

SÚJCHBO, v.v.i.

Certifikovaná metodika

Označení
metodiky:

**Stanovení plošné kontaminace experimentálně zamořených povrchů radioaktivními
látkami pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB**

Ing. Josef Holeček, Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.

**Realizační výstup projektu MV ČR „Výzkum moderních metod detekce a identifikace
nebezpečných chemických, biologických, jaderných a radioaktivních látek (CBRN)
a materiálů, metod snížení jejich nebezpečnosti a dekontaminace; výzkum moderních
prostředků ochrany a prvků kritické infrastruktury“**

Kód projektu: VF20112015013

Oponent: Ing. Michal Kolečka

Oponent: Ing. Ondřej Šťastný

Uplatněno: říjen 2015

Schválil:



.....
Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.
ved. Odboru jaderné ochrany
SÚJCHBO v.v.i.

.....
MUDr. Stanislav Bradka, Ph.D.
ředitel SÚJCHBO v.v.i.

Obsah

1. Cíl metodiky.....	3
2. Vlastní popis metodiky.....	3
2.1. Úvod.....	3
2.2. Materiál a přístroje.....	3
2.3. Bezpečnost při práci.....	4
2.4. Příprava.....	4
2.4.1. Příprava vzorku.....	4
2.4.2. Měření pozadí.....	4
2.4.3. Kalibrace množství rozprašovaného objemu.....	5
2.4.4. Příprava vizualizačního roztoku.....	5
2.4.5. Příprava kontaminantu.....	6
2.5. Kontaminace povrchu.....	7
2.6. Měření kontaminace.....	7
2.7. Zhodnocení.....	8
2.8. Rozsah metodiky.....	8
2.9. Nejistota homogenity kontaminace.....	8
3. Inovační postupy.....	9
4. Popis uplatnění metodiky.....	10
5. Seznam související literatury.....	10

1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je definovaně kontaminovat vybrané druhy materiálů radioaktivní látkou s následným stanovením plošné aktivity zamořeného povrchu. Takto kontaminované povrchy mohou být dále použity pro následné testování dekontaminačních postupů nebo ověřování přístrojů pro stanovení plošné aktivity kontaminovaných povrchů.

2. Vlastní popis metodiky

2.1. Úvod

Základními parametry popisujícími dekontaminační postup či funkčnost dekontaminačního prostředku jsou dekontaminační účinnost a dekontaminační faktor. Pro určení těchto parametrů je základní podmínkou zajištění homogenní kontaminace povrchu. Kontaminace povrchu je prováděna nejčastěji metodou nakapávání roztoku a následného vysušení. Proto byl hledán jiný způsob kontaminace povrchu. Tímto způsobem je kontaminace nástřikem z tlakového rozprašovače.

2.2. Materiál a přístroje

- Měřidlo plošné aktivity, schopné detekovat záření alfa, beta a gama, minimální detekovatelná aktivita musí být 0,3 impulsu za sekundu, měřidlo musí být schopné stanovit aktivity přesahující 1500 impulsů za vteřinu.
- Tlakový nerezový ruční mechanický rozprašovač, příklad viz obrázek 1 přílohy 2.
- Tepelná žárovka o výkonu 250 W.
- Kovová matrice či maska.
- Značkovací sůl, např. NaCl, Na₂CO₃.
- Běžné laboratorní nádobí.
- Pipety.
- Magnetické míchadlo.

2.3. Bezpečnost při práci

Je třeba mít na zřeteli, že v rámci metodiky jsou vykonávány činnosti s otevřenými zdroji záření. Osoba konající tyto činnosti musí být vybavena osobními ochrannými prostředky, především ochranným oblekem, rukavicemi, olověnou vestou, prstýnkovým a osobním dozimetrem a respirátorem; současně s prací je zahájeno monitorování pracoviště. Zdroj ionizujícího záření musí být v době, kdy není používán, odstíněn, například olověnými cihlami.

