INSTITUT
PRO TESTOVÁNÍ
A CERTIFIKACI

ITC SČZL 2024

WWW.ITCZLIN.CZ

OD 1993 TRADICE

PROFESIONALITA

ZKUŠENOST

ODBORNOST

Obsah

- PVC-U potrubí rok 1986
  - Historie
  - ČSN 64 3212 vs ČSN EN 1452
  - Dimenzování potrubí PVC-U (20°C/50 let)
  - Naměřené hodnoty vybraných parametrů
- Řízení dynamického zatěžování podvozkových dílů podle dráhy – mikro pohyb vs velké zatěžovací síly

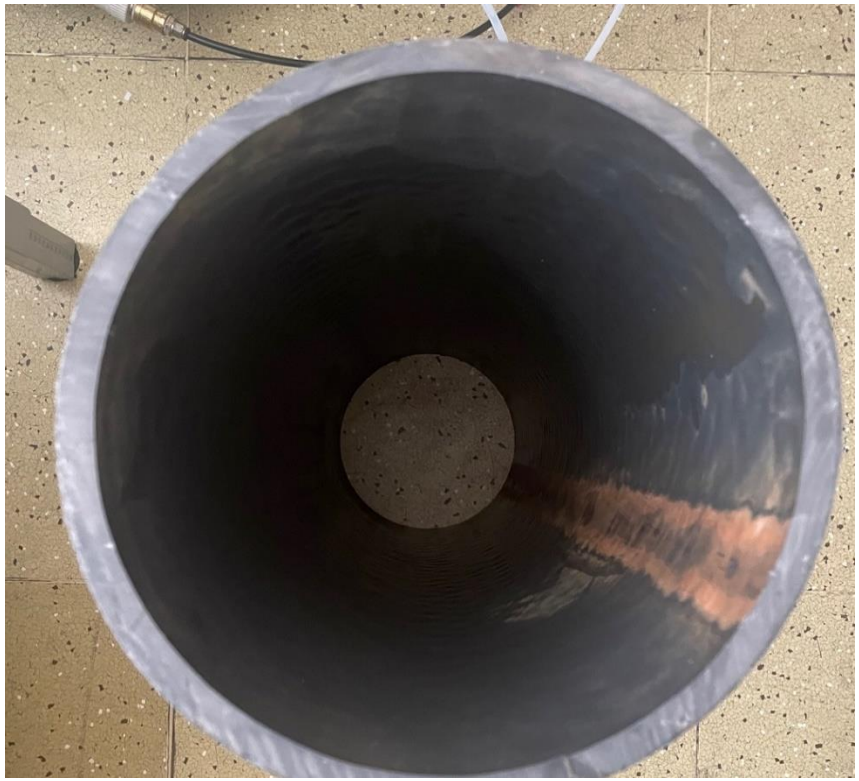
PVC-U potrubí

Potrubí PVC-U d225×8,7 mm
Uvedení do provozu rok 1986 (provoz 38 let)
Pitná voda, uváděný provozní tlak p = 4,0 bar

PVC-U potrubí

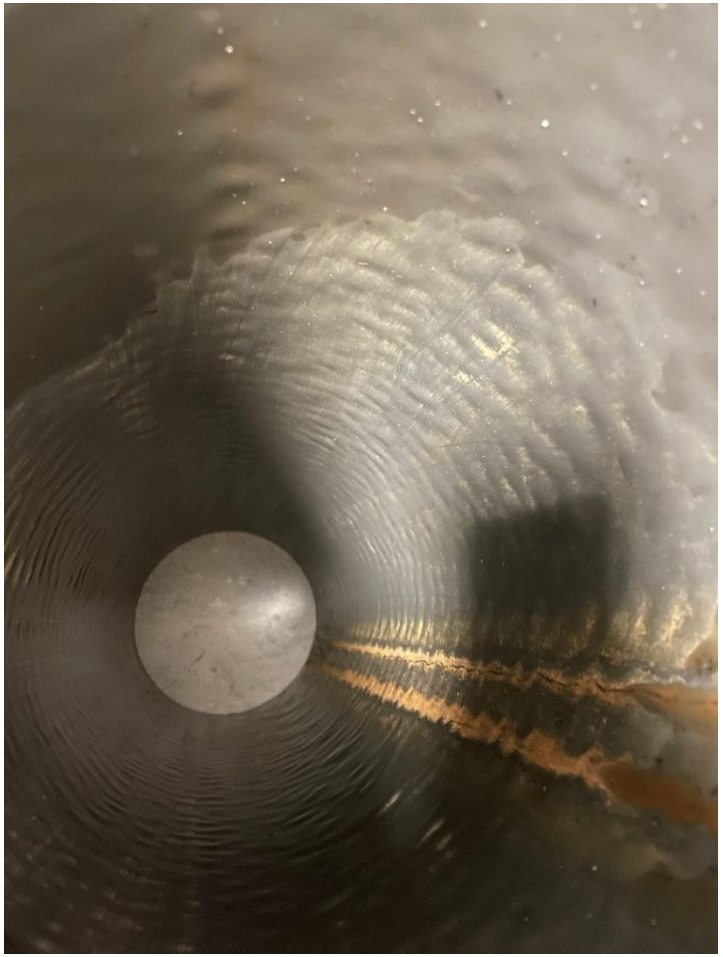
- VDJČebín,Heroltice, Klucanina

PVC-U potrubí



PVC-U potrubí

- Vnitřní povrch – viditelné defekty „zvrásnění“. Chyba při výrobě, nesouvisí s možnou degradací trubky při použití.

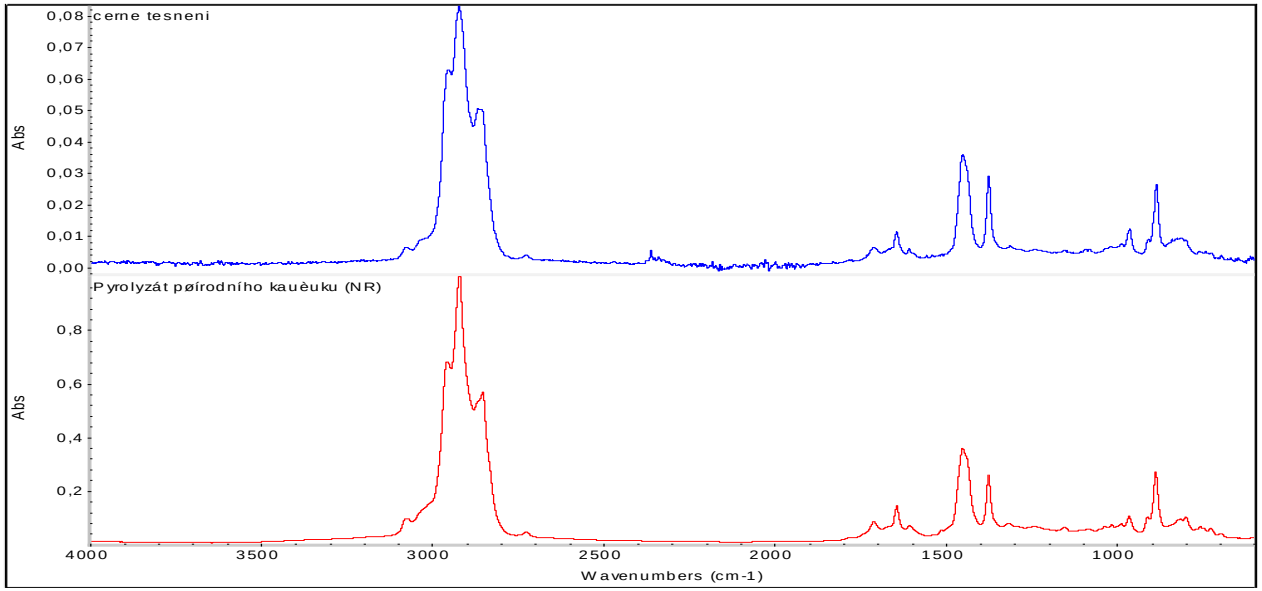


PVC-U potrubí

Povrch pryžového těsnění v místě maximální deformace. Materiál bez znatelné změny tvrdosti. Na těsnění nenalezené žádné značení.

