

# Výzkum a vývoj přehříváku s vysokými parametry páry pro kotle v ZEVO

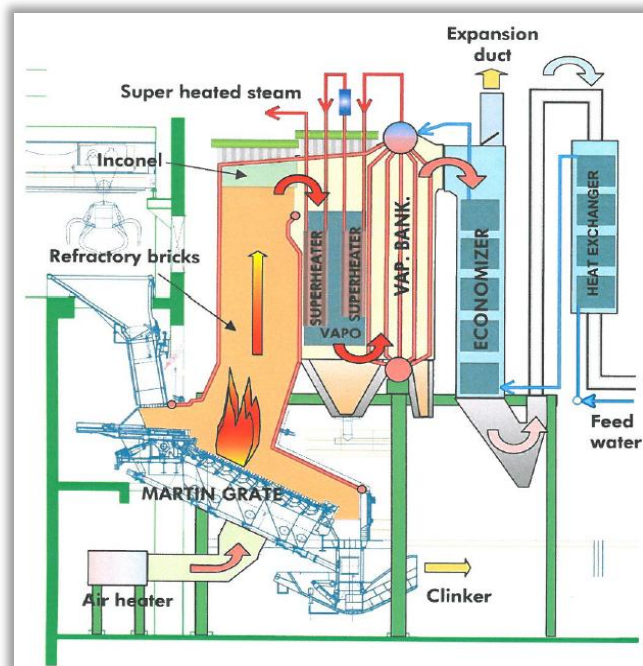
**Doc. Ing. Ladislav Vilimec** VŠB TU Ostrava, [ladislav.vilimec@vsb.cz](mailto:ladislav.vilimec@vsb.cz), **Ing. Tomáš Weigner**  
SAKO Brno, a.s. [weigner@sako.cz](mailto:weigner@sako.cz), **Ing. Jaroslav Konvička, Ph.D.** VSB TU Ostrava,  
[jaroslav.konvicka@vsb.cz](mailto:jaroslav.konvicka@vsb.cz)

## Souhrn

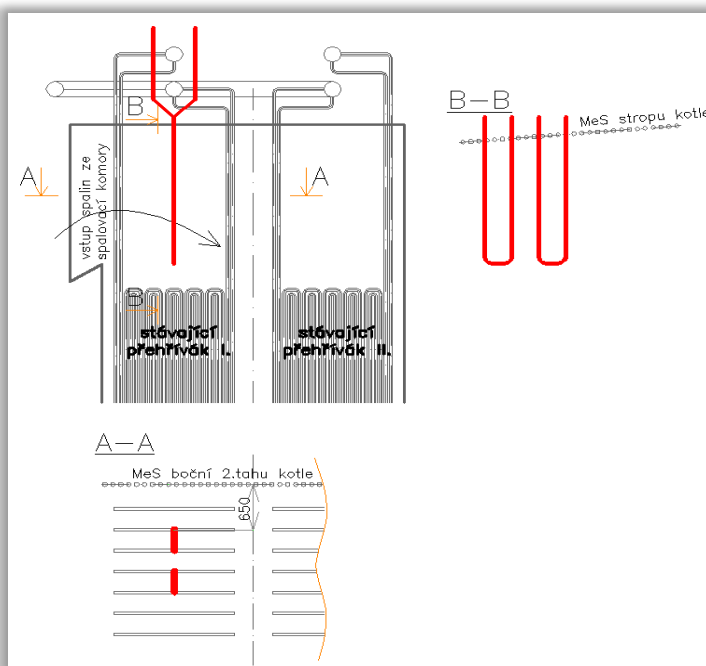
V příspěvku jsou uvedeny informace o ukončení grantového projektu a o výsledcích provozního ověření zkušební smyčky přehříváku, provedené z dvouvrstvé trubky s vnější keramickou vrstvou, v provozních podmínkách SAKO Brno. Komentují se získané výsledky vývoje ochranné keramické vrstvy, intenzity chloridové koroze i měření tepelného toku přes dvouvrstvou trubku přehříváku.

