

OBJASNĚNÍ PŘÍČIN ZTRÁTY ADHEZE NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU ŽELEZNIČNÍ CISTERNY NA LETECKÝ PETROLEJ

EXPLANATION OF THE CAUSES OF LOSS OF ADHESION OF THE COATING SYSTEM OF RAILWAY TANKERS FOR AVIATION KEROSENE

Mindoš L.

SVÚOM s.r.o., mindos@svuom.cz

Summary

The loss of adhesion of the coating system of an aircraft fuel tank is a serious problem that can lead to the failure of the tank and, consequently, to a serious accident. The causes of this failure are complex and involve a number of factors, including the quality of the coating system, the quality of the tank, the quality of surface preparation etc.

Key words

Epoxy coating, specific corrosive environment, surface preparation, salt contamination.

1. Úvod

Železniční cisterny jsou stále nenahraditelným způsobem velkoobjemové přepravy kapalných produktů z mnoha různých sektorů průmyslu. Jedním z těchto sektorů je velkoobjemová přeprava ropných derivátů, např. pohonných hmot pro automobilový a letecký průmysl. Podle charakteru produktu přepravovaného nejčastěji v ocelové cisterně vzniká nekorozivní anebo korozivní charakter vnitřního prostředí cisterny vůči běžné, nízkouhlíkové konstrukční oceli. Zároveň vznikají i situace, kdy kapalný produkt nevytváří agresivní korozní prostředí, přesto je zadán požadavek na vytvoření povrchové úpravy cisterny, např. z titulu vyloučení jakékoliv kontaminace přepravovaného produktu, což je i případ přepravy leteckého petroleje, kde platí přísná kvalitativní pravidla pro přepravce.

Výrobce cisteren se obrátil na SVÚOM s.r.o. o pomoc s objasněním výskytu puchýřujících defektů v 2-vrstvém nátěrovém systému zhotoveném na bázi dvoukomponentních epoxidových nátěrových hmot, aplikovaných na tryskanou ocel, přičemž postup povrchové úpravy byl dozorován certifikovanými inspektory.

V této studii byl proveden detailní laboratorní rozbor poskytnutých vzorků dvouvrstvého nátěrového systému, odebraného z vnitřního prostor cisterny, určené pro přepravu petroleje. Avšak pro doplnění informační skládačky, tak aby bylo možné smysluplně objasnit příčinu selhání nátěrového

systému na tryskané oceli, byla využita a modelována i data z inspekčních měření provedených na cisterně již zmíněnými certifikovanými inspektory.

2. Popis experimentálních metod



Obr.1 - 2 zaměření profilu povrchu delaminovaného primeru a ISO komparátoru.

Tabulka 1: porovnání 3 parametrů drsnosti

Parametry profilu	Delaminovaný NS vnitřní povrch primeru			ISO 8503/1 GRIT Comparator Segment 2		ISO 8503/1 GRIT Comparator Segment 3	
Hodnota Ra (µm)	7,2	6,1	7,6	6,6	6,9	12,3	12,5
Hodnota Rz (µm)	35,7	31,6	39,7	36,1	43,4	61,0	63,5
Hodnota Rq (µm)	8,8	7,6	9,5	8,1	8,7	14,8	14,5

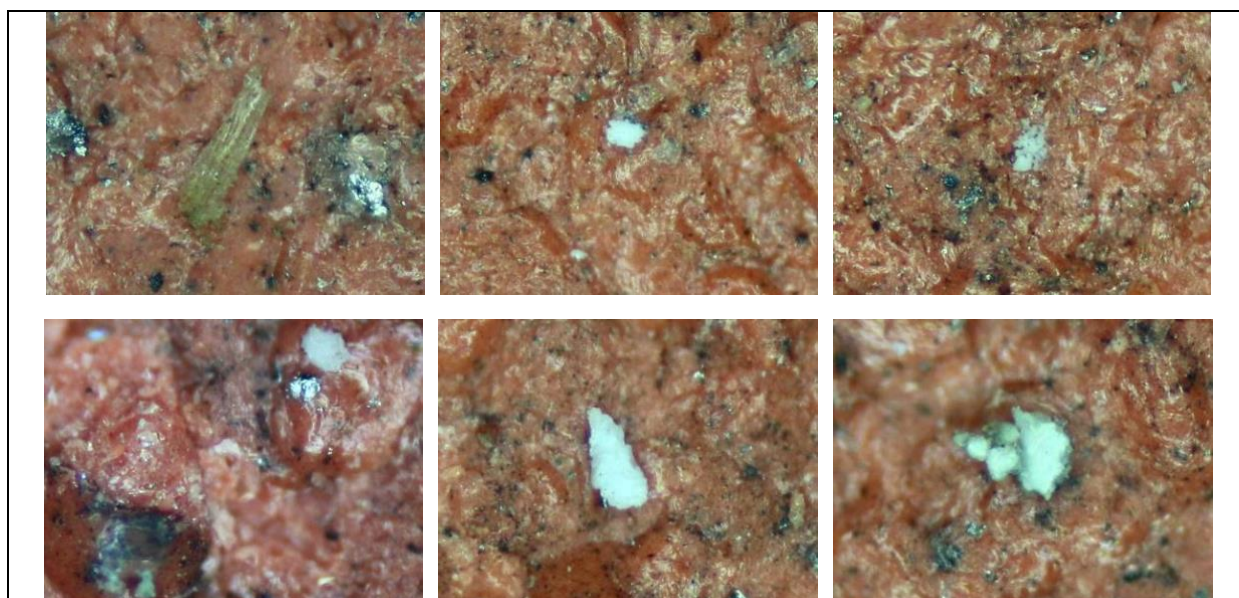
Drsnost profilu na vnitřní straně primeru, původně přiléhajícího k tryskané oceli, a tím i drsnost povrchu tryskané oceli v cisterně v místě delaminace nátěrového systému, odpovídá drsnosti podle ISO 8503/1 GRIT komparátoru v Segmentu 2. Povrch oceli byl otryskán v souladu s doporučením výrobce nátěrové hmoty.

