Zpráva z technologického dohledu o průběhu vývoje tlakových vystýlek včetně prototypového ověření pro jednatele společnosti

Období: 2/2013-9/2013

Technický dozor dodržení technologických postupů: Ing. Jiří Vítek

Interní auditor dokumentace prototypových variant: Ing. Dana Benešová

ZADÁNÍ

V únoru roku 2013 začali pracovníci společnosti WOMBAT, s. r. o. připravovat kontrakt s moskevskou firmou SPECTONNELSTROY, O.O.O. na sanaci ocelového tlakového kanalizačního systému v lokalitě Moskva – Marino. Jednalo se o úsek trubního systému v blízkosti parku a klidové části Moskvy.

Základním problémem byla netěsnost kanalizačního systému, kdy docházelo k úniku kanalizačních splašků do okolního zvodněného prostředí a prosakování splašků do blízkého jezera.

Rozsah díla	5.700 bm
Profil potrubí	DN 700, DN 800
Provozní tlak v potrubí	6 - 8 bar
Charakter a profil lokality	minimální počet šachet
Délka úseků	250 - 300 bm
Stáří sanovaného potrubí	50 - 60 let
Doba realizace díla	2 roky

Vzhledem k rozsahu díla bylo nutno počítat s tím, že práce budou probíhat, vyjma období největších mrazů prakticky celoročně.

Vedení společnosti rozhodlo vyvinout a prototypově ověřit materiálovou skladbu a výrobní postupy přímo pro tyto podmínky. Záměrem je vytvořit nebo inovovat produkt pro tlaková potrubí velkých diametrů. Poloprovozní testy prototypů umožní přímo zákazník během roku 2013.

PŘEDCHOZÍ ZKUŠENOSTI

Již v roce 2004 byli pracovníci firmy WOMBAT, s. r. o. vyzváni k realizaci sanace tlakového kanalizačního systému na Kutuzovském prospektu v Moskvě. Tehdy se jednalo rovněž o ocelové potrubí. V té době nebyli potřebné znalosti se sanací tlakových kanalizačních systémů. Po zpracování statického posouzení na odolnost proti vnitřnímu přetlaku vyšla návrhová výsledná tloušťka vystýlky min. 14 mm. Z důvodu bezpečnosti byla osazována vystýlka o tloušťce 16 mm, sycená polyesterovou pryskyřicí.

Rozsah díla	1.661 bm
Profil potrubí	DN 1400
Provozní tlak v potrubí	6 - 8 bar

Pro sanaci byl použit standardní typ sanačního rukávce z netkaných filcových střiží, sycený polyesterovou pryskyřicí KAWO CW 102.

Výsledek byl uspokojivý, došlo k požadovanému zatěsnění kanalizačních sběračů, nicméně během realizace díla se vyskytly vady. Tehdy se neuvažovalo se smrštěním polyesterových pryskyřic. Později se zjistilo, že vystýlka se nepřilnula na původní ocelovou rouru a navíc zmenšila svůj obvod o 2-3 %.

V místech konců vystýlek došlo k zatěsnění pomocí ocelových obručí. Vzhledem ke smrštitelnosti materiálu došlo na úseku dlouhém cca 500 bm k vnitřnímu napětí ve vystýlce, které se projevilo v četných mikrotrhlinách a k místním podélným i příčným prasklinám, které se musely v průlezném potrubí zatěsnit tmelem a přeplátováním. Před uvedením do provozu proběhla tlaková zkouška, vystýlka odolala požadovanému vnitřnímu přetlaku.

To, že nedošlo k přilnutí vystýlky, mělo za následek také fakt, že celý úsek nebyl dokonale vyčištěn a povrch vnitřní části pokrývala zbytková rez. Jak se později dle chemických rozborů ukázalo, polyesterová pryskyřice přirozeně nezreagovala s rezidui rzi, a tudíž nedošlo k dokonalému vytvrzení vnější vrstvy vystýlky.

REŠERŠE A KONZULTACE

Formulace základních požadavků na řešení

Ještě před závěrečným projednáním nás zákazník upozornil na požadavky na kvalitu díla. V zásadě není možné, aby se na sanovaném úseku objevily jakékoliv trhliny, praskliny či mikrotrhliny, které se objevily u vystýlek, které prováděla společnost Per Aarsleff Petrohrad, když realizovala v předcházejícím období v dané lokalitě sanaci části úseků tlakového kanalizačního potrubí. Závady nám byly předvedeny na kamerovém záznamu sanovaných úseků z roku 2012.