## Úvod

V roce 2014 obdržela společnost VÍKOVICE POWER ENGINEERING (dále VPE) grantový projekt TA04021583 o názvu „Výzkum a vývoj zaměřený na provozní ověření přehříváku páry s vysokými parametry pro ZEVO“. Předmětem výzkumu byl vývoj přehříváku páry z dvouvrstvých trubek s vnější keramickou vrstvou, dále výzkum intenzity koroze a součinitele prostupu tepla. Na podzim roku 2016 TAČR ukončila finanční spoluúčast VPE a uzavřela na dokončení projektu novou smlouvu na rok 2017 se společností SAKO Brno, a to v omezeném rozsahu – bez výzkumu součinitele prostupu tepla. Jako spolupříjemci zůstaly společnosti SEEIF Ceramic, a. s. a SVÚM, a. s. Výzkum včetně provozního ověření dvouvrstvých trubek se provedl na zkušebních smyčkách na kotli v SAKO Brno, řez kotlem je vidět na obr. 1 a umístění zkušebních smyček je znázorněno na obr. 2. Zkušební smyčky, jedna



Obr. 1 Řez kotlem

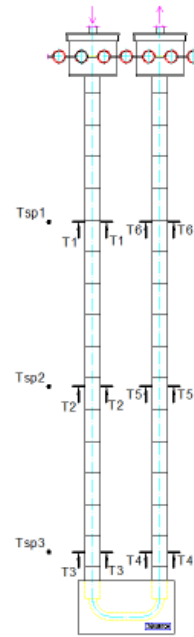


Obr. 2 Umístění smyček

z materiálu 16Mo3 a druhá ze SUPER 304H, jsou chlazeny na požadovanou teplotu stěny tlakovým vzduchem, a byly umístěny mezi deskami stávajícího přehříváku I, ve směru proudění spalin za výstupem ze spalovací komory. Vnitřní ocelová trubka každé smyčky procházela stropem a nad kotlem byla zavěšená. Vnější keramická vrstva končila pod stropem kotle. Průchod trubek přes strop je vidět na obr. 3 a provedení zkušební smyčky na obr. 4.



**Obr. 3 Průchod smyčky přes strop**



**Obr. 4 Zkušební smyčka**

Průchod smyčky přes strop nebyl předmětem výzkumu, bylo to provizorní řešení, které umožnilo instalaci smyčky bez zásahu do tlakového systému kotle, a jak je vidět na obr. 3, tak vnější keramická ochrana trubek byla ke stropu kotle utěsněna těsnicí hmotou. Záměrem výzkumu bylo omezit chloridovou korozi použitých ocelových trubek – tedy zabránit tvorbě struskových (popílkových) nánosů na ocelové trubce – od keramické ochrany se nepožadovala plynotěsnost. Zkušební smyčka (obr. 4) je provedena ve tvaru U a vnější keramická vrstva je sestavená ze speciálně konstruovaných nátrubků, spodní ohyb je krytý žárobetonem – rovněž není předmětem výzkumu, je to provizorní provedení. Na zkušební smyčce bylo pro výzkum VPE instalováno původně 6 měřících míst, v každém místě pro měření teploty vnější stěny vnitřní ocelové trubky a teploty chladicího vzduchu uvnitř vnitřní trubky. Pro závěrečný výzkum, jehož řešení zajišťuje SAKO Brno, zůstalo jen měření na výstupu ze smyčky označené číslem šest.

#### **Vnější keramická ochrana trubek přehříváku**

Jednotlivé trubkové díly keramické ochrany prokázaly v provozních podmínkách tvarovou stabilitu a potvrdilo se, že zvolený materiál je v daných podmínkách imunní vůči jakémukoliv poškození – včetně namáhání při impulzním čištění kotle. Na obr. 3 je vidět vnější povrch keramické ochrany po namontování do kotle, tedy před expozicí ve spalínách za provozu kotle. Povrch je celistvý, styk mezi jednotlivými díly není vlastně vidět.

Stav keramické ochrany po odstavení kotle a po očištění (výzkum byl ukončen 29. 9. 2017, celková doba expozice keramické ochrany ve spalínách kotle je cca 330 dnů) je zdokumentovaný na obr. 5. V pravé části obrázku je vidět nepoškozená svislá část trubky a její průchod přes strop kotle – je zřejmé, že jednotlivé díly vnější ochrany a styky mezi jednotlivými díly nejsou porušeny. Zcela jinak vypadá na levém obrázku uvedený ohyb smyčky, který je chráněn žárobetonem, a který je úplně zničený (nebyl předmětem výzkumu).