Pozn.: jelikož primer aplikovaný na abrazivně tryskanou ocel měl dle technického listu obj. sušinu $68 \pm 2 \%$ hm., znamená to, že v okamžiku nástřiku měl dostatečnou tekutost, aby dobře zaplnil tryskanou strukturu a tím pádem poskytl inverzní tryskaný profil, který je možné zaměřit stejně tak dobře jako tryskanou ocel, a to jen a pouze v případě, že dojde k úplnému adheznímu oddělení od tryskané oceli, což přesně nastalo u dodaných vzorků delaminovaného NS.

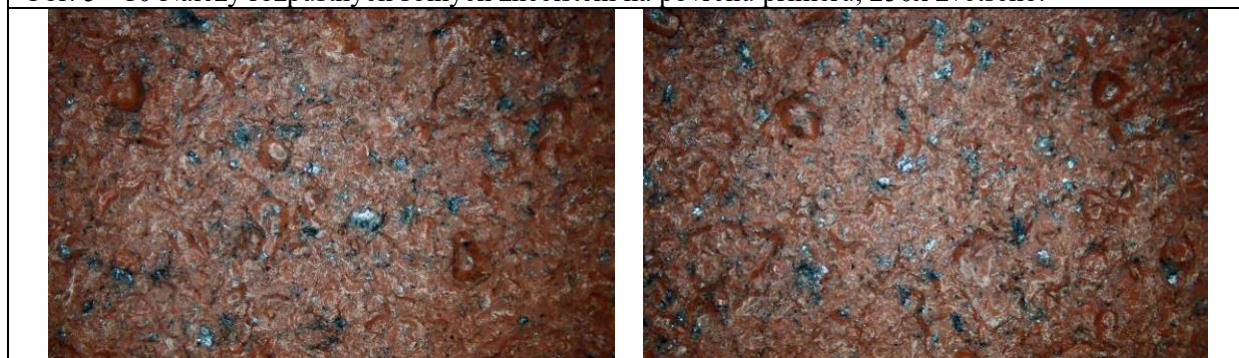


Obr.3 - 4 vizuální porovnání drsnosti profilu primeru vůči ISO komparátoru na Segment 2.

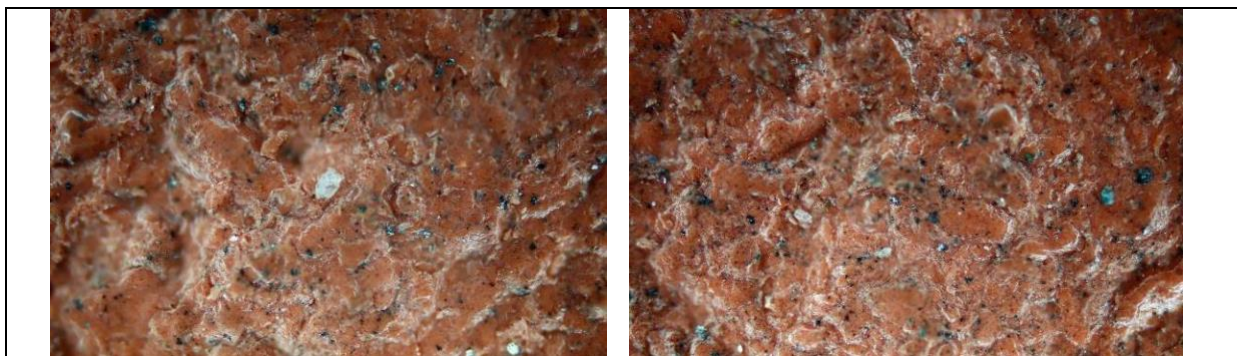
Optická mikroskopie primeru delaminovaného od tryskané oceli, ověření na výskyt znečištění



