
**KOROZNÍ ZKOUŠKA
V ALKALICKÉM PROSTŘEDÍ
ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA**

Autoři: D. Dobrev, M. Kouřil, A. N. Mendoza
Miranda

ÚJV Řež, a. s.

Praha, Březen, 2019



Název projektu: Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště

Název dílčího projektu: Experimenty s materiály UOS pro bezpečnostní rozbor

Název dílčí etapové zprávy: Korozní zkouška v alkalickém prostředí

Závěrečná zpráva

Evidenční číslo objednatele: SÚRAO TZ 406/2019

Evidenční číslo poskytovatele: PB-2019-ZZ-S1392-021-ExperimentyUOS

ŘEŠITELÉ:

ÚJV Řež, a. s.¹, VŠCHT Praha²

Autoři: D. Dobrev¹, M. Kouřil², A. N. Mendoza Miranda¹





Obsah

1	Úvod	10
2	Korozní zkouška ve směsi bentonit-cement	13
3	Výsledky provedených analýz	18
3.1	Stanovení vlhkostí po experimentu.....	18
3.2	Výsledky hodnocení kovových vzorků	22
4	Závěr	40
5	Přílohy	42
5.1	Vzhled vzorků po expozici a po moření	42
5.2	Vyhodnocení hmotnostního úbytku vzorků	82
5.3	Optická profilometrie	92

Seznam obrázků:

Obr. 1.1	Diagramy potenciál pH pro železo při teplotě 60 (vlevo) a 100 °C (vpravo) (Townsend, 1970).....	11
Obr. 2.1	Ilustrační obrázek umístění kovových vzorků v korozní cele	14
Obr. 2.2	Ilustrační obrázek směsi ABM_CVR+BCV (nalevo) a korozní cely (napravo) obsahující tuto směs	14
Obr. 2.3	Ilustrační obrázek propojených korozních cel v topných hnízdech v rukavicovém boxu a mimo rukavicový box	15
Obr. 3.1	Vzorek bentonitu, který byl v kontaktu s čistým cementem	18
Obr. 3.2	Ilustrační obrázek rozhraní mezi bentonitem BCV a cementem CEM I	19
Obr. 3.3	Difrakční záznam rozhraní s mezi bentonitem a směsí ABM_CVR_50% srovnaný vůči čistému bentonitu BCV	19
Obr. 3.4	Rozhraní s vyšším obsahem kalcitu u ABM_CVR_10% směsi po 9 měsících expozice	20
Obr. 3.5	Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po šestiměsíčním experimentu v aerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)	20
Obr. 3.6	Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po šestiměsíčním experimentu v anaerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)	21
Obr. 3.7	Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po devítiměsíčním experimentu v aerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)	21

Obr. 3.8 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po devítiměsíčním experimentu v anaerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C).....	22
Obr. 3.9 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za první tři měsíce expozice ve směsích cement/bentonit.....	24
Obr. 3.10 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za prvních šest měsíců expozice ve směsích cement/bentonit.....	25
Obr. 3.11 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za prvních devět měsíců expozice ve směsích cement/bentonit.....	25
Obr. 3.12 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 2 % cementu za anaerobních podmínek	27
Obr. 3.13 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 10 % cementu za anaerobních podmínek	28
Obr. 3.14 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 50 % cementu za anaerobních podmínek	28
Obr. 3.15 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici v cementu za anaerobních podmínek ..	29
Obr. 3.16 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 2 % cementu za aerobních podmínek	30
Obr. 3.17 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 10 % cementu za aerobních podmínek	30
Obr. 3.18 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 50 % cementu za aerobních podmínek	31
Obr. 3.19 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici v cementu za aerobních podmínek	31
Obr. 3.20 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem	34
Obr. 3.21 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem.....	35
Obr. 3.22 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50, 80:20, 90:10 a 100:0 při 70 °C a probublávání vzduchem.....	37
Obr. 3.23 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50, 80:20, 90:10 a 100:0 při 70 °C a probublávání dusíkem.....	37
Obr. 3.24 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50 a 80:20 při teplotě 70 °C a probublávání vzduchem	38
Obr. 3.25 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50 a 80:20 při teplotě 70 °C a probublávání dusíkem	38

Obr. 3.26 Vzorok oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem39

Seznam tabulek:

Tab. 2-1 Hodnoty stanovených vlhkostí připravených směsí a čistého bentonitu BCV	13
Tab. 2-2 Chemické složení syntetické granitické vody SGW3	14
Tab. 2-3 Složení syntetické bentonitové pórové vody SBPOW (Červinka a Gondolli, 2016).17	
Tab. 3-1 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu po tříměsíčním experimentu	18
Tab. 3-2 Stanovené hodnoty vlhkosti směsí a cementu po tříměsíčním experimentu	19
Tab. 3-3 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po tříměsíčním experimentu	22
Tab. 3-4 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po šestiměsíčním experimentu	23
Tab. 3-5 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po devítiměsíčním experimentu	23
Tab. 3-6 Míra lokálního napadení vzorků podle optické profilometrie a odhad maximální korozní rychlosti odvozený ze součtu plošného korozního úbytku a maximální lokalizace....	32
Tab. 3-7 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem	33
Tab. 3-8 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem	33
Tab. 3-9 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při 70 °C a probublávání vzduchem.....	36
Tab. 3-10 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem	36
Tab. 3-11 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při 70 °C a probublávání dusíkem	36
Tab. 3-12 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání dusíkem	36

Seznam použitých zkratk:

ABM_CVR	Směs bentonitu a cementu
AE	Aerobní
AN	Anaerobní
BCV	Bentonit z ložiska Černý vrch, dodavatel KERAMOST a.s.
UOS	Ukládací obalový soubor
RAO	Radioaktivní odpady
SBPOW	Syntetický roztok bentonitové pórové vody
SCE	Nasyčená kalomelová elektroda
VJP	Vyhořelé jaderné palivo

Abstrakt

Alternativní těsnicí materiály typu směs cementu s bentonitem, případně využití čistého cementu jako mezi vrstvu mezi bentonitem a ukládacími obalovými soubory (UOS) mohou přispět k nárůstu životnosti UOS v podmínkách hlubinného úložiště. Předpokladem je samovolná pasivace uhlíkové oceli za alkalických podmínek, při které by mělo dojít ke snížení korozní rychlosti oproti systému s nižším pH. Abychom v rámci výzkumu a vývoje ukládacích obalových souborů co nejlépe využili možnosti variací prostředí po uložení za účelem zvýšení životnosti je potřeba nejistoty spojené s tímto typem systémů experimentálně ověřit včetně možnosti vzniku lokálního korozního napadení, tak aby byl systém UOS – těsnicí materiál co nejlépe optimalizován.

