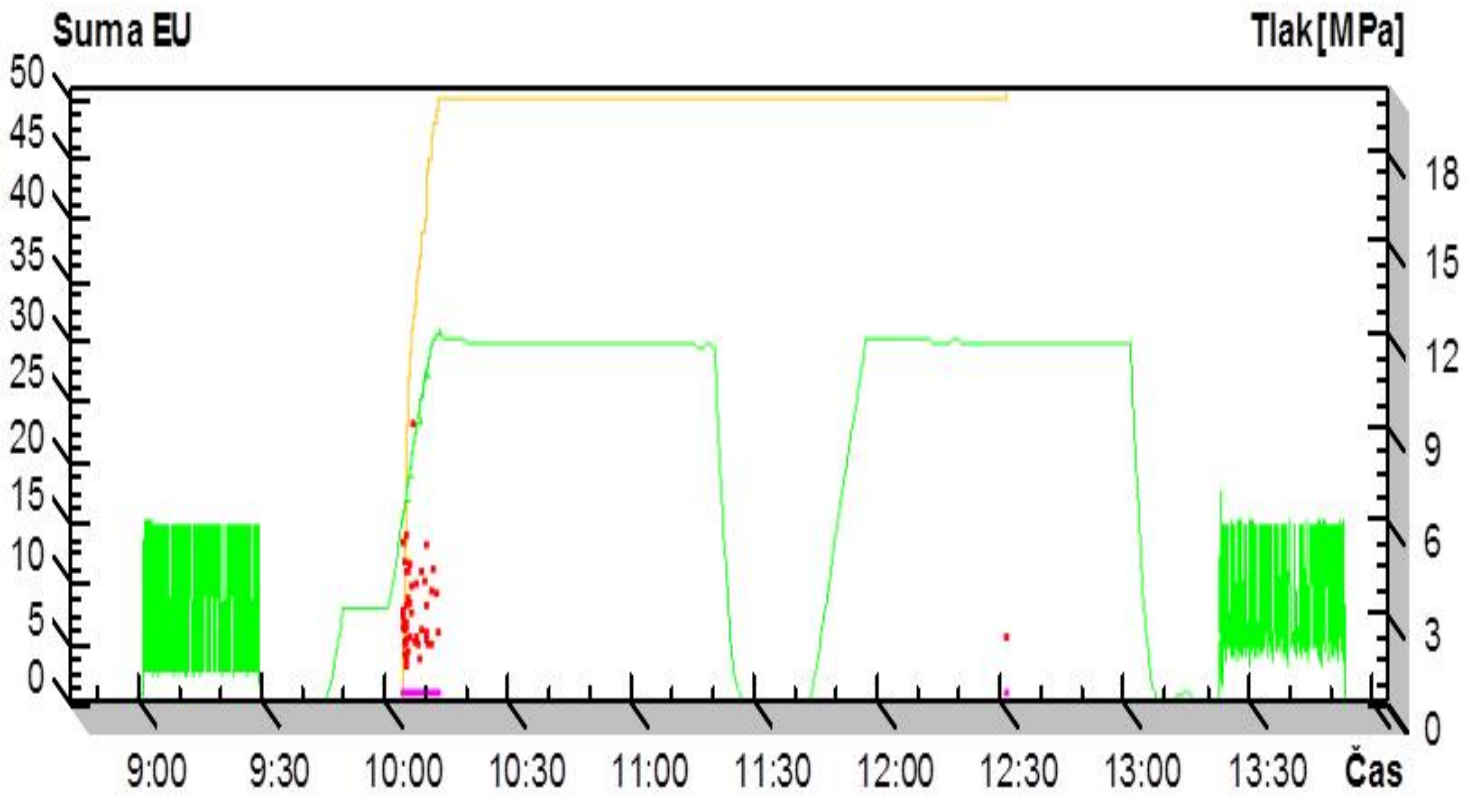
Aktivita AE při tlakování zkušebního tělesa TV2



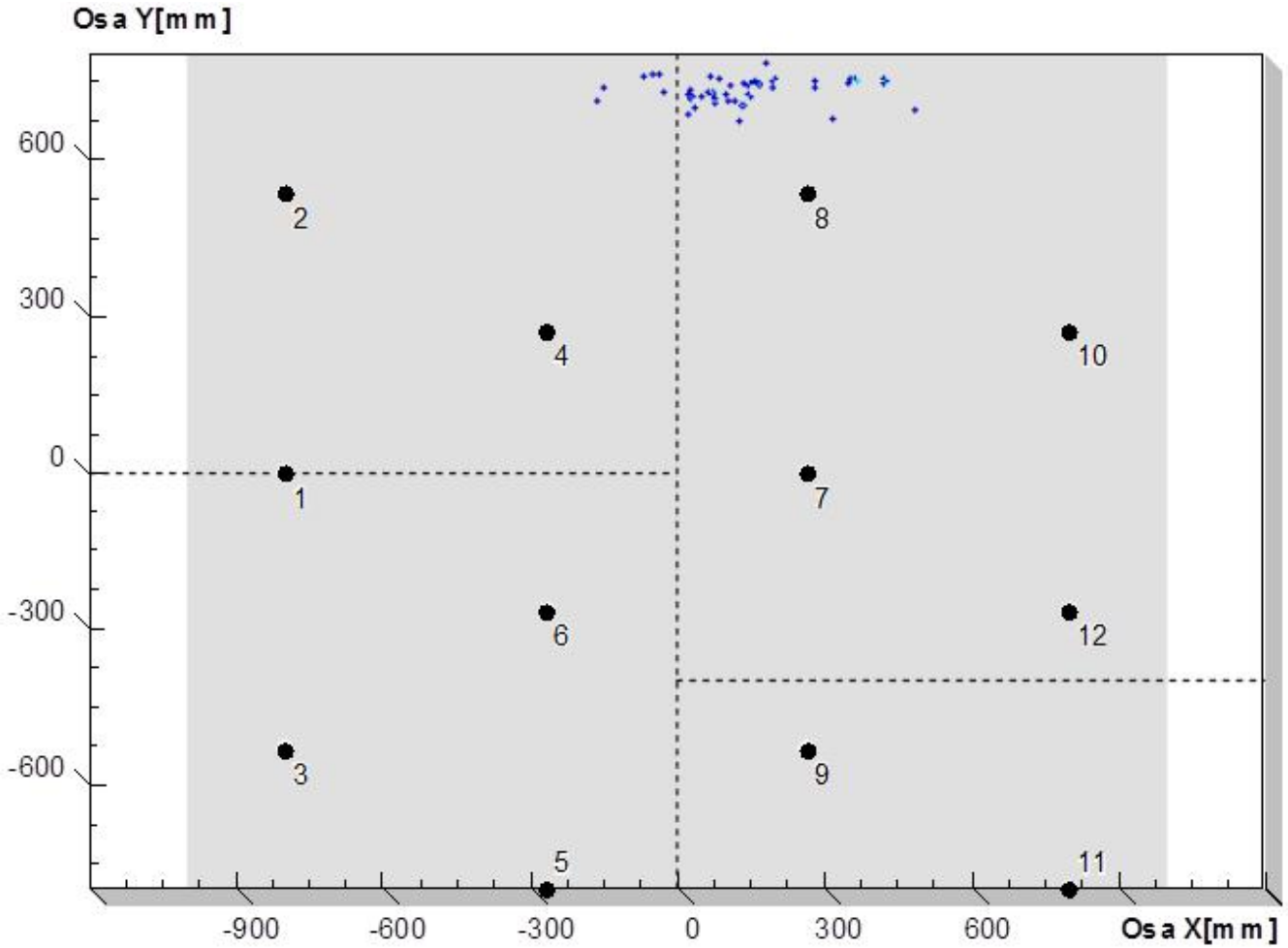
Mapa AE při tlakování zkušebního tělesa TV2



