Zkušební postupy pro sanační rukávy

Dieter Homann, Dipl.-Ing. / Vedoucí zkušebního místa pro stavební výrobky,
IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur GmbH, Gelsenkirchen, Německo

Úvod

Z dlouhé doby amortizace 50 let a více vyplývají vysoké požadavky na kvalitu sanace. Po celou dobu provozu musí být zajištěno, že zabudovaná sanace přečká namáhání kanálu, které se vyskytne, beze škod. Týká se to nejen záruky funkčnosti/hydrauliky, ale také stálosti a odolnosti a těsnosti sanace.

Zvláštní význam získávají v rámci schvalování sanačních opatření zkouška a hodnocení dodané kvality sanace a také doklad použitých materiálů vždy tehdy, pokud vzniká výrobek teprve na místě a není předchystán a zkontrolován již ve výrobě, a není tedy dodán na stavbu již po kontrole výrobcem. Tato situace se týká například plastových potrubních systémů, které se vyrábějí pro obnovu beztlaké kanalizace uložené v zemi ze sanačních rukávů tvrdnoucích na místě.

Zatímco nové trubky se zpravidla vyrábějí v továrně, vzniká v případě sanačních rukávů vytvrzená trubka teprve na místě stavby. Při montáži se rozhodne, jaké materiálové a geometrické vlastnosti sanační rukáv skutečně má. Chyby při výrobě a montáži sanačního rukávu mohou vést ke snížení kvality, která příp. také sníží stálost v provozu. Klesá tak případně pravděpodobnost či schopnost sanačního rukávu dosáhnout průměrné životnosti.

Na základě těchto okolností je o to důležitější používat sanační rukávy, které mají trvale odpovídající zkoušky způsobilosti, a u kterých je zásadní způsobilost osvědčena např. schválením (Základní stavebně technické schválení od Německého institutu pro stavební techniku - Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt). U každého sanačního rukávu je dále nutné provést okamžitě po instalaci zkoušku kvality. Přitom se zkouší především směrodatné údaje ze statických výpočtů. Poté se objasní použité postupy materiálových zkoušek na sanačním rukávu.

Podklady

Podklady pro zkoušku kvality tvoří průkazy způsobilosti specifické pro dané postupy. Jejich úkolem je v rámci zkoušek při simulovaných provozních podmínkách prokázat způsobilost postupu a například před udělením všeobecného stavebně technického schválení (dále jen Schválení DIBt) je vyžaduje Německý institut pro stavební techniku DIBt.

U průkazů způsobilosti získává stále více na významu vedle posouzení mechanických krátkodobých a dlouhodobých vlastností také bezpečnost provozu sanačního rukávu (odolnost proti otěru, vodotěsnost, odolnost vůči působení chemických látek a odolnost proti vysokotlakému čištění) a také identifikace použitých materiálů. Takovýto průkaz způsobilosti obsahuje mimo jiné následující zkoušky:

- Vodotěsnost laminátu (zkušební předpis APS, DWA-A 143-3)
- Skladba stěny, obsah pryskyřice a skla, pokud jsou jako nosný materiál použita skelná vlákna (DIN EN ISO 1172)
- Hustota (DIN EN ISO 1183)
- Identifikace pryskyřice pomocí spektrální analýzy (ASTM D 5576)

- Zkouška krátkodobého a dlouhodobého modulu pružnosti na kruhovém vzorku (zkouška tlakem ve vrchlíku: krátkodobá: DIN EN 1228 (ISO 7685), dlouhodobá: DIN EN 761 (ISO 7684))
- Srovnávací zkouška modulu pružnosti a pevnosti v ohybu na výřezu pomocí zkoušky ohybem při tříbodovém zatížení (DIN EN ISO 11296-4, DIN EN ISO 178)
- Určení krípu v ohybu; příp. rozdíl jmenovitých hodnot (DIN EN ISO 899-2, DIN 16869-2)
- Zkouška vytvrzení (DSC analýza (DIN EN ISO 11357) nebo kríp v ohybu)
- Zkouška odolnosti vůči otěru (DIN EN 295-3)
- Zkouška odolnosti proti vysokotlakému čištění (DIN 19523, postup 1 a 2)
- Zkouška odolnosti vytvrzeného rukávu proti chemickému zatížení odpadními vodami z domácností dle DIN 1986-3 v rozsahu pH 2 až pH 12 (zkušební program Německého institutu pro stavební techniku a DIN EN ISO 175).

Vedle těchto uvedených zkoušek způsobilosti v laboratoři na zkušebních vzorcích ze simulovaných montáží se požadují v rámci všeobecného stavebně technického schválení dokumentace a zkoušky sanace v praxi (opatření in situ) a ekologický průkaz.

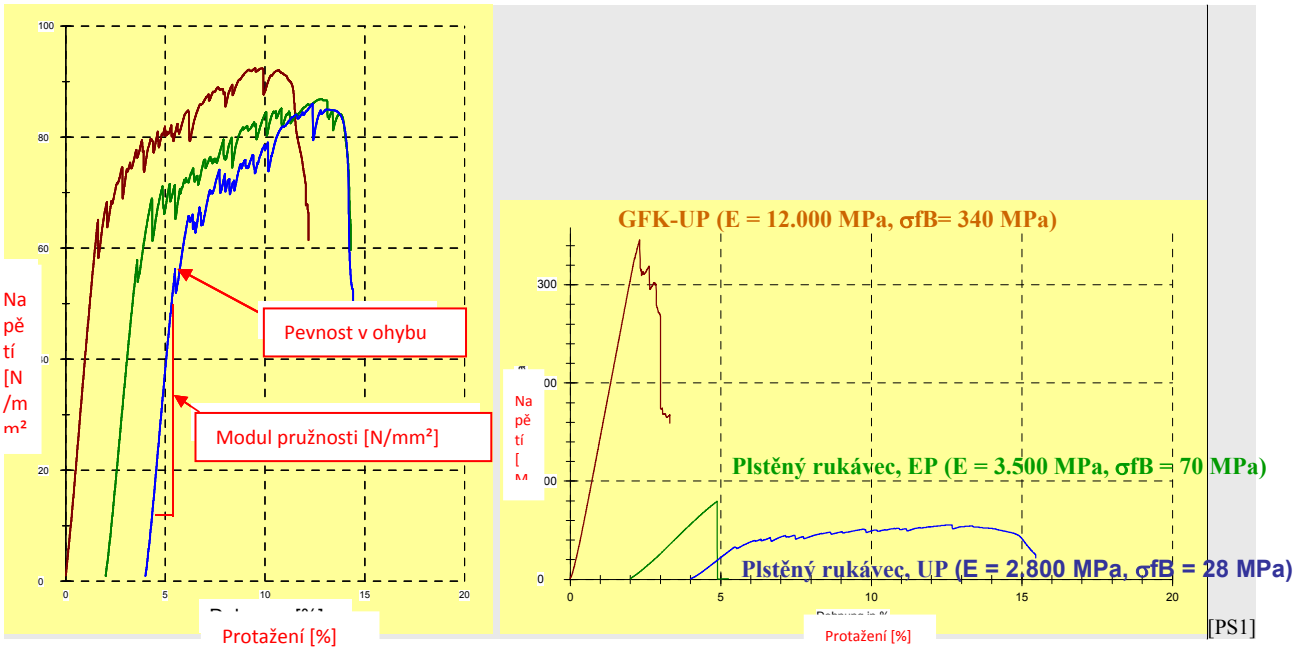
Zajištění kvality u sanačních rukávů obsahuje navíc vlastní podnikovou a mimopodnikovou kontrolu pro všechny etapy prací potřebných pro realizaci sanace. Dnes se pro každé opatření pomocí rukávu vyžaduje od dodavatele při vlastní podnikové kontrole kompletní dokumentace. Také po úspěšných zkouškách způsobilosti mají zpracování materiálů v závodě a na stavbě (konfekcionování, sycení, doprava, montáž, vytvrzení) a také mezní podmínky na stavbě podstatný vliv na kvalitu rukávu Proto se stanovují vybrané ukazatele materiálu, které popisují kvalitu, pro každý samostatný postup tvrzení při mimopodnikové kontrole na stavbě na základě zkušebních vzorků a srovnávají se se smluvně stanovenými (např. ze schválení DIBt) hodnotami příp. hodnotami stanovenými na základě statických výpočtů.