Klíčová slova

Ukládací obalový soubor, těsnicí materiály, koroze

Abstract

Alternative buffer materials based on cement – bentonite mixtures or pure cement between buffer and canisters are potentially appropriate modification of bentonite – carbon steel systems, which can lead to increase of canisters lifetime. Advantage of using these mixtures are alkaline conditions which led to spontaneous passivation of carbon steels and therefore decrease of corrosion rate. Corrosion behaviour of carbon steel in these mixtures will be study to provide data for canister optimization.

Keywords

Canister, buffer, corrosion

1 Úvod

Tato zpráva byla zpracována v rámci projektu SÚRAO „Výzkumná podpora bezpečnostního hodnocení hlubinného úložiště“, který je součástí přípravy hlubinného úložiště radioaktivních odpadů (dále jen HÚ). Cílem projektu je získat vybraná data, modely, argumenty a další informace potřebné pro zhodnocení potenciálních lokalit pro umístění HÚ z hlediska dlouhodobé bezpečnosti. Na základě veřejného zadávacího řízení byla v červenci 2014 uzavřena čtyřletá smlouva s ÚJV Řež, a. s. a jeho subdodavateli: Českou geologickou službou; ČVUT v Praze; Technickou univerzitou v Liberci; Ústavem Geoniky AV ČR, v. v. i.; a společnostmi Arcadis CZ a. s.; Progeo, s. r. o.; Chemcomex Praha, a. s. a Centrum výzkumu Řež s. r. o. o poskytování výzkumné podpory hodnocení dlouhodobé bezpečnosti v následujících oblastech:

- i. Chování VJP a forem RAO, nepřijatelných do přípovrchových úložišť, v prostředí hlubinného úložiště;
- ii. Chování ukládacích obalových souborů (UOS) VJP a RAO v prostředí hlubinného úložiště;
- iii. Chování tlumících, výplňových a dalších konstrukčních materiálů v prostředí hlubinného úložiště;
- iv. Řešení úložných vrtů a jejich vliv na vlastnosti obklopujícího horninového prostředí;
- v. Chování horninového prostředí;
- vi. Transport radionuklidů z úložiště;
- vii. Další charakteristiky lokalit potenciálně ovlivňující bezpečnost úložiště.

Cílem tohoto dílčího projektu *Experimenty s materiály UOS pro bezpečnostní rozbor* je stanovení korozní rychlosti materiálů navržených pro konstrukci ukládacích obalových souborů.

Cílem této zprávy je prezentovat závěrečné výsledky korozních zkoušek uhlíkové oceli z prostředí různých směsí cementu s bentonitem.

Korozní zkoušky s materiály navrženými pro vnější obal ukládacího obalového souboru (UOS) probíhají většinou v prostředí kompaktovaného bentonitu nebo modelových roztoků syntetických bentonitových pórových vod. Použití těchto korozních prostředí souvisí s volbou bentonitu jako těsnícího materiálu, který bude bezprostředně obklopotvat UOS v rámci českého konceptu ukládání vyhořelého jaderného paliva.

V počátečních fázích po uložení UOS bude koroze vnějšího obalu ovlivněna zbytkovým kyslíkem, zvýšenou teplotou, zbytkovým dávkovým příkonem a případně mikrobiální aktivitou. Pro překlenutí této fáze byly v rámci tohoto zadávacího listu zahájeny korozní zkoušky v alternativních těsnících materiálech, které by dle prvotních předpokladů měli umožnit samovolnou pasivaci oceli vnějšího obalu a s tím spojené snížení korozní rychlosti. Jako alternativní těsnícími materiály byly navrženy směsi bentonitu s cementem v různých poměrech a čistý cement jako srovnávací prostředí.

Všechny směsi byly voleny tak, aby hodnota pH pórového roztoku byla nad hodnotou 10, kdy by dle předpokladů mělo docházet k samovolné pasivaci uhlíkové oceli. Po nastolení těchto podmínek může představovat riziko z hlediska životnosti UOS lokální korozní napadení, jehož pravděpodobnost se zvyšuje s teplotou, oxidační schopností a přítomností chloridů. Nicméně toto riziko klesá s rostoucím pH, které by zároveň mohlo vést navíc k potlačení mikrobiální aktivity v systému. Z tohoto důvodu je proto stabilita pH důležitá (odolnost systému proti

karbonatami hydrogenuhličitanů z bentonitu), neboť představuje klíčový parametr z dlouhodobého hlediska.

Prováděné korozní zkoušky ve směsích bentonit-cement jsou prvním vstupem do této problematiky v rámci řešení českého konceptu UOS a v případě pozitivních výsledků by měli být dále řešeny v komplexním měřítku problematiky hlubinného ukládání, aby z dlouhodobého hlediska jeden přínos v podobě směsi bentonit-cement neovlivnil negativně celkovou bezpečnost hlubinného úložiště.

Uhlíková ocel je materiálem, u něhož se při uložení v prostředí nasyceného bentonitu nepředpokládá pasivní stav při žádné z předpokládaných teplot a oxidační schopnosti. Výhodou takového stavu je, že lze předpokládat, že koroze bude probíhat víceméně rovnoměrně na celém povrchu a korozní úbytek tak bude možné předpovídat. Přesto je nutné u uhlíkové oceli jistou mírou lokalizace předpokládat, zejména v počáteční fázi expozice, která je dána heterogenitací v mikrostruktuře a jejich usměrnění vlivem tváření. Podle Madina, 2002 je maximální míra lokalizace o desítky procent větší než průměrný rovnoměrný úbytek tloušťky.