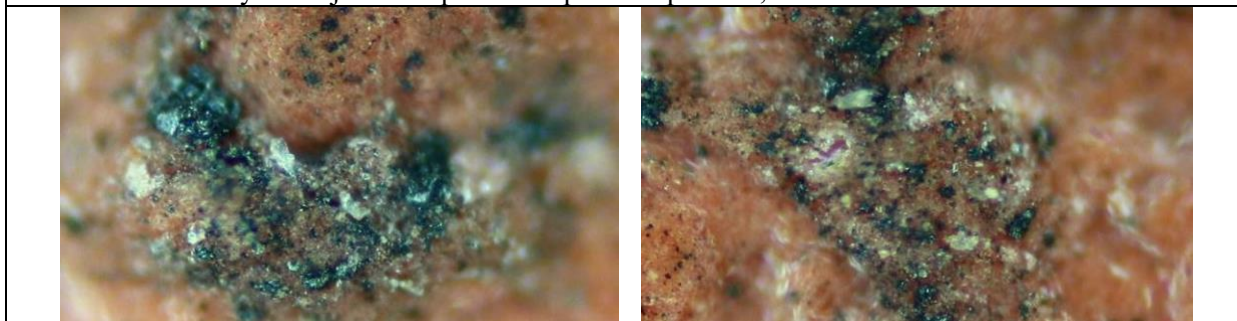
Obr. 5 - 10 Nálezy rozpustných solných znečištění na povrchu primeru, 250x zvětšeno.



Obr. 11 - 12 Nálezy ocelového hrubšího prachu na povrchu primeru, zvětšeno 50x.



Obr. 13 - 14 Nálezy solí a jemného prachu na povrchu primeru, zvětšeno 100x.



Obr. 15 - 16 Nálezy solí a jemného prachu na povrchu primeru, zvětšeno 500x.

Důkladným mikroskopickým zkoumáním povrchu delaminovaného primeru byl zjištěn poměrně značný výskyt znečištění povrchu tryskané oceli, a to před nanášením nátěrových hmot. Takové znečištění není zjistitelné běžnou vizuální inspekcí, která je ve hrubé strojní výrobě běžně prováděna.

Stanovení rozpětí možného zasolení tryskané oceli pod nátěrovým systémem z delaminovaných vzorků NS



Obr. 17 - 18 Stanovení vodivosti výluhu z odebraných vzorků NS. Obr. 19 stanovení povrchu vzorků použitých k provedení výluhu.

Množství demi vody potřebné k proměření vodivosti výluhu 30,8 ml (zjištěno metodou diferenčního vážení). Povrch vzorků zaměřen na 867 mm². Povrch plochy Breslovy celý 1250 mm².

3. Výsledky a diskuze

Jelikož je změna vodivosti v závislosti na obsahu rozpustných solí aditivní vlastností a v oblasti nízkých koncentrací je lineárně závislá, je možné vypočítat bod, který určí linii se sklonem pro obsah demi vody $V = 30,8$ ml, použité k provedení výluhu solí z povrchu primeru.

Celková plocha, ze které byl proveden výluh na obsah solí $= 286 + 173 + 132 + 179 + 97 = 867 \text{ mm}^2$.

Breslova cela má povrch 1250 mm^2 . Přepočítávací faktor na menší plochu je $1250:867 = 1,44$ x ve prospěch vodivosti výluhu prováděného z menší plochy než pro Breslovu celu.

Vodivost výluhu byla $3 \text{ } \mu\text{S/cm}$, tedy $\Delta\gamma = 3 - 1 = 2 \text{ } \mu\text{S/cm}$.