Dokumentace trhlin na sanované potrubí Per Aarsleff roku 2012

1. **Požadavek** – Nutnost dohlédnout na dokonalé vyčištění potrubí, prakticky až do „stříbrna“, což je základní požadavek k vytvrzení pryskyřic a dokonalé adheze. Nutnost použití dokonalé čistící techniky a následná kvalitní inspekce televizní kamerou.
2. **Požadavek -** Nutnost celý úsek posuzovat nejen na vnitřní přetlak, ale také na vnější tlak. Po realizaci díla musí být provedena tlaková zkouška na 1,5 násobek provozního tlaku.
3. **Požadavek** – Použití takové pryskyřice, které by měly minimální smrštitelnost a které budou dlouhodobě po vytvrzení zachovávat tvar. Na vystýlce nesmí být viditelné jakékoliv trhliny, praskliny ani mikrotrhliny.
4. **Požadavek -** Použít takové pryskyřice, které budou mít minimální zpracovatelnost 20 hodin a to z důvodu, že budou sanovány úseky až 300 bm.

Konzultace s odborníky a obchodními partnery

Ihned po návratu z jednání v Moskvě proběhly dne 26. února 2013 jednání s dodavateli materiálů firmou SPR SEKISUI Group, zástupce Thomas Sammans, kde byly vytipovány materiál, splňující základní požadavky. Navržená vystýlka je sendvičového uspořádání tlakové vodovodní a klasické kanalizační vystýlky.

Problémem bylo, že takto požadovaná vystýlka je vzhledem k výrobním možnostem společnosti SPR SEKISUI Group dodávána v maximální délce 100 bm. Z toho vyplýval úkol vymyslet a provést zatažení netkané vystýlky do tkané vlastními silami – vývojovým střediskem společnosti WOMBAT.

Již v prvním březnovém týdnu následovaly další jednání s odborníky na sanaci potrubí bezvýkopovými technologiemi Doc. Ing. Jaroslavem Raclavským, PhD z VUT Brno, ústavu vodního hospodářství obcí ohledně ověření správnosti navrhovaného řešení, dále s Ing. Karlem Zdražilem, CSc ohledně statického výpočtu navržené tloušťky vystýlky.

Ověření kvality použitých pryskyřic proběhla konzultace s RNDr. Stanislavem Luňákem ze společnosti Chempard Pardubice, s. r. o. a také Ing. Ivanem Dobášem, CSc ze Synpo Pardubice, a.s. Bylo znovu ověřeno chování pryskyřic. Pryskyřice polyesterové vynikají vysokými pevnostními charakteristikami, dochází však u nich ke smrštitelnosti v řádu 2-3 % a také k vytváření vnitřního napětí ve vystýlce, vedoucí k vytváření mikrotrhlin. Naopak u vystýlek sycených pryskyřicemi epoxidovými vychází nižší pevnostní charakteristiky a jsou flexibilnější, nedochází k vytváření vnitřního napětí a tedy k vytváření trhlin. Vynikají až desetinásobně nižší smrštitelností než pryskyřice polyesterové.

VÝVOJ A PROTOTYPY

1. **varianta použitého materiálu**

Tlakový vodovodní typ vystýlky tkaná TUBETEX PE/EAU, tl. 3mm DN 800 (700) s nánosovanou polyetylénovou fólií, samostatně odolávající vnitřnímu přetlaku 25 bar.

Standardní kanalizační typ vystýlky netkaná NORDIPIPE, tl. 6 mm, přičemž tato vystýlka NORDIPIPE bude vsazena do vystýlky tkané TUBETEX.

Pryskyřice epoxidová, dvousložková, typ NORDIPOX D s výpočtovým E-modulem 800 N/mm^2. Příznivá je i viskozita dané pryskyřice 0,72-1,100 Psa/při 25°C. (zdroj NordiPox-D Technical Data Sheet, vydaný výrobcem v 01/2013).

První alternativou byla tkaná vystýlka, která zajistí trubní vedení na vnitřní přetlak. Vzhledem k profilu a korozi potrubí bylo jasné, že není možné použít pouze tento základní materiál, nýbrž je třeba celou vystýlku vyztužit a tím zajistit odolnost na namáhání potrubí vnějším tlakem. Proto byla zvolena filcová vystýlka, vyrobená z netkané polyesterové střiže, která vystýlku vyztužila, a byl dokončen výběr sendvičové vystýlky.

12. března 2013 jsme konzultovali s p. Thomas Sammansem ze společnosti SPR SEKISUI Group a objednali základní komponenty, tkanou vystýlku + netkanou vystýlku a patřičné množství epoxidových pryskyřic, které v původních propočtech dosahovalo objemu 18 kg/bm. Vzhledem k tomu, že nebylo možné dodat vystýlky v délkách do 300 bm, objednal vývojář pouze základní komponenty, tj. vnitřní a vnější vystýlku. Bylo nutné navrhnout a ověřit postup zavedení vnitřního rukávce do vnějšího. 1. prototyp o délce 235 bm úspěšně realizován na polygonu společnosti WOMBAT, přičemž bylo použito tlakové nádoby. Při této operaci byla vnitřní vystýlka navinuta dovnitř tlakové nádoby a posléze tlakem vzduchu zatažena do vnější vystýlky. Tím byla zajištěna vystýlka i pro požadované dlouhé úseky.