Zkušební metody pro vzorky na stavbě

Krátkodobý modul pružnosti a krátkodobá pevnost v ohybu

Pro kontrolu výsledku procesů vytvrzení na místě stavby a pro vyhodnocení únosnosti sanačního rukávu se určují hodnoty krátkodobé pevnosti v ohybu při prvním porušení σ_{fb} a modulu pružnosti E_0. Tyto ukazatele materiálu se běžně počítají při zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení dle DIN EN ISO 178 s modifikacemi DIN EN ISO 11296-4, takže se mohou vztáhnout na výřezy rukávu (viz také odst. Zkušební vzorky na stavbě). Zkušební vzorek se rozřeže na jednotlivá zkušební tělesa (5 ks) o šířce 50 mm, kterým se nejprve změří tloušťka stěn. Poté se položí zkušební tělesa na dvě opěry a ve středu jsou zatěžována konstantní rychlostí deformace, dokud se neporuší.

Obr. 1: Zkouška ohybem při tříbodovém zatížení dle DIN EN ISO 178 a DIN EN ISO 11296-4

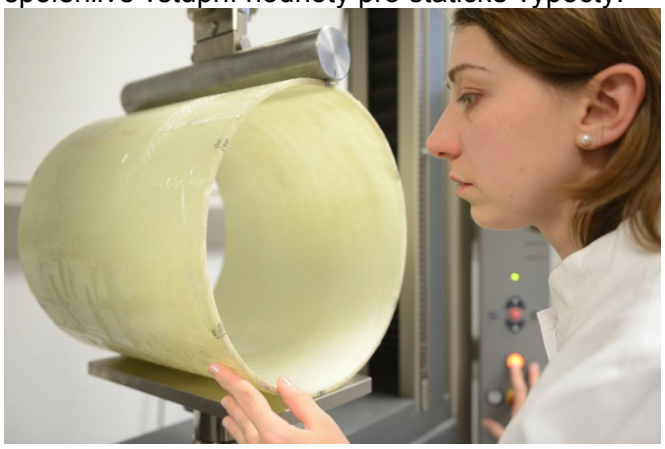


Obr. 2: Výsledky zkoušky ohybem při tříbodovém zatížení
Vlevo: Rukáv se syntetickou plstí jako nosným materiálem
Vpravo: Srovnání sklolaminátového rukávce a plstěného rukávce

Obr. 1 ukazuje křivku napětí a deformace, která byla zaznamenána při zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení. Pro malá zatížení se předpokládá, že kvocient z napětí a deformace je konstantní. Modul pružnosti ukazuje tuto souvislost mezi napětím a deformací při zkoušce ohybem (stoupání Hookovy přímky). Udává se v megapascalech (MPa) (1N/mm²=1MPa). Pod pojmem pevnost v ohybu se rozumí napětí v ohybu při prvním porušení zkušebního vzorku. Také tato hodnota se udává v MPa.

Pro výpočet mechanických krátkodobých vlastností na úplném rukávu (mezikruží) lze provést zkoušku pevnosti tlakem ve vrchlíku dle DIN EN 1228. Protože zde je o něco obtížnější získat zkušební vzorky než při zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení, používají se zkoušky pevnosti tlakem ve vrchlíku převážně při zkouškách způsobilosti nových rukávových systémů. Zkoušky pevnosti tlakem ve vrchlíku poskytují zpravidla přesnější hodnoty, protože zde není jako při zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení zatěžován pouze výřez, ale celý stavební výrobek. Proto

panuje shoda o tom, že se používají pro statické výpočty zjištěné hodnoty ze zkoušky pevnosti tlakem ve vrchlíku, pokud by se měly tyto hodnoty odchylovat od srovnávacích hodnot ve zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení. Především u menších jmenovitých hodnot (< DN200) se proto často odebírají mezikruží a ta se testují zkouškou pevnosti tlakem ve vrchlíku, aby se dodržely spolehlivé vstupní hodnoty pro statické výpočty.



Obr. 3: Zkouška pevnosti tlakem ve vrchlíku dle DIN EN 1228

Postup při zkoušce pevnosti tlakem ve vrchlíku:
Trubka se po dobu jedné minuty zatěžuje až do deformace 3 % průměru. Následně se deformace drží na konstantní hodnotě po dobu dvou minut. Trubka relaxuje a ze zkušebního stroje se odečte síla. Ze síly po celkem třech minutách trvání pokusu, deformace 3 % a geometrie stavebního výrobku se podle zákonů statiky vypočítá specifická počáteční kruhová tuhost S_0 stavebního výrobku (rukávu). Souvislost mezi geometrií stavebního výrobku (tloušťka stěny s, průměr dm), modulu pružnosti (E) a kruhové tuhosti S_0 podle DIN EN 1228 je následující:

$$S_0 = \frac{E \times I}{d_m^3} = \frac{E \times s^3}{12 \times d_m^3} \text{ [N/mm²]}$$

Tuhost kruhu je míra pro odolnost trubky proti kruhové deformaci vnějším zatížením.

Přitom je třeba zohlednit, že pro statické výpočty dle DWA A143-2 se kruhová tuhost rukávu Liners S_L (tam je označována jako tuhost trubky) vztahuje na poloměr a ne na průměr:

$$S_L = \frac{E \times s^3}{12 \times r_m^3} \text{ [N/mm²]}$$

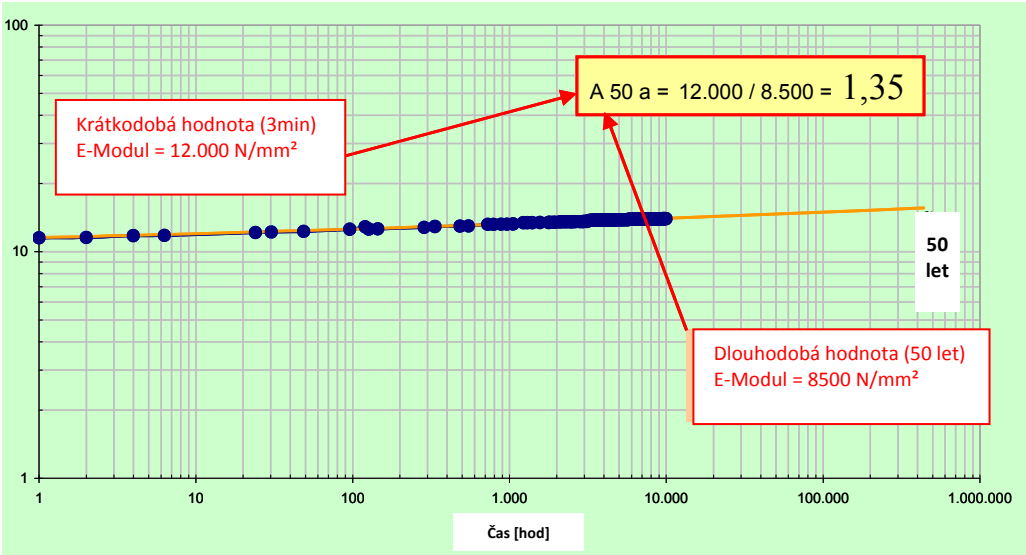
Výsledek mechanické zkoušky vzorku na stavbě (hodnoty pevnosti krátkodobého modulu pružnosti a pevnosti v ohybu) musejí odpovídat alespoň hypotézám ve statických výpočtech, Navíc existují pro schválené a přezkoušené systémy rukávů ve všeobecném stavebně technickém schválení Německého institutu pro stavební techniku minimální požadavky na hodnoty krátkodobého modulu pružnosti a pevnosti v ohybu, které musejí být v každém případě dodrženy. Pouze pokud jsou dodrženy požadavky schválení DIBt v plném rozsahu, byly montáž a vytvrzení sanačního rukávu na stavbě úspěšné.