Pasivita čili samovolná tvorba tenké ochranné oxidové vrstvy, která zajišťuje řádově nižší korozní rychlost v porovnání s aktivním stavem, vzniká na uhlíkové oceli při běžné oxidační schopnosti v alkalickém prostředí (oblast termodynamické stability). Oxidační schopnost prostředí musí být taková, aby potenciál oceli byl kladnější než pasivační potenciál. Ten s rostoucím pH klesá (Suchotin a Parpus, 1984), ve více alkalickém prostředí je pro vznik pasivní vrstvy potřeba nižší oxidační schopnosti prostředí. Pokud je elektrodový potenciál mimo oblast stability vody, je podle diagramu E-pH ve zcela anoxickém prostředí pasivace sice v malé oblasti možná, ale s rostoucí teplotou se tato oblast stability magnetitu zmenšuje. Při 60 °C je pasivita omezena shora už hodnotou pH asi 12, při 100 °C už asi 10,5. Zbytkový kyslík, resp. zvýšená oxidační schopnost prostředí oblast pasivity výrazně rozšiřuje.

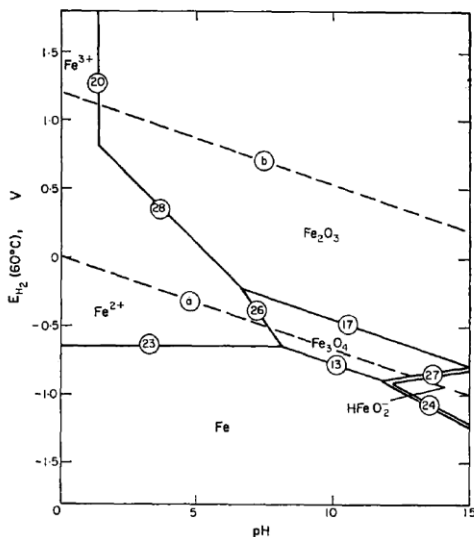


FIG. 2. Potential-pH diagram as in Fig. 1 constructed for 60°C using the method of Criss and Cobble,⁴ taking $S_{\text{HFeO}_2}^0(25) = 10 \pm 5 \text{ e.u.}$

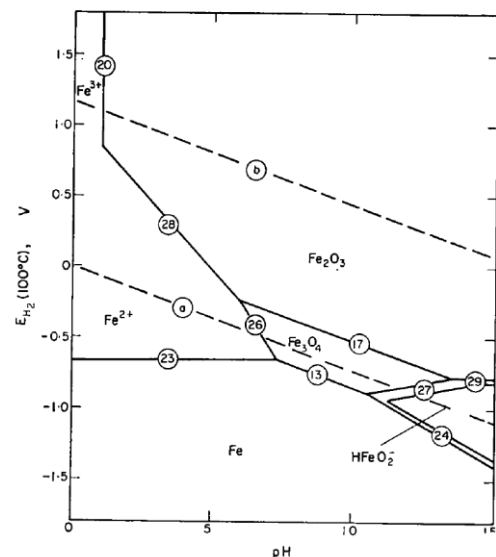


FIG. 3. Potential-pH diagram as in Fig. 2 constructed for 100°C.

Obr. 1.1 Diagramy potenciál pH pro železo při teplotě 60 (vlevo) a 100 °C (vpravo) (Townsend, 1970)

Stabilitu pasivní vrstvy ohrožují anionty, které konkurují hydroxidovým skupinám ve struktuře pasivní vrstvy. Jde především o chloridy. Překročením kritické koncentrace při daném pH a daném potenciálu dochází k lokálnímu porušení pasivní vrstvy a iniciaci bodové koroze. Podle Bennett, a Gens, 2008 je hraniční hodnotou obsahu chloridů v alkalickém prostředí

koncentrace 500 mg/l elektrolytu, což samozřejmě závisí na teplotě a oxidační schopnosti prostředí. Pokud je povrch oceli stíněn pevnou bariérou, např. bentonitem, a tím je omezen transport oxidačního činidla k povrchu kovu (jde především o kyslík; netýká se vody, jakožto oxidačního činidla za anoxických podmínek), může být iniciována štěrbinová koroze. K iniciaci štěrbinové koroze pak stačí nižší koncentrace chloridů. Takovou lokalizací korozního napadení pak uhlíková ocel přichází o výhodu předpověditelnosti korozního úbytku aktivně korodujícího kovu.

2 Korozní zkouška ve směsi bentonit-cement

Vzorky z uhlíkové oceli 12020 byly vyrobeny ve čtyřech různých rozměrech z důvodu snadné identifikace po experimentu, kdy v korozní cele jsou umístěny čtyři vzorky každý o jiné velikosti. Konkrétně to byly rozměry: 10 x 10 x 1 mm, 10 x 9 x 1 mm, 10 x 8 x 1 mm a 9 x 8 x 1 mm. Vzorky byly broušeny vždy z jedné strany brusným papírem drsnosti 800 a z druhé strany brusným papírem drsnosti 1200.

Povrch vybraných vzorků byl po broušení změřen na optickém profilometru RedLux (RedLux Ltd., UK) na straně broušené brusným papírem 1200. Tyto vzorky byly dále opatřeny třemi značkami (důlky), aby je bylo možné po experimentu změřit ve stejné poloze.

Směsi bentonit-cement použité pro korozní zkoušku byly připraveny z bentonitu BCV od společnosti KERAMOST a.s., Česká republika, který byl dodán v roce 2017 z ložiska Černý vrh a z cementu CEM I Portlandský cement, dodavatel Českomoravský cement a. s. Radotín, Česká republika.

Pro experiment byly připraveny tři směsi bentonitu s 2 %hm, 10 %hm a 50 %hm cementu, které byly před experimentem důkladně homogenizovány. Pro srovnání byly vzorky uhlíkové oceli umístěny i do prostředí čistého cementu CEM I. Směsi budou dále ve zprávě značeny zkratkou ABM_CVR s příslušným uvedením procentuálního zastoupení cementu. V následující tabulce Tab. 2-1 jsou uvedeny stanovené přirozené hodnoty vlhkostí těchto směsí a pro srovnání i čistého bentonitu. Dle očekávání klesá přirozená vlhkost směsí s procentuálním obsahem cementu.