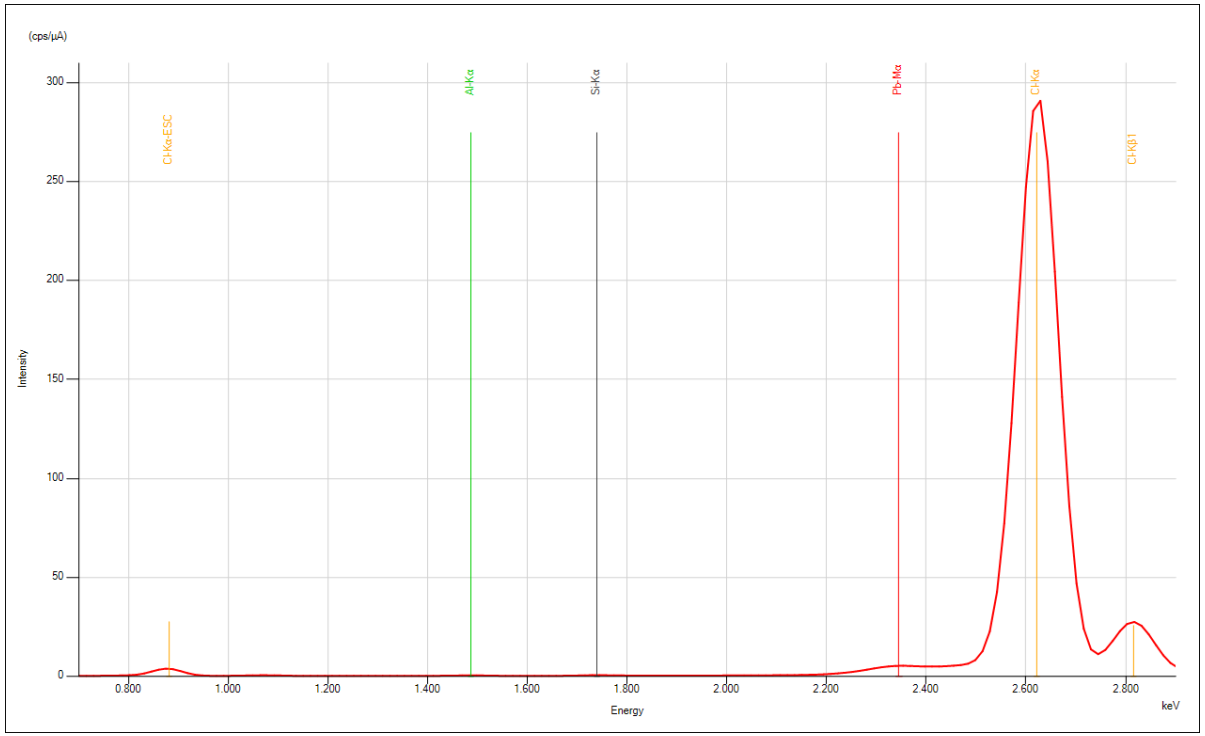
PVC-U potrubí

- Tvrdost Shore A: 49,0 pozice 1
  56,0 pozice 2
- Identifikace FTIR: IR (syntetický isoprenový kaučuk, přírodní kaučuk), norma zmiňuje EPDM pouze pro použití v potravinářství

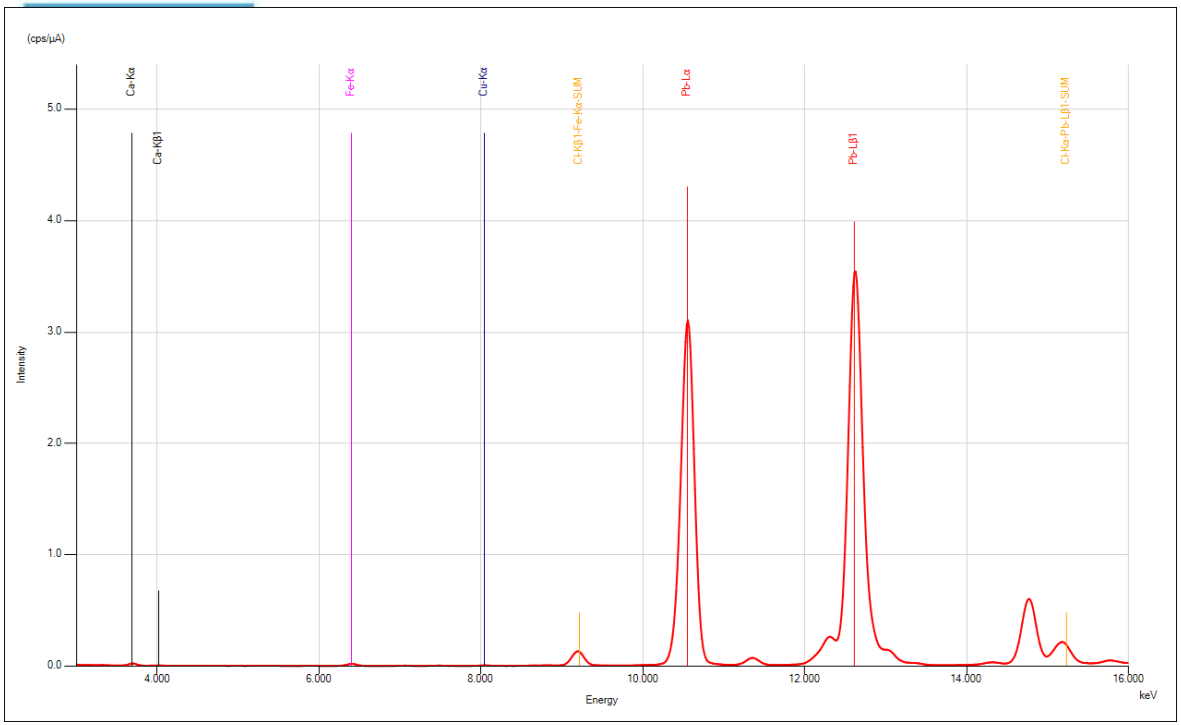


PVC-U potrubí

- Prvková analýza XRF



PVC-U potrubí

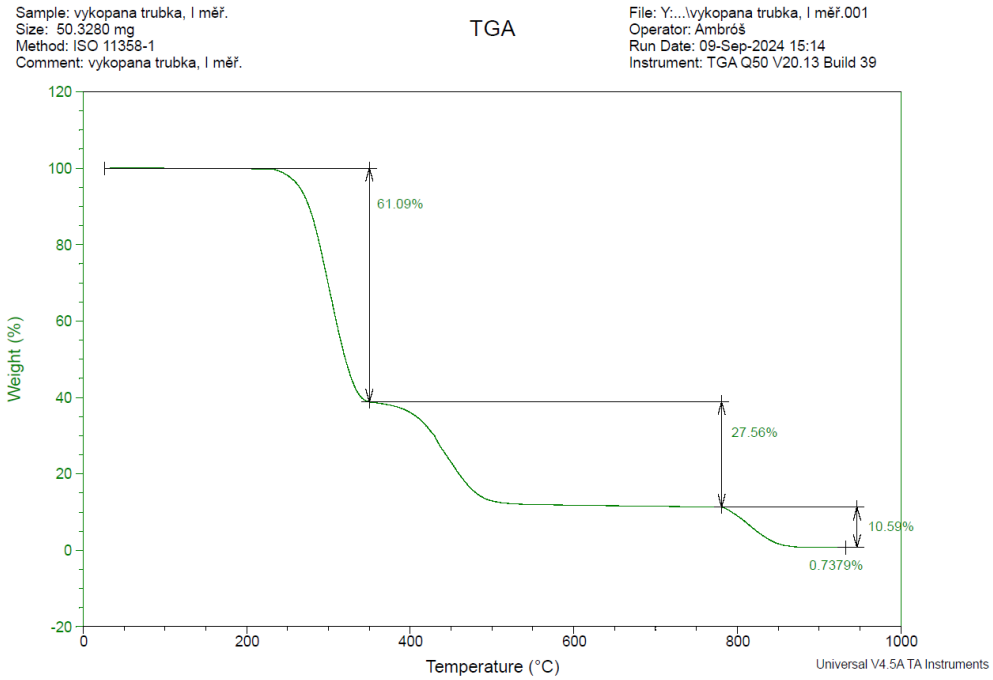


Ve spektru (v rozsahu Na-U) jsou patrny pouze čáry dvou majoritních prvků a to chloru (na 2,61 keV z PVC) a několik čar olova (10.5 keV a Lb na 12.6 keV), zjevně ze stabilizace – stearanu olovnatého. Jako minoritní prvky jsou zde vápník (3,7 keV) a železo (6,4 keV).