Dlouhodobý modul pružnosti a kríp v ohybu

Ve statických výpočtech se dnes vychází z doby zatížení sanačních rukávů 50 let. Proto se provádějí výpočty s dlouhodobými hodnotami pro modul pružnosti a pevnost v ohybu, které vyplývají z krátkodobých hodnot dělením takzvaným redukčním součinitelem pro trvalé zatížení $A_{50\ let}$ příp. násobením faktorem kríp $\alpha_{50,dry}$ dle DIN EN ISO 11296-4.

Základem je, že sanační rukáv je zatěžován během celé své životnosti kontinuálně (např. tlakem podzemní vody). Po celou delší dobu životnosti reaguje materiál na stálé zatížení přibývajícími deformacemi (kríp) nebo relaxací napětí. Běžně se toto viskoelastické chování přibližně zohledňuje ve statických výpočtech k vyměřování rukávů tím, že se krátkodobý modul pružnosti redukuje přes redukční součinitel (tzv. krípový faktor) na dlouhodobý modul pružnosti. Pro zkoušení zkušebních vzorků na stavbě to znamená, že vedle hodnot krátkodobého modulu pružnosti a pevnosti v ohybu je relevantní také redukční součinitel/krípový faktor.

Obr. 4: Dlouhodobé zkoušky v IKT trvající 10.000 hodin
Vlevo: Zkouška pevnosti tlakem ve vrchlíku dle EN 761 (ISO 7584), za sucha
Vpravo: Zkouška ohybem při tříbodovém zatížení DIN EN ISO 11296-4, při vlhku



Obr. 5: Určení redukčního součinitele $A_{50\ let}$ z dlouhodobé zkoušky pevnosti tlakem ve vrchlíku (vyobrazeno: deformace [mm] v čase)

Poznámka: $\alpha_{50,dry} = 1/A_{50\ a} = 0{,}71$

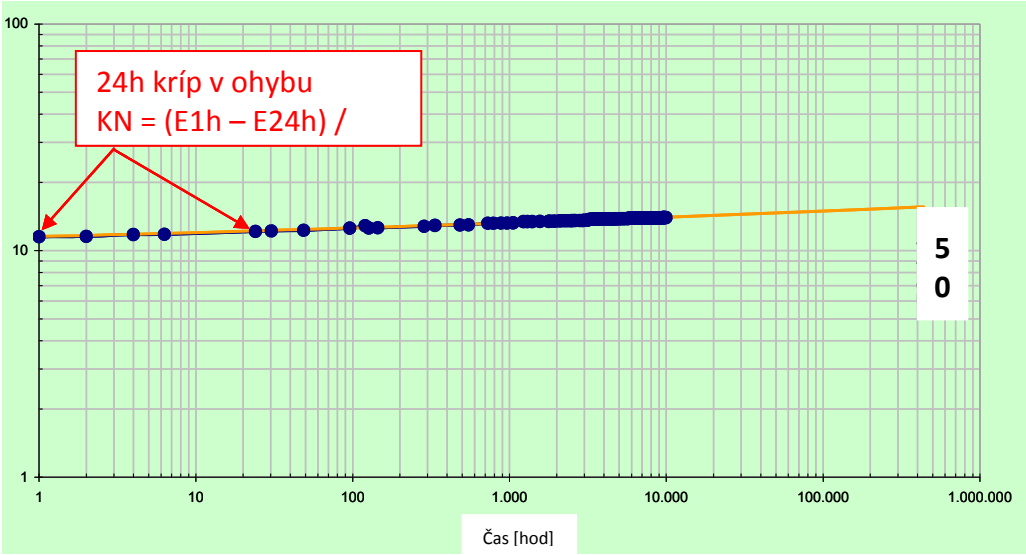
Redukční součinitel/krípový faktor se běžně počítá pomocí zkoušek způsobilosti na zkušebních vzorcích, které se zatěžovaly v dlouhodobé zkoušce pevnosti tlaku ve vrchlíku po dobu 10.000 hodin. Dlouhodobé zkoušky ve zkoušce ohybem při tříbodovém zatížení, příp. za vlhka (uložení ve vodě) jsou také možné. Naměřená deformace na konci zkoušky po 10.000 hodinách se přitom extrapoluje na 50 let. Z toho se vypočítá dlouhodobý modul pružnosti pro dobu zatížení 50 let.

Nedosáhne-li krátkodobý modul pružnosti vzorku ze stavby ve značné míře požadovaných hodnot, ukazuje to na nedostatečné vytvrzení sanačního rukávu. V tomto případě se musí dodatečně přezkoušet, zda je redukční součinitel (např. 2,0) ze zkoušky způsobilosti ještě platný. Zpravidla vede nedostatečné vytvrzení k nepříznivému chování při tečení (kríp), a tím k vyššímu redukčnímu součiniteli /krípovému faktoru. Toto se musí potom případně zohlednit v novém statickém výpočtu na základě zkoušených hodnot materiálu.

Pro přezkoušení redukčního součinitele se určí tzv. 24h kríp v ohybu. Přitom se zkušební vzorek ve zkoušce pevnosti tlakem ve vrchlíku nebo zkoušce v ohybu při tříbodovém zatížení po dobu 24 hodin vystaví konstantní zátěži a měří se přírůstek deformace. Z deformací po 1 hodině a po 24 hodinách se potom vypočítá kríp v ohybu, pro který jsou ve schváleních pro systémy sanačních rukávů uvedeny požadované hodnoty.

$$K_n = \frac{E_1 - E_{24}}{E_1} \times 100 = \frac{f_{24} - f_1}{f_{24}} \times 100 \ [\%]$$

Pro rukávy ze syntetické plsti jsou například běžné krípy v ohybu mezi 10 % a 15 %. U rukávů ze skelných vláken jako nosný materiál jsou možné hodnoty mezi 5 % a 10 %.