Ještě před transportem byl zvolený materiál ověřen na polygonu společnosti a již 2. 4. 2013 byl transportován první náklad materiálu do Moskvy. Dne 12. 4. 2013 byla osazována první vystýlka v úseku Š7 – Š8 v délce 235 bm. Při přípravě jedné z následujících vystýlek došlo k tomu, že došlo k reakci v ještě neosazené vystýlce do potrubí a tedy k předčasnému vytvrzení již po 16 hodinách přípravy vystýlky. Jak se později ukázalo, deklarované doby zpracovatelnosti 24 hodin, uváděné belgickým výrobcem, vycházely z laboratorních zkoušek, a tudíž neodpovídaly realitě. Míchání pojiv, transport a instalace vystýlky dalšího úseku 275 bm byla nereálná.

Závěr

Přestože výrobce hledal jiné modifikace, což dokazují konzultace během období, konstatujeme, že technolog společnosti oprávněně testování prototypu ukončil. Tato varianta textilie a pryskyřice není spolehlivá. Může být zdrojem reklamací, proto doporučuji se k použitým vstupům nevracet ani v běžných zakázkách, resp. návrzích receptur. Statický výpočet dokončený během dohadů s dodavatelem je proto bezpředmětný.

Nordipox D

GEOSTAR, spol.s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Krajský soud v Brně, oddíl C, vložka 436
držitel certifikátů ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005

STATICKÉ POSOUZENÍ TLAKOVÉHO OCELOVÉHO KANALIZAČNÍHO POTRUBÍ DN 700, DN 800 V LOKALITĚ MARINO V MOSKVĚ

Posouzení provedeno pouze pro potrubí většího průměru. Při stejném provozním a zkušebním tlaku vzniká ve stěnách potrubí většího průměru větší napjatost. Je-li podmínka spolehlivosti splněna pro potrubí DN 800, je splněna i v případě DN 700.

sanované potrubí: $\mathbf{DN = 800\ mm}$ $(S = \frac{\pi}{4}DN^2 = \frac{\pi}{4}0{,}80^2 = 0{,}503\ m^2)$

tloušťka stěny oslabená korozí: $\mathbf{t = 5{,}6\ mm}$

standardní bezešvá trubka: $E_{steel} = 200\ GPa$; $f_y = 235\ MPa$

pracovní tlak: $\mathbf{p = 7{,}0\ bar}$

zkušební tlak: $\mathbf{p_{trial} = 15{,}0\ bar}$

použitý produkt **COMBILINER TUBETEX DN 800, Nordipox D (dosing 14 kg/m)**

tkanina PES + PE povlak, polyesterová střiž, napuštěna epoxidovou pryskyřicí (NordiPox D)

charakteristiky epoxidové pryskyřice:

hustota: $\rho = 1{,}05\ g.ml^{-1} = 1050\ kg.m^{-3}$

objem pryskyřice napuštěné v polyesterové střiži:

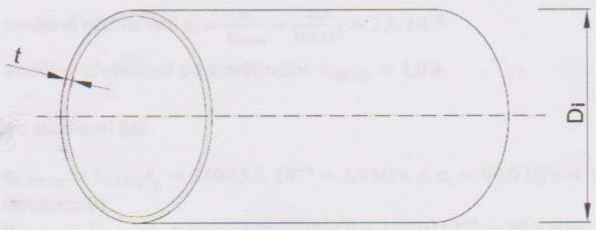
$V = \frac{m}{\rho} = \frac{14}{1050} = 0{,}013\ m^3$

mechanické charakteristiky výstelky:

modul pružnosti: $E_{lining} = 3{,}7\ GPa$

tahová pevnost: $\sigma_t = 90{,}5\ MPa$

geometrie: vnitřní průměr výstelky: $D_i = 2\sqrt{\frac{1}{\pi}(0{,}503 - 0{,}013)} = 0{,}790\ m$



☎ +420-545 221 218
☎ +420-545 234 802
fax.:+420-545 221 883
gst@geostar.eu
http://www.geostar.eu
IČ: 13690337
DIČ: CZ13690337
GE MONEY BANK a.s., č.ú. 7805514/0600
Oberbank AG, č.ú. 3000001779/8040

ekvivalentní tloušťka kompozitu výstelka + stěna potrubí:

$t_{eq} = t_{steel} + \alpha t_{lining} = 5{,}6 + 0{,}02.7{,}4 = 5{,}75\ \mathrm{mm}$

$\alpha = \frac{E_{lining}}{E_{steel}} = \frac{3{,}7}{200} = 0{,}02$

návrhové předpoklady: teorie tenkostěnného válce: $\frac{t_{eq}}{D_i} = \frac{5{,}75}{790} \leq \frac{1}{20} \Rightarrow$ **vyhovuje**

