

Rozvoj plastických deformací v oceli při konstantním zatížení a jejich význam pro plynárenskou praxi

Ing. Ľubomír Gajdoš, CSc.¹,
Ing. Martin Šperl, Ph.D.¹, Ing. Petr Pařízek²

¹ Ústav teoretické a aplikované mechaniky AVČR, v.v.i.

² CEPS a.s.

1. Úvod

V souvislosti s novelizací normy TPG 702 04 se objevuje potřeba zpřesnit hodnotu veličiny Δp_{pl} v článku 22. 1. 5. Jedná se o hodnotu přirozeného poklesu tlaku v důsledku creepu stěny potrubí při konstantní teplotě v průběhu 24 hodin od natlakování potrubí na určitý přetěžovací tlak. Výdrž plynovodního potrubí na přetěžovacím tlaku se aplikuje např. v postupech rehabilitací starších větví plynovodů po dosažení maxima tlaku ve druhém přetěžovacím cyklu za účelem průkazu těsnosti rehabilitovaného plynovodního úseku. Přetěžovacím tlakem se ovšem rozumí též tlak při standardní tlakové zkoušce, zvláště pokud tento tlak vyvolává ve stěně potrubí napětí nepříliš vzdálené od meze kluzu.

Abychom získali experimentální podklady pro predikci creepového chování stěny plynovodní trubky po jejím zatížení na přetěžovací tlak (bez další dodávky tlakového média), uskutečnili jsme creepové zkoušky plynovodní oceli L360NB+N za normálních teplot na plochých tahových tyčích vyrobených z rovnacího trubního kroužku, který byl odebrán z podélně svařované trubky Ø530/8 mm (výrobce Podbrezová). Orientace tyčí byla přitom shodná s obvodovým směrem trubky.

2. Creepové vlastnosti oceli za normálních teplot

Creepová deformace technických materiálů za zvýšených teplot byla léta předmětem zvýšené pozornosti výzkumníků (např. [1], [2], [3]). Na rozdíl od této deformace se však v běžné praxi ke creepové deformaci při normálních teplotách zpravidla nepřihlíží, a to vzhledem k jejím nízkým hodnotám a dále s přihlédnutím ke skutečnosti, že porušení v důsledku nízkoteplotního creepu je nepravděpodobné. S potřebou řešení některých důležitých technických problémů, kde se tyto malé deformace mohou nepříznivě projevit, se však zájem o problematiku nízkoteplotního creepu začíná postupně zvyšovat (např. [4], [5]).

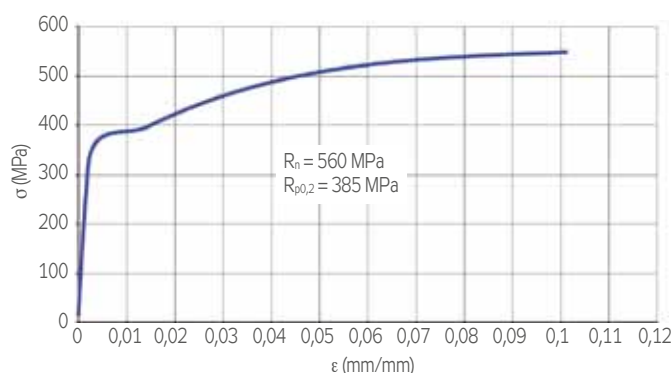
Tab. 1 Příčné rozměry tahových tyčí a výsledky tahových zkoušek

Vzorek	orientace	šířka (mm)	tloušťka (mm)	průřez (mm ²)	A ₅ (%)	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)
T1	obvodová	19,30	5,81	112,13	30,8	385	560
T2	obvodová	19,31	5,80	112,00	31,4	388	561

Creepové vlastnosti oceli za normálních teplot mají svůj význam i u plynovodů, např. při uskutečňování rehabilitací starších plynovodních sítí, nebo při jakékoliv tlakové zkoušce plynovodu spojené s experimentálním prokázáním jeho těsnosti. Pak jde v principu o rozlišení přirozeného poklesu tlaku v natlakovaném potrubí v důsledku creepu od poklesu v důsledku netěsností. Před samotnými creepovými zkouškami jsme uskutečnili nejdříve klasické tahové zkoušky na dvou plochých tyčích. Rozměry průřezu v měrné části tahových tyčí a výsledky tahových zkoušek jsou uvedeny v tab. 1.

Pro ilustraci je na obr. 1 uveden tahový diagram zkušební tyče T1.

Z tahového diagramu stojí za povšimnutí téměř vodorovný úsek, který odpovídá oblasti Lüdersovy deformace a který může výrazně ovlivnit závislost rychlosti creepové deformace na napětí (pokud se napětí nachází v této oblasti). Pak stačí malé zvětšení napětí k tomu, aby se výrazně zvětšila rychlost růstu deformace.