Obr. 6: Měřící body deformace pro 24h kríp v ohybu
(vyobrazeno: deformace [mm] v čase)

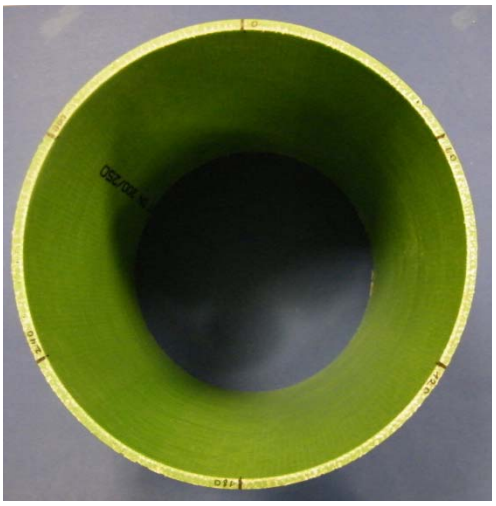
Tloušťka stěny

V závislosti na postupu výroby rukávu se konečná hodnota tloušťky stěny rukávu ukáže teprve po jeho vytvrzení v kanále. Z tohoto důvodu je třeba počítat s většími výkyvy tlouštěk stěny, než je tomu u plastových trubek vyráběných v továrně. Jako vstupní hodnota pro statický výpočet se ale musí stanovit pro vybraný systém rukávu požadovaná tloušťka stěny (staticky nosná tloušťka stěny), která závisí na vlastnostech materiálu a namáhání, které se očekává, a podle toho se po úspěšné instalaci rukávu přezkouší.

Pomocí přesného posuvného měřítka se změří staticky nosná tloušťka stěny, tzv. kompozitní tloušťka stěny, na každém samostatném zkušebním tělese pro zkoušku v ohybu při tříbodovém zatížení na šesti místech. Pro zkušební vzorky ze stavby tak bude celkem 30 míst měření.

Dle DIN EN ISO 11296-4 se přitom neberou v potaz vnitřní a vnější fólie a také nadbytečná pryskyřice. Stejně tak se od tloušťky stěny odečtou plánované obrusné vrstvy, aby se určila staticky relevantní tloušťka stěny kompozitu.

Měření tloušťky stěny probíhalo na výřezech rukávu pro zkoušku pevnosti tlakem ve vrchlíku na 16 místech. Místa měření se nacházejí v osminách na koncích zkušebního tělesa a jsou rozdělená po jeho obvodu.



Obr. 7: Místa měření pro tloušťku stěny při zkoušce pevnosti tlakem ve vrchlíku (vlevo) a zkoušce v ohybu při tříbodovém zatížení (vpravo)

Při výrobě rukávu v továrně a také při montáži na stavbě se mohou vyskytnout vlivy, které vedou k podkročení nebo překročení tloušťky stěny. Tloušťka stěny přitom podstatně ovlivňuje nosnost rukávu. Patrné je to při bližším posouzení vzorce pro výpočet kruhové tuhosti S_R.

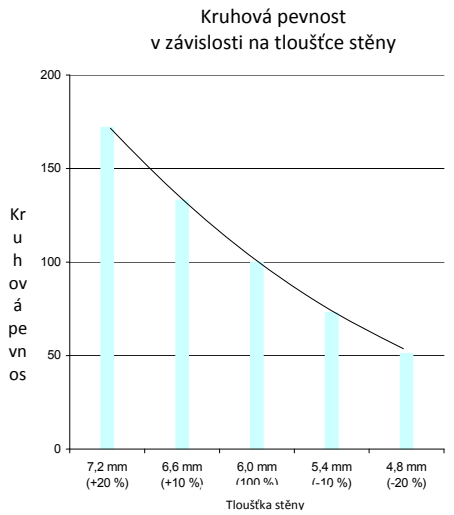
Exemplárně je pro rukáv ve staré trubce DN 300 při tloušťce (staticky nosná kompozitní tloušťka) 6 mm zobrazen vývoj kruhové tuhosti v závislosti na tloušťce stěny.

Na základě těchto výsledků se názorně ukáže, jak důležité je přesné dodržování rozměrů tloušťky stěny rukávu (staticky nosná kompozitní tloušťka) pro bezpečné a ekonomické vyměřování rukávů. Staticky nosná kompozitní tloušťka je proto zásadní kritérium kvality, které by se mělo přezkoušet na každém vzorku ze stavby.

Vzorový výpočet
Mezní podmínky
- Tloušťka stěny s = 6 mm (požadované hodnoty)
- Poloměr staré trubky DN 300

$$S_R = \frac{E \times s^3}{12 \times r_m^3} \quad [N/mm^2]$$

Nedosažení požadované hodnoty tloušťky stěny o 1,2 mm znamená v tomto případě 50 % ztrátu kruhové tuhosti.



Obr. 8: Vzorový výpočet, kruhová tuhost v závislosti na tloušťce stěny

Vodotěsnost

Zkouškou těsnosti na vzorcích rukávu v laboratoři se zkouší vodotěsnost laminátu, tedy spojení pryskyřice a nosného materiálu. Sanační rukávy se syntetickou plstí jako nosným materiálem mají vnitřní vrstvu, která chrání nevytvrzenou pryskyřici během montáže a procesu vytvrzování proti montážnímu a vytvrzovacímu médiu (voda nebo vodní pára). Tato vrstva slouží pouze jako pomoc při montáži a během životnosti rukávu se může poškodit, např. při čištění kanálu. Pro zkoušku vodotěsnosti laminátu se vnitřní vrstva protne stanoveným síťovým řezem, aby se mohl zkušební tekutinou smáčet laminát. Aby se přitom laminát nepoškodil, používá se nůž s omezením hloubky řezu.

Příprava	• Vnější fólie laminátu se odstraní bez stříhání. • Vnitřní vrstva se kompletně protne síťovým řezem. • Je nutné zabránit poškození laminátu rukávu (přípustné jsou hloubky řezu do nosného laminátu max. 0,3 mm)
Hloubka řezu	• Rozestupy čar sítě jsou vždy cca 4 mm.
Zkušební plocha	• Ø 45 mm ± 5 mm
Médium	• Místní běžná voda z vodovodu, které se obarví rodaminem B nebo fluoresceinem.
Doba zkoušení	• 30 min
Zkušební tlak	• Podtlak 0,5 bar ± 5 %
Volba zkušební plochy	• 3 jednotlivé zkoušky na jeden zkušební vzorek ze stavby. • Je třeba vybrat jasně viditelné oblasti.
Podmínky při zkoušce	• Pokojová teplota 23 ± 5 °C • Vzorky se musejí skladovat alespoň 4 h při pokojové teplotě.
Vyhodnocení	• Průnik zkušební kapaliny (kapky, tvorba pěny nebo vlhkost) se musí vyhodnotit jako netěsnost. • Všechna tři zkoušená místa musejí být těsná. • Výsledek zkoušek může být pouze těsné nebo netěsné.

Tabulka 1: Zkušební směrnice APS: Zkouška těsnosti na vzorcích sanačních rukávů v laboratoři

Tento postup se u některých rukávů se syntetickou plstí jako nosným materiálem provádí odlišně, jakmile se prokázalo, že vnitřní fólie/vrstva je odolná proti provoznímu zatížení (obrus, vysokotlaké čištění). V tomto případě se do vnitřní fólie neřeže, ale pouze se přezkouší těsnost této fólie. Vyjádření o těsnosti laminátu (pryskyřice a nosný materiál), který se nachází pod ní, není v tomto případě možné!

U rukávů se skelnými vlákny jako nosným materiálem nejsou žádné vnitřní vrstvy, takže zde síťový řez odpadá. U obou typů rukávu mohou být navíc fólie na vnější straně vzorků (preliner). Jsou zpravidla velmi tenké (např. 0,1 mm) a během montáže rukávu mohou být poškozeny. Proto se před zkouškou odstraní.