Laplaceova rovnice napjatosti: $\frac{\sigma_l}{\rho_l} + \frac{\sigma_h}{\rho_h} = \frac{p}{t_{eq}}$

podélný poloměr zakřivení: $\rho_l = \infty$

obvodový poloměr zakřivení: $\rho_h = \frac{D}{2} - \frac{t}{2}$

posouzení pro pracovní tlak:

obvodové napětí: $\sigma_h = \rho_h \frac{p}{t_{eq}} = \frac{0{,}790}{2} \frac{0{,}70}{5{,}75.10^{-3}} = 48{,}1\ \mathrm{MPa}$

obvodové přetvoření: $\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_{steel}} = \frac{48{,}1}{200.10^3} = 2{,}4.10^{-4}$

podélné napětí (předpoklad omezení dilatace 100%):

$\sigma_l = \frac{\sigma_l}{2} = \frac{48{,}1}{2} = 24{,}0\ \mathrm{MPa}$

podélné přetvoření: $\varepsilon_l = \frac{\sigma_l}{E_{steel}} = \frac{24{,}0}{200.10^3} = 1{,}2.10^{-4}$

podélné přetvoření od smršťování: $\varepsilon_{shrink} = 1{,}0\%$

podmínka spolehlivosti pro pracovní tlak:

$\sigma_{h,lining} = E_{lining}\varepsilon_h = 3700.2{,}4.10^{-4} = 0{,}9\ \mathrm{MPa} \leq \sigma_t = 90{,}5\ \mathrm{MPa} \Rightarrow$ **vyhovuje (99% rezerva únosnosti)**

$\sigma_{l,lining} = E_{lining}(\varepsilon_l + \varepsilon_{shrink}) = 3700(1{,}2 + 100{,}0)10^{-4} = 37{,}4\ \mathrm{MPa}$

$\sigma_{l,lining} = 37{,}4\ \mathrm{MPa} \leq \sigma_t = 90{,}5\ \mathrm{MPa} \Rightarrow$ **vyhovuje (59% rezerva únosnosti)**

posouzení pro zkušební tlak:

obvodové napětí: $\sigma_h = \rho_h \frac{p}{t_{eq}} = \frac{0{,}790}{2} \frac{1{,}50}{5{,}75.10^{-3}} = 103{,}0\ \mathrm{MPa}$

obvodové přetvoření: $\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_{steel}} = \frac{103{,}0}{200.10^3} = 5{,}2.10^{-4}$

podélné napětí (předpoklad omezení dilatace 100%):

$\sigma_l = \frac{\sigma_l}{2} = \frac{103{,}0}{2} = 51{,}5\ \mathrm{MPa}$

podélné přetvoření: $\varepsilon_l = \frac{\sigma_l}{E_{steel}} = \frac{41{,}4}{200.10^3} = 2{,}6.10^{-4}$

podélné přetvoření od smršťování: $\varepsilon_{shrink} = 1{,}0\%$

podmínka spolehlivosti pro zkušební tlak:

$\sigma_{h,lining} = E_{lining}\varepsilon_h = 3700.5{,}2.10^{-4} = 1{,}9\ \mathrm{MPa} \leq \sigma_t = 90{,}5\ \mathrm{MPa} \Rightarrow$ **vyhovuje (98% rezerva únosnosti)**

$\sigma_{l,lining} = E_{lining}(\varepsilon_l + \varepsilon_{shrink}) = 3700(2{,}6 + 100{,}0)10^{-4} = 38{,}0\ \mathrm{MPa}$

$\sigma_{l,lining} = 38{,}0\ \mathrm{MPa} \leq \sigma_t = 90{,}5\ \mathrm{MPa} \Rightarrow$ **vyhovuje (58% rezerva únosnosti)**

posouzení pro vnější tlak:

hloubka uložení: $h = 2{,}5\ \mathrm{m}$

objemová tíha zeminy: $\gamma = 20\ \mathrm{kN.m^{-3}}$

zatížení na povrchu: $q = 10{,}0\ \mathrm{kPa}$ (bezpečná hodnota, odhad)

vnější tlak: $p_{external} = \gamma.h + q = 20.2{,}5 + 10{,}0 = 60{,}0\ \mathrm{kPa}$

obvodové napětí: $\sigma_h = \rho_h \frac{p_{external}}{t_{eq}} = \frac{0{,}790}{2} \frac{-0{,}06}{5{,}75.10^{-3}} = -4{,}1\ \mathrm{MPa}$

obvodové přetvoření: $\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_{steel}} = \frac{-4{,}1}{200.10^3} = 0{,}2.10^{-4}$

podélné napětí (předpoklad omezení dilatace 100%): zanedbatelné

podmínka spolehlivosti pro vnější tlak:

$|\sigma_{h,lining}| = E_{lining}\varepsilon_h = 3700.0{,}2.10^{-4} = 0{,}1\ \mathrm{MPa} \leq \sigma_t = 90{,}5\ \mathrm{MPa} \Rightarrow$ **vyhovuje (99% rezerva únosnosti)**

Provedené výpočty prokázaly dostatečnou únosnost proti porušení jak celého kompozitu (výstelka + stěna potrubí), tak samostatné výstelky. Při daných úrovních napjatosti lze očekávat vlivem dotvarování postupné snižování napětí ve výstelce, a tedy její spolehlivost po celou životnost potrubí. Instalací výstelky je zajištěna dokonalá ochrana na vnitřním průměru potrubí zabraňující dalšímu oslabení ocelového průřezu potrubí na další desítky let.