Tab. 2-1 Hodnoty stanovených vlhkostí připravených směsí a čistého bentonitu BCV

Vzorek	Vlhkost
ABM_CVR 2%	11,4 %
ABM_CVR 10%	10,5 %
ABM_CVR 50%	6,1 %
BCV	11,6 %

Uspořádání kovových vzorků v korozní cele bylo následující:

Nejprve byla pomocí hydraulického lisu MEGA 11-300 DM1S (Form+Test Seidner+Co GmbH, Německo) nalisována 2 mm vrstva směsi ABM_CVR, na kterou se umístily čtyři vzorky o různých rozměrech (Obr. 2.1). Následně byla na vzorky lisována vrstva směsi ABM_CVR o tloušťce 19 mm. Na tuto připravenou směs byl potom lisován čistý bentonit BCV o tloušťce 10 mm (Obr. 2.2). Směsi i bentonit byly lisovány na suchou objemovou hmotnost 1600 kg.m⁻³. Čistý bentonit byl do korozních cel záměrně přidán, aby se simuloval tok vody přes tuto bariéru a případně se dotěsnila kontrakce směsí ABM_CVR/cementu, kdy se předpokládala změna objemu hlavně u čistého CEM I.



Obr. 2.1 Ilustrační obrázek umístění kovových vzorků v korozní cele



Obr. 2.2 Ilustrační obrázek směsi ABM_CVR+BCV (nalevo) a korozní cely (napravo) obsahující tuto směs

Pro sycení systému byla použita syntetická granitická voda SGW3 (Červinka a Gondolli, 2016), jejíž složení je uvedeno v Tab. 2-2.

Tab. 2-2 Chemické složení syntetické granitické vody SGW3

Koncentrace složek [c] = mg.l ⁻¹							
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
89,4	0,7	1,3	0,1	9,9	18,7	10,5	163,5

Připravené korozní cely byly před experimentem umístěny do rukavicového boxu GP CONCEPT (Jacomex, Francie) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 Linde Gas a.s., Česká republika), kde byly ponechány na odkysličení min 14 dní. Mimo rukavicový box zůstaly pouze korozní cely, které byly použity na srovnávací korozní zkoušku za aerobních podmínek. Po odkysličení byly cely umístěny do speciálních topných hnízd (ÚJV Řež a. s., Česká republika) a propojeny kovovými kapilárami pro následné sycení. Pro sycení byla použita, jak již bylo uvedeno syntetická granitická voda SGW3, která byla také předem odkysličena v rukavicovém boxu. Aplikovaný tlak sycení byl 5 MPa, kterého se dosáhlo aplikací argonu na píst. U srovnávací aerobní zkoušky bylo postupováno stejně s tím rozdílem, že tlak byl vytvářen pomocí tlakové láhve vzduchu (Linde Gas a.s., Česká republika), aby byla v sytící vodě udržována stálá koncentrace kyslíku. Korozní cely jsou ohřívány na teplotu 70 °C

směrem od vzorků ke vstupu sytící vody a je tak částečně i simulovaný tepelný gradient ve směsích ABM_CVR. Na Obr. 2.3 je zobrazeno uspořádání korozních cel v rukavicovém boxu a srovnávacích cel mimo rukavicový box.



Obr. 2.3 Ilustrační obrázek propojených korozních cel v topných hnízdech v rukavicovém boxu a mimo rukavicový box

Korozní zkouška byla plánována na 3, 6 a 9 měsíců za anaerobních i aerobních podmínek, aby byly získány první poznatky o chování uhlíkové oceli v těchto alternativních těsnících materiálech.

Demontáž korozních cel probíhala u anaerobní série v rukavicovém boxu a u aerobní mimo rukavicový box. Při demontáži byly odebrány také vzorky na stanovení vlhkosti a zbylé množství směsi a cementu bylo předáno pro následné analýzy do *ZL Transport radionuklidů přes materiály na bázi cementu*.

Vzhled vzorků byl zdokumentován pomocí stereomikroskopu Olympus SZX10. Snímky obou stran vzorků jsou uvedeny v příloze 5.1. Kovové vzorky se silnou vrstvou ulpělé směsi cement/bentonit byly jemně očištěny rotačním drátěným kartáčkem. Následně byla určena hmotnost po expozici (m_{ae}) pomocí analytických vah Sartorius s přesností na 0,1 mg.

Korozní produkty a zbytky ulpělé směsi cement/bentonit byly odstraňovány v roztoku kyseliny chlorovodíkové inhibované urotropinem podle normy ČSN ISO 8047. Norma předepisuje postupné moření po 10 minutách. V tomto případě byl použit interval 2 minuty. Po každém moření byly vzorky důkladně omyty vodou a ethanolem a osušeny horkým vzduchem a opět zváženy na analytických vahách Sartorius (m_1 až m_5). Moření proběhlo celkem 5x pro každý vzorek. Nakonec byly vzorky 3x zváženy na ultramikrovahách s přesností na 0,1 μg ($m_{5\mu}$), stejně jako před expozicí ($m_{be\mu}$).

První dva až tři cykly moření slouží k odstranění korozních produktů a zbytků směsi cement/bentonit. Další cykly moření zaznamenávají rovnoměrný úbytek kovu v mořicím roztoku. Tento trend je proložen regresní přímkou a z rovnice regresní přímky je určena konstanta závislosti, tedy teoretická hmotnost vzorku bez korozních produktů v nulovém cyklu moření ($m_{0\text{reg}}$). Korozní úbytek (Δm) je pak určen jako rozdíl počáteční hmotnosti vzorku před expozicí ($m_{be\mu}$) a $m_{0\text{reg}}$. Korozní rychlost v jednotkách $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ je určena z korozního úbytku Δm , znalosti doby expozice a exponované plochy, do níž jsou započítány pouze dvě největší plochy vzorku.

Vzhled vzorků po odstranění korozních produktů je opět zachycena na snímcích v příloze 5.1.