2.4. Příprava

2.4.1. Příprava vzorku

Před vlastní kontaminací definujeme plochu, která bude kontaminována. Tuto plochu zvolíme co nejbližší středu vzorku. Střed určíme pomocí průsečíku úhlopříček vzorku, je-li vzorek tvořen pravidelným n-úhelníkem. Pokud tomu tak není, na vzorku vytvoříme pravidelný n-úhelník o ploše co nejvíce vyplňující plochu vzorku. Po nalezení středu na vzorek přiložíme masku s otvorem o definované ploše. Jelikož masku budeme používat i při následné kontaminaci vzorku, musí být vnější rozměry masky minimálně o 5 centimetrů větší, než jsou rozměry otvoru vymežujícího kontaminovanou plochu. Rohy masky musí být zahnuty. Pro lepší orientaci tuto plochu na vzorek vyznačíme. Po vyznačení plochy použité ke kontaminaci provedeme stanovení pozadí vzorku.

2.4.2. Měření pozadí

Před vlastní kontaminací musí být provedeno stanovení hodnoty pozadí vybraného povrchu. Měření pozadí provedeme bezkontaktně, umístíme tedy přístroj do předem určené vzdálenosti. Z této vzdálenosti je provedena sada stanovení dle následujícího klíče:

je-li velikost plochy určené ke kontaminaci srovnatelná s detekční plochou měřicího přístroje či menší, je hodnota aktivity určena z pěti stanovení v měřicím místě,

je-li velikost plochy určené ke kontaminaci výrazně větší než velikost detekční plochy měřicího přístroje, je proveden výběr pěti míst na měřené ploše. Na těchto místech stanovíme hodnotu aktivity jako průměr z pěti stanovení hodnoty aktivity. Výsledná hodnota aktivity je určena jako průměr z hodnot aktivit stanovených v jednotlivých bodech měřené plochy.

2.4.3. Kalibrace množství rozprašovaného objemu

Před použitím rozprašovače je třeba provést stanovení množství naneseného na povrch.

Ke stanovení nanášeného množství je doporučen následující postup:

1. Do tlakové nádoby nalijeme 100 ml vizualizačního roztoku či směsi o stejné koncentraci jaké použijeme ke kontaminaci. Sůl tvořící vizualizační roztok je přidána pro zviditelnění kontaminované plochy. Do nádoby před uzavřením vložíme míchadlo. Nádobu uzavřeme a natlakujeme pomocí pístu tvořící uzávěr tlakové nádoby. Po natlakování roztok v nádobě pomocí elektromagnetického míchadla po dobu 5 minut promícháváme. Po promíchání stanovíme přibližný objem jednoho nástřiku.
2. Do odměrného válce o objemu 10 ml provedeme deset stříknutí. Po realizaci 10 nástřiků zaznamenané množství roztoku ve válci. Naplnění válce tímto způsobem opakujeme 5 krát. Po té zaznamenané hodnoty zprůměrujeme a objem jednoho nástřiku vypočteme dle vztahu:

$$V_1 = \frac{V_{10}}{10} \quad (1)$$

Kde

V_1 je objem jednoho nástřiku [ml]

V_{10} je průměrná hodnota objemu 10 nástřiků [ml]

Běžně se hodnota objemu jednoho nástřiku pohybuje od 0,6 do 0,8 mililitrů.

2.4.4. Příprava vizualizačního roztoku

Před použitím tlakového rozprašovače o objemu například 250 ml, viz nádoba uvedená na obrázku 1, připravíme potřebné množství solného roztoku rozpustné, resp. směsi u nerozpustné formy kontaminantů. Koncentrace soli v roztoku či směsi činí 5%. Pro případ kontinuálního či jednorázového použití může koncentrace soli dosáhnout 10%. Avšak při této koncentraci nesmí být nástřik přerušen, jelikož dochází k ucpání trysky. Pro určení minimálního množství vizualizačního roztoku použijeme vztahu:

$$V_R = N \cdot V_1 \cdot 2 \cdot KF \quad (2)$$

Kde

V_R je minimální potřebný objem solného roztoku [ml]

N je počet kontaminovaných ploch

V_1 je objem jednoho nástřiku [ml]

KF je korekce na ztráty vzniklé nástřikem mimo sledovanou oblast doporučená hodnota je v rozmezí od 1,2 do 1,4