Vypracoval : Ing. Michal Doněk, Ph.D.

V Brně dne 13.května 2013

GEOSTAR, spol. s r.o.
ČERNOVICKÁ 13, 612 00 BRNO

2. **varianta použitého materiálu**

Tlakový vodovodní typ vystýlky tkaná TUBETEX PE/EAU, tl. 3mm DN 800 (700) s nánosovanou polyetylénovou fólií, samostatně odolávající vnitřnímu přetlaku 25 bar.

Standardní kanalizační typ vystýlky netkaná NORDIPIPE, tl. 6 mm, přičemž tato vystýlka NORDIPIPE bude vsazena do vystýlky tkané TUBETEX.

Pryskyřice epoxidová, International Service Lux s. a., dvousložková, s výpočtovým krátkodobým 3.200 N/mm2 a viskozitou 0,5 – 0,7 Psa při 23°C.

Po neúspěchu 1. varianty v květnu 2013 navázána spolupráce se společností I.S.Lux, která dodala jiný druh epoxidových pryskyřic. Ty se ukázaly jako lepší s delší dobou zpracování, nicméně při zkouškách počátkem září 2013 již při teplotě 10°C tyto pryskyřice vykazovaly vysokou viskozitu a těžko se zpracovávaly a neúměrně prodlužovaly dobu přípravy vystýlky před instalací. Krátkodobý E – modul dané pryskyřice je 3200 N/mm^2, viskozita je mírně nepříznivá 0,5-0,7 Pas při 23°C (zdroj Technische daten und Eigenschaften, vydaný výrobcem, r. 2013).

Závěr

Tato varianta je statickým výpočtem ověřena. Problémy ve výrobě přičítá technolog vyšším teplotou okolí. Záznamy technologických listů potvrzují teploty nad 20 °C. Považuji za správné, že se přešlo k 3. variantě. Doporučuji tento prototyp podmíněně ověřit v roce 2014 za nižších teplot s hypotézou, že umožní práci v mrazech. V každém případném použití nutno receptury doplnit narovnáním pro problematické zpracování.

GEOSTAR, spol.s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Krajský soud v Brně, oddíl C, vložka 436
držitel certifikátů ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005

STATICS CHECK
LINING COMBILINER TUBETEX DN 800
MARINO, MOSCOW

reconstructed pipe: **DN = 800 mm**

working pressure: $\mathbf{p_{working} = 7,0\ bar}$

used product: **COMBILINER TUBETEX DN 800, INTERNATIONAL SERVICE LUX s. a. resin**
fabric PES + PE coating, polyester felt filled with epoxy resin (INTERNATIONAL SERVICE LUX s. a.: SPSL 4)
mechanical characteristics of lining:
Young modulus: $E_{lining} = 3{,}2$ GPa
tensile strength: $\sigma_t = 90{,}5$ MPa
estimated lifetime: **70 years or more**

design situation: wall thickness of steel pipe totally weakened by corrosion: $\mathbf{t = 0,0\ mm}$

design assumption: thin walled cylinder: $\frac{t_{lining}}{D_l} = \frac{5{,}0}{790} \leq \frac{1}{20} \Rightarrow$ **satisfied**

Laplace's equation of stress in thin walled cylinder: $\frac{\sigma_l}{\rho_l} + \frac{\sigma_h}{\rho_h} = \frac{p}{t_{eq}}$

longitudinal radius of curvature: $\rho_l = \infty$ m

circumferential radius of curvature: $\rho_h = \frac{DN}{2} - \frac{t_{lining}}{2} = \frac{0{,}800}{2} - \frac{5.10^{-3}}{2} = 0{,}398$ m

check of resistance to internal pressure

maximal working pressure: hoop stress: $\sigma_h = \rho_h \frac{p_{max}}{t_{lining}} = 0{,}398 \frac{p_{max}}{5{,}0.10^{-3}} \leq 60\% \sigma_t = 0{,}6.90{,}5$ MPa

maximal working pressure: $p_{max} = t_{lining} \frac{\sigma_t}{\rho_h} = 5{,}0.\ 10^{-3} \frac{0{,}6.90{,}5}{0{,}398} = 0{,}7$ MPa

condition of reliability: $p_{max} = 0{,}7$ MPa $\leq p_{tested} = 0{,}7$ MPa $\Rightarrow$ **satisfied (fully utilized)**

short term burst pressure: $p_{tested} = 0{,}7$ MPa (TUBETEX, NordiTube)

check of resistance to external pressure

external pressure: $p_{external} = \gamma_s . h + q + \gamma_w (h - h_w) = 20.5{,}8 + 10{,}0 + 10(5{,}8 - 0{,}0) = 184{,}0$ kPa