Obr. 1. Tahový diagram tyče T1 (L360NB+N)

U creepových zkoušek se postupovalo tak, že na vzorek bylo postupně aplikováno rostoucí zatížení až do předem zvolené hodnoty, přičemž rychlost zatěžování byla nastavena u všech vzorků tak, aby požadované napětí bylo dosaženo během 10 minut. Toto napětí pak bylo udržováno po dobu přibližně 24 hodin. Během celé zkoušky byla snímána deformace z obou stran vzorku, aby byl vyloučen vliv jeho ohybu (viz obr. 2).

K měření deformace byly použity dva extenzometry Instron se základnou 50 mm. Konfigurace měřicí aparatury byla následující:



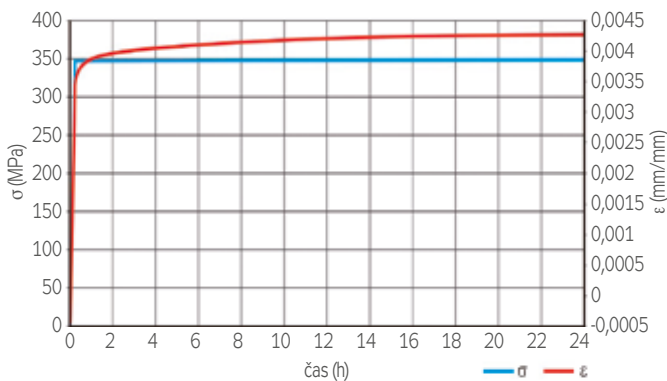
Obr. 2. Umístění extenzometrů po obou stranách vzorku – eliminace vlivu ohybu

Siloměr Instron – 100 kN, controller Fast track 8800, dva extenzometry Instron, typ: 2620, max. chyba měření: 0,15 %, max. chyba linearity 0,05 % a měřicí software WaveMatrix. Rozměry vzorků byly měřeny digitálním posuvným měřidlem Somet. V průběhu experimentů byla sledována teplota okolí pomocí externího teplotního čidla, které je součástí teploměru Digital termo s možností záznamu maximální a minimální teploty. Základní geometrické parametry vzorků a podmínky zkoušky jsou přehledně uvedeny v tab. 2.

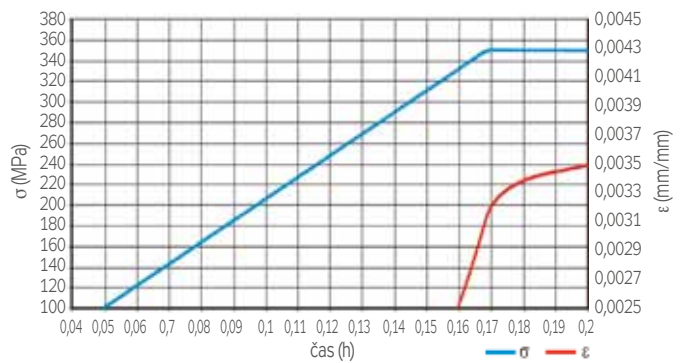
Tab. 2 Základní geometrické parametry vzorků a podmínky zkoušky

vzorek	příčné rozměry (mm x mm)	síla (kN)	napětí (MPa)	$\sigma/R_{p0,2}$	teplota °C	
					min	max
creep 1	19,33 x 5,78	44,7	400	1,04	21,2	21,9
creep 2	19,35 x 5,77	35,7	320	0,83	20,9	21,8
creep 3	19,80 x 5,76	43,3	380	0,99	21,4	22,5
creep 4	19,30 x 5,61	45,5	420	1,09	22,1	23,1
creep 6	19,64 x 5,84	40,1	350	0,91	22,0	25,8
creep 7	19,35 x 5,72	41,0	370	0,96	22,3	23,7
creep 8	19,30 x 5,59	36,7	340	0,88	21,8	23,4
creep 9	19,36 x 5,70	47,5	430	1,12	22,4	25,8
creep 10	19,42 x 5,68	43,0	390	1,01	18,8	20,8
creep 11	19,30 x 5,72	21,5	195	0,51	20,6	22,5

Pro ilustraci výsledků měření je na obr. 3 uveden záznam napětí a poměrné deformace v závislosti na čase u vzorku creep 6, který byl postupně monotónně zatěžován na hodnotu napětí 350 MPa během 10 minut (0,167 h). Detail záznamu je na obr. 4.