Obr. 9: Zkouška těsnosti na vzorcích rukávu v laboratoři (vlevo), síťový řez vnitřní vrstvou (vpravo)

Protože vnitřní vrstvu nejde při zkoušce rukávu se syntetickou plstí jako nosným materiálem na stavbě odstranit, je možné provést zkoušku laminátu u tohoto typu pouze v laboratoři. Na stavbě se vždy určuje pouze tloušťka vnitřní fólie. Podle zkušební směrnice APS se potom vzorky vyhodnotí jako těsné pouze tehdy, když se na zadní straně neobjeví žádná zkušební kapalina (kapky, pěna nebo vlhkost).

Hustota

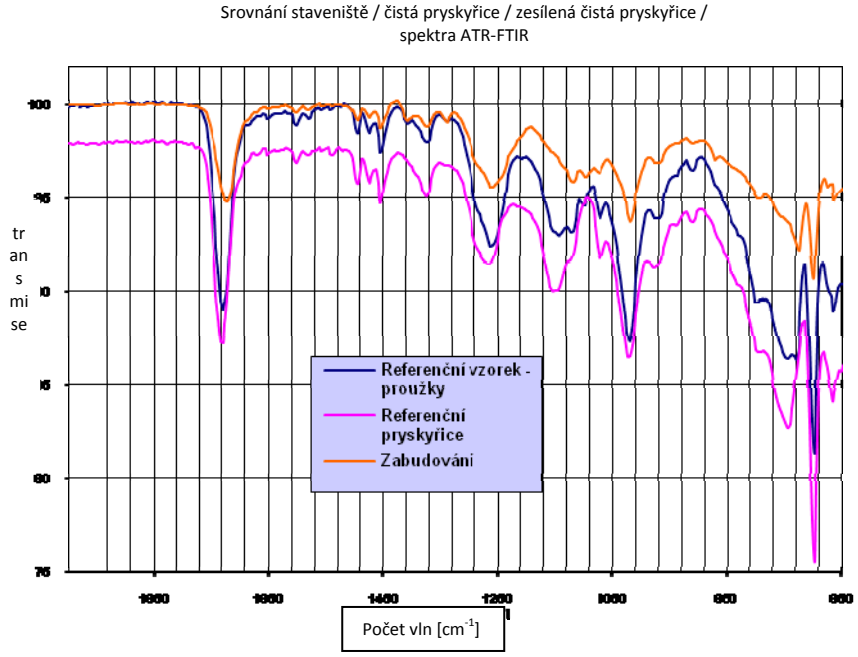
Pomocí hustoty lze přezkoušet, zda je nosný materiál sanačního rukávu úplně napuštěn pryskyřicí. Pomocí tzv. vážení tělesa ponořeného v kapalině (DIN EN ISO 1183), při kterém se určí hmotnost vzorku rukávu jednou na vzduchu a jednou ponořeného ve vodě, se snadno určí hustota. Pro vyhodnocení se použije srovnávací hodnota ze zkoušky způsobilosti (schválení DIBt.)

Infračervená spektroskopie

U infračervené spektroskopie (IČ spektroskopie) se jedná o postup, u kterého se zapojí absorpční spektra spojů v oblasti infračerveného světla pro identifikaci spojů a také pro určení kvalitativního složení směsí substancí. Kromě toho lze tuto metodu použít pro zjištění molekulárního složení. IČ spektra jsou vibrační spektra, která vznikají tak, že uvnitř molekul kmitají atomy, které se podílejí na vazbách. Vždy podle síly vazby a množství zúčastněných atomů nebo skupin atomů nebo jejich polohy se absorbuje rozlišné množství energie z IČ světla. Ve spektru vede proces buzení k tomu, že určitá místa v molekule, která jsou vystavená stejně, tzv. funkční skupiny (např. C=O, =CH2, –C=C–, C–Cl, C□N atd.), vykazují pokaždé znovu (i když se vyskytují ve zcela odlišných spojeních) na stejném nebo téměř stejném místě IČ spektra stejné absorpce.

IČ spektroskopie je tak důležitou pomůckou při identifikaci použitých typů pryskyřice, přičemž se srovnává se známými referenčními materiály (referenční spektra). Pro uživatele je tedy nutností rozsáhlá referenční knihovna. Následující graf ukazuje srovnání mezi rukávem, který se instaloval na stavbě (zabudování), čistou pryskyřicí, kterou firma použila (reference čistá pryskyřice),

a referenčním vzorkem se syntetickou (reference vzorek pásku). Existující odchylky mezi vzorky jsou relativně malé. Identifikace použitého typu pryskyřice je možná přes referenční spektrum.



Obr. 10: Srovnání vzorků sanačních rukávů: neznámá pryskyřice (zabudování) se vzorkem známé pryskyřice (reference) a známý vzorek ze stavby (vzorek pásku, syntetická plsť)

DSC analýza (Dynamická diferenční kalorimetrie - DDK)

Dynamická diferenční kalorimetrie je postup termické analýzy, kterým se kontroluje vytvrzení epoxidové pryskyřice na malých vzorcích (do 20 mg) (DIN EN ISO 11357). Ve dvou oteplovacích pochodech se určí teploty zesklovatění TG1 a TG2 (°C). Dále se uvede entalpie (J/g). DSC analýza se používá převáženě u rukávů domovních přípojek z epoxidové pryskyřice, když není možné na základě omezeného přístupu získat reprezentativní vzorky ze stavby pro mechanické zkoušky. Odebráním vzorku velkého cca 2 cm lze v těchto případech zkontrolovat alespoň vytvrzení pryskyřice. Dále se u těchto vzorků namátkově měří tloušťka stěn. Minimální hodnoty pro teploty zesklovatění TG1 a TG2 (°C) sanačních rukávů jsou uvedeny ve všeobecných stavebně technických schváleních.

Obr. 11: DSC analýza na malém vzorku pryskyřice ze sanačního rukávu s epoxidovou pryskyřicí (rukáv domovní přípojky)

Shrnutí zkoušek na stavbě

Hodnota	**Popis**	**Norma příp. směrnice**
Vodotěsnost	Zkouška laminátu bez vnější a vnitřní fólie v laboratoři	Směrnice APS, DWA-A 143-3
Krátkodobý modul pružnosti	Zkouška v ohybu při tříbodovém zatížení	DIN EN ISO 178 s DIN EN ISO 11296-4
Krátkodobé napětí v ohybu při porušení	Zkouška v ohybu při tříbodovém zatížení	DIN EN ISO 178 s DIN EN ISO 11296-4
24 h kríp v ohybu	Zkouška v ohybu při tříbodovém zatížení s trvalým zatížením 24 hodin	DIN EN ISO 899-2
Krátkodobý modul pružnosti	Zkouška pevnosti tlakem ve vrchlíku	DIN EN 1228 (ISO 7685)
24 h kríp v ohybu	Zkouška pevnosti tlakem ve vrchlíku	DIN EN 761 (ISO 7684)
Spojená tloušťka	Zaměření pomocí posuvného měřidla	DIN EN ISO 11296-4
Specifická hustota	Imerzní metoda	DIN EN ISO 1183
Typ pryskyřice	Infračervená spektroskopie	ASTM D 5576
DSC analýza	Vytvrzení epoxidové pryskyřice	DIN EN ISO 11357
Obsah zbytkového styrénu	Určení plynovou chromatografií	DIN 53394-2
Obsah skleněných vláken a přísad	Kalcinace	DIN EN ISO 1172