depth of placement: $h = 5{,}8$ m

mass unit weight of soil: $\gamma_s = 20\ kN.m^{-3}$

surcharge load: $q = 10{,}0$ kPa (conservative estimate, safe value)

ground water level: $h_w = 0{,}0$ m

mass unit weight of water: $\gamma_w = 10\ kN.m^{-3}$

hoop stress: $\sigma_h = \rho_h \frac{p_{external}}{t_{lining}} = 0{,}398 \frac{-0{,}184}{5{,}0.10^{-3}} = -14{,}6$ MPa

circumferential strain: $\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_{lining}} = \frac{-14{,}6}{3200} = 4{,}56.\ 10^{-3}$

longitudinal stress (assumption of 100% restrained dilatation): negligible

condition of reliability: $|\sigma_{h,lining}| = E_{lining}\varepsilon_h = 3200.4{,}56.\ 10^{-3} = 14{,}6$ MPa $\leq \sigma_t = 90{,}5$ MPa $\Rightarrow$ **satisfied (84% reserve of resistance)**

GEOSTAR, spol. s r.o.
ČERNOVICKÁ 13, 617 00 BRNO

Worked out by: Ing. Michal Doněk, Ph.D.

Brno 29. 5. 2013

☎ +420-545 221 218
☎ +420-545 234 802
fax.:+420-545 221 883
gst@geostar.eu
http://www.geostar.eu
IČ: 13690337
DIČ: CZ13690337
GE MONEY BANK a.s., č.ú. 7805514/0600
Oberbank AG, č.ú. 3000001779/8040

3. **varianta použitého materiálu**

Tlakový vodovodní typ vystýlky, tkaná, TUBETEX PE/EAU, tl. 3mm DN 800 (700) s nánosovanou polyetylénovou fólií, samostatně odolávající vnitřnímu přetlaku 25 bar.

Standardní kanalizační typ vystýlky netkaná NORDIPIPE, tl. 6 mm, přičemž tato vystýlka NORDIPIPE bude vsazena do vystýlky tkané TUBETEX.

Pryskyřice epoxidová, SPR SEKISUI Group, typ 521-26, vyvinutá ve Spolchemii Ústí nad Labem, a. s., dvousložková, s výpočtovým s dlouhodobým E-modulem 4.850 N/mm^2 a viskozitou 1,02 Pas při 23°C.

Po opět neuspokojivém průběhu prototypové výroby 2. varianty jsme navázali spolupráci se společností SPR SEKISUI Group, která dokončila vlastní výzkum epoxidové pryskyřice 521-26 ve SPOLCHEMII Ústí nad Labem. Tyto pryskyřice vykazují nejlepší vlastnosti. Jsou přiměřeně viskózní, mají dlouhou dobu zpracovatelnosti až 24 hodin a vykazují výborné pevnostní charakteristiky. Dlouhodobý E - modul je 4.850 N/mm2, vhodná je i viskozita 1,02 Pas při 23°C. (zdroj Material Data Sheet, vydaný výrobcem v 01/2013). Zvolený prototyp vystýlky s použitím s epoxidové pryskyřice v délce 135 bm byl úspěšně realizován 24. září 2013.

Dokumentace z ověřování vlastností pryskyřic na prototypu

Závěr

Zaznamenané hodnoty v technologických listech ukazují na příznivý průběh finalizace. Statický výpočet potvrzuje vysokou pevnost ve shodě s prototypem. Také ruské testy ukazují vysokou adhezi. Doporučuji tuto prototypovou výrobu standardizovat. Vývoj podle tohoto zadání považuji za úspěšně ukončený.

GEOSTAR, spol.s r.o.
Tuřanka 240/111, 627 00 Brno
Krajský soud v Brně, oddíl C, vložka 436
držitel certifikátů ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005

STATICS CHECK
LINING COMBILINER TUBETEX DN 800
MARINO, MOSCOW

reconstructed pipe: **DN = 800 mm**

working pressure: $\mathbf{p_{working} = 7,0\ bar}$

used product: **COMBILINER TUBETEX DN 800, SPR resin: r.tec 521-26**

fabric PES + PE coating, polyester felt filled with epoxy resin (SPR, r.tec 521-26)
mechanical characteristics of lining:
Young modulus: $E_{lining} = 4{,}5$ GPa
tensile strength: $\sigma_t = 90{,}5$ MPa
estimated lifetime: **70 years or more**

design situation: wall thickness of steel pipe totally weakened by corrosion: $\mathbf{t = 0,0\ mm}$

design assumption: thin walled cylinder: $\frac{t_{lining}}{D_i} = \frac{5{,}0}{790} \leq \frac{1}{20} \Rightarrow$ **satisfied**