Obr. 3. Průběh napětí a poměrné deformace vzorku creep 6 během 24 hodin ($\sigma = 350$ MPa)



Obr. 4. Detail časové závislosti napětí a poměrné deformace v počáteční fázi zatěžování vzorku creep 6 ($\sigma = 350$ MPa)

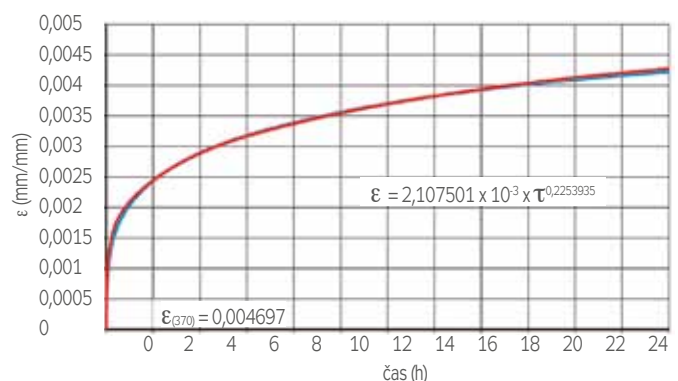
Jak naznačuje průběh poměrné deformace na obr. 3, lze s jistým přiblížením popsat časovou závislost poměrné deformace mocninnou funkcí od okamžiku dosažení zvoleného napětí, tedy

$$\epsilon = a \cdot \tau^b \quad (1)$$

kde ϵ je poměrná deformace a τ je čas

Pro ilustraci je na obr. 5 zobrazena u vzorku creep 7 časová závislost poměrné deformace určené experimentálně (modrá čára) a také závislost určená výpočtem dle vztahu (1) pomocí metody nejmenších čtverců (červená čára). Na diagramu je uvedena i příslušná mocninná funkce typu (1) a také hodnota poměrné deformace v okamžiku dosažení zvoleného napětí (v dolním levém rohu).

Nutno říci, že ne u všech zkoušených vzorků bylo možné přesně popsat průběh naměřené creepové deformace v celé časové délce měření (přibližně 24 hodin) jednoduchým vztahem (1) – tak jako u vzorku creep 7. Většina vzorků vykazovala totiž typicky dvě stadia nízkoteplotního creepu: primární stadium s rychlým nárůstem plastické deformace a pozvolné stadium s pomalým nárůstem deformace. Abychom využili relativní jednoduchosti rovnice (1), řídili jsme se při matematickém popisu creepové deformace tím, aby byla použita jenom jedna rovnice pro obě stadia a dále tím, aby byl dosažen co možno největší souhlas vypočtené hodnoty deformace s deformací naměřenou v oblasti pozvolného nárůstu. Tímto postupem lze do jisté míry vysvětlit i zvýšený rozptyl hodnot parametrů a a b v rov. (1).



Obr. 5. Časový průběh poměrné deformace u vzorku creep 7 zatíženého na 370 MPa

Vyhodnocením křivek $\varepsilon-\tau$ pro jednotlivé úrovně napětí byly získány hodnoty konstant a , b ve vztahu (1). Tyto jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty parametrů mocninné závislosti (1) pro jednotlivé vzorky

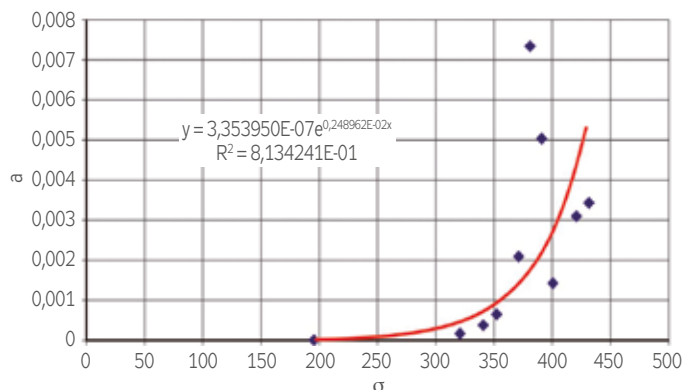
Vzorek č.	Napětí (MPa)	Parametr a	Parametr b
Creep 11	195	0,000032675	0,1305124
Creep 2	320	0,000190674	0,1269624
Creep 8	340	0,000430228	0,1278657
Creep 6	350	0,000699346	0,1424223
Creep 7	370	0,002107501	0,2253935
Creep 3	380	0,007385654	0,06509574
Creep 10	390	0,00507168	0,05770363
Creep 1	400	0,001465995	0,1222768
Creep 4	420	0,003114386	0,06551285
Creep 9	430	0,003456483	0,06947222

Poznámka: U vzorku creep 5 došlo k chybě nastavení podmínek zkoušky – zkouška byla neplatná.