PVC-U potrubí

Obsah PVC vs anorganická plniva:
Analýza TGA: 99,24 „oxidovatelné složky“

Obsah popela – muflová pec: 0,87%



PVC-U potrubí

Značena jako 225×8,7, tzv „těžká řada“,
SDR 26 (S = 12,5)

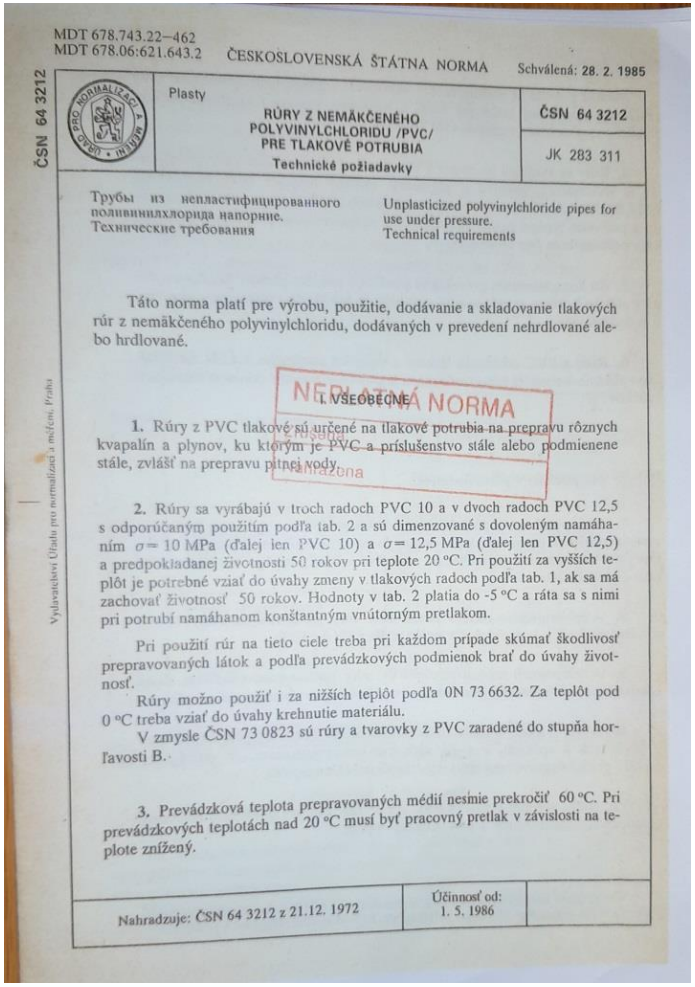
PVC-U potrubí

Původní
ČSN 64 3212 (643212)
Plasty. Rúry z nemäkčeného polyvinylchloridu (PVC) pre tlakové potrubia. Technické požadavky. Datace 28.02.1986
V roce 1985 tedy ještě neplatná!
Zavádí PVC 12,5MPa, současně ruší PVC 6 MPA, podklady pro těsnění atd.

Dtto z roku 21.12.1972 – platná v době výroby.

ČSN EN ISO 1452-2 (643185) - červenec 2010
Plastové potrubní systémy pro rozvod vody a tlakové kanalizační přípojky a stokové sítě uložené v zemi i nadzemní - Neměkčený polyvinylchlorid (PVC-U) - Část 2: Trubky

PVC-U potrubí



MDT 678.743.22–462
MDT 678.06:621.643.2 ČESKOSLOVENSKÁ ŠTÁTNA NORMA Schválená: 28. 2. 1985

ČSN 64 3212

Plasty

RÚRY Z NEMÄKČENÉHO POLYVINYLCHLORIDU /PVC/ PRE TLAKOVÉ POTRUBIA

Technické požiadavky

ČSN 64 3212

JK 283 311

Трубы из непластифицированного поливинилхлорида напорные. Технические требования

Unplasticized polyvinylchloride pipes for use under pressure. Technical requirements

Táto norma platí pre výrobu, použitie, dodávanie a skladovanie tlakových rúr z nemäkčeného polyvinylchloridu, dodávaných v prevedení nehrdlované alebo hrdlované.

NEPLATNÁ NORMA
Zrušena
Nahrazena

I. VŠEOBECNE

1. Rúry z PVC tlakové sú určené na tlakové potrubia na prepravu rôznych kvapalín a plynov, ku ktorým je PVC a príslušenstvo stále alebo podmienene stále, zvlášť na prepravu pitnej vody.

2. Rúry sa vyrábajú v troch radoch PVC 10 a v dvoch radoch PVC 12,5 s odporúčaným použitím podľa tab. 2 a sú dimenzované s dovoleným namáhaním $\sigma = 10$ MPa (ďalej len PVC 10) a $\sigma = 12{,}5$ MPa (ďalej len PVC 12,5) a predpokladanej životnosti 50 rokov pri teplote 20 °C. Pri použití za vyšších teplôt je potrebné vziať do úvahy zmeny v tlakových radoch podľa tab. 1, ak sa má zachovať životnosť 50 rokov. Hodnoty v tab. 2 platia do -5 °C a ráta sa s nimi pri potrubí namáhanom konštantným vnútorným pretlakom.

Pri použití rúr na tieto ciele treba pri každom prípade skúmať škodlivosť prepravovaných látok a podľa prevádzkových podmienok brať do úvahy životnosť.

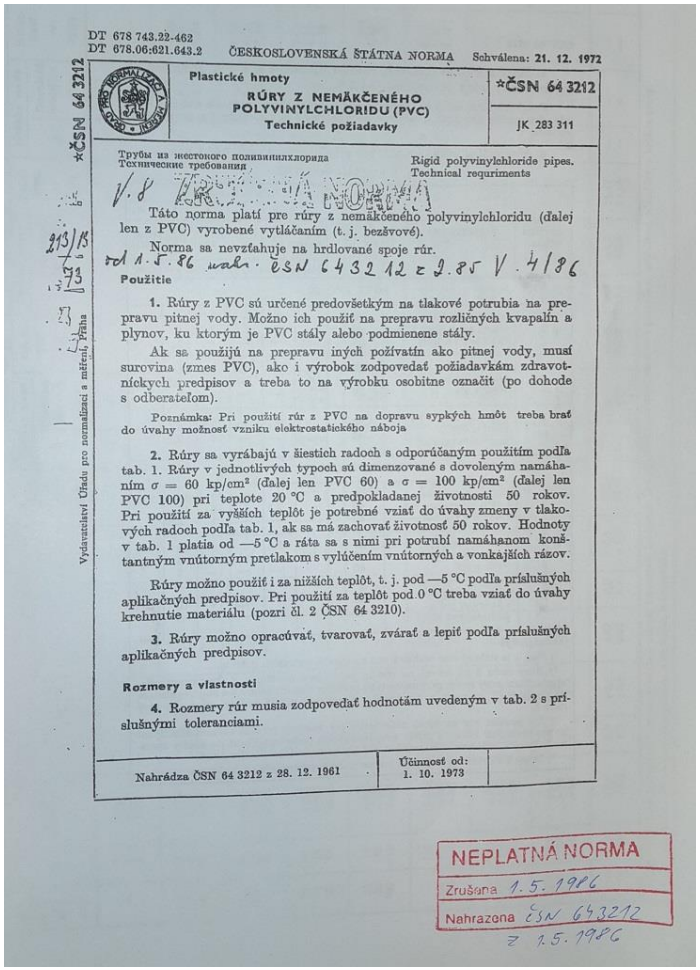
Rúry možno použiť i za nižších teplôt podľa ON 73 6632. Za teplôt pod 0 °C treba vziať do úvahy krehnutie materiálu.

V zmysle ČSN 73 0823 sú rúry a tvarovky z PVC zaradené do stupňa horľavosti B.

3. Prevádzková teplota prepravovaných médií nesmie prekročiť 60 °C. Pri prevádzkových teplotách nad 20 °C musí byť pracovný pretlak v závislosti na teplote znížený.

Nahradzuje: ČSN 64 3212 z 21.12. 1972 | Účinnosť od: 1. 5. 1986

Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha



DT 678 743.22-462
DT 678.06:621.643.2 ČESKOSLOVENSKÁ ŠTÁTNA NORMA Schválena: 21. 12. 1972

*ČSN 64 3212

Plastické hmoty

RÚRY Z NEMÄKČENÉHO POLYVINYLCHLORIDU (PVC)

Technické požiadavky

*ČSN 64 3212

JK 283 311

Трубы из жесткого поливинилхлорида Технические требования

Rigid polyvinylchloride pipes. Technical requriments

V. 8 ZRUŠENÁ NORMA

Táto norma platí pre rúry z nemäkčeného polyvinylchloridu (ďalej len z PVC) vyrobené vytláčaním (t. j. bezšvové).

Norma sa nevzťahuje na hrdlované spoje rúr.

od 1.5.86 nahr. ČSN 643212 z 2.85 V. 4/86

Použitie

1. Rúry z PVC sú určené predovšetkým na tlakové potrubia na prepravu pitnej vody. Možno ich použiť na prepravu rozličných kvapalín a plynov, ku ktorým je PVC stály alebo podmienene stály.

Ak sa použijú na prepravu iných požívatín ako pitnej vody, musí surovina (zmes PVC), ako i výrobok zodpovedať požiadavkám zdravotníckych predpisov a treba to na výrobku osobitne označiť (po dohode s odberateľom).