Po určení odpovídajícího množství vizualizačního roztoku i směsi nalijeme do tlakové nádoby rozprašovače přibližně polovinu tohoto množství. K tomuto množství pak přidáme kontaminant o odpovídající aktivitě. Tato aktivita je určena ze vztahu:

$$A_{\text{Min}} = KR \cdot KD \cdot S \cdot N \cdot e^{\left(-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{1/2}}\right)} \quad (3)$$

Kde

A_{Min} je minimální hodnota aktivity potřebná ke kontaminaci povrchu [imp/cm²]

KD je konstanta [imp/cm²]

N je počet kontaminovaných ploch

S je velikost jedné kontaminované plochy [cm²]

t je doba od dodání přípravy kontaminantu do doby jeho nanesení na povrch [h]

$T_{1/2}$ je poločas rozpadu použitého kontaminantu [h]

KR je korekce na rezervu, doporučená hodnota je 1,1

Hodnota koeficientu KD ve vztahu (3) je zvolena s ohledem na užití metodiky pro stanovení hodnoty dekontaminačního faktoru u dekontaminačních činidel. Například u nástřiků realizovaných pro chemické dekontaminace hladkých povrchů je hodnota koeficientu 1000.

Výrazu $\exp\left(-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{1/2}}\right)$ je použito jako korekce na rozpad, pokud jako kontaminantu je použito krátkodobých umělých radioizotopů.

2.4.5. Příprava kontaminantu

Na základě výsledku získaného ze vztahu (3) je připravena odpovídající aktivita přírodního či krátkodobého umělého radioizotopu. Při volbě radioizotopu dáváme přednost zdroji záření beta. Výhodou záření beta je, že není tak pronikavé jako záření gama, avšak má menší ztráty než záření alfa. Před přípravou kontaminačního roztoku či směsi ověříme hodnotu aktivity kontaminantu. Jedná-li se o dodaný otevřený zářič, porovnáme zjištěnou aktivitu s hodnotou, která je uvedena v „Průvodním listu“ tohoto zářiče. Aktivitu ověřujeme nejlépe dvěma nezávislými postupy. Po stanovení aktivity převedeme odpovídající množství zdroje ionizujícího záření do kontaminační nádoby s vizualizačním roztokem či směsí. Druhý díl

vizualizačního roztoku či směsi před nalitím do kontaminační nádoby použijeme na vypláchnutí nádoby po kontaminantu.

Po přidání druhé části vizualizačního roztoku či směsi kontaminantu a před uzavřením tlakové nádoby vložíme do nádoby magnetické míchadlo. Po uzavření kontaminační nádoby natlakujeme pomocí pístu nacházejícího se v uzávěru. Nyní je nádoba a její obsah připraven ke kontaminaci povrchu.

2.5. Kontaminace povrchu

Na zapnuté míchadlo umístíme natlakovanou kontaminační nádobu. Do vymezeného prostoru, tvořeného např. dekontaminační lavicí či digestoří, umístíme záchytnou vanu bránící nechtěné kontaminaci pracovní plochy. Do vany umístíme povrch, který má být kontaminován. Na tento povrch umístíme masku, nejlépe z plechu, s otvorem odpovídajícím velikosti a poloze kontaminované plochy. Po přiložení masky zahájíme kontaminaci plochy. Kontaminace se vede dvěma na sebe kolnými nástřiky. Přičemž jeden z nástřiků je veden ve směru od pracovníka provádějícího nástřik. Při nástřiku rozprašovač držíme v šikmé poloze, ne rovnoběžně s povrchem. Po provedení nástřiků rozprašovač odložíme na míchadlo a sejmeme masku, kterou odložíme z důvodu její kontaminace do připravené vaničky. Kontaminační roztok či směs je opět míchán a připraven pro opakované použití.

Suspenzi nacházející se na kontaminovaném povrchu vysušíme pomocí tepelné žárovky. Vzorek je považován za vysušený v momentě, kdy se na jeho povrchu vytvoří solné mapy, viz obrázek 3.

2.6. Měření kontaminace

Po provedené vizuální kontrole povrchu je provedeno stanovení plošné aktivity. Měření provádíme bezkontaktně, aby nedošlo ke kontaminaci měřícího přístroje, umístíme tedy přístroj do vzdálenosti, ze které jsme provedli stanovení hodnoty pozadí. Při měření aktivity kontaminovaného povrchu se postupuje stejně jako při stanovení hodnoty pozadí vzorku.