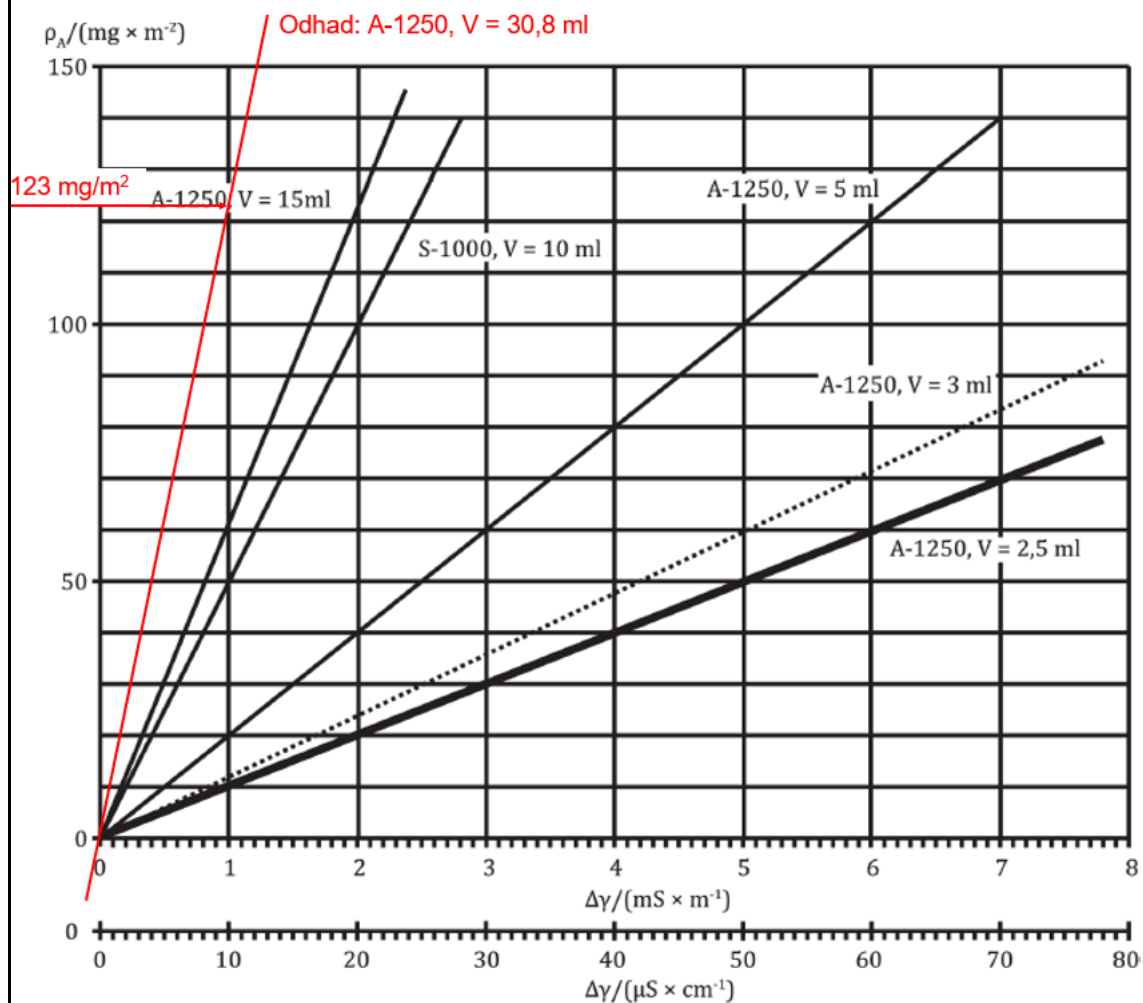
Korekce vodivosti výluhu na plochu vzorku: $\Delta\gamma_{\text{kor.}} = 2 \text{ } \mu\text{S/cm} \times 1,44 = 2,88 \approx 3 \text{ } \mu\text{S/cm}$.

K provedení výluhu bylo použito $30,8 \text{ g} = 30,8 \text{ ml}$ demi vody o vodivosti $1 \text{ } \mu\text{S/cm}$.

Tabulka 2: hodnoty odečtené z ČSN EN ISO 8502-9: Obr.1 - Vztah mezi konduktivitou a povrchovou koncentrací rozpustných solí (pro $\Delta\gamma = 10 \text{ } \mu\text{S/cm}$).