Poznámka: Pri použití rúr z PVC na dopravu sypkých hmôt treba brať do úvahy možnosť vzniku elektrostatického náboja

2. Rúry sa vyrábajú v šiestich radoch s odporúčaným použitím podľa tab. 1. Rúry v jednotlivých typoch sú dimenzované s dovoleným namáhaním $\sigma = 60$ kp/cm² (ďalej len PVC 60) a $\sigma = 100$ kp/cm² (ďalej len PVC 100) pri teplote 20 °C a predpokladanej životnosti 50 rokov. Pri použití za vyšších teplôt je potrebné vziať do úvahy zmeny v tlakových radoch podľa tab. 1, ak sa má zachovať životnosť 50 rokov. Hodnoty v tab. 1 platia od —5 °C a ráta sa s nimi pri potrubí namáhanom konštantným vnútorným pretlakom s vylúčením vnútorných a vonkajších rázov.

Rúry možno použiť i za nižších teplôt, t. j. pod —5 °C podľa príslušných aplikačných predpisov. Pri použití za teplôt pod 0 °C treba vziať do úvahy krehnutie materiálu (pozri čl. 2 ČSN 64 3210).

3. Rúry možno opracúvať, tvarovať, zvárať a lepiť podľa príslušných aplikačných predpisov.

Rozmery a vlastnosti

4. Rozmery rúr musia zodpovedať hodnotám uvedeným v tab. 2 s príslušnými toleranciami.

Nahrádza ČSN 64 3212 z 28. 12. 1961 | Účinnosť od: 1. 10. 1973

NEPLATNÁ NORMA
Zrušena 1. 5. 1986
Nahrazena ČSN 643212
z 1. 5. 1986

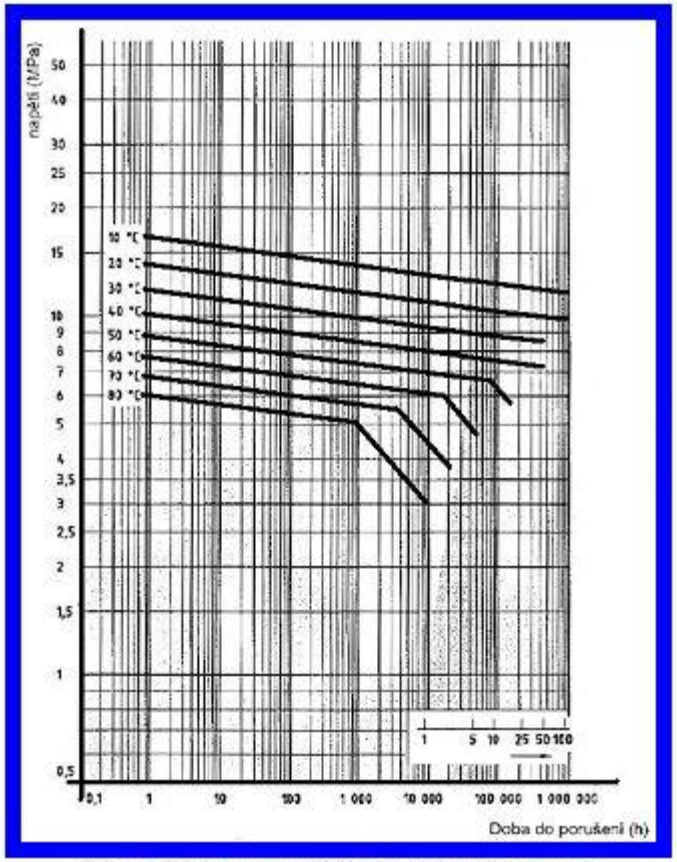
Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha

PVC-U potrubí

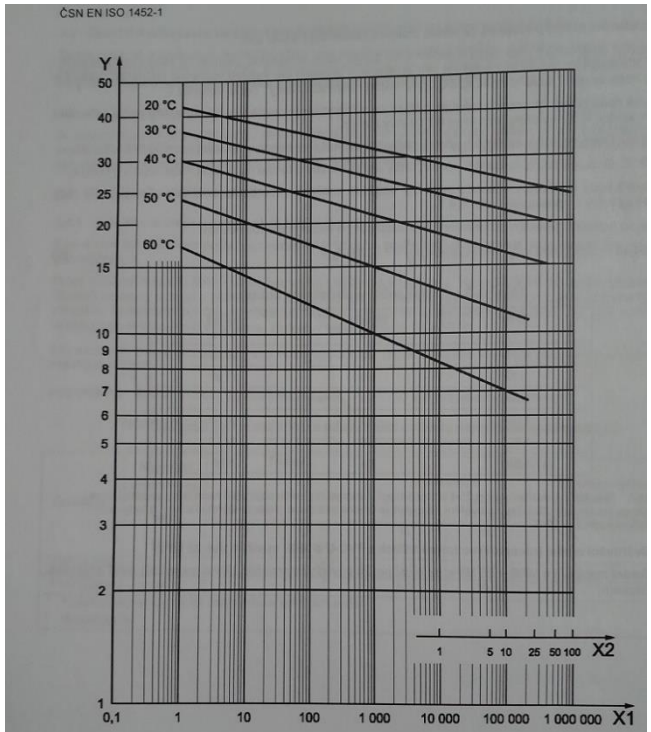
Dimenzování potrubí:

- Konstantní podmínky (teplota, tlak, definice tzv PN (20°C/50, let), koeficient bezpečnosti, redukční faktor pro teploty do 40°C/60°C)
- Kumulace kombinovaného zatížení z hlediska tlaku, teploty,…..(typicky systémy pro rozvody teplé vody, podlahové vytápění, rozvody otopné vody atd.)
- Princip superpozice teplota – čas
- Základní nástroj charakterizující daný polymer z hlediska dimenzování je tzv **izoterma** (křivka popisující závislost σ vs čas v log log souřadnicích)

PVC-U potrubí



Obr. 1 Graf srovnávacích napětí pro PE-100



Legenda

X1 doba, *t*, do porušení, v hodinách

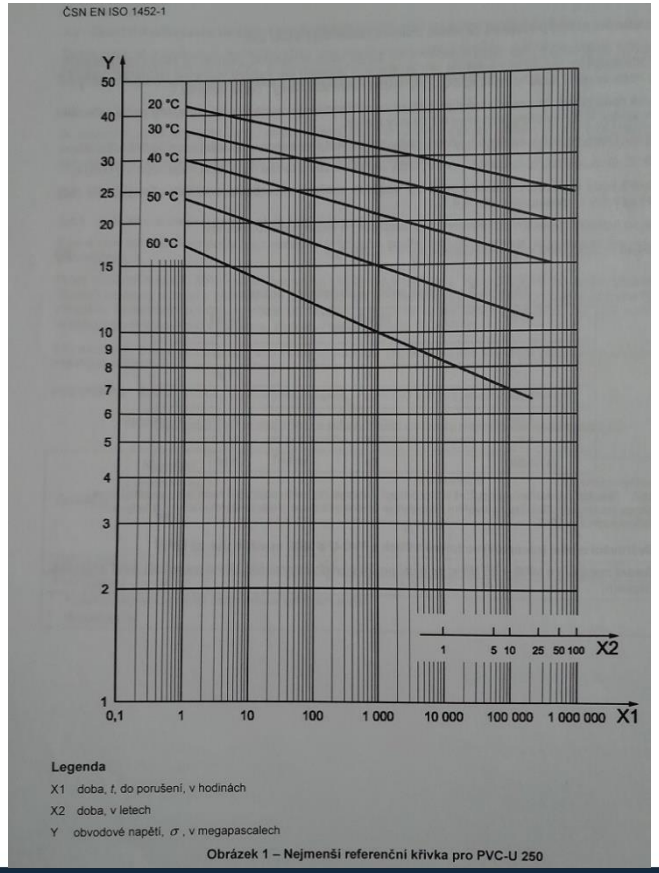
X2 doba, v letech

Y obvodové napětí, σ, v megapascalech

Obrázek 1 – Nejmenší referenční křivka pro PVC-U 250

PVC-U potrubí

$$lgt = -164{,}461 - 29349{,}493 \times \frac{\lg \sigma}{T} + 60126{,}534 \times \frac{1}{T} + 75{,}079 \times lg\sigma$$



PVC-U potrubí dimenzování

$$PN = 20 \times \frac{\sigma_{design}}{SDR - 1} = 20 \times \frac{\frac{MRS}{C}}{SDR - 1}$$

Kde:

PN jmenovitý tlak (bar) (20°C/50let)

$\sigma design$ konstrukční napětí (N/mm^2)

MRS minimum required strength, hodnota klasifikace materiálu stanovená podle ISO 12162, vycházející z hodnoty σ_{LPL} (ISO 9080, 50ti letá hodnota izotermy při 20°C na hladině spolehlivosti 95%)

C koeficient bezpečnosti (zde *C* = 2,0 (materiál, teplota, dimenze, použití,…))

SDR Standard Dimension Ratio (d/e), *S = 2*S+1*

Po dosazení číselně:

MRS 250 znamená hodnotu pevnosti 25,0 MPa, *SDR* = 26, *C* = 2,0 => PN **=10**

Při deklarovaném tlaku p = 4,0 bar se bezpečnost zvyšuje ještě 2,5×, celkem tedy C = 5,0

Tento postup shodný u ČSN 643212 i ČSN EN 1452-2

Minimální rozdíl u nominální tloušťky stěny 8,7 mm vs 8,6 mm

PVC-U potrubí dimenzování

Odlišný přístup k hodnotě korekčního faktoru pro teplotu:

Aktuální EN předpokládá max teplotu do 45°C, korekce 0,65

ČSN 643112 definuje korekční faktor pro 40°C 0,60 (snižujeme více než EN při 45°C), umožňuje použití do 60°C s korekčním faktorem 0,10.