2.7. Zhodnocení

Po změření kontaminovaného povrchu provedeme zhodnocení homogenity nástřiku. Při hodnocení homogenity nástřiku je na všechna měření nahlíženo jako na měření jednoho povrchu. To znamená, že i v případě, že nástřik byl proveden na 5 vzorků téhož povrchu, je na tyto vzorky nahlíženo jako na jeden vzorek. Při hodnocení všechna naměřená data statisticky vyhodnotíme jako jeden soubor. Vypočteme průměrný počet impulsů ze všech hodnot tvořících soubor a stanovíme směrodatnou odchylku. Po určení těchto veličin vypočteme parametr homogenity jako hodnotu poměru mezi hodnotou směrodatné odchylky a hodnotou průměru dle vztahu:

$$k = \frac{s_k}{A} \quad (4)$$

Kde

- k představuje parametr homogenity
- s_k představuje směrodatnou odchylku kontaminace [imp/cm²/s]
- A představuje průměrnou hodnotu kontaminace [imp/cm²/s]

Po stanovení hodnoty parametru homogenity určíme, zda je povrch kontaminován homogenně. Povrch je kontaminován homogenně, pokud hodnota parametru homogenity je menší než 0,5.

2.8. Rozsah metodiky

Metodiku lze použít pouze ke kontaminaci libovolných vodorovných povrchů; některé z povrchů jsou uvedeny v příloze – viz obrázek 4. Metodiku není vhodné používat na plastové povrchy a dále takové povrchy, které podléhají destrukci při dlouhodobém ohřevu. Použití metodiky ke kontaminaci extrémně hladkých povrchů či povrchů s nesmáčivou úpravou je možné, avšak během procesu sušení dochází ke shlukování kapek roztoku či směsi vedoucích k vytvoření lokálních míst s výrazně vyšší koncentrací kontaminantu.

2.9. Nejistota homogenity kontaminace

Při testování metodiky byly hledány kritické parametry ovlivňující správnost metodiky. Za kritické parametry byly vybrány tyto:

- Poměr velikosti kontaminované plochy k velikosti plochy definované. Při použití rozprašovače či jiného postřikovače je nutno mít na zřeteli, že skutečná velikost

kontaminované plochy vlivem náklonu má elipsovité tvar. Velikost plochy této elipsy je funkcí úhlu náklonu a vzdálenosti kontaminační nádoby od kontaminovaného povrchu. Tyto veličiny se při ručním nástřiku mění. Z testů realizovaných v rámci přípravných stanovení vyplývá, že hodnota nejistoty stanovení velikosti této veličiny činí 16%.

- Nástřik se provádí po dobu 1 s. Výsledná hodnota nejistoty dána vztahem

$$S_{\text{celk}} = \sqrt{s_t^2 + s_s^2} \quad (5)$$

kde

S_{celk} je výsledná odhadnutá hodnota relativní nejistoty kontaminace [%]

s_s je relativní nejistota velikosti kontaminované plochy [%]

s_t je relativní nejistota stanovení délky trvání nástřiku [%]

Dosažením výše uvedených odhadů velikosti nejistot do vztahu (4) byla stanovena hodnota relativní nejistoty celého procesu na 24%.

3. Inovační postupy

Tato metodika umožňuje kontaminaci rovinných ploch kontaminanty, a to jak v rozpustné, tak v nerozpustné formě. Použití metodiky umožňuje nahradit dosud používaný způsob kontaminace nakapáváním rozpustné soli, viz literatura [1-3]. Srovnání výsledků kontaminace nakapnutím a nástřikem je prezentován na obrázcích 5 a 6 uvedených v příloze 2.

4. Popis uplatnění metodiky

Tato metodika je základním kamenem pro stanovení hodnoty dekontaminačního faktoru či dekontaminační účinnosti jak dekontaminačních postupů, tak vlastních prostředků použitých k dekontaminaci.

Metodiku lze využít i k ověření přístrojů používaných ke stanovení plošné či povrchové aktivity a může být využita v rámci technické podpory SÚJB pro potřeby jeho kontrolní činnosti.