Laplace's equation of stress in thin walled cylinder: $\frac{\sigma_l}{\rho_l} + \frac{\sigma_h}{\rho_h} = \frac{p}{t_{eq}}$

longitudinal radius of curvature: $\rho_l = \infty$ m

circumferential radius of curvature: $\rho_h = \frac{DN}{2} - \frac{t_{lining}}{2} = \frac{0{,}800}{2} - \frac{5.10^{-3}}{2} = 0{,}398$ m

check of resistance to internal pressure

maximal working pressure: hoop stress: $\sigma_h = \rho_h \frac{p_{max}}{t_{lining}} = 0{,}398 \frac{p_{max}}{5{,}0.10^{-3}} \leq 60\% \sigma_t = 0{,}6.90{,}5$ MPa

maximal working pressure: $p_{max} = t_{lining} \frac{\sigma_t}{\rho_h} = 5{,}0.\ 10^{-3} \frac{0{,}6.90{,}5}{0{,}398} = 0{,}7$ MPa

condition of reliability: $p_{max} = 0{,}7$ MPa $\leq p_{tested} = 0{,}7$ MPa $\Rightarrow$ **satisfied (fully utilized)**

short term burst pressure: $p_{tested} = 0{,}7$ MPa (TUBETEX, NordiTube)

check of resistance to external pressure

external pressure: $p_{external} = \gamma_s . h + q + \gamma_w (h - h_w) = 20.5{,}8 + 10{,}0 + 10(5{,}8 - 0{,}0) = 184{,}0$ kPa

depth of placement: $h = 5{,}8$ m
mass unit weight of soil: $\gamma_s = 20\ kN.m^{-3}$
surcharge load: $q = 10{,}0$ kPa (conservative estimate, safe value)
ground water level: $h_w = 0{,}0$ m
mass unit weight of water: $\gamma_w = 10\ kN.m^{-3}$

hoop stress: $\sigma_h = \rho_h \frac{p_{external}}{t_{lining}} = 0{,}398 \frac{-0{,}184}{5{,}0.10^{-3}} = -14{,}6$ MPa

circumferential strain: $\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_{lining}} = \frac{-14{,}6}{4500} = 3{,}24.\ 10^{-3}$

longitudinal stress (assumption of 100% restrained dilatation): negligible

condition of reliability: $|\sigma_{h,lining}| = E_{lining}\varepsilon_h = 4500.3{,}24.\ 10^{-3} = 14{,}6$ MPa $\leq \sigma_t = 90{,}5$ MPa $\Rightarrow$ **satisfied (84% reserve of resistance)**

GEOSTAR, spol. s r.o.
ČERNOVICKÁ 13, 617 00 BRNO

Worked out by: Ing. Michal Doněk, Ph.D.

Brno 16. 9. 2013

☎ +420-545 221 218
☎ +420-545 234 802
fax.: +420-545 221 883
gst@geostar.eu
http://www.geostar.eu
IČ: 13690337
DIČ: CZ13690337
GE MONEY BANK a.s., č.ú. 7805514/0600
Oberbank AG, č.ú. 3000001779/8040

METODIKA VÝVOJE, SOULAD S PROCESY

Jednotlivé kroky technologických procesů v průběhu vývoje produktu (míchání pryskyřic, impregnace, transport, instalace, polymerace, ochlazování) jsou doložitelné v dokumentaci stavby, tj. v technologických listech 1 až 3/-WZ1635/2013 po instalovaných úsecích a popsány ve stavebním deníku ze dne 27.3.2013/WZ1635/2013

Technologický list je součástí schválené technologie dle certifikace ISO 9001. Proces výroby se skládá z následujících kroků, dle odsouhlasených technologických postupů

1 Čištění potrubí BP-6-10-01-11W

2 Kontrola potrubí před aplikací vystýlky – monitoring BP-6-10-01-9W

kde je uváděno datum, popis sanovaného úseku, délka sanovaného úseku (m), profil sanovaného úseku (mm), kontrola kamerou, podpis pracovníka, který provedl kontrolu a podpis pracovníka, který činnost převzal

3 Technologický postup pro opravu kanalizací metodou KAWO BP-6-10-01-7W

- Příprava vystýlky

  kde je uváděno datum, podpis pracovníka, který převzal nasycenou vystýlku, profil vystýlky (mm), tloušťka vystýlky před vytvrzením (mm), délka sanovaného úseku (m), délka vystýlky (m), výška vodního sloupce (m), zbytek vystýlky (m), tloušťka vystýlky po vytvrzení (mm), venkovní teplota a druh pryskyřice (P/E)

- Kontrola vyhřívání

  kde je uváděn reálný čas (hod/min), teplota výstupu z kotle (°C), teplota výstupu z vystýlky (°C), teplota na čidlech 1, 2, 3 (°C)

- Kontrola jakosti dodaných materiálů

  kde je uváděno datum kontroly, materiál a jeho skladba, délka vystýlky (m), tlouš´tka (mm), obvod (mm), stav (dobrý/vadný), a podpis pracovníka, který vystýlku převzal

- Kontrola míchání a sycení vystýlky,

  kde je uváděno datum kontroly, profil (mm), délka vystýlky (m), recept míchání (kdo určil a kdo provedl), čas míchání (od/do), spotřeba pryskyřice (kg), vzdálenost válců na sytící lince, venkovní teplota (°C), konec sycení (datum/čas), počátek nakládky (datum/čas), event. popis závad