PVC-U naměřené hodnoty

Rozměry: tzv těžká řada

Požadavek ČSN 613212:	Měřeno:
d_O = 225,0 – 225,7 mm	225,3 – 225,4 mm
e = 8,7 – 9,8 mm	9,52 – 10,83 mm

Tolerance shodné s EN (vychází ze stejných ISO norem obecně platných pro plastové potrubní systémy bez ohledu na materiál a použití)

PVC-U naměřené hodnoty

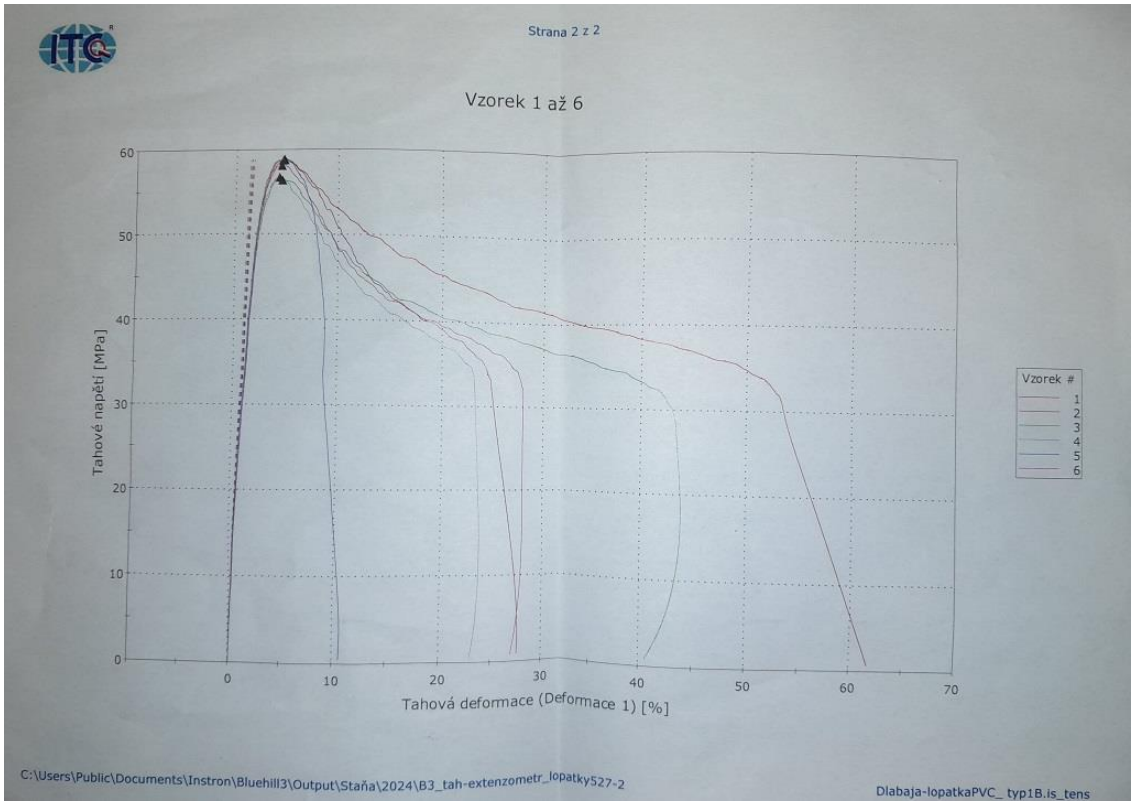
Hustota:

ČSN 643212	EN 1452	Měřeno
1,38 - 1,44 $g*cm^{-3}$	1,35 - 1,46 $g*cm^{-3}$	1,406 $g*cm^{-3}$

Pevnost na mezi kluzu:

47,0 MPa	45,0 MPa (ε >80%) menší rychlost	57,9 MPa, modul cca 3600 MPa ε < 60%

PVC-U naměřené hodnoty



PVC-U naměřené hodnoty

Vicat:

ČSN 643212	EN 1452	Měřeno
80°C	80°C	83,1°C

Stanovení K-hodnoty:

-	-	71,37

Nasákavost:

Max 40 $g*m^{-2}*24h^{-1}$	-	3,28 $g*m^{-2}*24h^{-1}$

PVC-U naměřené hodnoty

Pevnost při stálém vnitřním přetlaku:

ČSN 643212		EN 1452	
20°C	1h/44MPa	20°C	1h/42MPa
60°C	1h/19,5MPa		
60°C	100h/14MPa		
60°C	1000h/11,5MPa	60°C	1000h/12,5MPa

$$p = 20 \times \frac{\sigma * s}{(d - s)}$$ (bar)

PVC-U naměřené hodnoty

PVC-U naměřené hodnoty

Zvoleno 1h/sigma 42MPa/20°C
Následně 1h/sigma 44MPa/20°C

INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI

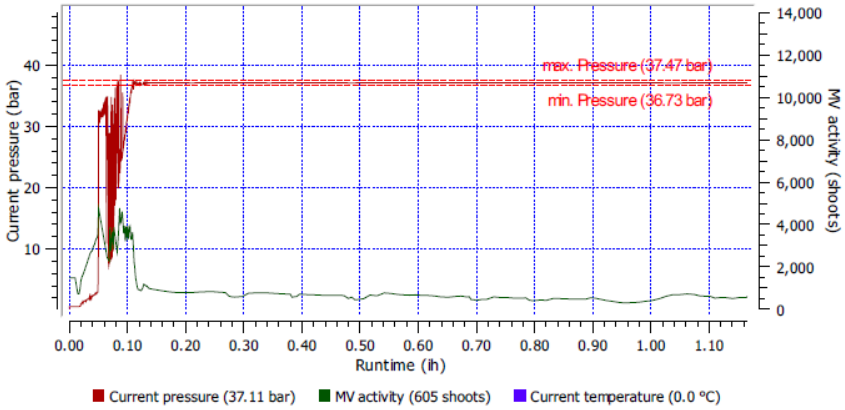
FYZIKÁLNÍ LABORATOŘ

ZÁZNAM O ZKOUŠCE

STANOVENÍ ODOLNOSTI VNITŘNÍMU PŘETLAKU

Zkušební norma	ČSN EN ISO 1167-1,2	Stresové zatížení (σ)	0.00 N/mm²
		Tloušťka stěny	0.00 mm
Číslo projektu	315200141-01	Vnější průměr	0.00 mm
Zákazník	PVC 50 let 12.5 MPa 20 °C sig		
		Datum spuštění	18/09/2024 15:46
Výrobek	PVC 50 let 12.5 MPa	Datum ukončení	
Typ potrubí	trubka	Počítadlo času	1.06 ih
Materiál potrubí	PVC-U		
Jmenovitý rozměr	DN 225		
Požadovaný tlak	37.10 bar		
Požadovaná teplota	20.0 °C		
Doba zkoušky	2.20 ih	Laboratoře operátor	Kopřiva