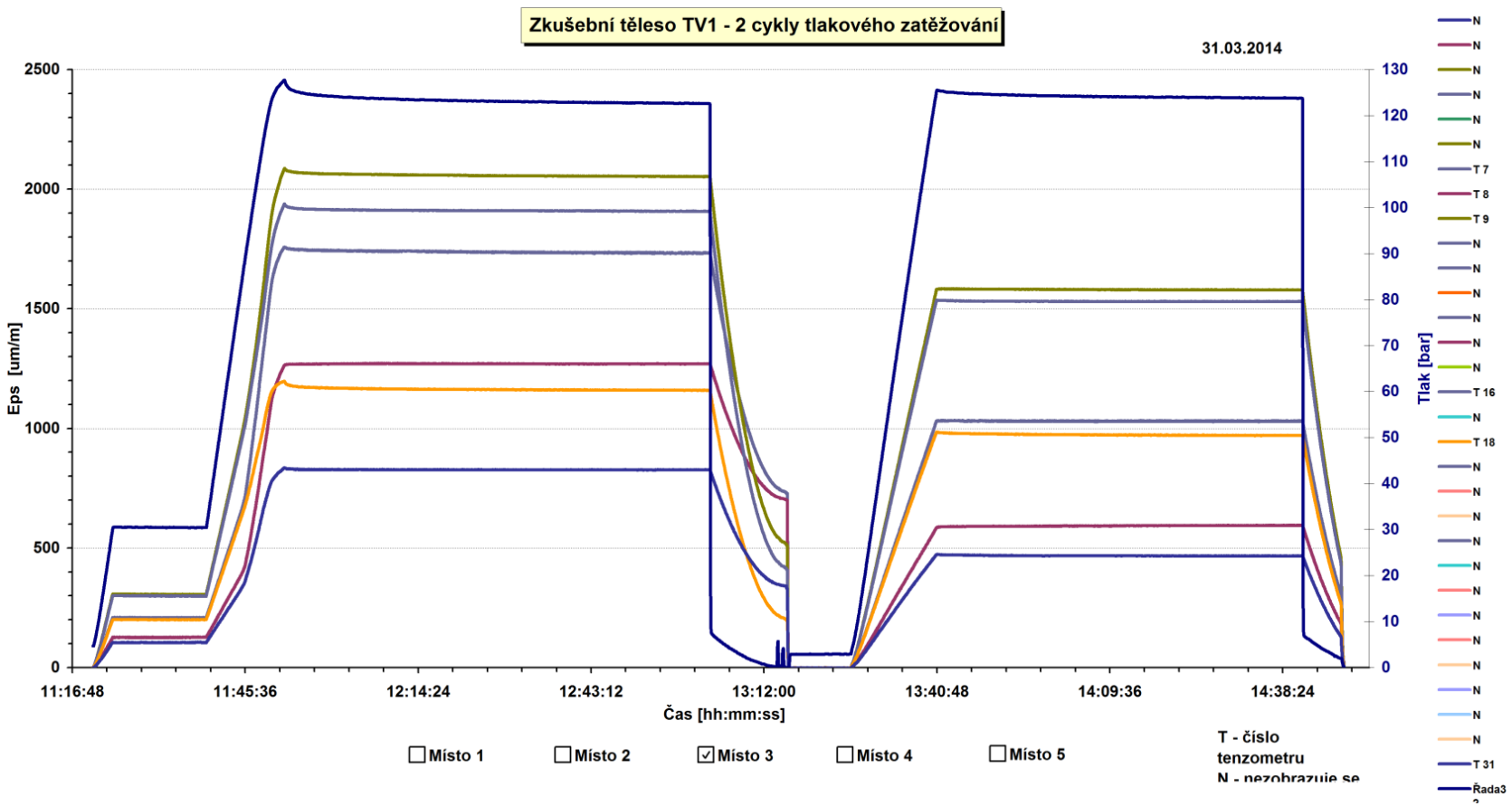
Aktivita AE zdroje TV2-Z1



Mapa AE zdroje TV2-Z1

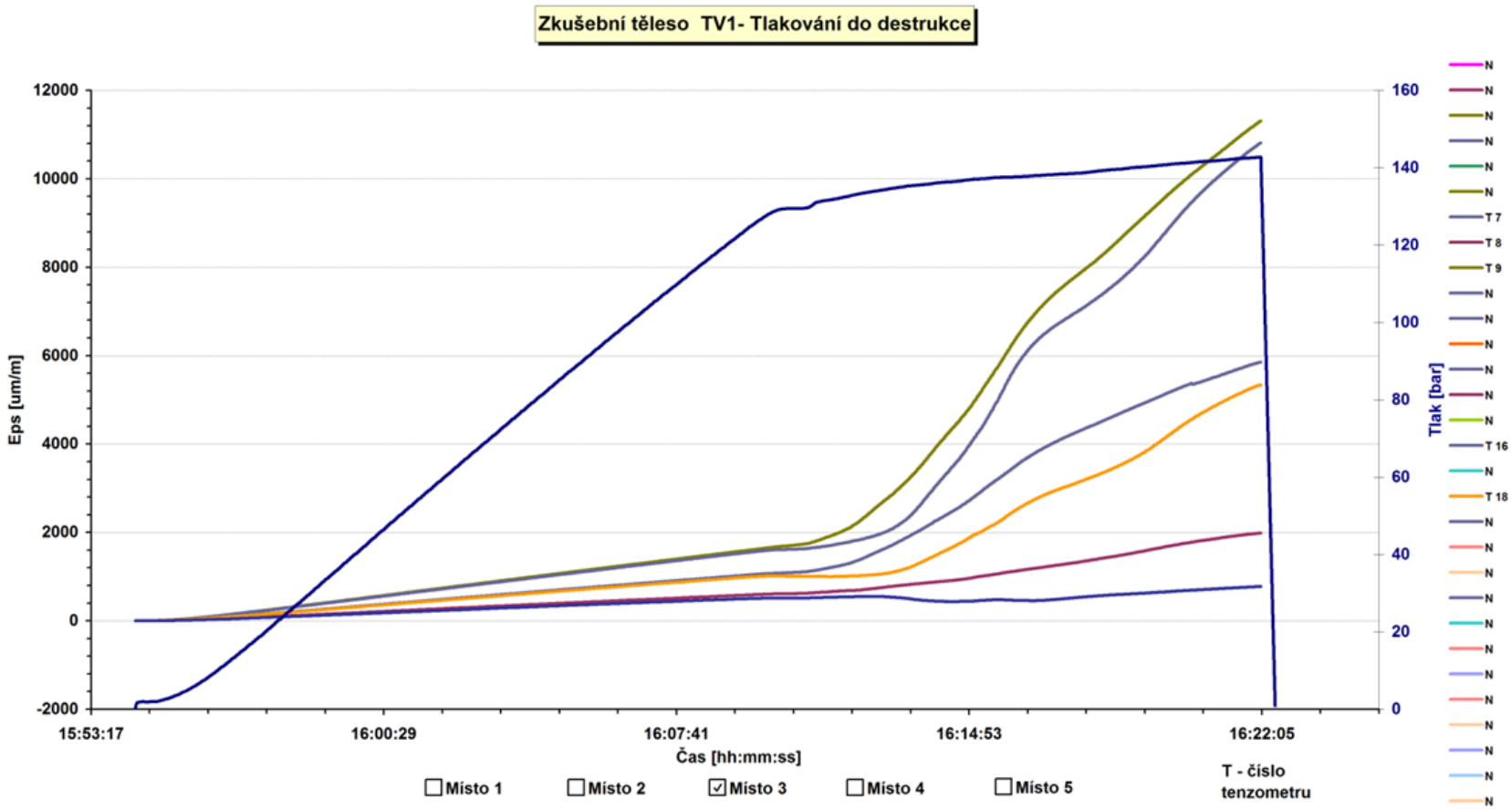


Tenzometrie



Časové průběhy hodnot relativního prodloužení a tlaku při 2 cyklech tlakového zatěžování – tenzometry T1 až T6