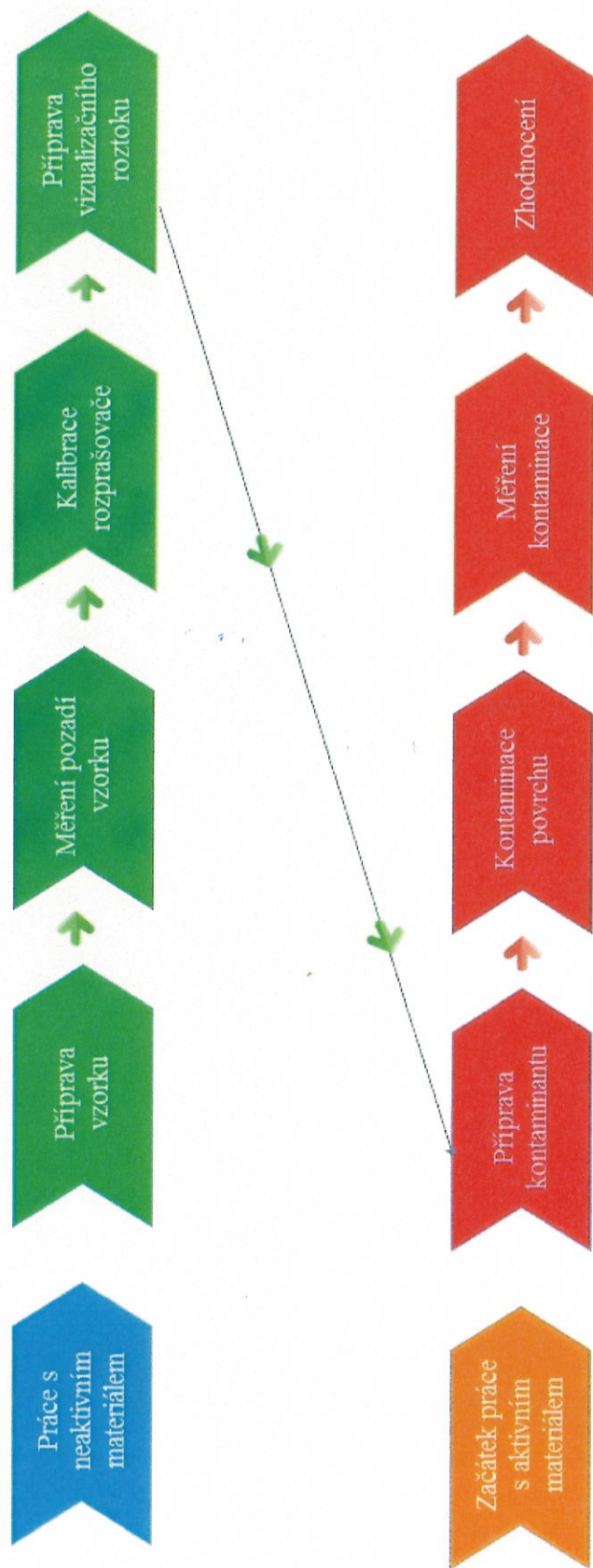
5. Seznam související literatury

- [1] EPA-R-600-11-084; Office of Research and Development National Home and Security, 2010.
- [2] EPA-R-600-11-081; Office of Research and Development National Home and Security, 2010.
- [3] Mgr. T. Marek, Experimentální určení dezaktivací účinnosti SCH Hvězda, Decomkov 2007.