Tabulka 2: Normy a směrnice pro zkoušky na zkušebních vzorcích ze stavby

Provozní ukazatele

Vedle nosnosti a hustoty znamená pokud možno co nejdelší životnost a funkčnost úspěch sanace rukávem. Namáhání sanačního rukávu provozním používáním a údržbou může mít ale na životnost také vliv. Z tohoto důvodu se u vzorků rukávů určují tyto provozní ukazatele:

- otěr materiálu pohybem sedimentu
- odolnost vůči působení chemických látek ukládáním v odpovídajících médiích
- odolnost vůči vysokotlakému čištění

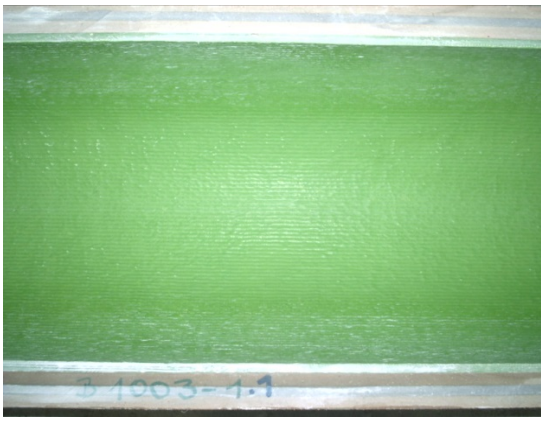
Otěr

Pro zjištění odolnosti sanačního rukávu proti otěru kvůli pohybu sedimentu se na vzorcích rukávu provádějí zkoušky pomocí tzv. darmstadtského sklopného žlabu dle DIN EN 295-3.

Obr. 12: Darmstadtský sklopný žlab (vlevo); příměs (vpravo)

Příměs, která simuluje pohyb sedimentu, se skládá z přírodního, těženého kulatého křemitého štěrku s danou čárou zrnitosti. Celkový počet změny zátěže sklopného stolu je pro všeobecné stavebně technické schválení (schválení DIBt) na každý vzorek rukávu 100.000. Výsledkem je střední otěr po 100.000 změnách zatížení.

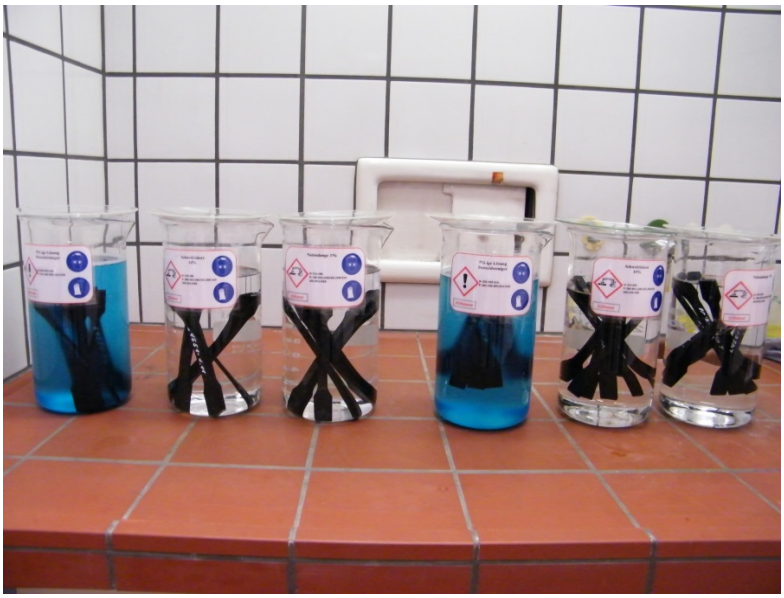
Následující obrázek ukazuje exemplárně výsledek visuálního posouzení po zatížení otěrem po 100.000 změnách zatížení. Vlevo není na obrázku vidět téměř žádná změna povrchu, zatímco vpravo byly pryskyřice a nosný materiál výrazně otřeny.

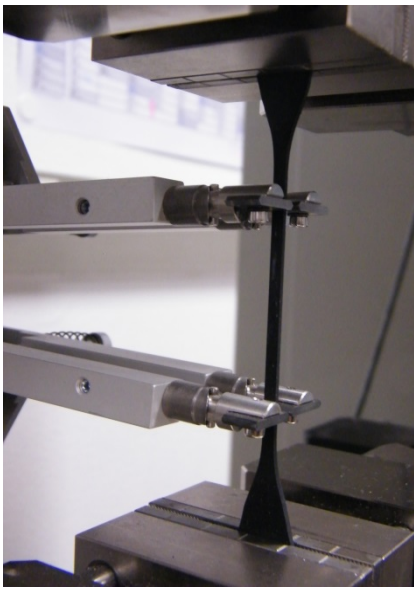


Obr. 13: Dno dvou sanačních rukávů po zkoušce otěru

Odolnost vůči působení chemických látek

Pro systémy sanačních rukávů se v rámci schválení DIBt vyžaduje doklad o odolnosti vůči působení chemických látek z domácností. Pro poskytnutí dokladu se vzorky skladují 28 dní v různých médiích a následně se určí jejich vlastnosti v tahu a pevnost v ohybu rázem. Výsledky se srovnají s referenčními zkouškami bez uskladnění, Odolnost systému sanačních rukávů platí jako doložení pro komunální odpadní vodu v rozmezí pH 2-12.





Obr. 14: Odolnost vůči působení chemických látek dle DIN EN ISO 175 a zkušební program DIBt (zde pro elastomery)

Odolnost proti vysokotlakému čištění

Při čištění kanalizace pomocí vysokého tlaku jsou stěny trubek dočasně velmi zatíženy:

- Vodní proud působí na povrch trubky vysokým tlakem a velkou silou.
- Částice uvolněné z pevných uložených vrstev se proudem vody a sáním vzduchu zrychlí a narážejí na stěny.
- Odplavení uvolněných sedimentů (usazenin v kanálu).
- Tělesa trysek a hadice se táhnou trubkami.

Při vysoké rychlosti vpřed a vzad a při současném použití objímek je možné, že těleso trysky bude bouchat do stěny trubky. Tato zatížení mohou v extrémním případě vést k vysokému namáhání materiálu trubky a následným poškozením jako jsou otěr, odlupování, trhliny a delaminace. Rozhodující vliv na intenzitu zatížení materiálu trubky mají:

- tlak a průtok na vysokotlaké trysce,
- počet, profil a výstupní úhel trysky,
- rychlost a počet čistících průchodů,
  (délka trvání místního zatížení)
- množství, konzistence a složení uvolněných usazenin.

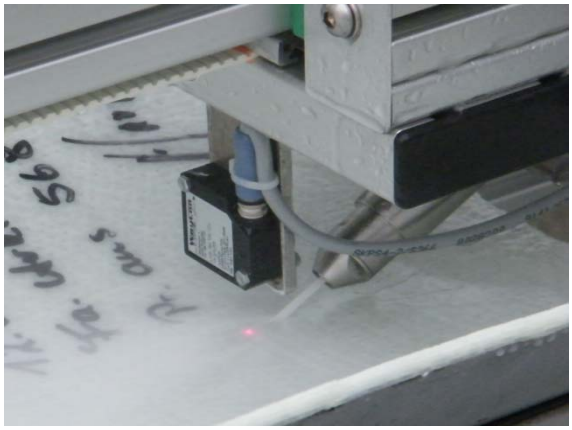
Zkouška odolnosti proti vysokotlakému čištění v rámci všeobecného stavebně technického schválení se dnes provádí podle DIN 19523. Používají se přitom vždy dva odlišné postupy:

- zkouška materiálu (postup 1) a
- praktická zkouška (postup 2).