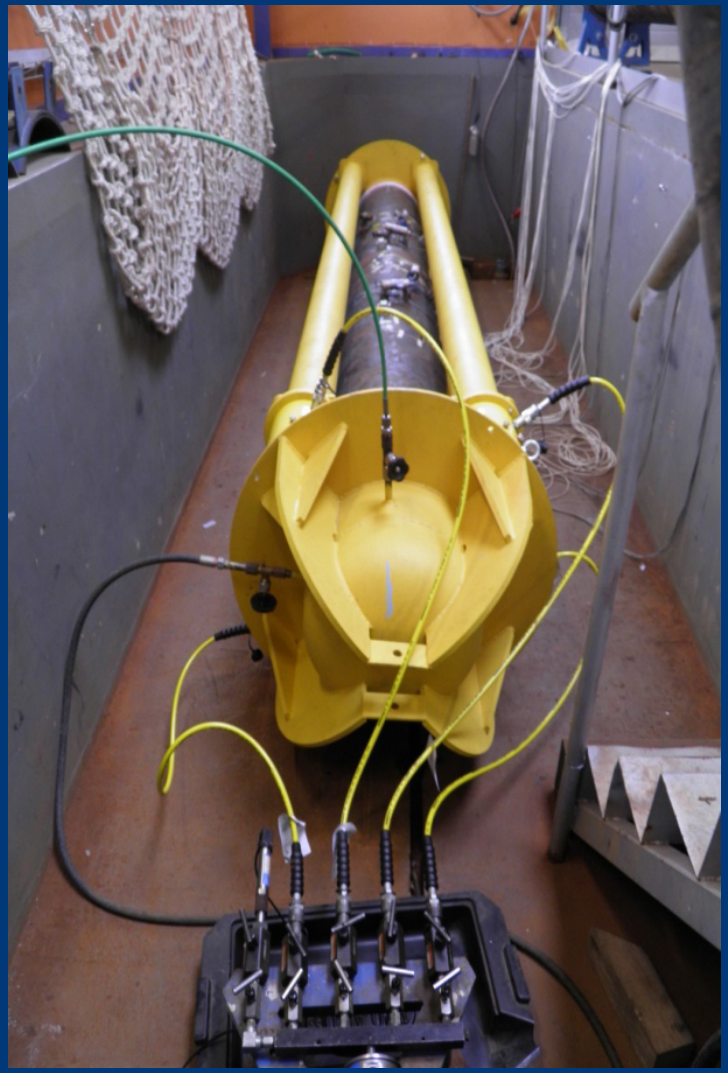
Tenzometrie



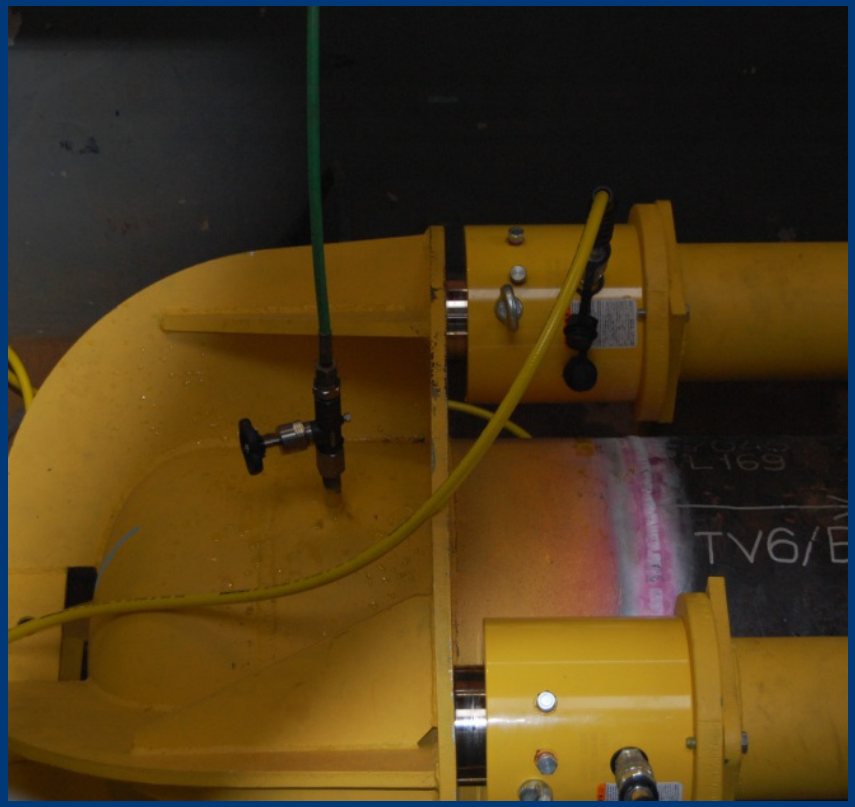
Časové průběhy hodnot relativního prodloužení a tlaku při 1. destrukční tlakové zkoušce – tenzometry T7 až T9 a T16 až T18