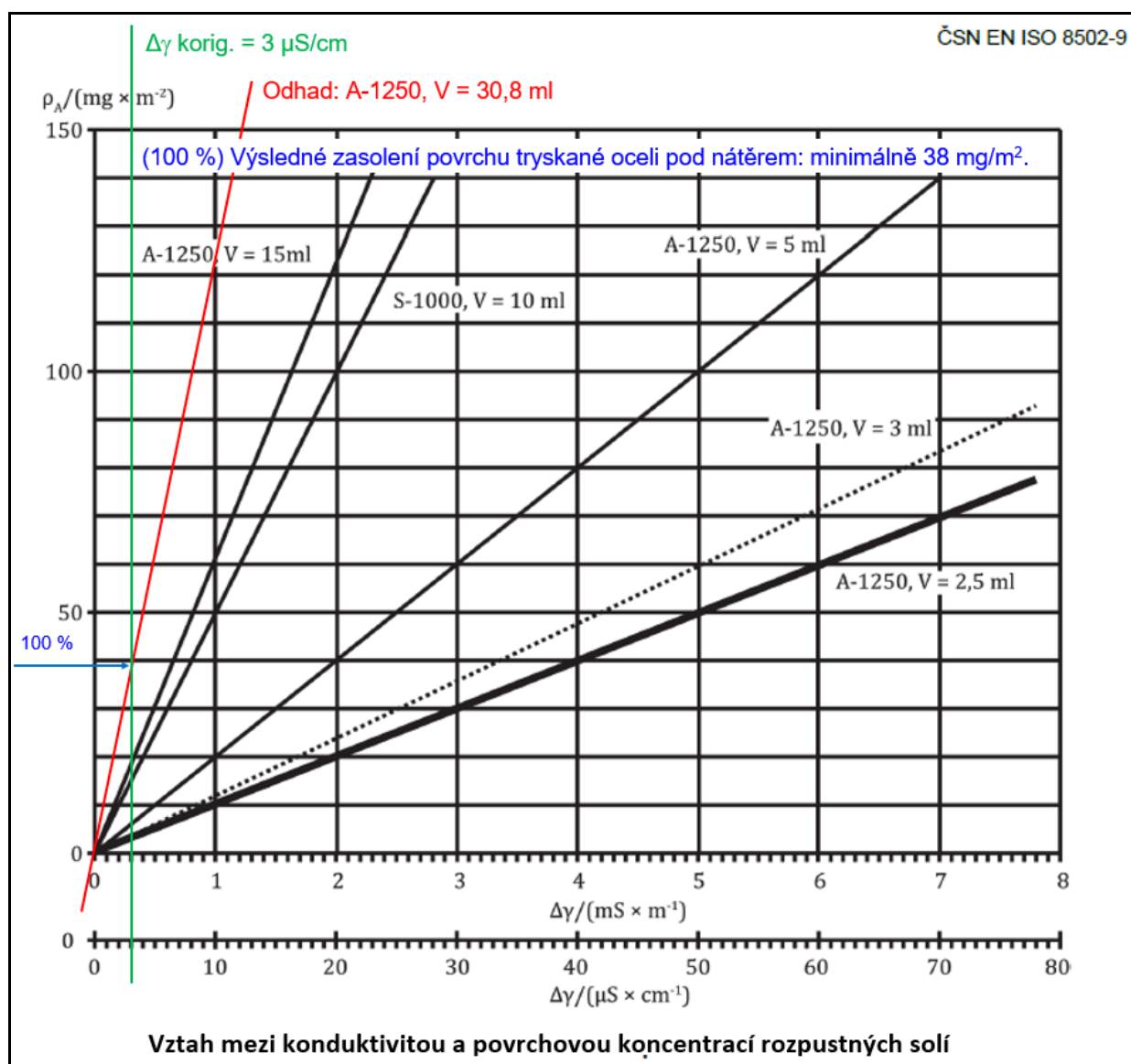
Objem vody (ml)	2,5	3	5	15	30,8
Zasolení (mg/m^2)	10	12	20	60	123,0

Červeně dopočítaná hodnota zasolení, určuje sklon linie pro zkoušku Breslovou celou za podmínek použití vyššího objemu demi vody $30,8 \text{ ml}$.