Z tab. 3 plyne, že parametry a , b v rov. (1) nejsou nezávislé na napětí σ . Dále odsud plyne, že napěťová závislost parametru b je výrazně slabší než závislost parametru a . Z důvodů zjednodušení popisu závislosti poměrné deformace na čase budeme proto v další analýze uvažovat parametr b jako konstantu.

3. Pokles tlaku vody v natlakovaném potrubí

K určení poklesu tlaku vody v natlakovaném potrubí potřebujeme nejdříve určit závislost parametru a v rov. (1) na napětí σ . Vyneseme-li hodnoty σ a parametru a do diagramu $a-\sigma$ (obr. 6), zjistíme, že vhodnou křivkou pro popis této závislosti je exponenciála.



Obr. 6. Proložení exponenciální křivky experimentálními body $a-\sigma$

Lze tedy psát

$$a(\sigma) = a_1 \cdot \exp(a_2 \cdot \sigma) \quad (2)$$

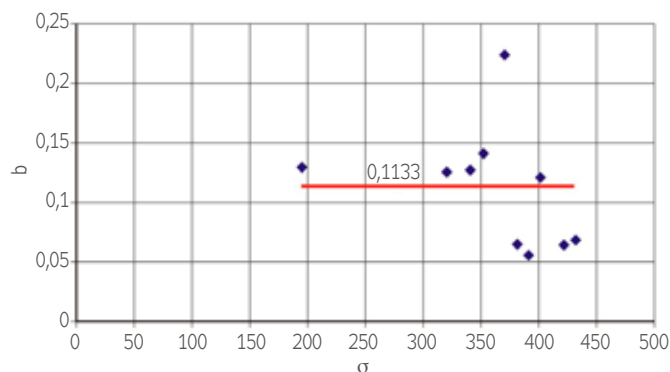
V rov. (2) je (3)

$$a_1 = 3,35395 \cdot 10^{-7}$$

$$a_2 = 0,02248962$$

Nyní vyneseme hodnoty parametru b pro jednotlivé vzorky zatížené na různých napěťových hladinách – viz obr. 7. Průměrná hodnota parametru b bude

$$b = 0,1133 \quad (4)$$



Obr. 7. Rozmístění experimentálních bodů $b-\sigma$ kolem střední hodnoty $b = 0,1133$

Závislost poměrné deformace ε na čase τ pak získá tvar:

$$\varepsilon = a(\sigma) \cdot \tau^b = a_1 \cdot \exp(a_2 \cdot \sigma) \cdot \tau^b \quad (5)$$

Nyní přejdeme k posuzování změny tlaku vody v natlakovaném potrubí v důsledku creepové deformace potrubí. Je-li potrubí zaplněné vodou a pokračuje-li další dodávka vody do potrubí, zvyšuje se tlak vody a následně i objem potrubí. Kromě zvětšení objemu potrubí se část objemového množství dodávané vody spotřebuje i na její stlačení. V určitém čase τ je průměr potrubí D a tlak vody p . Tomu odpovídá celkové objemové množství vody v potrubí V . Pro další zvýšení tlaku o dp je třeba dodat další množství vody

$$dV = dV_1 + dV_2$$

kde
$$dV_1 = V \cdot (2d\varepsilon_\phi + d\varepsilon_x) \quad (6)$$

$$dV_2 = V \cdot A \cdot dp$$

ε_ϕ a ε_x je obvodová, resp. osová poměrná deformace A je součinitel stlačitelnosti vody, závislý na teplotě a tlaku vody

V rov. (6) můžeme přírůstek osové deformace zanedbat, protože osová deformace je u přímého potrubí téměř nulová a v místech změny směru může dosáhnout maximálně $0,2 \cdot \sigma_\phi/E$. Proto lze psát

$$dV = 2 \cdot V \cdot d\varepsilon_\phi + V \cdot A \cdot dp \quad (7)$$

Poměrný přírůstek objemu vody bude

$$\frac{dV}{V} = 2 \cdot d\varepsilon_\varphi + A \cdot dp \quad (8)$$

Bude tedy tím větší, čím větší bude přírůstek obvodové deformace a tlaku. Když se zastaví tlakování potrubí, bude přírůstek objemu přičerpané vody nulový, takže bude platit

$$2 \cdot d\varepsilon_\varphi + A \cdot dp = 0 \quad (9)$$

Pro zjednodušení výpočtů předpokládáme, že součinitel A je konstantní. Vydělením rovnice (9) diferenciálem času $d\tau$ dostaneme

$$-\frac{dp}{d\tau} = \frac{2}{A} \left(\frac{d\varepsilon_\varphi}{d\tau} \right) \quad (10)$$