6. Seznam výstupů

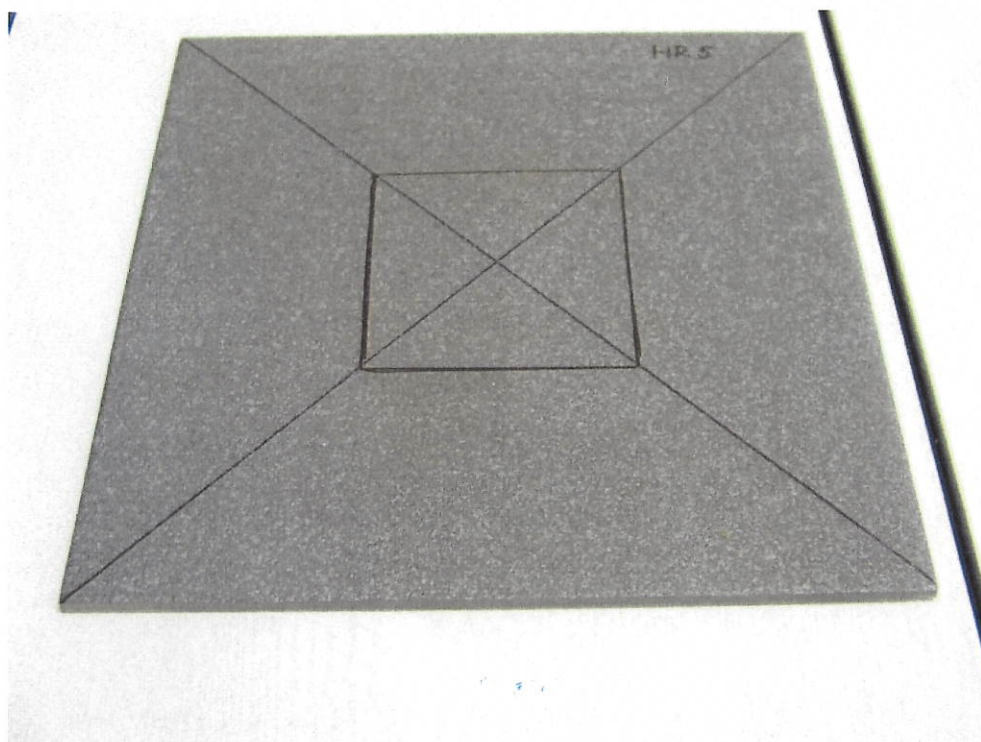
- J. Holecek, P. Otahal (2015): Non-destructive decontamination of building materials; Radiation Physics and Chemistry, Article in Press.
- J. Holecek, P. Otahal (2015): Surface Decontamination of Building Materials Using Decontamination Solution in the Form of Foam, International Conference on Applications of Nuclear Techniques, Crete – Greece, poster.

Stanovení plošné kontaminace experimentálně zamořených povrchů jaderými a radioaktivními látkami