Destrukce tělesa TV1, TV9, TV10

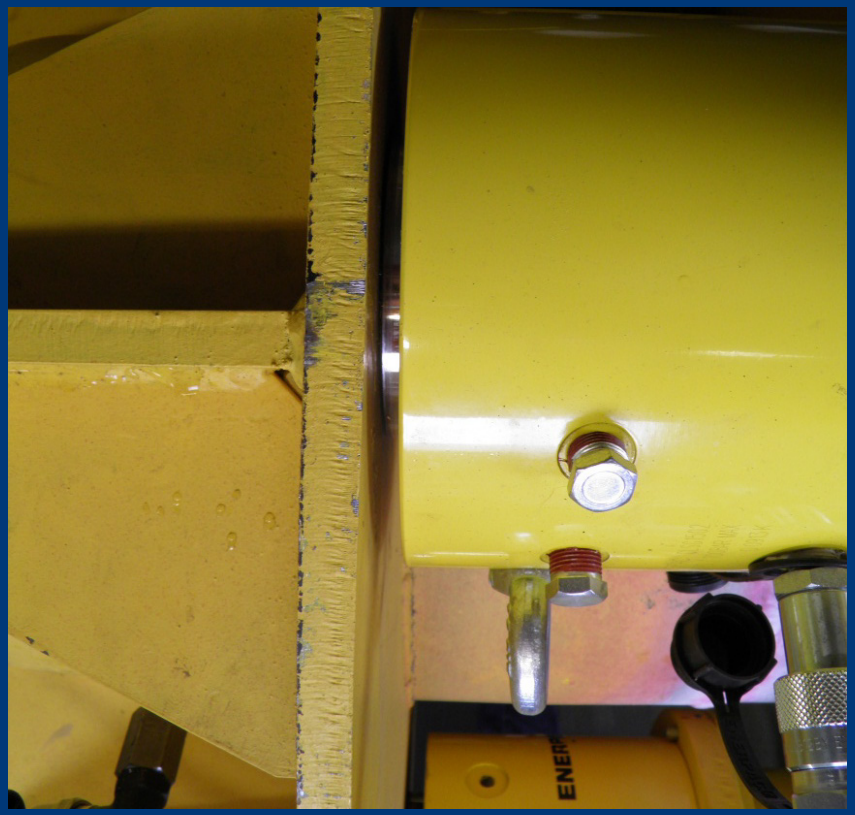
Zatížení tělesa axiální silou – rám

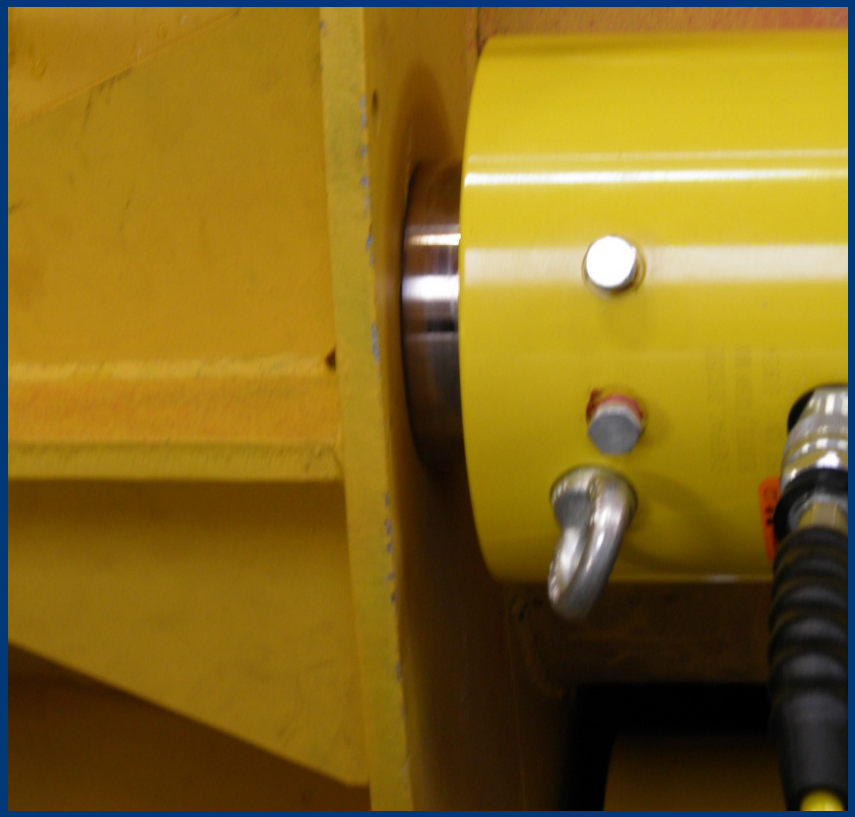


Zatížení tělesa axiální silou – vyztužená dýnka