Derivaci $\frac{d\varepsilon_\varphi}{d\tau}$ získáme derivováním rovnice (5):

$$\frac{d\varepsilon_\varphi}{d\tau} = a_1 \cdot b \cdot \exp(a_2 \cdot \sigma) \cdot \tau^{b-1} \quad (11)$$

Dosazením do rovnice (10) a uvážením vztahu $\sigma = \frac{p \cdot r}{t}$, kde t je tloušťka stěny a r je střední poloměr trubky dostaneme

$$-\frac{dp}{d\tau} = \frac{2 \cdot a_1 \cdot b}{A} \exp\left(a_2 \cdot \frac{r}{t} \cdot p\right) \cdot \tau^{b-1} \quad (12)$$

Dále budeme integrovat levou stranu rovnice v mezích p_0 – p a pravou stranu rovnice v mezích 0 – τ

$$\int_{p_0}^p -\frac{dp}{\exp\left(a_2 \cdot \frac{r}{t} \cdot p\right)} = \frac{2 \cdot a_1 \cdot b}{A} \int_0^\tau \tau^{b-1} d\tau \quad (13)$$

Po integraci rov. (13) a následné úpravě dospějeme k výslednému vztahu

$$p = \frac{t}{a_2 \cdot r} \ln \left[\exp\left(-\frac{a_2 \cdot r}{t} p_0\right) + \frac{2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot r}{A \cdot t} \cdot \tau^b \right]^{-1} \quad (14)$$

Pro trubku z oceli L360NB+N lze podle tohoto vztahu určit klesající úroveň tlaku vody s časem, a to z hodnoty p_0 .

4. Výpočet časového poklesu tlaku vody

Při výpočtu časového průběhu tlaku vody z počáteční hodnoty p_0 vycházíme z rovnice (14) a uvažujeme trubku $\varnothing 530/8$ mm z oceli L360NB+N.

Hodnoty parametrů, s kterými vstupujeme do rovnice (14):

$$a_1 = 3,35395 \cdot 10^{-7}$$

$$a_2 = 0,02248962$$

$$b = 0,1133$$

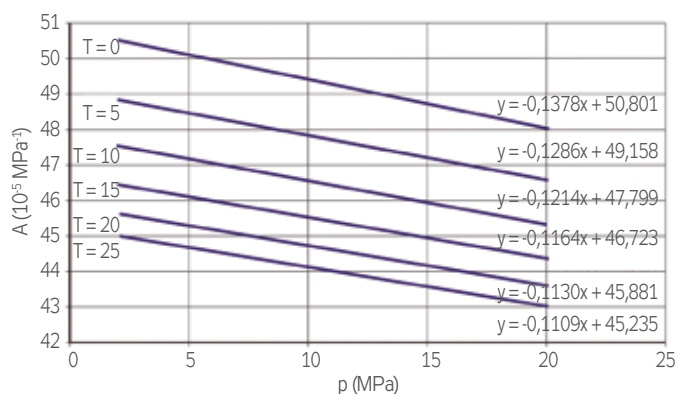
$$r = 261 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

A – protože A je funkcí jak teploty, tak i tlaku vody, uvažujeme v konkrétním výpočtu hodnotu A pro pro tlak p_0 a teplotu při ukončení tlakování. K tomu lze použít diagram na obr. 8

Poznámka:

v rovnici (14) se čas τ udává v hodinách a součinitel stlačitelnosti vody A v $(\text{MPa})^{-1}$



Obr. 8. Součinitel stlačitelnosti vody

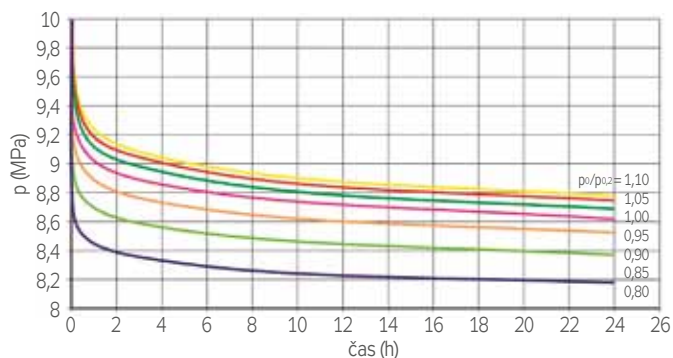
Křivky poklesu tlaku s časem jsme uskutečnili pro teplotu $T = 10$ °C a pro hodnoty počátečního tlaku p_0 rovnému následujícím poměrům ke tlaku na mezi kluzu $p_{0,2}$: 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1. Uvažované hodnoty součinitele A jsou uvedeny v tab. 4 spolu i s hodnotami tlaků p_0 .