**Obr. 5 Zkušební smyčka po ukončení výzkumu**

Dobrý stav vnějšího povrchu keramické ochrany je zřejmý i z detailu trubek na obr. 6. Ani styčné plochy mezi jednotlivými díly nejsou nijak poškozené.

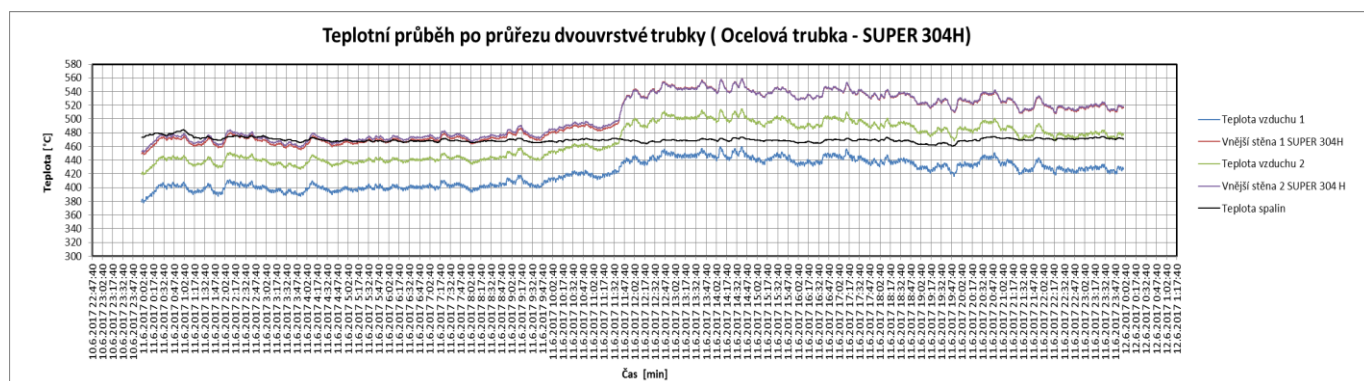


**Obr. 6 Detail trubek**

Nedošlo, v průběhu celého experimentu k prasknutí nebo zničení jednotlivých dílů ochranných nátrubků a ani k žádnému koroznímu nebo mechanickému (abraze) opotřebení jejich povrchu, nebyly zjištěny ani žádné významné změny fyzikálně mechanických vlastností.

Vzhledem k těmto vlastnostem představuje tato vyvinutá ochrana trubek nový prvek použitelný pro ochranu ocelových hadů tlakového systému nejen u kotlů v ZEVO, ale i u klasických kotlů spalujících pevná paliva, jako uhlí, či biomasu. Např. pro ochranu závěsných trubek přehříváků, trubkových mříží na výstupu ze spalovací komory i na vstupu do konvekčního tahu apod.

**Výzkum prostupu tepla** se v novém projektu omezil jen na získání naměřených dat pro případné budoucí modelování procesu sdílení tepla ve dvourstvé trubce s vnější keramickou vrstvou. Ukončením finanční spoluúčasti VPE nedošlo k výstavbě zkušební tratě ve VPE a výzkum prostupu tepla tak nebyl ani zahájen. V projektu získaná naměřená data pro provedení modelového výzkumu prostupu tepla jsou uložena na datovém serveru v SAKO Brno. Pro informaci uvádíme na obr. 7 naměřené teploty stěny vnějšího povrchu ocelové trubky.



**Obr. 7 Průběh teplot na měřícím kusu**

V měřícím kusu se měřila teplota vnějšího povrchu stěny ocelové trubky a teplota chladícího vzduchu uvnitř ocelové trubky, měření bylo redundantní, jeden soubor se měřil na návětrné straně spalin a druhý na odvrácené straně trubky. Naměřený průběh teplot stěn na obou stranách trubky je shodný – tím se potvrzuje předpokládaný účinek keramické ochrany na sdílení tepla ze spalin do stěny trubky. Překvapením jsou velmi odlišné naměřené hodnoty teploty chladícího vzduchu uvnitř trubky – tento rozdíl je zřejmě způsoben odlišnou délkou zasunutí termočlánků dovnitř ocelové trubky.