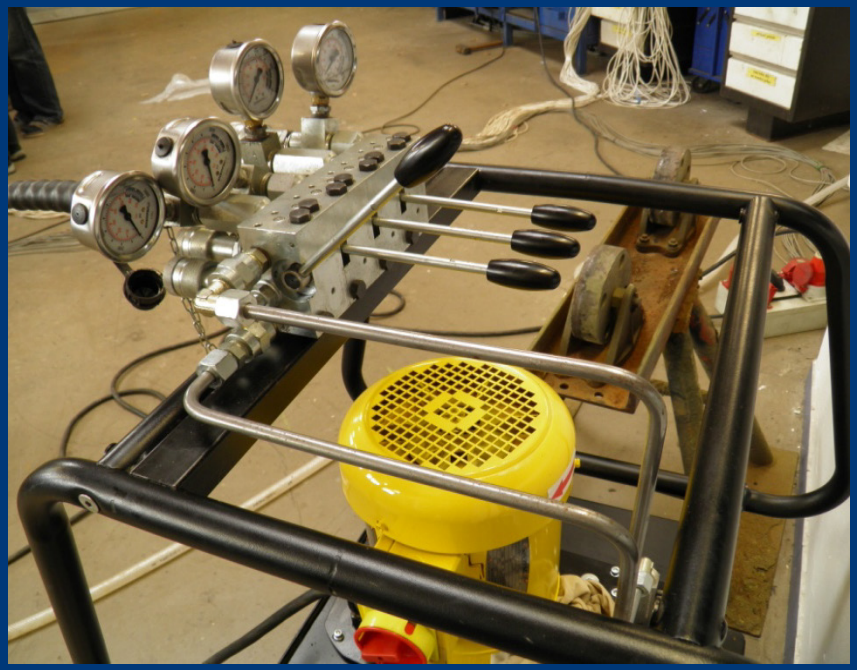


Zatížení tělesa axiální silou – hydraulický válec

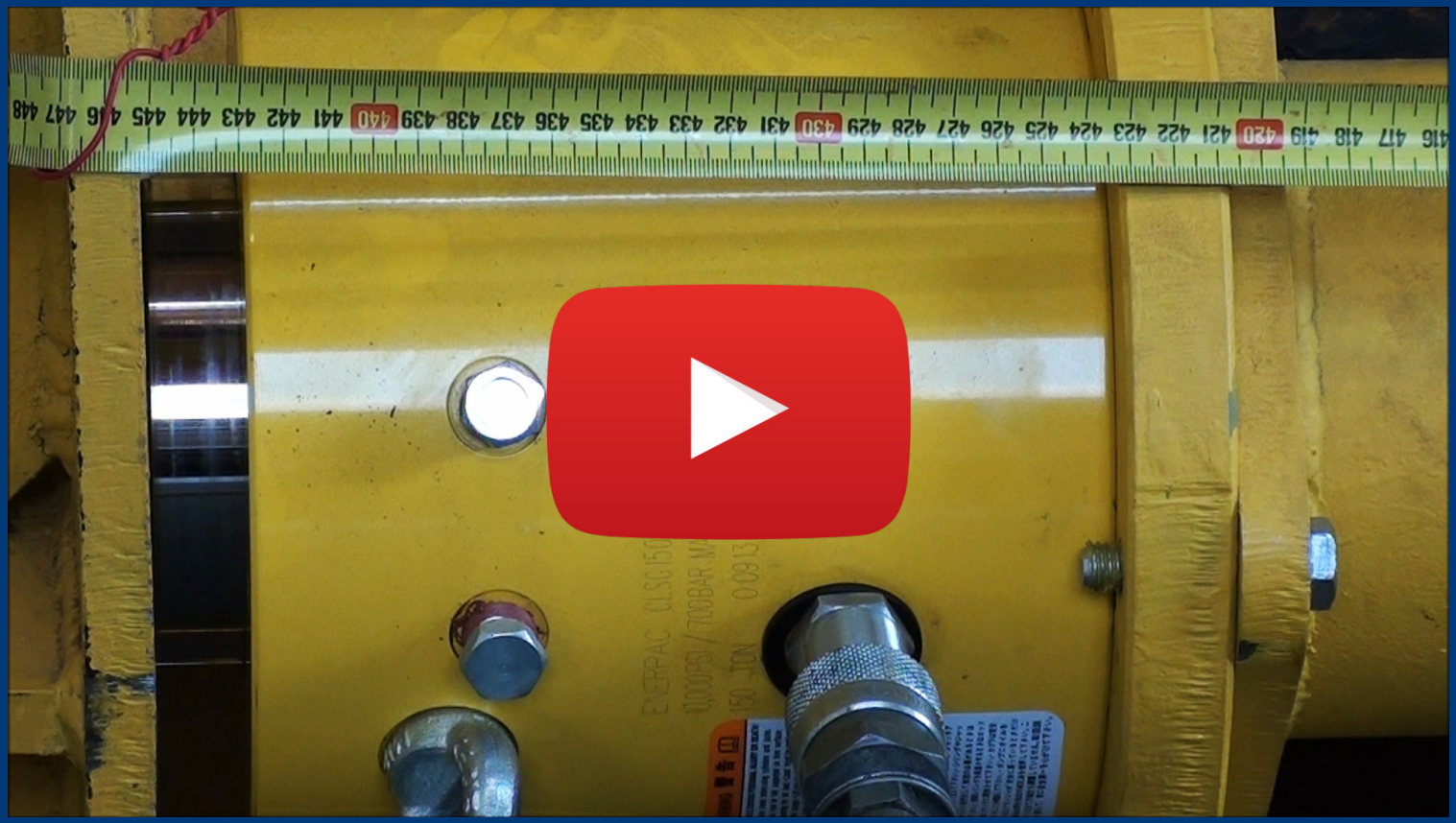




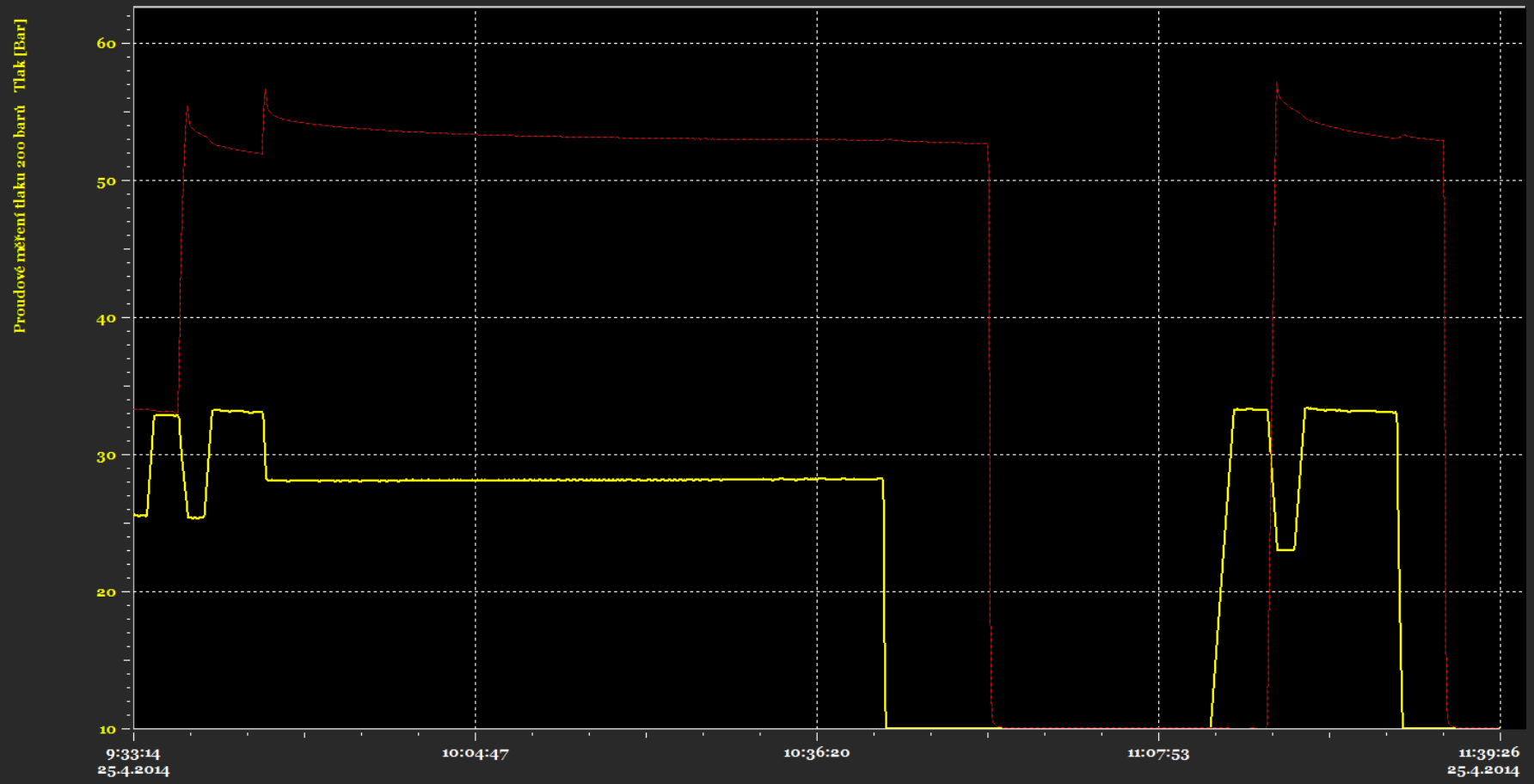
Zatížení tělesa axiální silou – hydraulický válec