U zkoušky materiálu se provede výlučně hydraulické zatížení pomocí určené trysky s hustotou výkonu ostřiku 450 Watt/mm². Použije se zkušební těleso dlouhé 1,3 m, např. poloskořepina nebo trubka. Při zkoušce materiálu se pohybuje jeden proud vody pod vysokým tlakem v úhlu (30 ± 1)° a s odstupem trysek (10 +0–2) mm až ke zkušebnímu povrchu. Takto vzniklé namáhání se díky kontrole parametrů tlaku vody, průtoku, rozestupu a úhlu rozšiřování tryskajícího proudu udržuje ve velmi úzkých hranicích. Totéž platí pro rychlost zkušební trysky, která musí být minimálně (0,2 ± 0,02) m/min. Tryska, která se k tomuto účelu používá, a také nástavec trysky jsou v normě přesně stanoveny.

Hydraulické a mechanické zatížení, které v praxi vzniká při vysokotlakém čištění, se vytvoří během postupu 2, tj. praktické zkoušky. Při praktické zkoušce se postaví zkušební trať z trubek s alespoň 3 spojeními a 4 kulatými navrtáními s dodatečnými přípojkami jmenovité hodnoty DN 150, dlouhá alespoň 17 m. Sanační rukáv, který se testuje, se namontuje do této zkušební trati. Podle DIN 19523 se provede celkem 60 čistících cyklů bez vypnutí trysky, Cyklus se skládá vždy z nahnání vody a vytažení trysky celou délkou zkušební trati. Pro zkoušku se používá osmiproudá kruhová tryska dlouhá (17 ± 0,5) cm, těžká (4,5 ± 0,1) kg a s průměrem tryskací hlavy (8 ± 0,5) cm. Hustota ostřiku trysky je 330 Watt/mm².

Po ukončení zatížení se zkušební těleso vizuálně posoudí. Zkušební kritéria jsou splněna, pokud nejsou zkušebním zatížením zjistitelné na sanačním rukávu žádné změny, které ovlivňují funkčnost, nosnost a těsnost trubky.



Obr. 15: Zkouška odolnosti proti vysokotlakému čištění. Vlevo: Zkouška materiálu. Vpravo: Praktická zkouška.

Odebírání zkušebních vzorků na stavbě

Už ve výběrovém řízení by měli investoři zavázat firmy provádějící sanace, aby odebraly od každého nataženého sanačního rukávu reprezentativní vzorek za přítomnosti investora nebo inženýrské kanceláře vykonávající dohled. Po instalaci sanačního rukávce se odebere vzorek o rozměrech cca 200 mm x 350 mm (tloušťka stěny od 10 mm: 20krát tloušťka stěny v obvodovém směru x 350 mm) ze stěny rukávu, aby se na něm mohly přezkoušet mechanické ukazatele. Takovýto vzorek zpravidla nabízí dostatek materiálu rukávu, aby se příp. daly provést další zkoušky, jako např. kríp v ohybu a IČ spektroskopie nebo obsah zbytkového styrénu. Vzorky ze stavby by se měly odesílat zkušebnímu institutu na popud investora nebo inženýrské kanceláře.

Aby byla zaručena jednoznačná identifikace vzorku, musí být každý vzorek opatřen průvodkou. V ní se uvedou údaje o stavením opatření a instalovaném sanačním rukávu a příslušné požadované hodnoty.

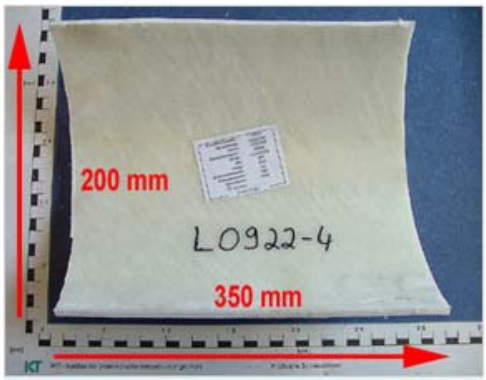
Aby se nový rukáv hned nepoškodil odebíráním vzorků, a na základě omezeného přístupu u malých dimenzí se dnes v mnoha případech neodebírají vzorky přímo z rukávu v jednom úseku. Místo toho projde rukáv přes místo, které se má sanovat, až do šachty, kde se vytvrdí v opěrné trubce nebo opěrné manžetě instalované právě pro odebrání vzorků. Přitom se používají plastové trubky, úzké ocelové trubky, vinuté ocelové trubky a tkané nebo jeansové manžety. Vedle toho existují také poloskořepiny, které se nasadí na žlab šachty a spolu s ním vytvoří opěrnou trubku. V zásadě je nutné dbát na to, aby se geometrie zkušebního rukávu neodchylovala od poměrů v úseku. To, jaká opěrná konstrukce se použije, určí zpravidla firma, která sanaci provádí. Důležité přitom je, aby okolní podmínky a podmínky vytvrzení téměř odpovídaly poměrům v sanovaném kanále.

U sanačních rukávů přes více úseků by se měly vzít vzorky přednostně z *mezišachty*. Pokud se sanuje jen jeden úsek, lze odebrat vzorek - pokud to dovolí mezní podmínky - z *koncové šachty*, protože startovací šachta nenabízí kvůli zavádění rukávu v mnoha případech dostatek místa.

Rukáv od DN 200

Požadované rozměry vzorku rukávu

- při celkové tloušťce stěny do 10 mm: zkušební těleso min. 200 mm x 350 mm
- při celkové tloušťce stěny nad 10 mm: směr obvodu: 20x celková tloušťka stěny, délka: 350 mm



Vzorek rukávu 200 mm x 350 mm

Rukáv do DN 200 a domovní přípojky

Pokud to umožňují místní podmínky, měl by být odebrán plnohodnotný vzorek pro zkoušku pevnosti tlakem ve vrchlíku, požadovaná délka zkušebního vzorku: průměr trubky +50 mm

Příklady:

- u trubky DN 150: délka vzorku = 200 mm
- u trubky DN 200: délka vzorku = 250 mm

Vzorek rukávu k domovní přípojce

DSC-Analýza

Pro analýzu DSC na epoxidových pryskyřicích stačí jako zkušební vzorek kulatý výřez z rukávu s průměrem cca 20 mm

Zkušební vzorek pro analýzu DSC: potřebný průměr 20 mm

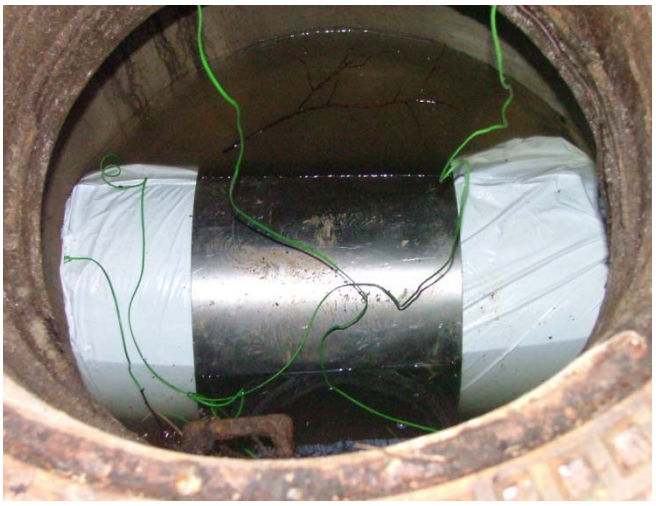
Obr. 16: Rozměry zkušebních vzorků ze stavby (viz také www.ikt.de)