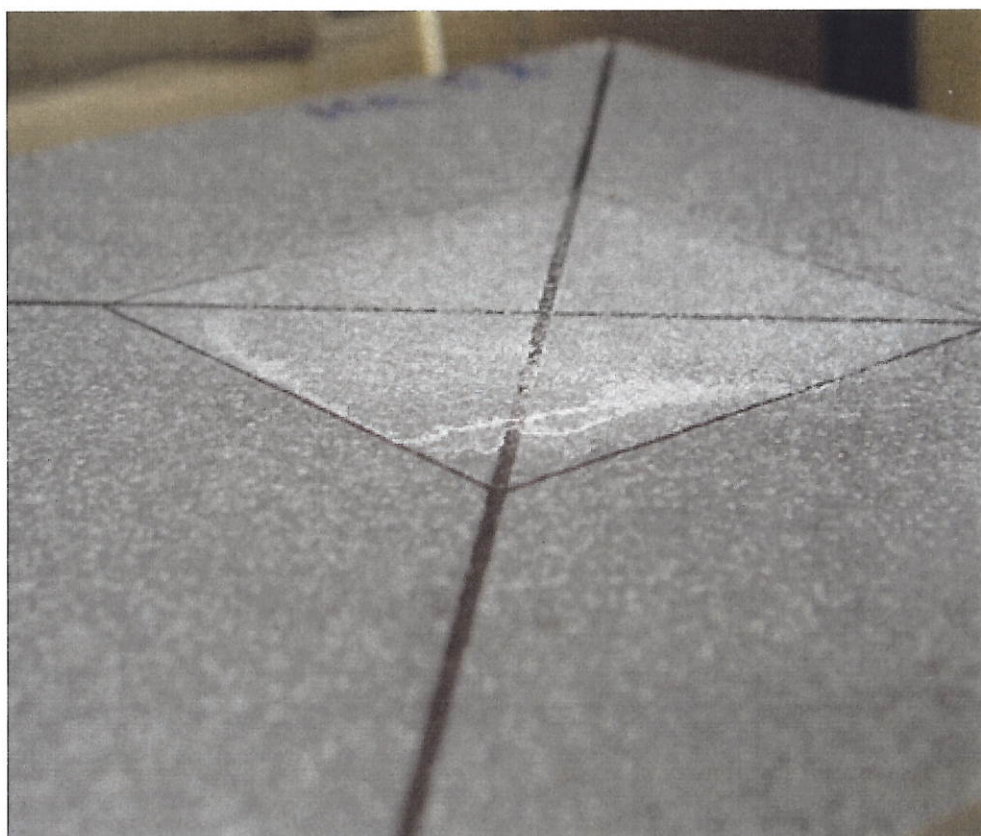




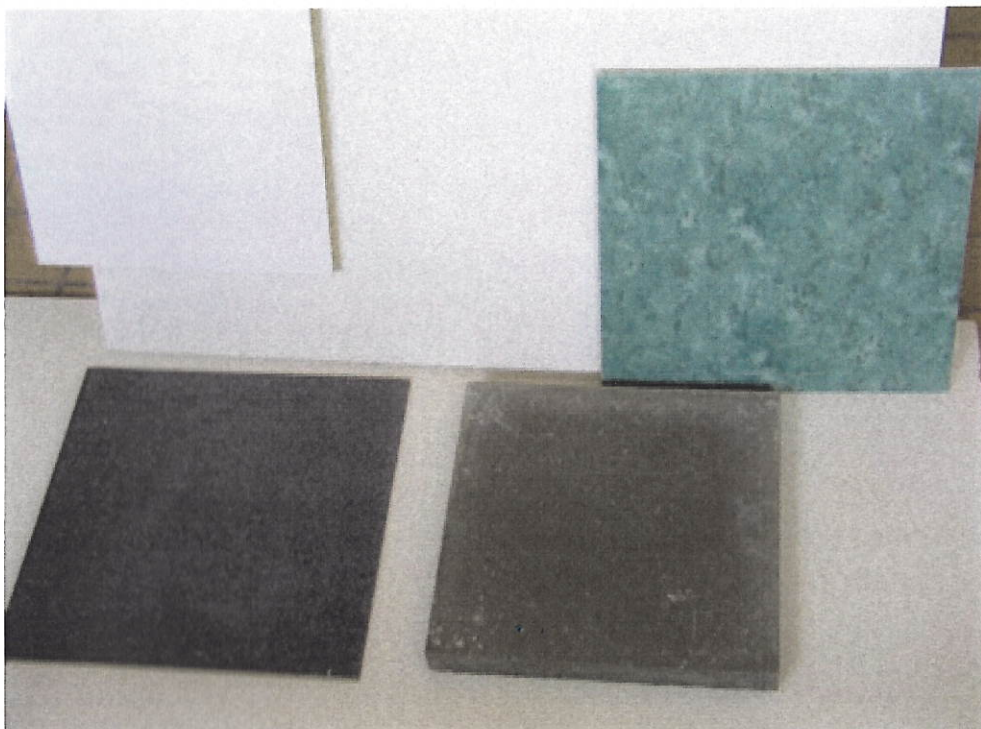
Obrázek 1 Kontaminační nádoba



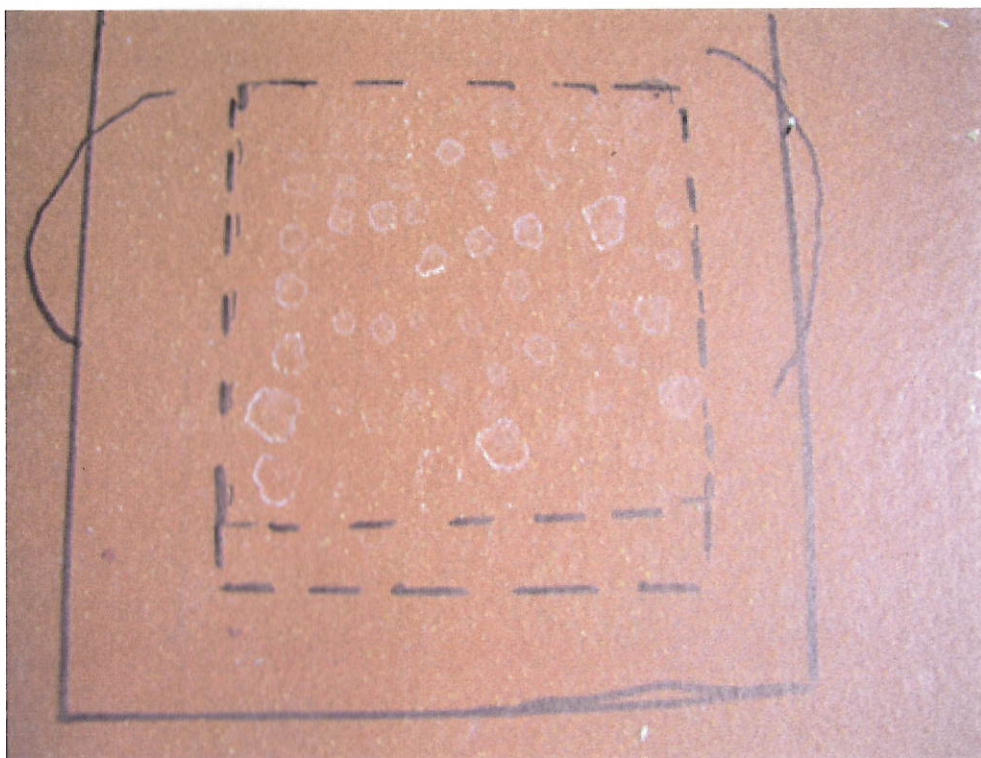
Obrázek 2 Povrch před kontaminací