Pro určení podmínek přechodu mezi pasivním a aktivním stavem uhlíkové oceli byly souběžně prováděny elektrochemické zkoušky, které poskytli dodatečné informace, které nelze získat

v předchozím experimentálním uspořádání. Elektrochemické zkoušky probíhaly ve dvouplášťové termostátované cele o objemu elektrolytu asi 650 ml. Elektrolytem byla směs syntetické bentonitové vody SBPOW (Tab. 2-3) a nasyceného roztoku hydroxidu vápenatého, který byl připraven smícháním nadbytku oxidu vápenatého s destilovanou vodou a stabilizováním alespoň 3 dny při laboratorních podmínkách v uzavřeném zásobníku. Při smíchání různých poměrů SBPOW a roztoku $\text{Ca}(\text{OH})_2$ byl vždy doplněn pevný NaCl tak, aby koncentrace chloridových aniontů byla vždy stejná a odpovídala koncentraci v SBPOW. Směs roztoku byla připravena bezprostředně před expozicí a vždy byla zaznamenána hodnota pH. Cella byla naplněna směsí roztoku, hermeticky uzavřena a 30 minut temperována na požadovanou teplotu (stabilizace laboratorní teploty nebo ohřev na 70 °C) a sycena dusíkem pro odkysličení elektrolytu nebo vzduchem pro dosažení rovnovážné koncentrace kyslíku s atmosférou. V druhém případě byly před celou předřazeny dvě promývačky. První obsahovala asi 20% roztok NaOH pro zachycení atmosférického CO_2 , který by okyseloval zkušební roztok, a druhá destilovanou vodu po zachycení kapének roztoku NaOH z první promývačky, které by zkušební roztok alkalizovaly.

Mezi tím probíhala příprava ocelové vzorku vyrobeného z oceli ČSN 12 020 ve formě válce o průměru 10 mm a celkové exponované ploše 13,35 cm². Před každým měření byl vzorek finálně broušen za sucha brusným papírem P1200, případně před tím hrubším papírem pro odstranění lokálně napadených míst. Následovalo očištění ethanolem a upevnění do držáku vzorků. Na vzorek byly rovnoměrně rozmístěny tři o-kroužky 2x10 mm, které měly určovat stíněním povrchu oceli místo, kde bude iniciována šterbinová koroze, pokud by byl za daných podmínek náchylný k lokalizovanému napadení.

Po 30minutové stabilizaci podmínek byl držák se vzorkem vložen do cely a bylo zahájeno 30minutové snímání samovolného korozního potenciálu E_{kor} . Potenciál byl měřen vůči referenční nasycené kalomelové elektrodě (SCE), která byla umístěna mimo celu v solném mostě naplněném aktuálním zkušebním roztokem. Tím bylo zabráněno, aby byl roztok kontaminován chloridy z vnitřního prostoru referenční elektrody a zároveň aby byla ovlivněna teplota referenční elektrody. Předpokládaný potenciál referenční elektrody je tedy 242 mV vůči standardní vodíkové elektrodě.

Po uplynutí 30minutové stabilizace samovolného korozního potenciálu, byla zahájena polarizace v intervalu $-20 \text{ mV}/E_{\text{kor}}$ až $+20 \text{ mV}/E_{\text{kor}}$ rychlostí 0,1 mV/s. Ze záznamu byl vyhodnocen polarizační odpor R_p , jehož hodnota je přímo úměrná převrácené hodnotě korozní rychlosti. Polarizační odpor tak umožňuje porovnávat korozní rychlosti materiálu za různých podmínek. Jako referenční elektroda byla během měření využita opět nasycená kalomelová elektroda v solném mostě a jako protielektroda platinový drát umístěný po vnitřním obvodu cely.

Posledním krokem elektrochemické zkoušky, který bezprostředně navazoval na měření polarizačního odporu bez vyjmutí vzorku, byla cyklická polarizace se startem $-50 \text{ mV}/E_{\text{kor}}$ až do 1 V/SCE, kde byl směr polarizace obrácen, a zpětná polarizace pokračovala až od -1 V/SCE. Rychlost polarizace v obou směrech byla 1 mV/s. Výsledkem tohoto měření je určení, zda je za daných podmínek ocel samovolně v aktivním, či pasivním stavu, případně hodnocení stability pasivního stavu pomocí průrazového potenciál (nejkladnější potenciál, při kterém je ještě zachován pasivní stav) a repasivačního potenciálu (potenciál, při kterém dochází při zpětné polarizaci k obnově pasivního stavu).

Tab. 2-3 Složení syntetické bentonitové pórové vody SBPOW (Červinka a Gondolli, 2016)

Složka:	Předepsaná navážka [g/l]:
MgSO ₄ heptahydrát	2,7279
NaNO ₃	0,8163
NaCl	0,4191
KNO ₃	0,1328
Na ₂ SO ₄ anhydr.	0,1462
KHCO ₃	0,1066
CaCl ₂ anhydr.	0,0388

3 Výsledky provedených analýz

3.1 Stanovení vlhkostí po experimentu

Vlhkost na vzorcích bentonitů, a i směsích ABM_CVR včetně čistého cementu CEM I, byla stanovena na základě modifikované metody dle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-1. Hodnoty vlhkostí bentonitů po tříměsíčním experimentu jsou uvedeny v

Tab. 3-1, kde je patrný nárůst vlhkosti oproti ostatním vzorkům bentonitů pouze v korozních celách s čistým cementem (u vzorků z rukavicového boxu je stanovení zatíženo chybou způsobenou vysycháním vzorků při odběru). To je dáno objemovou kontrakcí cementu, kdy do „volného“ prostoru bobtná bentonit a jeho reálná suchá objemová hmotnost klesá oproti původní hodnotě $1600 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Obr. 3.1). Tento efekt se při přípravě korozních zkoušek očekával a jak již bylo zmíněno dříve i z tohoto důvodu byl do korozních cel lisován čistý bentonit BCV.

Hodnoty vlhkostí směsí a čistého cementu, na kterých bylo provedeno stanovení jsou uvedeny v Tab. 3-2. Zde je nutné zdůraznit, že vzorky směsí bylo nutné pomocí hydraulického lisu vytlačit z korozních cel a během této doby docházelo k částečnému vysychání směsí. Přesto je pozorovatelný očekávaný trend poklesu vlhkosti s nárůstem obsahu cementu.