Tabulka 4 Použité hodnoty parametrů u křivek poklesu tlaku s časem

tlak p_0 (MPa)	$p_0 / p_{0,2}$	A $(\text{MPa})^{-1}$
9,44	0,80	$46,65 \cdot 10^{-5}$
10,03	0,85	$46,58 \cdot 10^{-5}$
10,62	0,90	$46,51 \cdot 10^{-5}$
11,21	0,95	$46,44 \cdot 10^{-5}$
11,80	1,00	$46,37 \cdot 10^{-5}$
12,39	1,05	$46,29 \cdot 10^{-5}$
12,98	1,10	$46,22 \cdot 10^{-5}$

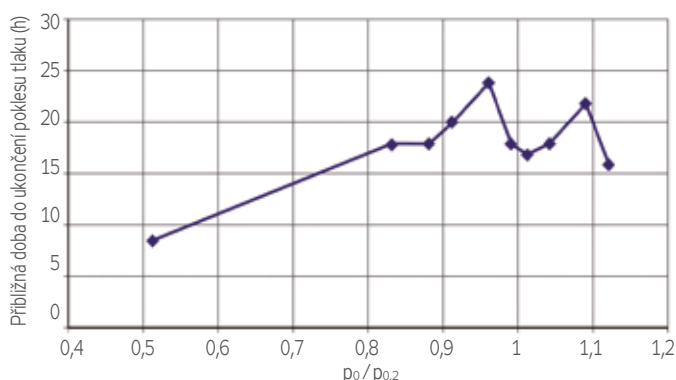
Po dosazení parametrů a_1 , a_2 , b , r , t vztahujících se k materiálu a rozměrům trubky, a dále tlaku vody p_0 a součinitele stlačitelnosti vody $A(p_0)$ do rovnice (14), dostaneme závislosti p – τ , které jsou pro hodnoty tlaku z tabulky 4 uvedeny na obr. 9.

Z průběhů naměřené creepové deformace na plochých vzorcích (jako příklad viz obr. 5) vyplývá, že po jisté době dochází k dosažení maxima poměrné deformace, což se projevuje na záznamech p – τ zastavením dalšího poklesu tlaku vody. Pokud ztotožníme dobu pro dosažení maxima poměrné deformace na zkušební vzorcích s dobou do ukončení



Obr. 9. Časové průběhy poklesu tlaků z různých počátečních hodnot (potrubí 530/8 mm, L360NB+N)

poklesu tlaku vody v potrubí, dostaneme závislost přibližné doby do ukončení poklesu tlaku vody na poměrné úrovni počátečního tlaku $p_0/p_{0,2}$, která je uvedena na obr. 10.



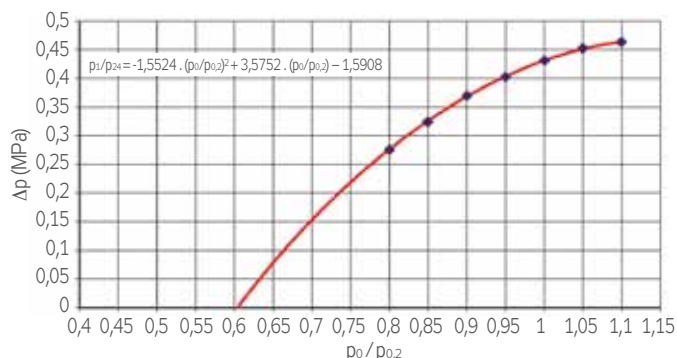
Obr. 10. Přibližná doba do ukončení poklesu tlaku vody v potrubí v závislosti na poměrné úrovni počátečního tlaku (potrubí 530/8 mm, ocel L360NB+N)

Pokud si odmyslíme nejnižší zkoušenou úroveň $p_0/p_{0,2} = 0,51$, u které byla tato doba asi 8,5 hod., pak u dalších tlakových úrovních byla přibližně 18 hod. (s výjimkou úrovně $p_0/p_{0,2} = 0,96$, která se nacházela v oblasti Lüdersovy deformace). Tlakovou úrovní, odpovídající této době ($p_0/p_{0,2} \approx 0,85$), lze omezit časový pokles tlaku.

Nyní se vraťme ještě k obr. 9. V důsledku popisu závislosti poměrné deformace ϵ na čase τ mocninou funkcí s konstantní hodnotou mocnitele (nezávislého na aplikovaném napětí) vykazují jednotlivé křivky $p-\tau$ na obrázku stejný tvarový charakter. Na první pohled se zdá, že i poklesy tlaku v určitém časovém rozpětí jsou stejné. Ve skutečnosti tomu tak však není. Čím je počáteční tlak větší, tím je větší i jeho pokles v určitém časovém intervalu. Např. budeme-li uvažovat tlakový rozdíl Δp v čase $\tau_1 = 1$ hod a v čase $\tau_2 = 24$ hod, pak zjistíme, že zatímco u poměrného počátečního tlaku $p_0/p_{0,2} = 0,8$ je $\Delta p = p_1 - p_{24} = 0,275$ MPa, je u poměrného počátečního tlaku $p_0/p_{0,2} = 0,95$ $\Delta p = 0,405$ MPa. Vyneseme-li příslušné dvojice $\Delta p-p_0/p_{0,2}$ do grafu, dostaneme diagram zobrazený na obr. 11, který toto konstatování potvrzuje.