Zatížení tělesa axiální silou – válce



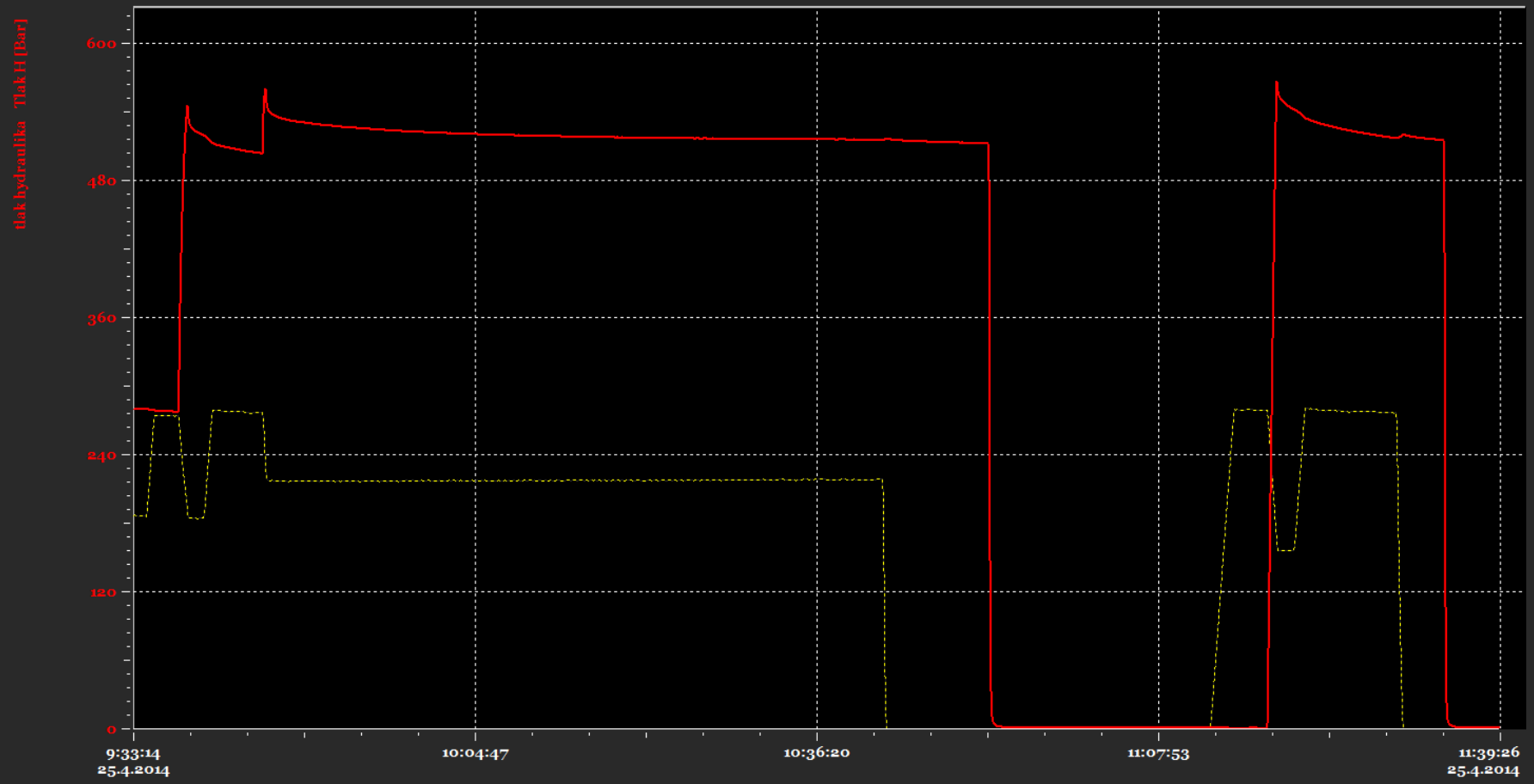
Zatížení tělesa axiální silou – graf přetlak



Tlak [Bar]	dV/dp [l/Bar]	epsilon [%]	Vp [L]	Q [L/min]	V [L]	LinePT	Tlak H [Bar]	Síla válců tuny [-]	sigma x válce [MPa]	Counter []
0	0,000	0,00000	0,000	0,000	3,641	0,0	0,0095	0,0	0,01	0,0