Obr. 3.1 Vzorek bentonitu, který byl v kontaktu s čistým cementem

Tab. 3-1 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu po tříměsíčním experimentu

Vlhkost [%]	Typ směsi
37,0	ABM_CVR_2% Anaerobní
35,6	ABM CVR 2% Anaerobní
36,9	ABM_CVR_2% Aerobní
37,9	ABM_CVR_10% Anaerobní
35,7	ABM_CVR_10% Anaerobní
35,7	ABM_CVR_10% Aerobní
38,0	ABM_CVR_50% Anaerobní
38,1	ABM_CVR_50% Anaerobní
37,7	ABM_CVR_50% Aerobní
36,8	CEM I Anaerobní
49,9	CEM I Anaerobní

56,9

CEM I Aerobní

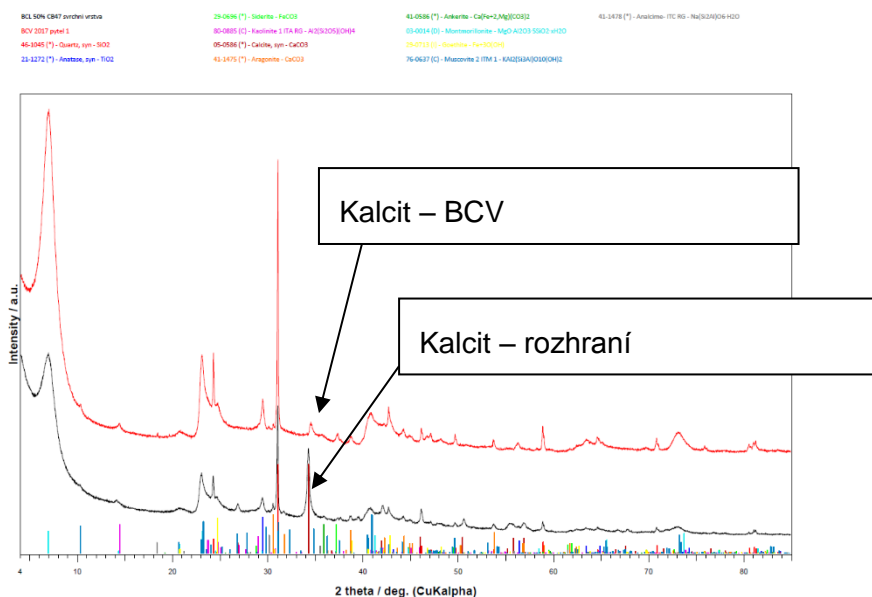
Tab. 3-2 Stanovené hodnoty vlhkosti směsí a cementu po tříměsíčním experimentu

Vlhkost [%]	Typ směsi
25,9	ABM_CVR_2% Anaerobní
27,6	ABM_CVR_10% Anaerobní
23,0	ABM_CVR_50% Anaerobní
11,1	CEM I Anaerobní
21,6	ABM_CVR_50% Aerobní
12,8	CEM I Aerobní

U směsí ABM_CVR_50% a čistého cementu bylo pozorováno rozhraní mezi bentonitem BCV a směsí, resp. cementem (Obr. 3.2). Rentgenovou difrakční analýzou na přístroji PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, The Netherlands) bylo zjištěno, že v tomto rozhraní dochází k nárůstu množství kalcitu oproti čistému bentonitu BCV (Obr. 3.3).



Obr. 3.2 Ilustrační obrázek rozhraní mezi bentonitem BCV a cementem CEM I



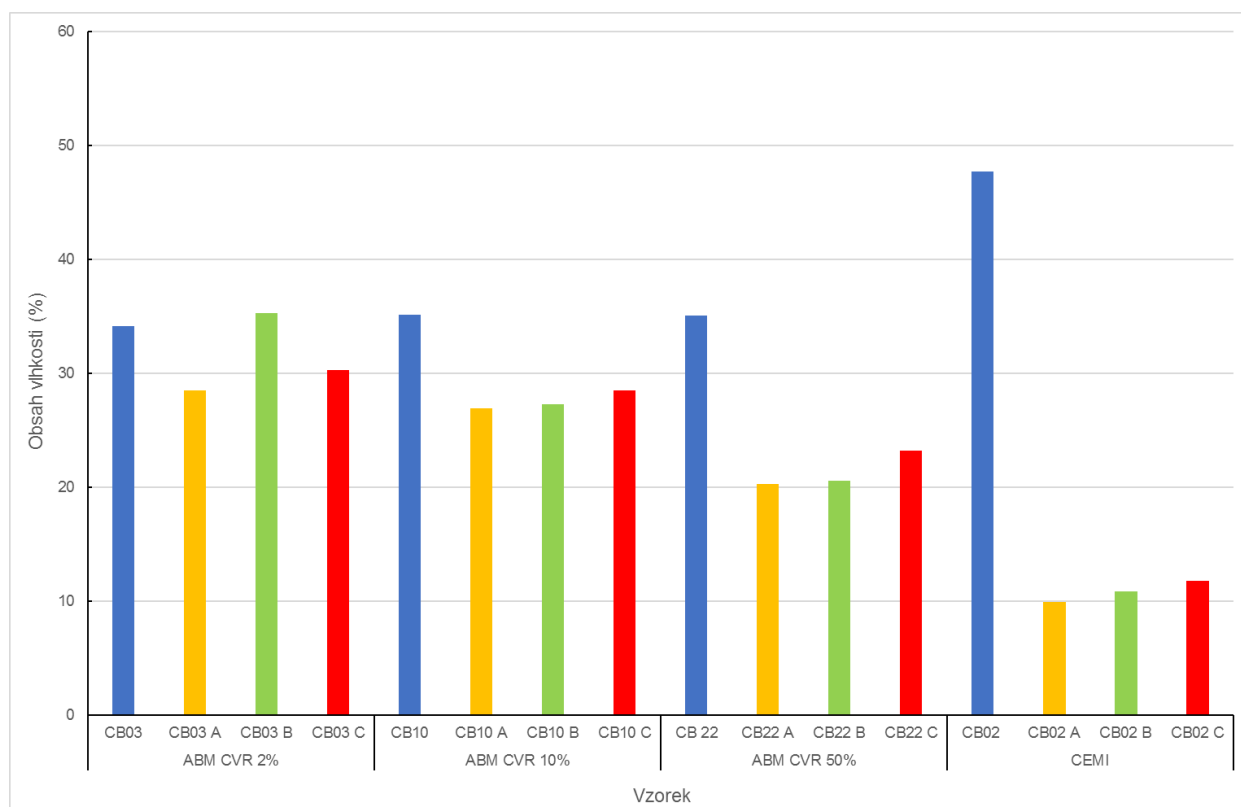
Obr. 3.3 Difrakční záznam rozhraní s mezi bentonitem a směsí ABM_CVR_50% srovnaný vůči čistému bentonitu BCV

Vrstva s vyšším obsahem kalcitu oproti BCV byla vizuálně pozorovatelná i po 6 a 9měsíčním experimentu, kde ji bylo možné vizuálně rozlišit i u 10% směsí (Obr. 3.4).