Závislost $\Delta p_{1-24}-p_0/p_{0,2}$ lze popsat parabolickou funkcí (15).

$$\Delta p_{1-24} = -1,5524 \cdot \left(\frac{p_0}{p_{0,2}}\right)^2 + 3,5752 \cdot \left(\frac{p_0}{p_{0,2}}\right) - 1,5908 \quad (15)$$



Obr. 11. Závislost poklesu tlaku v časovém rozmezí 1–24 hodin na poměrné hodnotě počátečního tlaku (potrubí 530/8 mm, L360NB+N)

Z této rovnice lze předem určit, jak velký bude pokles tlaku vody v potrubí natlakovaném na určitou poměrnou hodnotu $p_0/p_{0,2}$ mezi první a dvacátou čtvrtou hodinou. Pokud bude tlakový pokles výrazně větší, bude se jednat o únik vody nějakou necelistvostí (trhlina) nebo netěsností uzavíracích prvků.

5. Zpřesnění tlakového parametru v normě TPG 70204/Z1

Technický předpis GAS TPG 702 04 se týká plynovodů a přípojek z oceli s nejvyšším provozním tlakem do 100 bar. V kapitole 22.1 tlaková zkouška vodou u plynovodů nad 4 bary je uveden v rámci řádného vyhodnocení zkoušky těsnosti vzorec pro přípustný pokles tlaku resp. jde o odvozený vztah vyjadřující časový pokles tlaku vody v uzavřeném potrubí po zastavení tlakování. Vzorec kromě jiného obsahuje veličinu Δp_{pl} vyjadřující uvedený možný pokles tlaku rozvojem plastické deformace. Tato veličina se do vzorce pro posouzení zkoušky těsnosti dostala v roce 2010 v rámci změny předpisu Z1. Tehdy byla tato veličina získána pouze na základě teoretického zpracování výsledků creepového chování oceli trubky.

V letech 2012 a 2013 probíhá rozsáhlá revize předpisu TPG 702 04, v rámci které dochází též k úpravám v oblasti tlakových zkoušek vodou vč. vzorce pro vyhodnocení zkoušky těsnosti ve stávající kapitole 22.1.5. Veličina Δp_{pl} svojí hodnotou velmi podstatně ovlivňuje výsledné vyhodnocení přípustného poklesu tlaku zkoušky těsnosti a proto její zpřesnění bylo více než žádoucí.

Je důležité též uvést, že zkouška těsnosti a její vyhodnocení podle uvedeného vzorce se provádí i po provedení stresstestu na nově postavených potrubích nebo po provedení tlakového přetížení (tlakové reparace) při rehabilitaci dlouhodobě provozovaných potrubích.

Uvedené experimentální práce umožnily celkovou úpravu vztahu pro vyhodnocení zkoušky těsnosti a především podstatné přiblížení se k realitě v oblasti creepového chování oceli za normálních teplot. Výsledné hodnoty poklesu tlaku se velmi přiblížily skutečně změřeným poklesům na plynovodních potrubích během zkoušek těsnosti a to i přesto, že experimentální práce probíhaly pouze na dimenzi potrubí Ø530/8 mm z oceli L360NB+N.

Pro účely revize předpisu TPG 702 04 byl s menšími úpravami použit celý graf na obr. 9, na časové ose x byl např. počátek uveden na druhé hodině pro lepší odečítání hodnot a zkouška těsnosti není v této době nikdy zahajována.

6. Závěry

Uskutečněné experimentální práce s měřením rozvoje plastické deformace při konstantním napětí na plochých vzorcích z oceli L360NB+N ukázaly, že v prvních desítkách sekund dochází k velmi prudkému nárůstu poměrné deformace. Postupně se rychlost zmenšuje a po jisté době (přibližně po 18 hodinách) se sníží na nulu. Tomuto chování pak odpovídá i pokles tlaku vody v potrubí po zastavení tlakování: prudké snížení po zastavení, následované zmenšováním rychlosti poklesu.