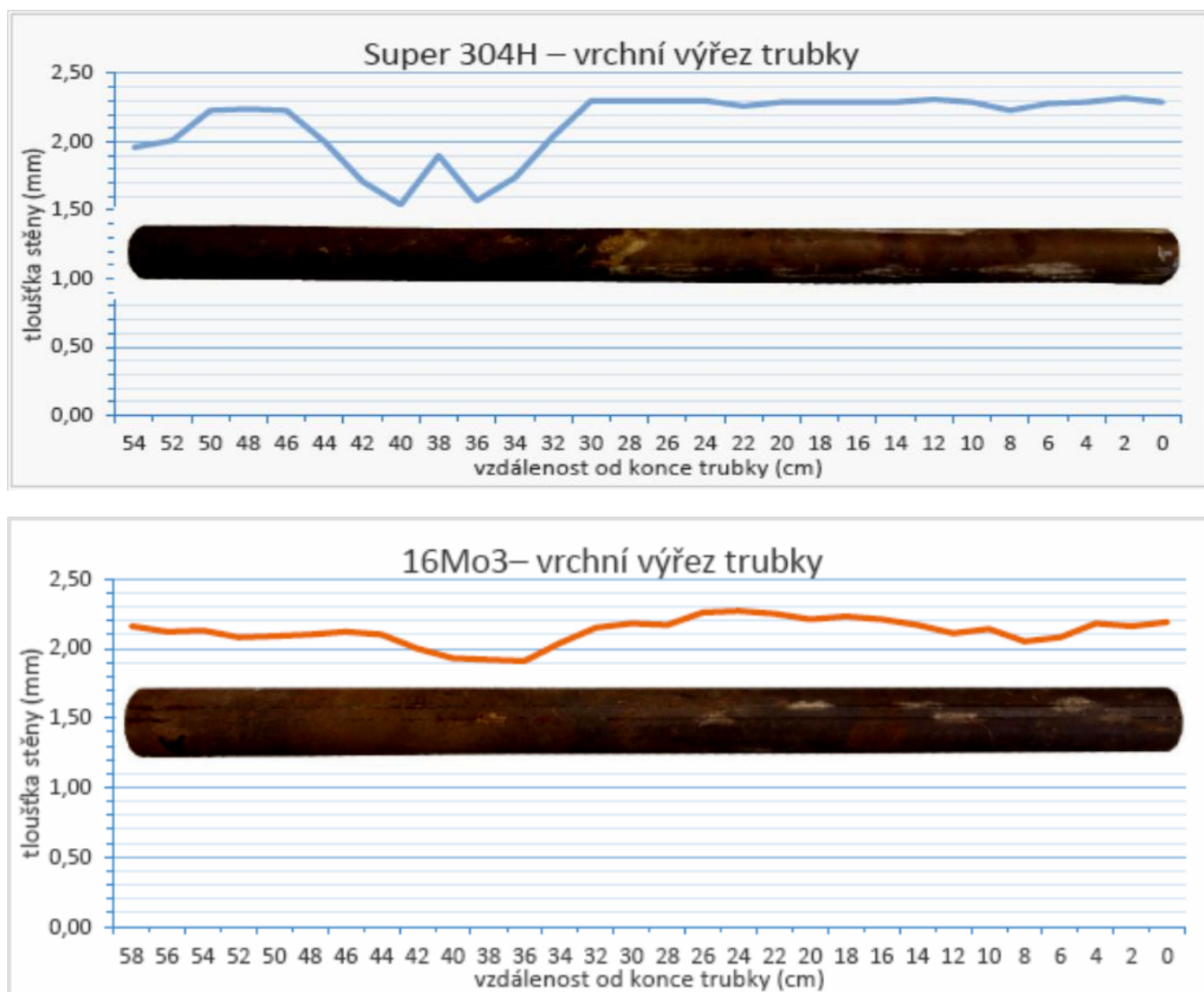
**Výzkum intenzity chloridové koroze**, jak již bylo v úvodu článku uvedeno, byl zaměřen na omezení chloridové koroze, tedy koroze pod nánosem popelovin. Proto se u dvou odebraných vzorků nánosu provedla jeho analýza, výsledky jsou uvedeny v tabulce na obr. 8.