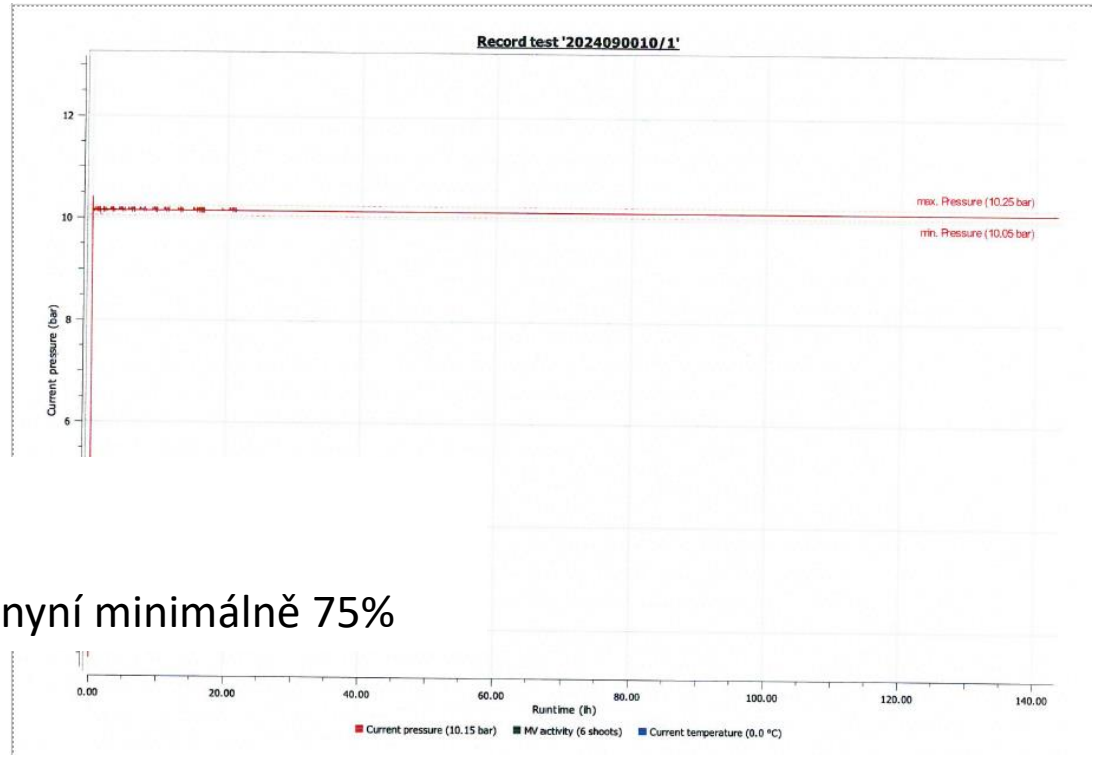
Record test '2024090013/10'



Poznámky:

PVC-U naměřené hodnoty

Zvoleno 1000h/sigma 11,5MPa/60°C



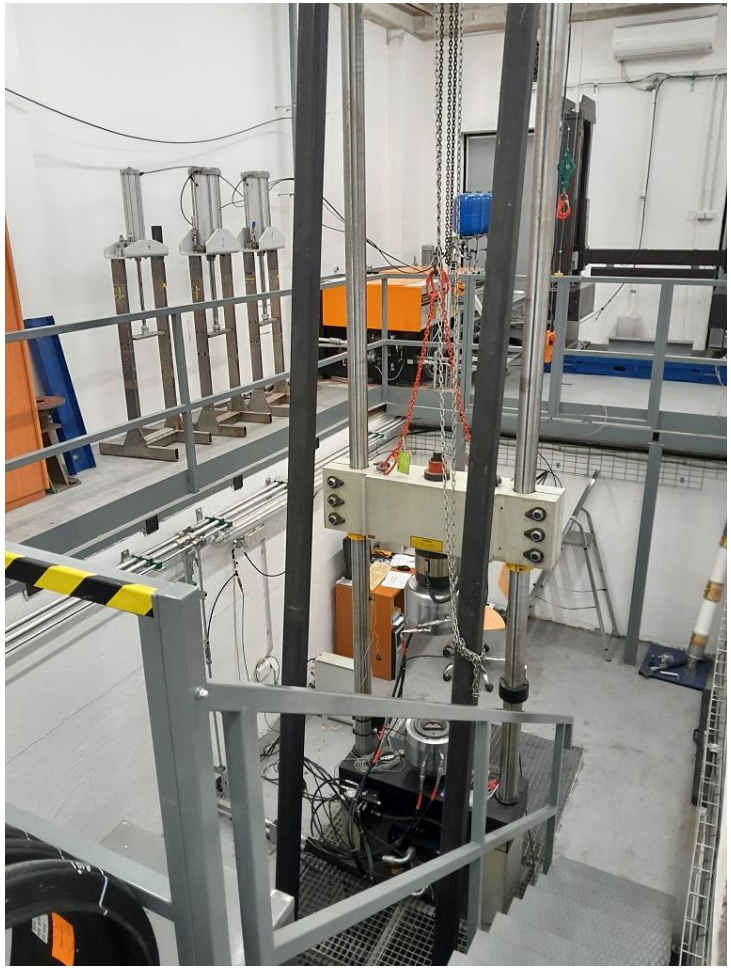
Aktuálně cca 180 h
Odhad životnosti v log škále
Tzn log180/log1000 = 0,75 již nyní minimálně 75%

PVC-U shrnutí

- Trubka vyrobena v období zavádění PVC12,5MPa
- Určité technologické problémy při výrobě (vnitřní povrch, tloušťka stěny)
- Horní mez střední molekulové hmotnosti (?horší zpracovatelnost, vysoké hodnoty Vicat, K hodnoty, modul, mez pevnosti v tahu, nižší tažnost). Pravděpodobně se nepodaří vyzkoušet rázovou odolnost - může být provázenou horší houževnatostí
- Použití PN 10 pro p = 4,0 bar
- I po 38 letech vyhovující zkoušky vnitřním přetlakem
- Dobrý stav pryžového těsnícího elementu
- Prakticky žádná zkouška neprokázala náznak degradace materiálu
- Není důvod pro nedodržení životnosti 50 let, naopak vzhledem k log závislostem (Arrhenius) je oprávněný odhad daleko přes 50 let

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

Dynamický trhaci stroj
Hydraulický pohon
Load kapacita 250 kN
Průmer hydraulického válce cca 90 mm
2×hydraulická jednotka + centrální chlazení/tlak 230 bar
2xproporcionální ventil MOOG celkem cca 35-45 l/minutově
Režim dynamického zkoušení vs standardní trhací stroj (v rozsahu zdvihu hydraulického válce)
Max výška vzorku až 4,5 m
Klimatizované prostředí



Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

Hydraulické čelisti + sada doplňků pro fixaci různých typů zkušebních těles (tah, tlak,)
Řízení podle síly i podle dráhy
Připojení snímací hlavy s rozsahem podle požadované síly
Snímání dráhy – LVDT pohyb pístu, externí LVDT, „klasický“ strain sensor (wheatstonův můstek), teoreticky „jakýkoliv“ sensor s unifikovaným výstupním signálem
Analogové signály u této generace elektroniky s rozlišením 19 bitů.

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

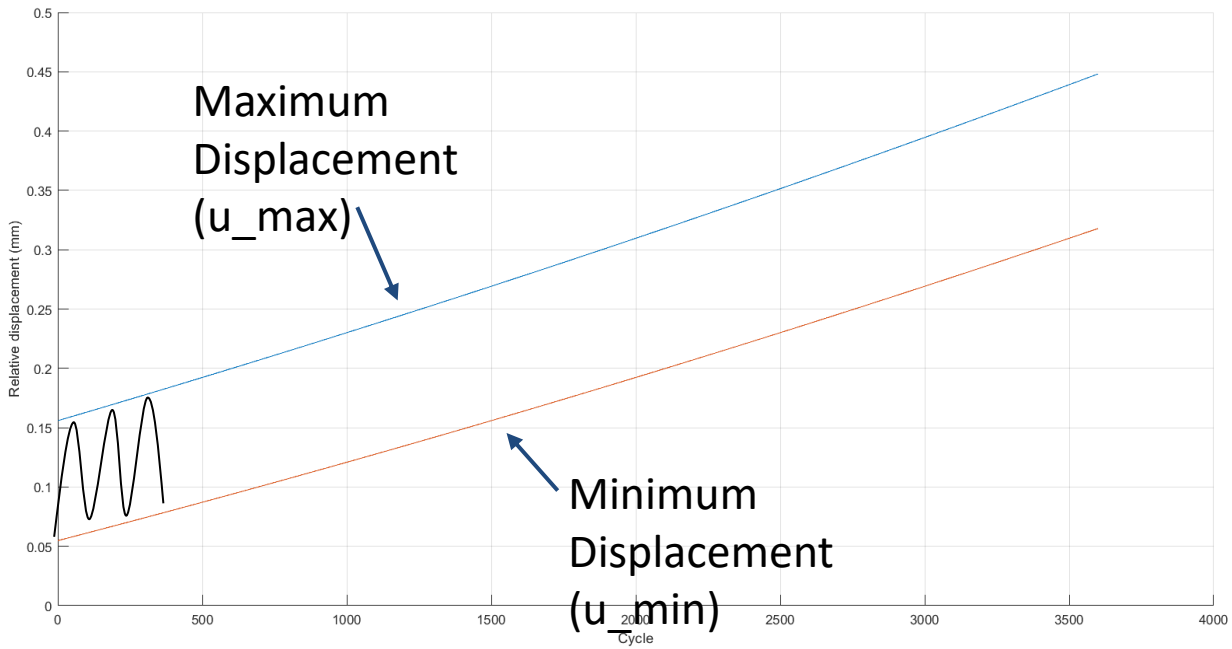
Příklad pull-out testů – potrubní spoje velkých DN (velké síly, dlouhé vzorky,….)