U rukávů vytvrzovaných světlem je třeba dbát na to, že koncovou šachtou, jinak než v úseku, se nemůže úplně projíždět několik metrů dlouhou soustavou osvětlení. Aby se dosáhlo požadovaného výkonu paprsku, musí zde konec soustavy zůstat déle. Přitom by se mělo dbát na to, aby doba a intenzita osvitu v této oblasti byly srovnatelné s podmínkami v úseku. Dále je třeba dbát na to, že na základě silného zakřivení rukávce na konci zůstává jen krátký odřezek pro odebrání vzorku. Vzorky musejí mít tvar válcové skořepiny, která je zakřivená pouze v jednom směru. Vrchlík na konci rukávu se pro odebírání vzorku ze stavby nehodí, protože odtud nelze odebrat žádné vzorky pro zkoušku v ohybu při tříbodovém zatížení.

Obr. 17: Koncová šachta u rukávů vytvrzovaných světlem

Nejlépe se odebírá vzorek z tzv. *mezišachty*, která vznikne při sanaci dvou nebo více úseků jedním průběžným rukávem. U systémů vytvrzovaných světlem projíždí soustava světel v tomto případě mezišachtou stejnou kontrolovanou rychlostí jako v úseku, takže zde panují stejné podmínky vytvrzení. Vzorek rukávu vytvrzovaného světlem se v každém případě ještě v šachtě zabalí do fólie, která nepropouští UV záření.

V mezišachtách se často odstraňuje vrcholová oblast vytvrzovaného rukávu, aby se zbývající vyložení použilo k sanaci žlabu šachty. Pokud by se měl odebrat vzorek tady, musel by být rukáv podepřen ve vrcholové oblasti, aby se zabránilo volnému expandování. Například může jako protivrstva sloužit poloskořepina fixovaná závažím. Vedle toho je možné použít také opěrné manžety, protože jsou relativně úzké a po oddělení poloviny rukávu mohou zůstat na dně jako ztracené bednění.

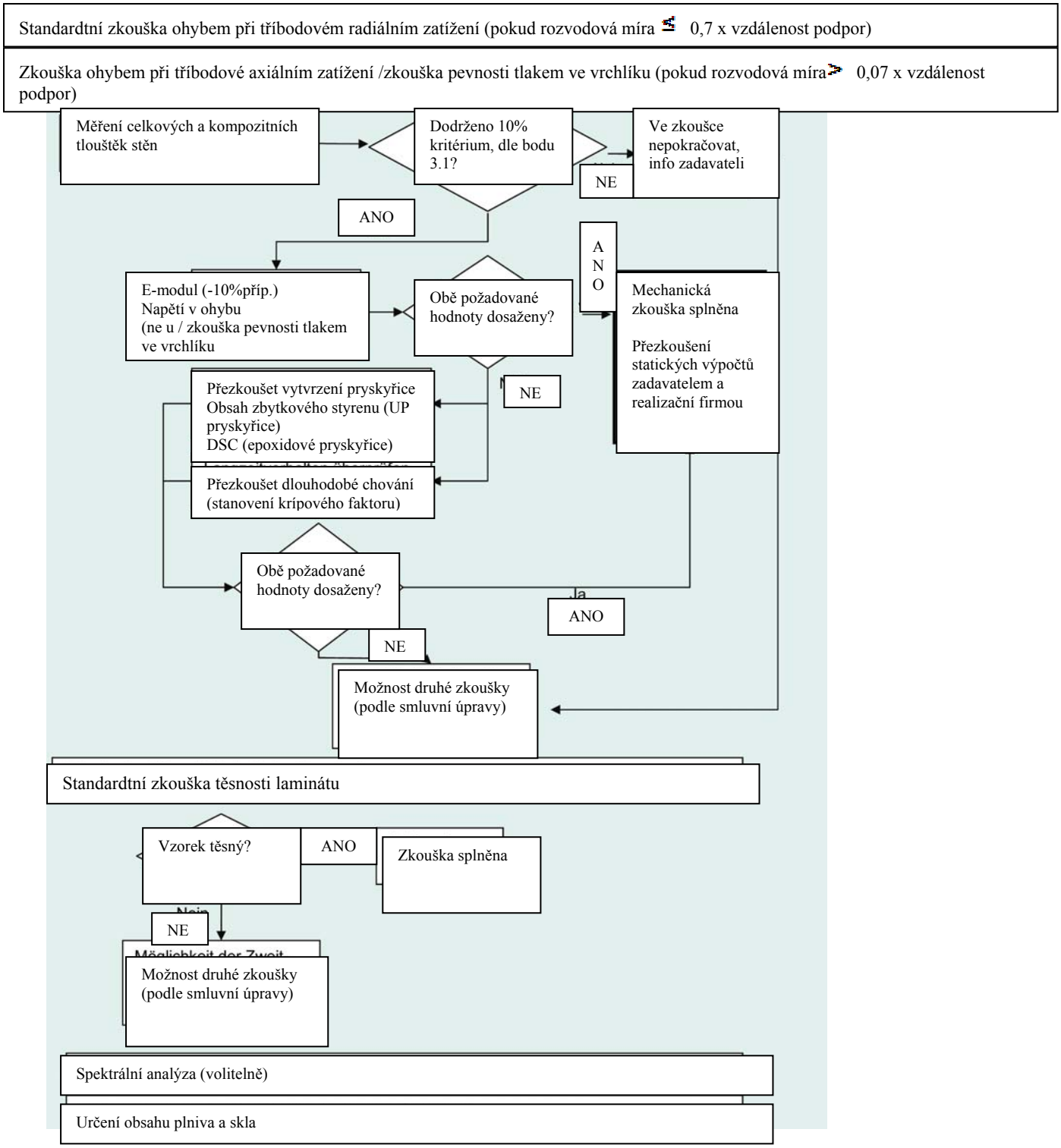


Obr. 18: Podbroušení žlabu v mezišachtě a odebrání vzorku

Pokud nemá být žlab vyložen sanačním rukávem, může se instalovat také opěrná trubka, která se po vytvrzení rukávu úplně odebere. Tímto způsobem je možné získat vzorky pro zkoušku pevnosti tlakem ve vrchlíku.

Postupy při neúspěšných zkouškách

Následující postupový diagram ukazuje doporučený další postup při neúspěšných zkouškách a potřebné dodatečné zkoušky dle ZTV zkoušek materiálu příp. DWA-A 143-3. Smluvní partneři (investor a sanační firma) by si před sanací měli smluvně stanovit postup pro případ opakování zkoušky na druhém vzorku, Zpravidla platí, že v případě pochybností je rozhodující opakovaná zkouška na vzorku ze stavby z úsekuz upevnění.



Obr. 19: Průběh zkoušek na vzorcích ze stavby při zajištění kvality sanačních rukávů

Další informace

Dipl.-Ing. Dieter Homann
vedoucí zkušebního místa pro stavební výrobky
Exterbruch 1
D-45886 Gelsenkirchen
Německo

Tel.: +49 (0) 209-17806-24
Email: homann@ikt.de
Homepage: www.ikt.de