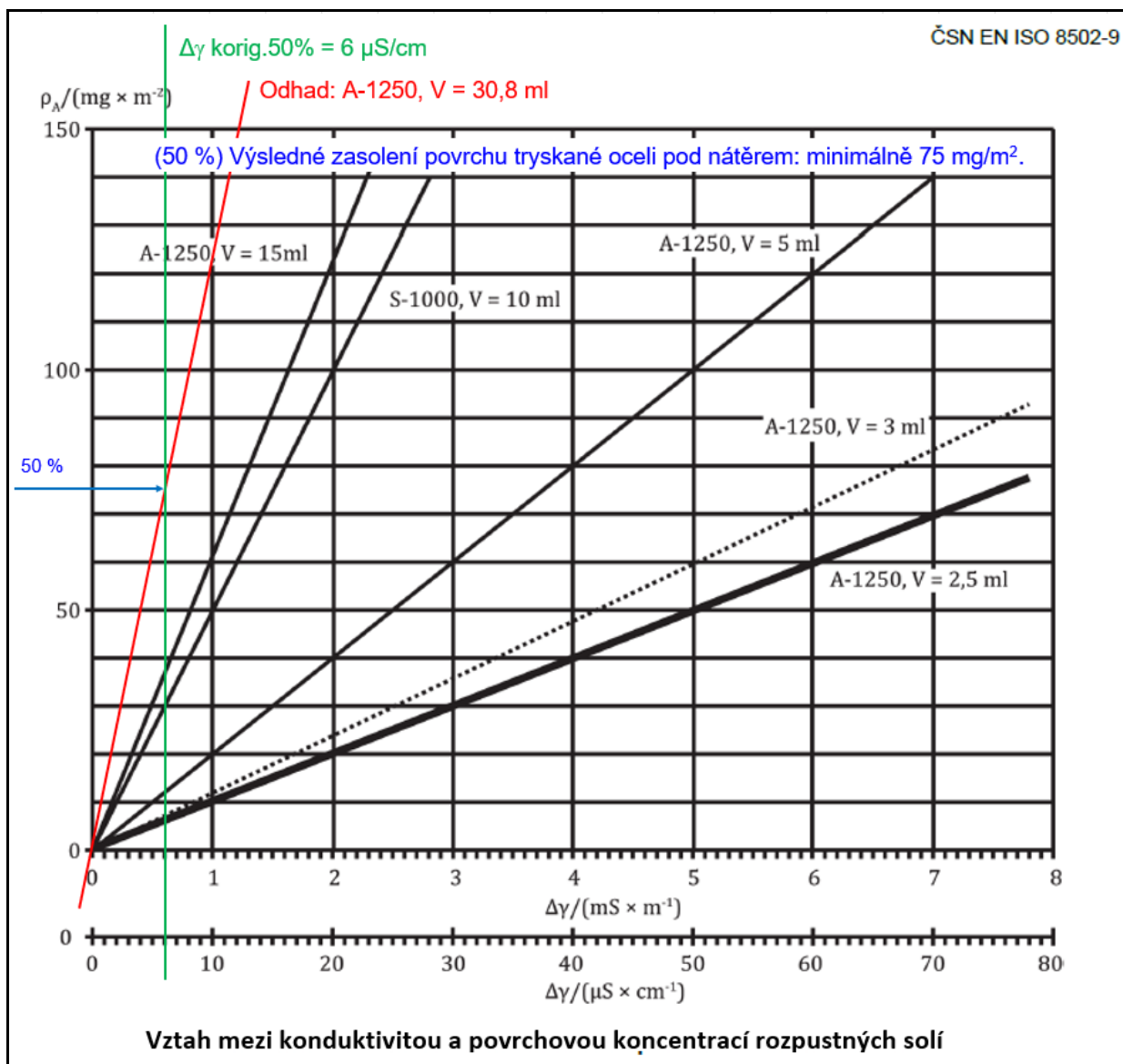


Vztah mezi konduktivitou a povrchovou koncentrací rozpustných solí

Za podmínek experimentu, a zároveň, že se podařilo z povrchu primeru rozpustit 100 % solných nečistot, odhadujeme zasolení povrchu tryskané oceli na minimálně 38 mg/m².



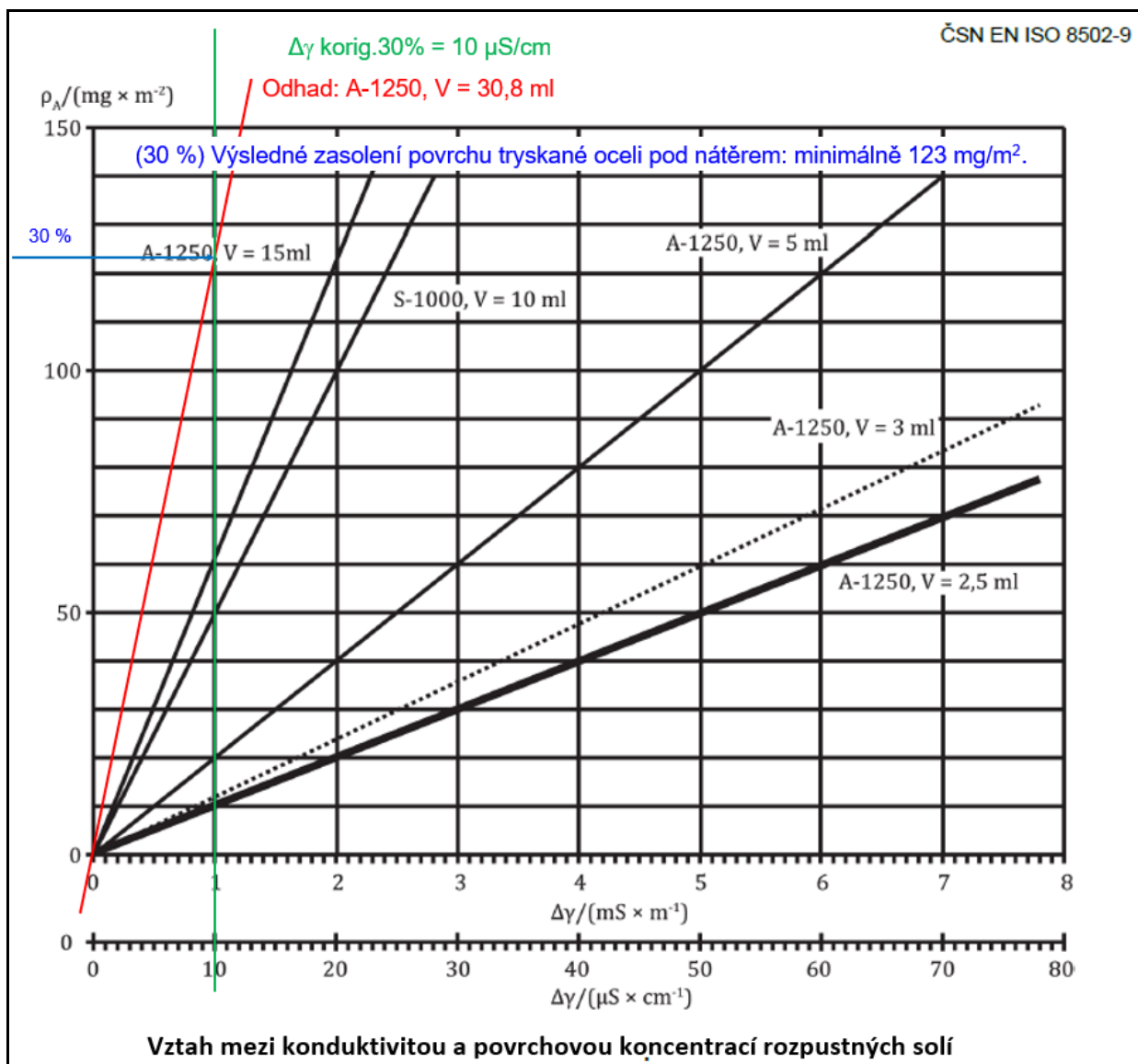
Za podmínek experimentu, a zároveň, že se podařilo z povrchu primeru rozpustit jen 50 % solných nečistot, odhadujeme zasolení povrchu tryskané oceli na minimálně 75 mg/m^2 .