Od: 25.4.2014 9:33:14
Do: 25.4.2014 11:39:26
11:39:26
25.4.2014

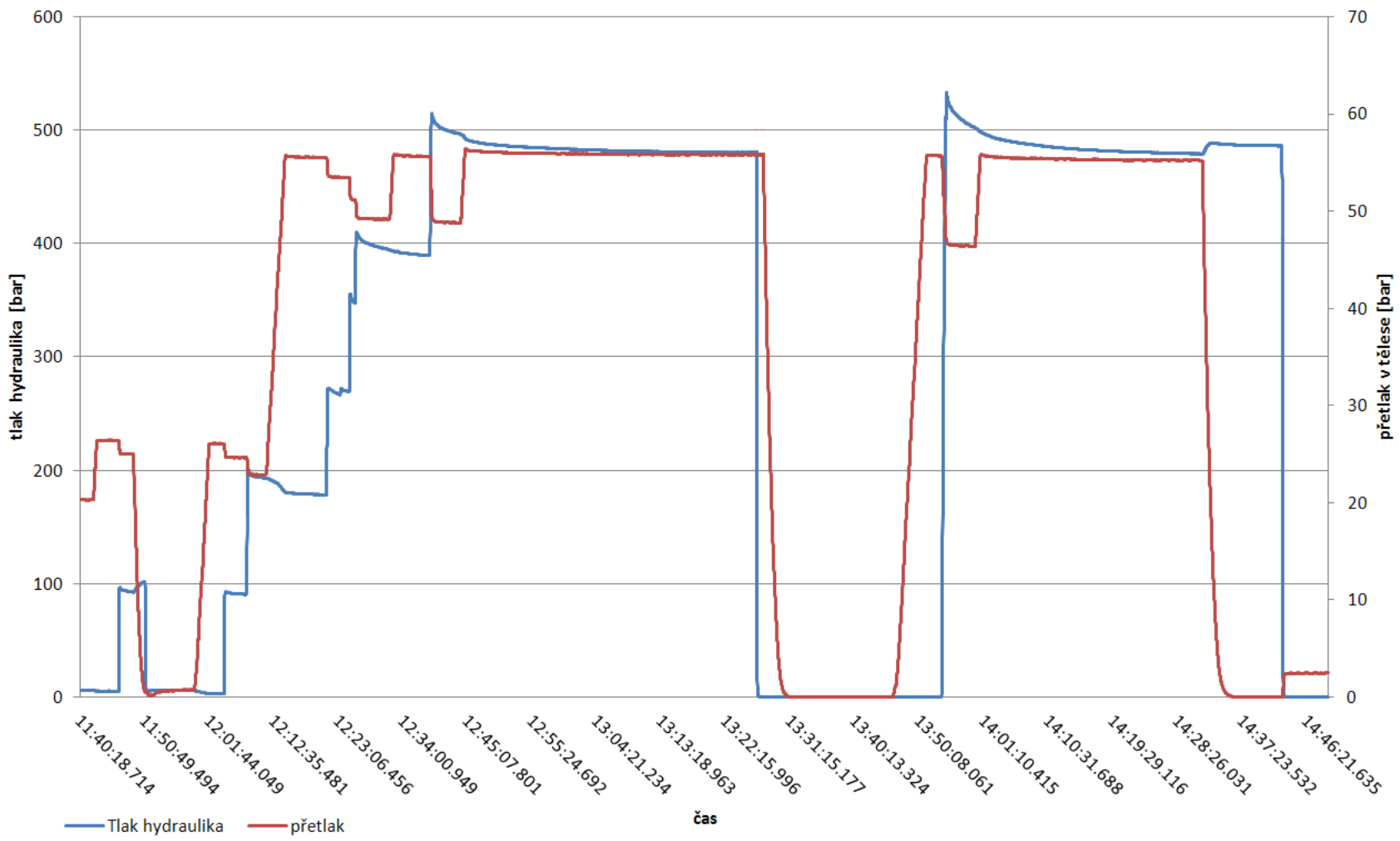
Zatížení tělesa axiální silou – graf hydraulika



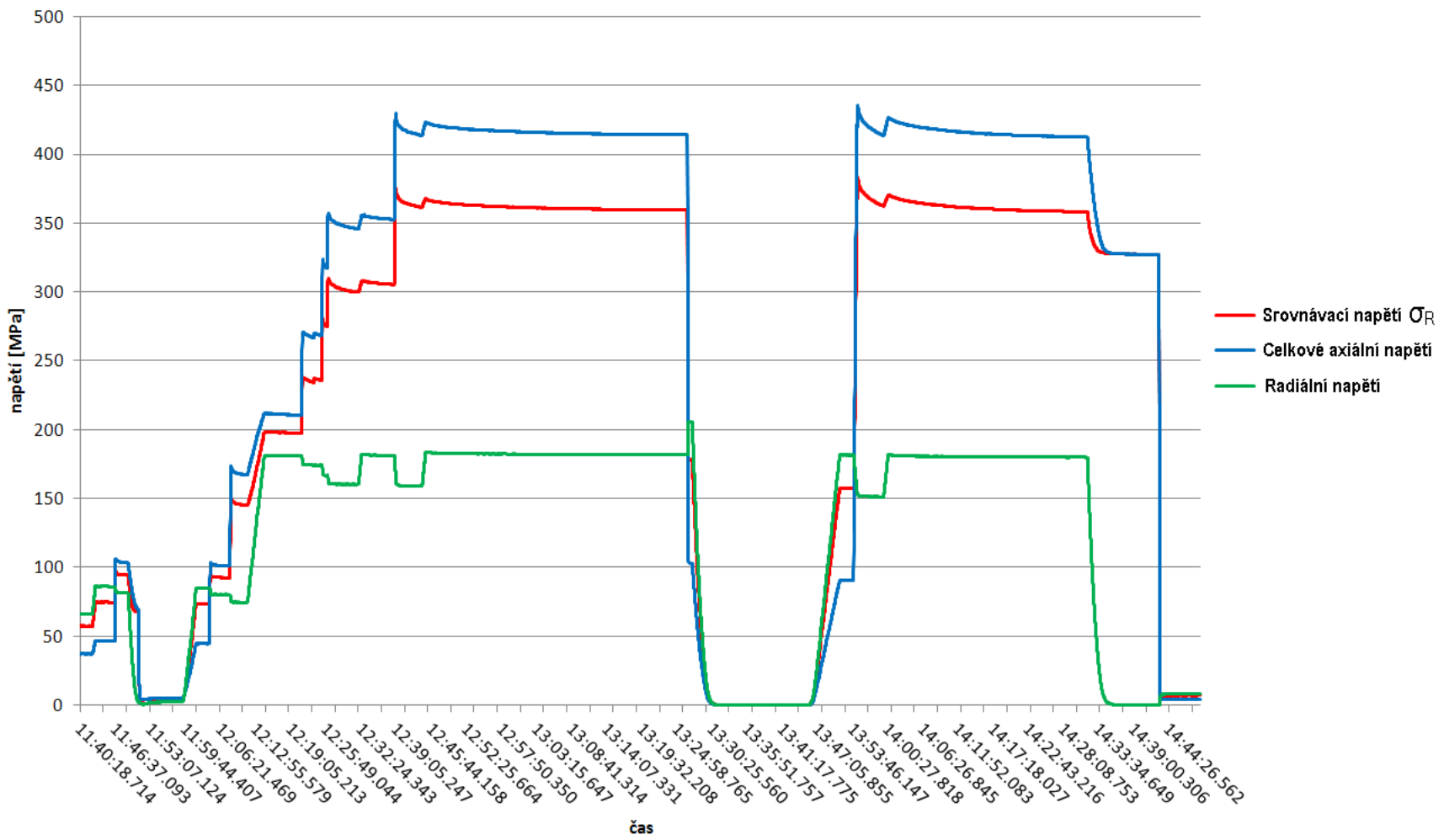
Tlak [Bar]	dV/dp [l/Bar]	epsilon [%]	Vp [L]	Q [L/min]	V [L]	LinePT	Tlak H [Bar]	Síla válců tuny [-]	sigma x válce [MPa]	Counter []
0	0,000	0,00000	0,000	0,000	3,641	0,0	0	0,0	0,01	0,0