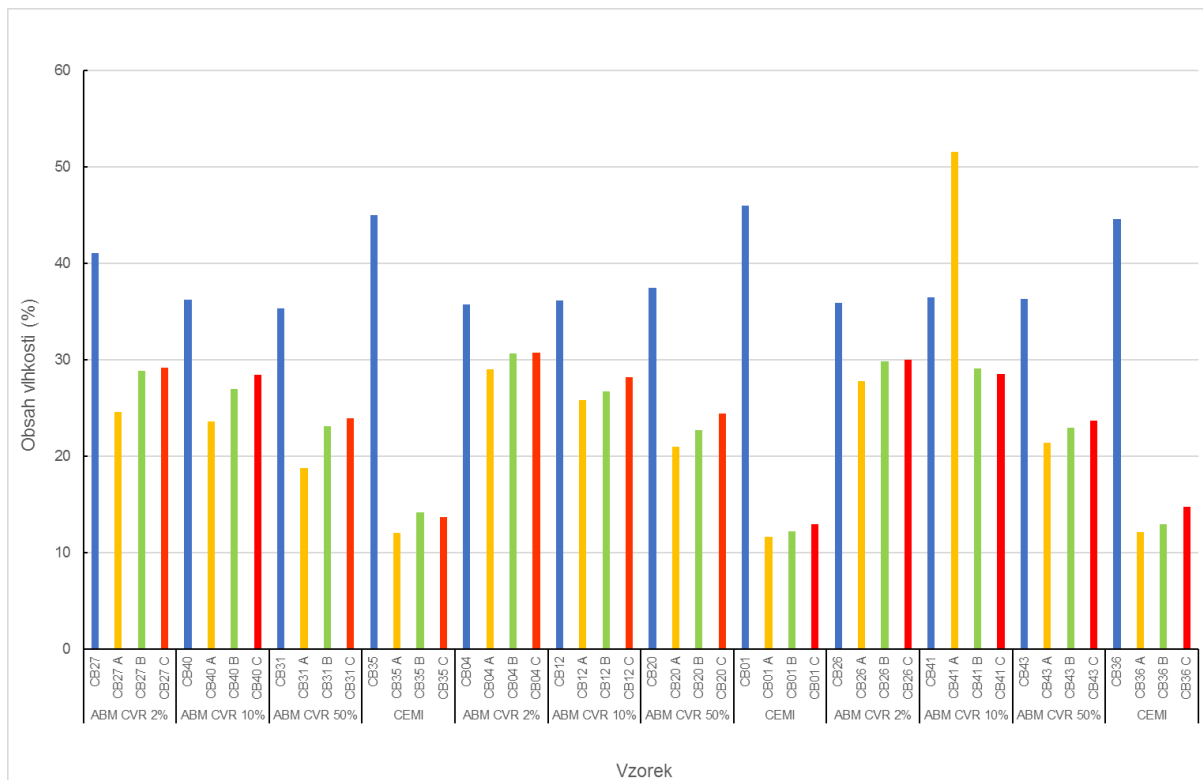


Obr. 3.4 Rozhraní s vyšším obsahem kalcitu u ABM_CVR_10% směsi po 9 měsících expozice

Po ukončení šestiměsíčního experimentu v aerobních a anaerobních podmínkách bylo rozhodnuto odebrat vzorky z různých částí cely, tj: z vrstvy bentonitu, z vrstvy v kontaktu s kovovými vzorky (A), ze středu vrstvy směsi (B) a z vrstvy v kontaktu s bentonitem (C) (Obr. 3.5 a Obr. 3.6)

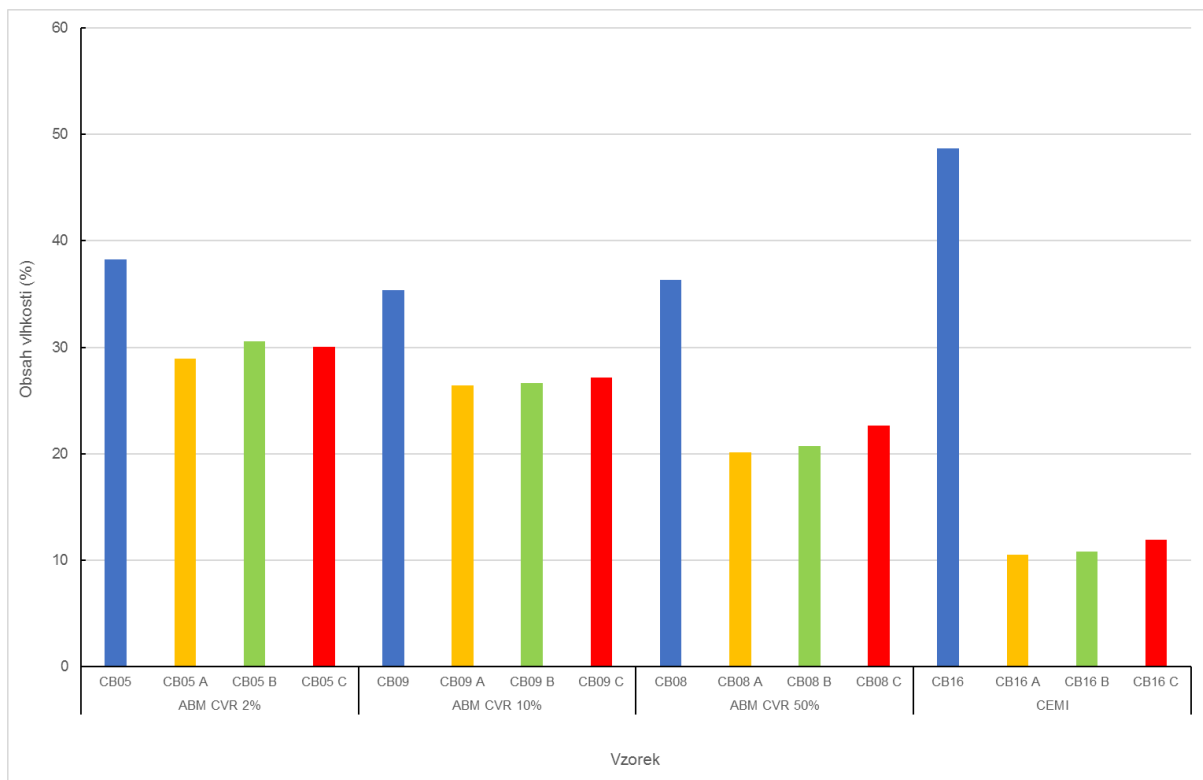


Obr. 3.5 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsi a cementu po šestiměsíčním experimentu v aerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsi (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)