Korekce vodivosti na 50 % podíl rozpuštěných solí z povrchu primeru do výluhu:

$$\Delta\gamma_{\text{kor.}} \doteq 3 \mu\text{S/cm}, \Delta\gamma_{\text{kor.50\%}} \doteq 3 \mu\text{S/cm} : 0,5 = 6 \mu\text{S/cm}.$$

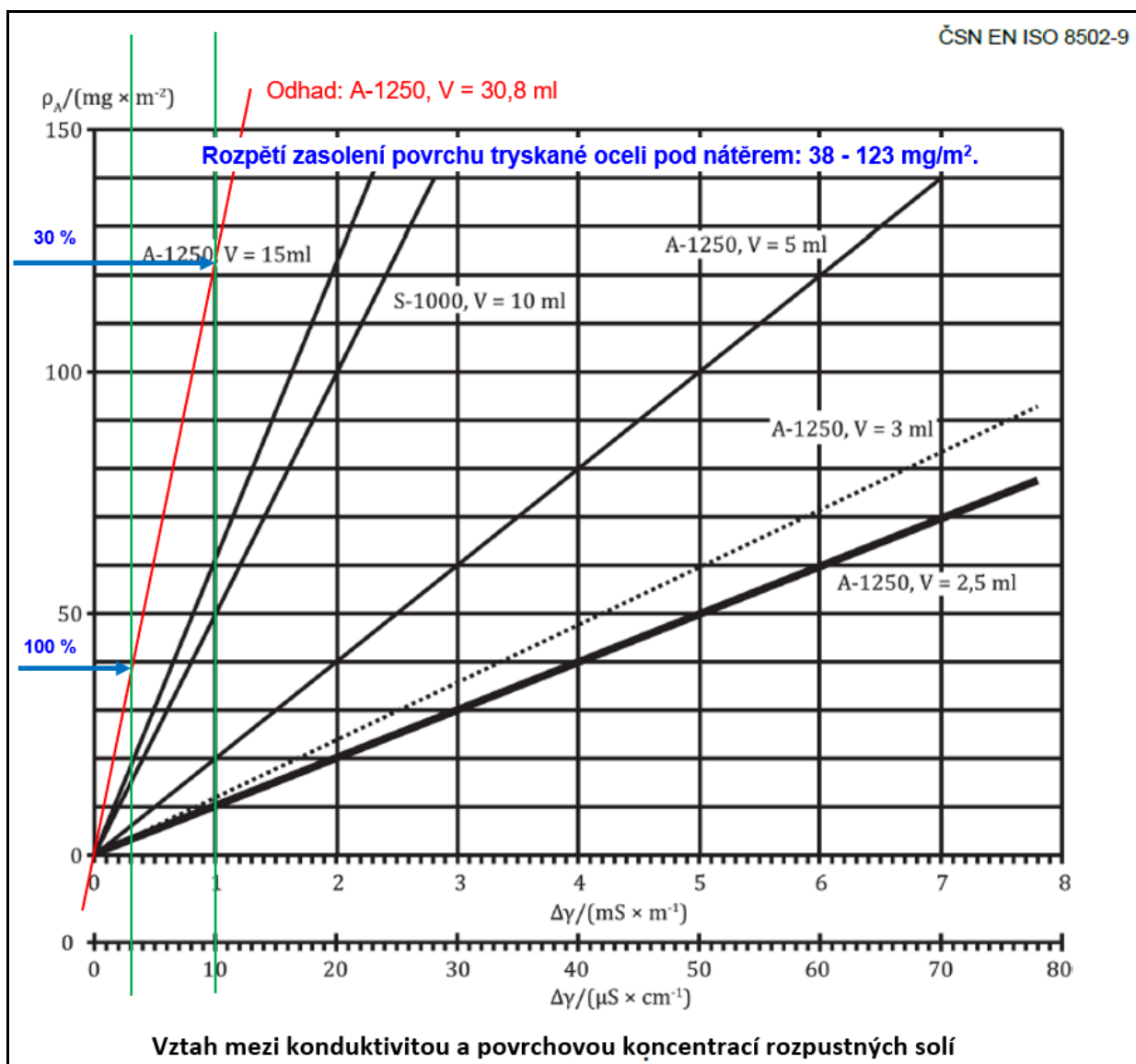
Za podmínek experimentu, a zároveň, že se podařilo z povrchu primeru rozpustit jen 30 % solných nečistot, odhadujeme zasolení povrchu tryskané oceli na minimálně 123 mg/m².