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

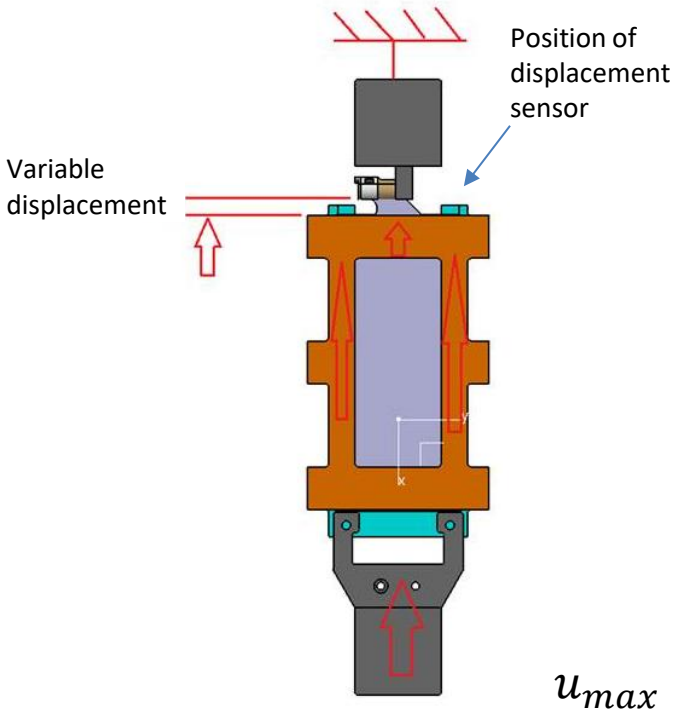
Chladící výměník pro battery pack

u



N

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

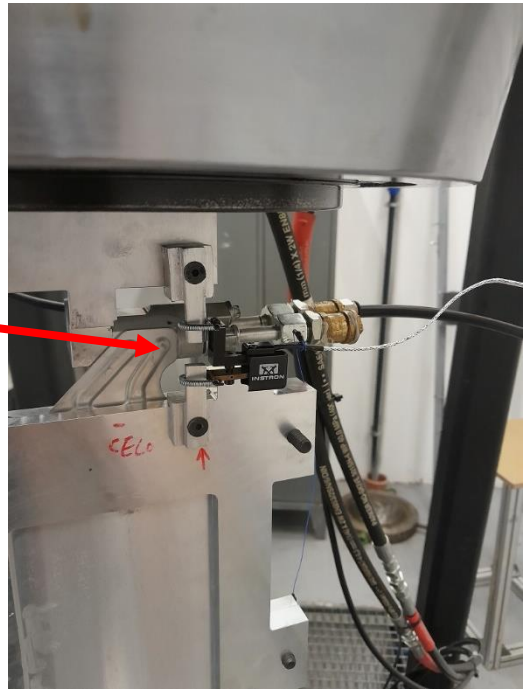


Parametry testu:
3600 cyklů/0,5Hz
Průběh sinus s proměnnou max a min hodnotou pro každý cyklus
Během zkoušky se mírně zvyšuje amplituda kmitů a současně roste střední hodnota deformace
Řídíme tedy podle dráhy (externí sensor)
Záznam průběhu síly a detekce těsnosti během celého testu

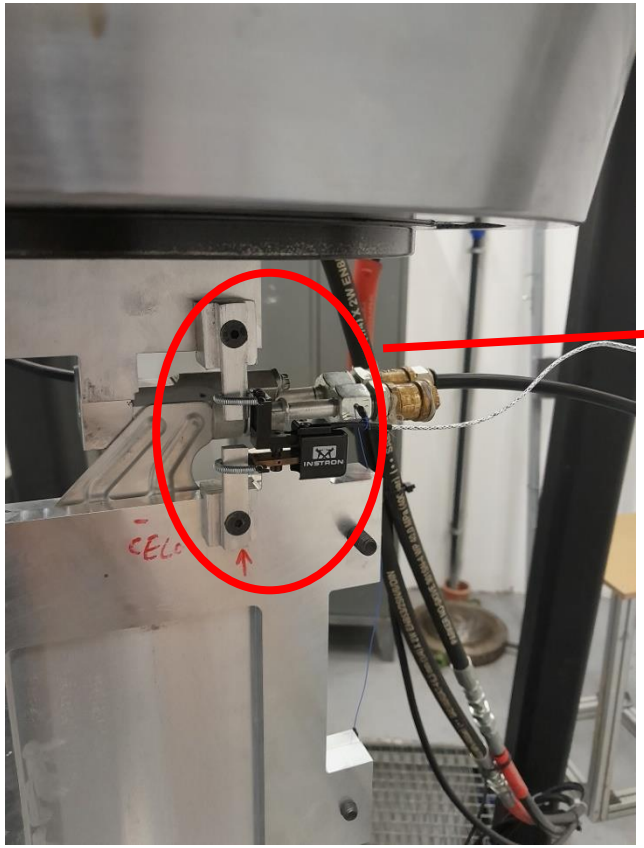
$$u_{max} = 2{,}7e^{-9} * N^2 + 7{,}146\ e^{-5} * N + 0{,}155952$$

$$u_{min} = 2{,}7e^{-9} * N^2 + 6{,}336\ e^{-5} * N + 0{,}054837$$

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů



Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

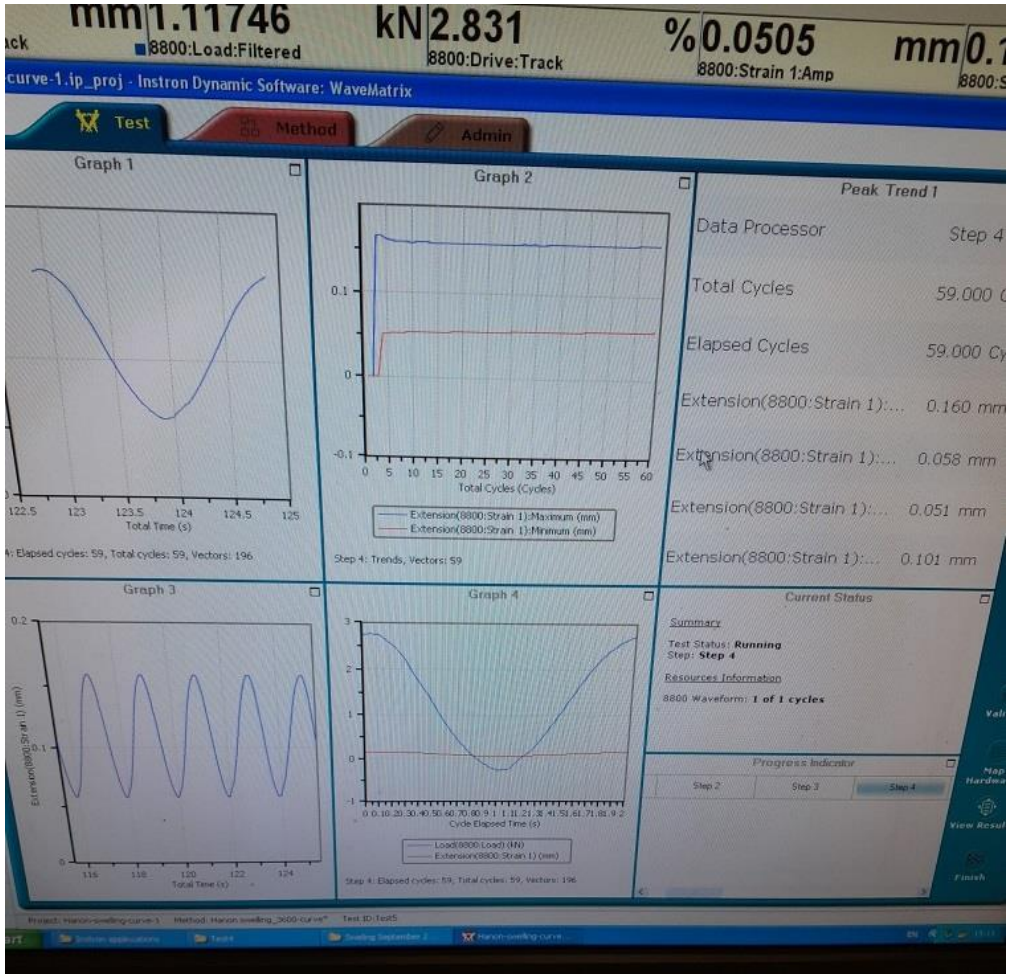


Původní LVDT s přesností 0,01 mm zcela nevyhovující
Dynamický strain sensor Lo=2,0 mm, LSB 0,00001mm