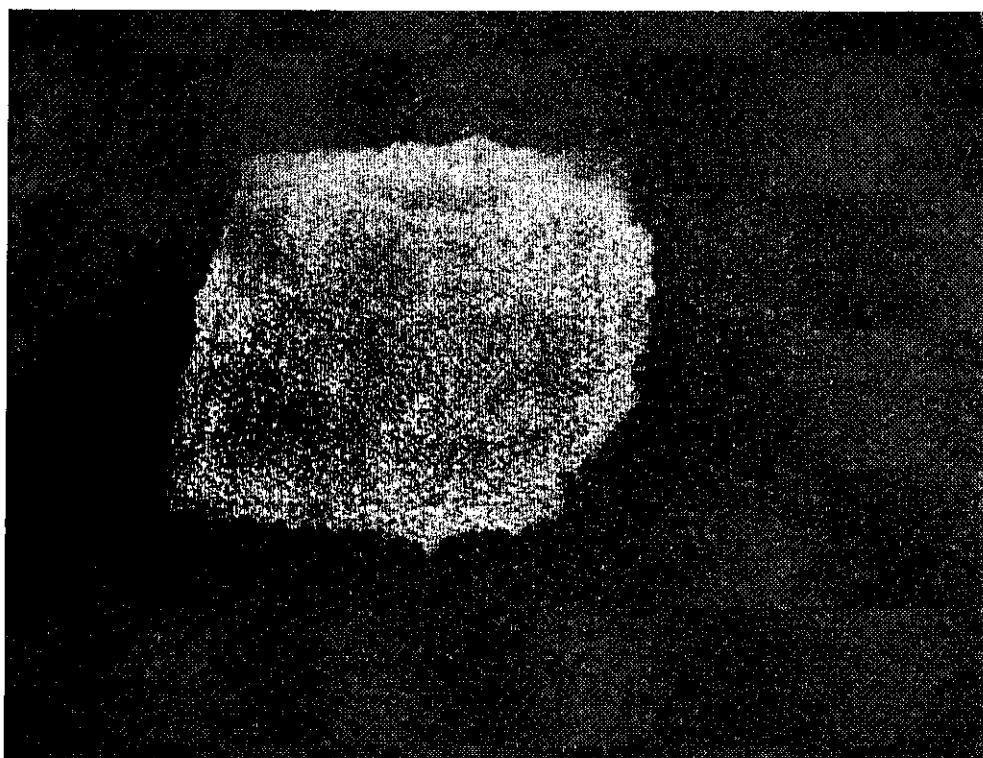
Obrázek 3 Kontaminovaný povrch



Obrázek 4 Příklady ploch, které mohou být kontaminovány nástřikem



Obrázek 5 Povrch kontaminovaný nakapáním



Obrázek 6 Povrch kontaminovaný nástřikem