Rozvoj plastické deformace při konstantním napětí lze poměrně přesně popsat mocninnou funkcí. Protože závislost mocnitele na napětí se v experimentech ukázala jako relativně slabá, byla v matematickém modelu uvažována konstantní hodnota mocnitele. Důsledkem popisu závislosti poměrné deformace ε na čase τ mocninnou funkcí je nenulová (byť stále klesající) rychlost poklesu tlaku v natlakovaném potrubí. Pro bližší přiblížení skutečnosti lze uvažovat, že tlak vody dosažený po přibližně 18 hodinách se už dále nemění.

Odvozený vztah pro časový pokles tlaku vody v uzavřeném potrubí po zastavení tlakování umožňuje určit průběh poklesu tlaku v závislosti na počátečním tlaku vody (v okamžiku zastavení tlakování), středním poloměru potrubí, tloušťce stěny, součiniteli stlačitelnosti vody (pro danou teplotu a tlak) a na creepových parametrech materiálu potrubí.

Na základě experimentálních výsledků byl dále odvozen vztah, který umožňuje určit pokles tlaku vody mezi první a dvacátou čtvrtou hodinou, což slouží jako kritérium úniku vody netěsností nebo necelistvostí pláště potrubí.

Je vysoce pravděpodobné, že u potrubí zhotovených z ocelí nižší pevnostní třídy (např. ČSN 41 1375, nebo ČSN 41 3030) nebo z ocelí vyšší pevnostní třídy (např. L415, L450, L485) než je vyšetřovaná ocel L360NB+N bude charakter závislosti „poměrná deformace – čas“ podobný. Rozdíly však lze očekávat v absolutních hodnotách parametrů vstupujících do odvozených rovnic. Protože velikosti těchto parametrů rozhodují o rychlosti poklesu tlaku vody při těsnostních zkouškách tlakových potrubí, bylo by užitečné skutečnit creepové zkoušky za normálních teplot i na vzorcích odebraných z trubek vyrobených z nízkouhlíkových ocelí a také z ocelí vyšších pevnostních tříd.

Literatura

- [1] Čadek, J.: Creep kovových materiálů. Academia, 1984
- [2] Finnie, L.; Heller, W. R.: Creep of Engineering Materials. McGraw-Hill Book Company, London (1959)
- [3] Gittus, J. H.: Creep, Viscoelasticity and Creep Fracture in Solids. Applied Science Publishers, London, 1975
- [4] L. Gajdoš et al.: Structural Integrity of Pressure Pipelines. Chapter 8 – State and Significance of Residual Stresses. Transgas, a.s., Prague, 2004

[5] Ch. Liu, P. Liu, Z. Zhao, and D.O. Northwood: Room

PLYN XCIII, 2013



Ing. Lubomír Gajdoš, CSc. (*1941)

Vystudoval ČVUT v Praze, Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou. Postgraduální studium absolvoval na University College v Londýně. Praktické znalosti z oblasti únavového poškození a mechaniky materiálů získal ve SVÚM Praha a prohloubil v ÚTAM AV ČR, kde je vedoucím oddělení tenkostěnných konstrukcí.



Ing. Martin Šperl, Ph.D. (*1975)

Vystudoval Technickou fakultu ČZU v Praze a Fakultu dopravní – Ústav mechaniky a materiálů ČVUT. Od r. 1999 pracuje v Ústavu teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd ČR, kde získal znalosti z oboru lomové mechaniky a experimentální praxi. V současné době je pracovníkem oddělení tenkostěnných konstrukcí.



Ing. Petr Pařízek (*1960)

Vystudoval Fakultu stavební ČVUT v Praze. V současné době působí jako technický ředitel ve společnosti CEPS a.s., specializuje se na problematiku spolehlivosti ocelových vysokotlakých potrubí. Publikuje v odborných časopisech, je spoluautorem tří monografií věnovaných integritě vysokotlakých plynovodů.

Summary:

Lubomír Gajdoš, Martin Šperl, Petr Pařízek:
Development of Plastic Deformations in Steel under Constant Load and Their Importance for Practice in the Gas Industry

The contribution presents and discusses the results of experimental research into low-temperature creep of L360NB+N gas pipe steel. The experiment was conducted on flat rods made of a straightened pipe ring, which was cut off a longitudinally welded $\varnothing 530/8$ mm pipe. The results have made it possible to describe the relationship between creep deformation and time and applied stress, and then determine the variations in the decrease in the pressure of water in the pipe following its loading to a certain pressure, for example, tests of pipe tightness. The updated TPG 70204 standard is envisaged to use the derived mathematical relationships for specifying more accurately the values of the natural drop in water pressure in piping.

Temperature Creep of a High Strength Steel. Materials & Design, Vol. 22, Issue 4, June 2001, pp. 325–328

Lektorovali: Ing. Václav Linhart, CSc., Ing. Romana Pavelková

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace RVO: 68378297 a výzkumného projektu GAČR P105/10/2052.