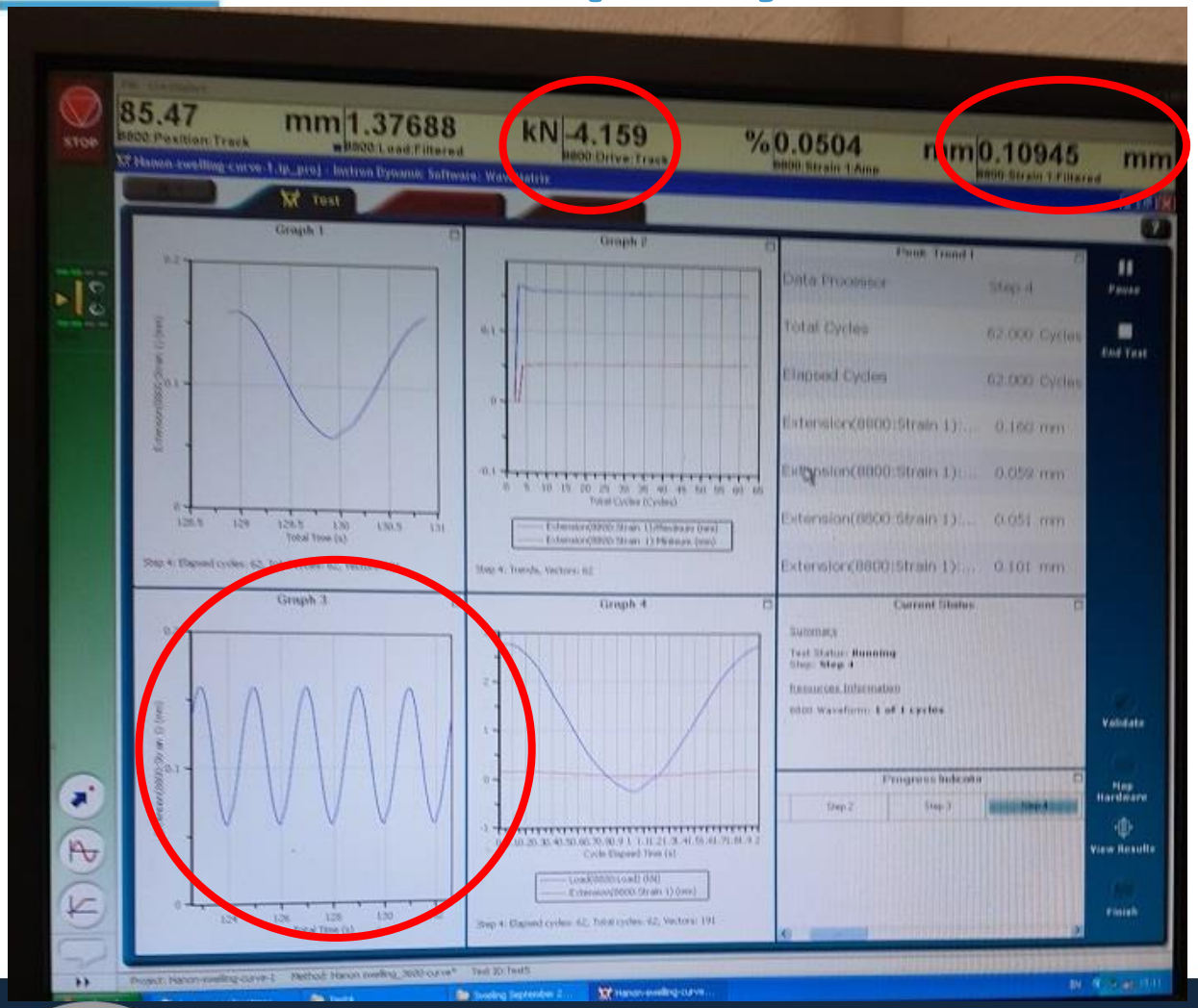
Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

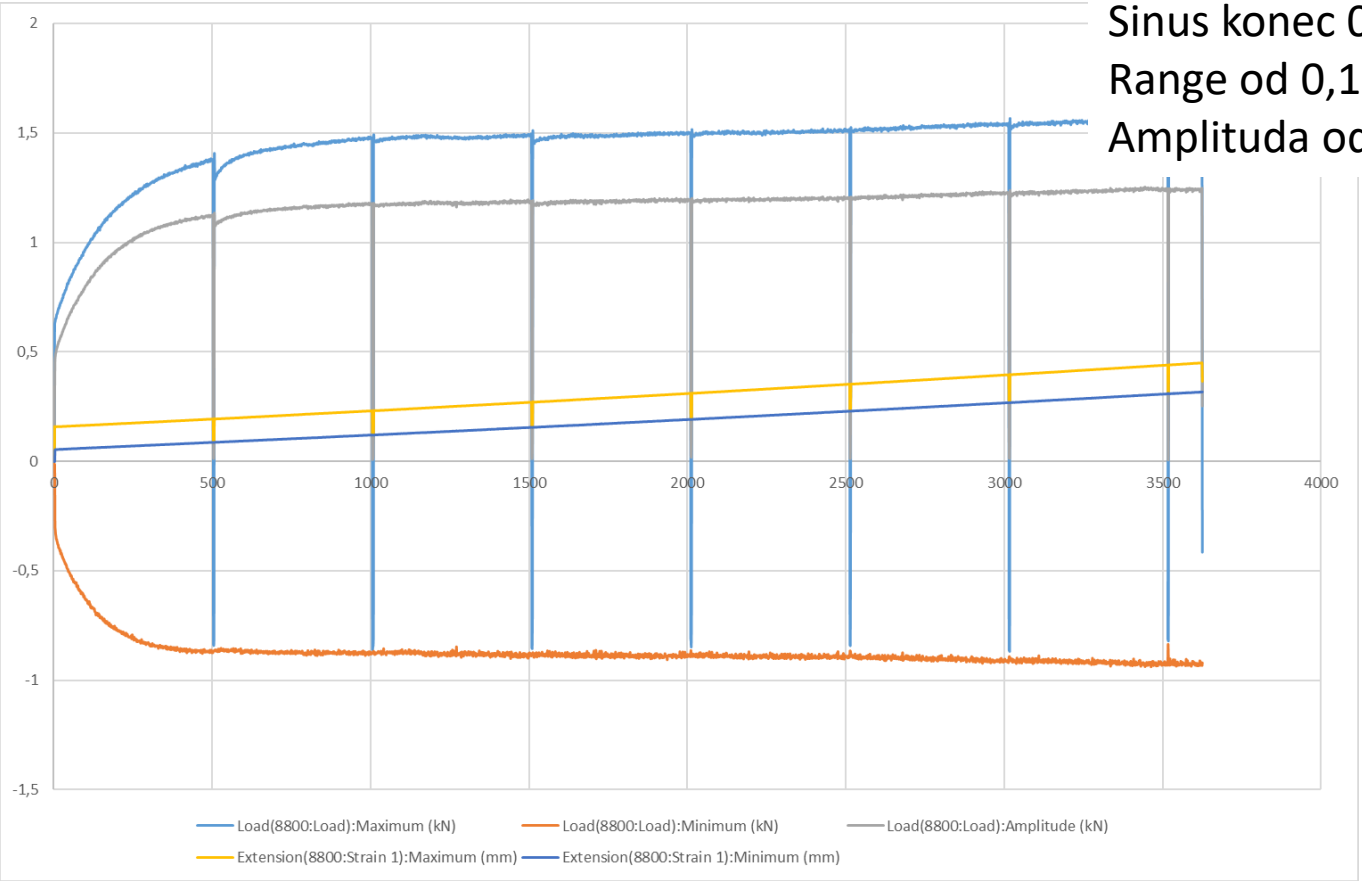
Úprava na straně proporcionálních ventilů, snížení průtoku cca 4 l/min
Nové naladění PID regulace celého řetězce
Přenos set dat (proměnná amplituda a proměnná střední hodnota) do řídícího SW
Úprava sběru dat

Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů



Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů



Řízení dynamických zkoušek v režimu mikro pohybů

Sinus počátek 0,053 – 0,159 mm
Sinus konec 0,316 – 0,449 mm
Range od 0,105 – 0,133 mm
Amplituda od 0,050 – 0,068 mm