Korekce vodivosti na 30 % podíl rozpuštěných solí z povrchu primeru do výluhu:

$$\Delta\gamma_{\text{kor.}} \doteq 3 \mu\text{S/cm}, \Delta\gamma_{\text{kor.30\%}} \doteq 3 \mu\text{S/cm} : 0,3 = 10 \mu\text{S/cm}$$

Možné rozpětí zasolení tryskaného povrchu pod primerem v případě rozdílné extrakce rozpustných solí vtisklých do povrchu primeru – a to bez započtení hodnoty obsahu solí na povrchu tryskané oceli, zjištěné certifikovaným inspektorem.



Inspektorem provedena 3 měření zasolení povrchu tryskané oceli s výsledky: 7,5 - 8 - 11 mg/m^2 .

Takový stupeň zasolení tryskaného povrchu je ještě vyhovující pod primer, pokud by to byla realita.

Reálné zasolení tryskaného povrchu oceli je mnohem vyšší a celkový odhad je nutno upravit.

Celkové, reálně uvažované rozpětí zasolení povrchu tryskané oceli před aplikací první vrstvy nátěru mohlo být:

$$(7,5 \text{ až } 11) + (38 \text{ až } 123) = 45,5 \text{ až } 134 \text{ mg}/\text{m}^2.$$

Takové hodnoty zasolení povrchu oceli jsou již zcela nevyhovující pro aplikaci primeru.

Ke znečištění povrchu tryskané oceli rozpustnými solemi musíme přidat znečištění povrchu tryskané oceli hrubším a jemným ocelovým prachem, a tomu ještě znečištění zbytky zaschlých kalů z technické vody, opakovaně používané k hydrostatické zkoušce těsnosti cisteren.

4. Závěry

Na základě detailního laboratorního zkoumání dodaných vzorků delaminovaného nátěrového systému z vnitřního tryskaného povrchu ocelové cisterny, lze prohlásit, že:

- čistotu povrchu tryskané oceli na obsah rozpustných solí před provedením nátěrů nutno hodnotit jako nevyhovující,

- čistotu povrchu tryskané oceli na obsah nerozpustných látek, tedy obsah prашných částic jemné a hrubší velikosti před provedením nátěrů, nutno hodnotit jako nevyhovující,

- drsnostní profil tryskané oceli zjištěný zaměřením povrchu primeru profiloměrem spadá dle ISO komparátoru GRIT do kategorie Segment 2, tedy jemnější kotvící profil,

- odhad zasolení povrchu tryskané oceli pod NS 45,5 až 134 mg/m² je poměrně široký, a k tomu je nutné přidat další různě intenzivní znečištění tryskaného povrchu prachem hrubým a jemným, a docházíme k objasnění, proč je výskyt puchýřujících defektů tak variabilní v četnosti a poloze.

Za hlavní příčinu selhání adheze dvouvrstvého nátěrového systému na bázi dvousložkové epoxidové nátěrové hmoty k tryskané oceli v prostředí dlouhodobého ponoru v leteckém petroleji lze prohlásit nevyhovující čistotu povrchu tryskané oceli před aplikací první vrstvy dvousložkové epoxidové nátěrové hmoty.