Prvek	P21-dole	P21 - nahoře	P	0,20 ±0,03	0,19 ±0,03	Fe	1,23 ±0,13	1,42 ±0,33
C	0,51 ±0,08	0,50 ±0,13	S	4,36 ±0,69	5,57 ±0,61	Ni	0,02 ±0,02	0,02 ±0,02
O	56,51 ±1,61	54,58 ±2,03	Cl	0,74 ±0,08	0,55 ±0,17	Cu	0,33 ±0,18	0,07 ±0,06
Na	0,41 ±0,19	0,57 ±0,18	K	1,42 ±0,27	3,35 ±1,01	Zn	1,51 ±0,86	0,39 ±0,25
Mg	0,35 ±0,08	0,35 ±0,11	Ca	17,33 ±1,47	19,53 ±1,88	Sn	0,12 ±0,08	0
Al	5,20 ±0,97	5,44 ±0,60	Ti	0,12 ±0,02	0,12 ±0,02	Hg	0,01 ±0,01	0
Si	8,61 ±0,60	6,43 ±0,46	Cr	0,01 ±0,01	0,02 ±0,02	Pb	0,12 ±0,08	0,02 ±0,02
			Mn	0,04 ±0,02	0,08 ±0,04	Bi	0	0,02 ±0,02

**Obr. 8 Složení nánosů**

Je zřejmé, že v obou odběrových místech se jedná převážně o nános vytvořený z úletového popílku s vysokým obsahem Ca, Si, AL, K a Zn. Podíl železa je minimální, cca 1,3%hm. Obsah chlóru je v porovnání s jinými spalovnami menší, obsah síry je na podobné úrovni.

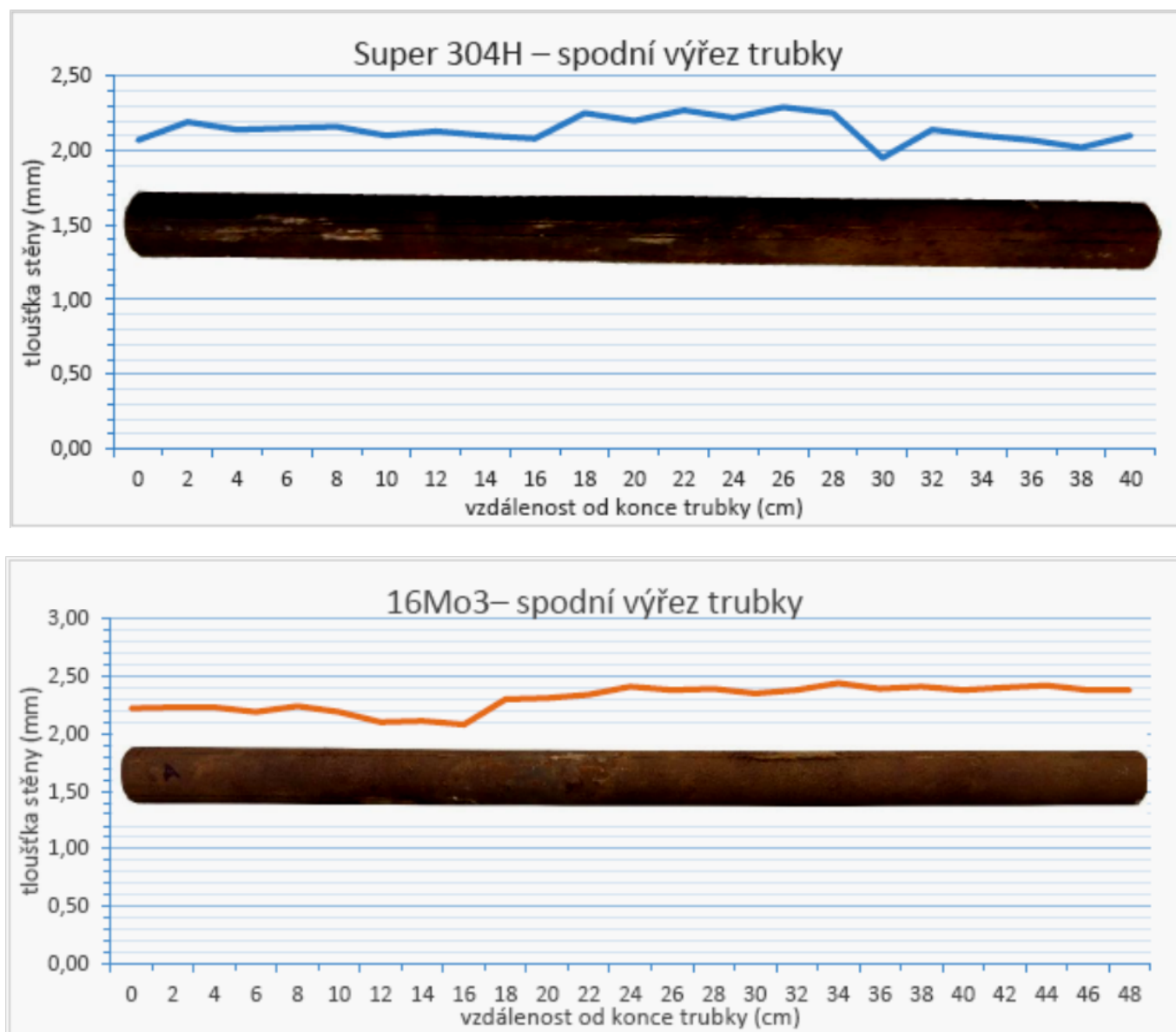
Při hodnocení intenzity chloridové koroze je třeba hned v úvodu uvést, že doba expozice ve spalínách kotle není dostatečná pro seriózní predikci životnosti u přehříváku páry takové konstrukce, a navíc nebyla po celou dobu expozice zajištěna u zkušební smyčky ani požadovaná teplota stěny cca 500°C. Nicméně dosažené výsledky opravňují k názoru, že v důsledku vytvořené ochranné keramické vrstvy, zabráňující vzniku struskových nebo popílkových nánosů, nedochází na ocelové trubce k výraznému úbytku tloušťky stěny. Pro měření korozních úbytků byly odřezány z každé zkušební smyčky dva vzorky o délce asi 500mm, horní vzorek z části pod stropem kotle a spodní vzorek z části nad spodním žárobetonovým ohybem. Na obr. 9 jsou uvedeny zbytkové tloušťky stěny po délce horního vzorku u obou sledovaných ocelí, původní tloušťka stěny trubky je 2,3mm, vzorky byly obroušeny a měřeny ultrazvukem.