- Kontrola sanovaného potrubí po aplikaci metody

  kde je uváděno datum, kontrola kamerou, kontrola vodotěsnosti, odebraný vzorek vystýlky (ano/ne), odebraný vzorek vody (ano/ne), jméno pracovníka, který provedl kontrolu a jméno pracovníka, který převzal a vyhodnotil

Další údaje:

Použití prelineru (ano/ne), počátek instalace vystýlky (hod/min), konec instalace vystýlky (hod/min), začátek ohřevu (hod/min), ohřev vody na teplotu (hod/min), udržování vody na teplotě (hod/min), udržování vody na teplotě – perfo (hod/min), chlazení vody (°C/hod), přečerpávání splašků během sanace (ano/ne), poškození vystýlky během ohřevu (ano/ne), únik styrénu (ano/ne), neshoda aspektu (ano/ne), spotřeba nafty (l) a podpis pracovníka, který proces převzal.

Technologické kroky korespondují s technologickým postupem procesu finálního produktu v souladu se systémem řízení ISO 9001 a certifikovány Institutem pro testování a certifikaci Zlín, a.s. dle vydaného certifikátu výrobku č. 05 0133 V/AO/b z října 2005 s pravidelným prodlužováním účinnosti při zachování všech receptur v procesu.

ZÁVĚR

Výsledky prototypových variant umožňují rozšířit využití 3. varianty do běžné výroby a nabídky. Obecné uživatelské charakteristiky této inovace mohou být formulovány.

Vystýlka je sycená epoxidovou pryskyřicí, která má relativně nízký E – modul, což znamená, že výsledná vystýlka je flexibilnější, nepraská, nevytvářejí se v ní vlivem namáhání (např. působením čerpadel) trhliny a praskliny.

Při použití polyesterové vystýlky by právě vlivem tvrdosti a křehkosti konečného produktu došlo k vytváření mikrotrhlin, poté trhlin a následně prasklin ve vystýlce, což by v delším časovém horizontu mohlo vést k deformaci až destrukci vystýlky.

Podmínkou realizace sanace je dokonalé vyčištění hostitelské trouby. Po osazení vystýlky dojde k vytvoření tzv, „kompozitu“, což je v podstatě spojení a spolupůsobení hostitelské trouby s vystýlkou a vytvoření mimořádných mechanických vlastností kompozitu.

Do budoucna je třeba zajistit vyhřívání vystýlek parou nebo UV – zářením. Tím se rozšíří portfolio možností vytvrzování vystýlek a odpadne závislost na instalaci a polymeraci teplou vodou, která není z ekonomického i ekologického pohledu ideální. Další výhodou je možnost plynulé realizace díla bez ohledu na nevhodné klimatické poměry.

Vystýlka je v podstatě sendvič skládající se ze tkané vystýlky, např. PHOENIX s netkanou vystýlkou filcovou. Tato vystýlka má výjimečné vlastnosti z těchto důvodů:

- Tkaná vystýlka spolehlivě odolá běžnému provoznímu tlaku
- Netkaná vystýlka vytvoří patřičnou vrstvu, odolávající případnému tlaku okolního prostředí

Upozorňuji, že prototypové práce se uskutečnily v zčásti nevhodných strojních zařízeních, v improvizovaném výrobním proudu a s pomocí zapůjčených agregátů. Pro běžnou výrobu musí být v souladu s certifikovaným procesem výroby nově uspořádány, vybaveny anebo rozšířeny uzly procesů:

- Tvarování a sycení vystýlky,
- Instalace do potrubí,
- Vytvrzování včetně řízení tepelných procesů,
- Diagnostika a příprava potrubí před instalací.

Pro dané dlouhé úseky nutno počítat s tím, že diagnostika musí zahrnout i monitoring celého úseku, který není dokumentován přesně nebo vůbec. Tyto operace mohou být součástí přípravy technicko obchodní, protože poskytují informace, které zákazník nemá. Dalším zlepšením může být digitalizace tvarového návrhu vystýlky přímo z diagnostické digitální zprávy.

Pokračování prototypového vývoje nepovažuji za potřebné. Výrobek a postup je přenositelný do standardní výroby. Vývoj je ukončen k 30. 9. 2013.

Vypracoval: Ing. Jiří Vítek, autorizovaný inženýr v oboru Vodohospodářské stavby, ČKAIT č. 1000744

Ověřila: Ing. Dana Benešová, interní auditorka Metod Konzult IPM, s. r. o.

METOD KONZULT IPM, s.r.o.
Ostružnická 14
779 00 Olomouc
IČ: 479 75 318

Se společností projednáno dne 27. 9. 2013 v Brně

Jednatel společnosti WOMBAT s. r. o, Ing. Ladislav Dokládal

WOMBAT s.r.o.
616 00 BRNO, Březinova 23