Od: 25.4.2014 9:33:14
Do: 25.4.2014 11:39:26
11:39:26
25.4.2014

TV6 tlaky – hydraulika, přetlak



Závislosti napětí TV6



Přehled kombinace zatěžování – zkušební těleso	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8	TV9	TV10
cyklické zatěžování cca 100 cyklů, cca 10–55 bar	x	x	–	–	–	–	–	–	x	x
zatížení *p* na MOP = 55 bar	–	–	–	x	–	x	–	x	–	–
zatížení *p* na 60 % MOP = 33 bar	–	–	x	–	x	–	–	–	–	–
zatížení *p* k mezi kluzu										
1. cyklus	x	x	–	–	–	–	x	–	x	x
2. cyklus ověřovací	x	x	–	–	–	–	x	–	x	x
kontrolní cyklické zatěžování cca 100 cyklů, cca 10–55 bar	x	x	–	–	–	–	–	–	x	x
zatížení *p* na mez pevnosti	x	–	–	–	–	–	–	–	x	x
zatížení tahovou silou *F* (KN)	–	–	x	x	x	x	–	–	–	–
dlouhodobé cyklické zatížení 10–55 bar	–	–	–	–	–	–	x	x	–	–

Parametry pro zatěžování	TV1	TV2	TV3	TV4	TV5	TV6	TV7	TV8	TV9	TV10
D (mm)	508,9	509,9	508,3	507,7	508,3	507,7	507,0	507,0	508,3	507,6
t (mm)	7,0	8,13	7,45	7,71	7,55	7,79	7,85	7,67	7,26	7,46
A plocha průřezu zkušební trubky (mm²)			11800	12100	11950	12250				
R_y – průměr (MPa)	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388
R_m – průměr z atestu (MPa)	572								572	572
p_e – teoretický tlak na mezi kluzu (bar)										
Tresca	106,7	123,7	113,7	117,8	115,3	119,1	120,1		100,8	114,0
H-M-H	122,7	142,3	131,4	136,1	133,1	137,5	138,1		115,9	131,1
p_m – teoretický tlak na mezi pevnosti (bar)	157,4								163,4	168,1

Dosažené hodnoty při zatěžování	**TV1**	**TV2**	**TV3**	**TV4**	**TV5**	**TV6**	**TV7**	**TV8**	**TV9**	**TV10**
zatížení *p* k mezi kluzu (bar)										
1. cyklus	127,7	122,0	–	–	–	–	115,5	–	118,2	123,0
plastická obvodová deformace ε (%)	**0,069**	**0,070**	–	–	–	–	**0,071**	–	**0,068**	**0,071**
2. cyklus ověřovací	125,5	120,5	–	–	–	–	113,5	–	116,4	121,2
plastická obvodová deformace ε (%)	0,003	0,005	–	–	–	–	0,002	–	0,005	0,004
dlouhodobé cyklické zatížení 10–55 bar (počet)	–	–	–	–	–	–	11326	10099	–	–
zatížení *p* na mez pevnosti – destrukční tlak (bar)	142,1	–	–	–	–	–	–	–	157,1	163,0
zatížení tahovou silou *F* (KN)	–	–	4496	4214	4472	4432	–	–	–	–
zatížení *p* = 33 nebo 55 (bar)	–	–	33,0	55,0	33,0	55,0	–	–	–	–
radiální napětí $\sigma_\varphi = p.D/2.t$ (MPa) Tresca	464,1	382,6	112,6	181,1	111,1	179,2	373,0	–	413,8	418,5
axiální napětí $\sigma_x = 0{,}5\sigma_\varphi$ (MPa)	232,1	191,3	56,3	90,6	55,6	89,6	186,5	–	206,9	209,3
axiální napětí σ_x= F/A (MPa)	–	–	381,2	348,4	374,4	362,0	–	–	–	–
srovnávací napětí σ_R (MPa) H-M-H	**402,0**	**331,4**	**393,5**	**382,1**	**386,6**	**393,9**	**323,1**	–	**358,4**	**362,5**

Z výsledků zkoušek 10 zkušebních těles lze obecně konstatovat

a) Obvodové montážní svary všech zkušebních těles obsahovaly značné množství vad, z hlediska požadavků norem naprosto nepřípustného charakteru.

b) Různým způsobem zatěžování v rámci navrženého programu byla prokázána statická únosnost těchto svarů a částečně i únavová únosnost minimálně v rámci zatížení provozním přetlakem.

c) Problémem je ovšem fakt, že **nelze spolehlivě nalézt hranici** mezi svary s vadami přijatelnými a nepřijatelnými (*není myšleno z hlediska předpisů*).

   Žádná z nedestruktivních metod (ať už inspekční nástroj, nebo měření na odhaleném svaru – RT, UT, MT) nedokáže spolehlivě stanovit únosnost svaru s vadami.

Z výsledků zkoušek 10 zkušebních těles lze obecně konstatovat

d) Skutečnou únosnost obvodových montážních svarů (resp. celé trubky) je možné zkontrolovat (resp. též stabilizovat) pouze zatížením vnitřním přetlakem na úroveň blízkou mezi kluzu. U nově budovaných vysokotlakých potrubích je tento proces standardně realizován speciální tlakovou zkouškou (stresstest).

Z výsledků zkoušek 10 zkušebních těles lze obecně konstatovat

e) pro hodnocení spolehlivého provozu potrubí z hlediska únosnosti obvodového montážního svaru je nicméně pozitivní následující

- svařování plynovodů je poměrně kontrolovaný proces, takže výskyt většího množství vad ještě horšího charakteru je méně pravděpodobný,
- obvodový svar se vyskytuje ve směru příznivějšího napětí při zatížení potrubí vnitřním přetlakem,
- plynovod není standardně namáhán tahovým resp. ohybovým namáháním, které je pro obvodový svar mnohem nepříznivější,
- tuto skutečnost, tedy způsob namáhání, je ovšem nutné zaručit a kontrolovat během celého provozu každého plynovodu. Při případném mimořádném zatížení je možné rezervu v únosnosti potrubí ověřit výpočtem.

Děkuji Vám za pozornost

Ing. Petr Pařízek
technický ředitel

www.ceps-as.cz