**Obr. 9 Úbytky tloušťky stěny u horního vzorku**

U obou vzorků jsou vidět lokální nerovnoměrnosti přibližně v úseku 30cm až 40cm – což je místo, kde trubka prochází těsněním pod stropem. Jak již bylo uvedeno, těsnění je provizorní a zřejmě bylo během provozu poškozeno, takže v tomto místě byl vzorek vystaven intenzivnější chlorové (nikoliv chloridové) korozi ze strany spalin.

Zbytkové tloušťky stěny po délce spodního vzorku jsou uvedeny na obr. 10. I v tomto případě jsou patrné lokální nerovnoměrnosti přibližně v oblasti kolem 30cm (18cm), což je v místě napojení rovné části trubky na žárobetonovou ochranu spodního ohybu zkušební smyčky.



**Obr. 10 Úbytky tloušťky stěny u spodního vzorku**

Tato žárobetonová ochrana však je rovněž provizorní a v průběhu provozu byla zničena obr. 3.4, takže v tomto místě byl vzorek trubky rovněž vystaven chlorové korozi ze strany spalin.

Podle očekávání materiál 16Mo3 vykazuje větší úbytky stěny než materiál SUPER 304H.

Z provedených mikrostruktur exponovaných vzorků je zřejmé, že ani u oceli 16Mo3 a ani u austenitické oceli SUPER 304H nedochází k nějaké formě lokálního korozního poškození – korozní úbytky jsou plošné a tudíž na základě opakovaného nedestruktivního měření i predikovatelné.

Navržená ochrana ocelových trubek vnější ochrannou trubkou z karbidu křemíku efektivně zabraňuje usazování pevných i kapalných částic popelovin na povrchu ocelových trubek a pozitivně tak u nich ovlivňuje intenzitu chloridové koroze.

Grantový projekt TAČR TA04021583.