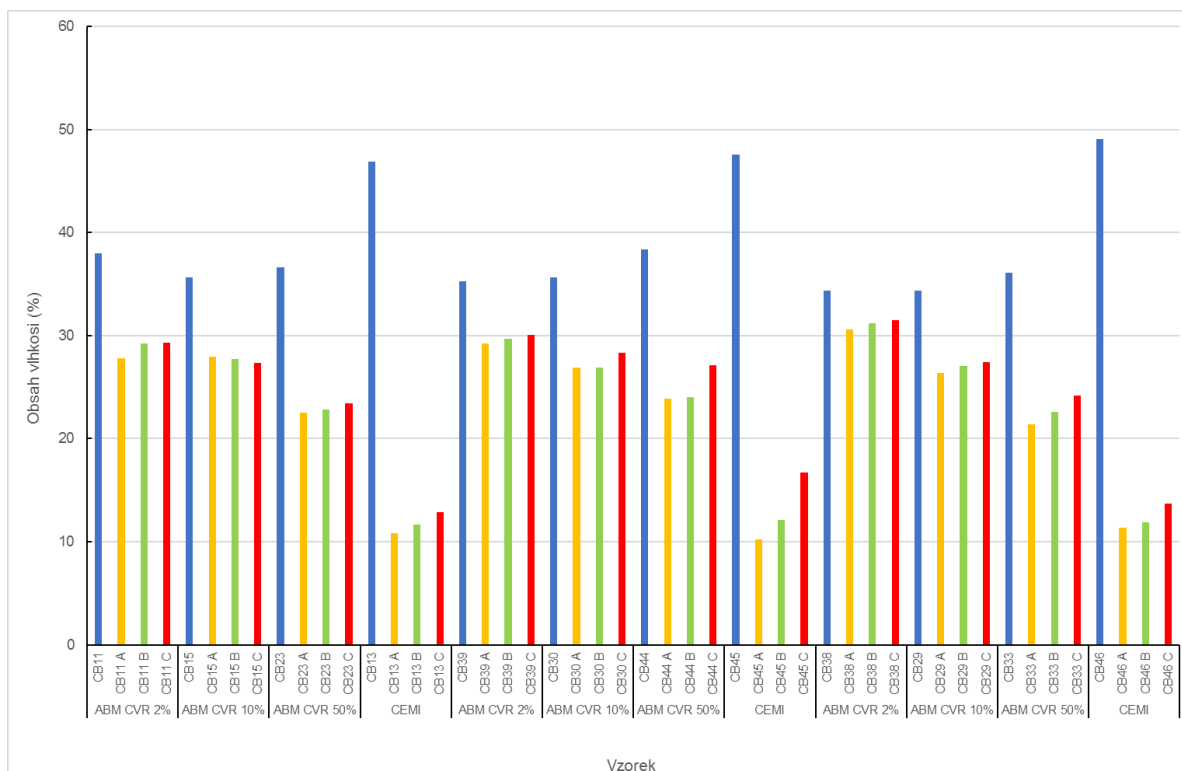


Obr. 3.6 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po šestiměsíčním experimentu v anaerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)

Stejným způsobem jako v předchozím případě se postupovalo při stanovení vlhkosti i u devítiměsíčního experimentu. (Obr. 3.7, Obr.3.8)



Obr. 3.7 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po devítiměsíčním experimentu v aerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)



Obr. 3.8 Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitu, směsí a cementu po devítiměsíčním experimentu v anaerobních podmínkách. – Modrý: bentonit, žlutý: vrstva v kontaktu s kovovými vzorky (A), zelený: střed vrstvy směsí (B), červený: vrstva v kontaktu s bentonitem (C)

Z grafů šestiměsíčního a devítiměsíčního experimentu je vidět očekávaný nárůst vlhkosti bentonitu v celách obsahujících čistý cement oproti ostatním vzorkům bentonitů.

3.2 Výsledky hodnocení kovových vzorků

Vzhled vzorků po expozici a po odmoření je zdokumentován v příloze 1. V řadě případů je pozorováno lokalizované napadení, a to už před mořením. V případě lokalizovaného napadení je uvádění korozní rychlosti v jednotkách $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (mm za rok) zavádějící. Proto je korozní rychlost v Tab. 3-3 Tab. 3-4 Tab. 3-5 uváděna v jednotkách $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$. Pokud by korozní úbytek byl rovnoměrný, $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ by se přibližně rovnal $1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$. Hodnoty jednotlivých hmotností jsou uvedeny v příloze 2.

Tab. 3-3 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po tříměsíčním experimentu

	$v_k [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$	$\sigma [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$
CB37 (2%)_AE	0,0148	0,0008
CB18 (2%)_AN	0,0181	0,0007
CB25 (2%)_AN	0,0173	0,0009
CB28 (10%)_AE	0,0033	0,0004
CB17 (10%)_AN	0,0017	0,0001
CB42 (10%)_AN	0,0017	0,0002

CB32 (50%)_AE	0,0049	0,0010
CB21 (50%)_AN	0,0028	0,0005
CB47 (50%)_AN	0,0051	0,0005
CB34 (100%)_AE	0,0034	0,0011
CB14 (100%)_AN	0,0025	0,0007
CB24 (100%)_AN	0,0020	0,0012

Tab. 3-4 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po šestiměsíčním experimentu

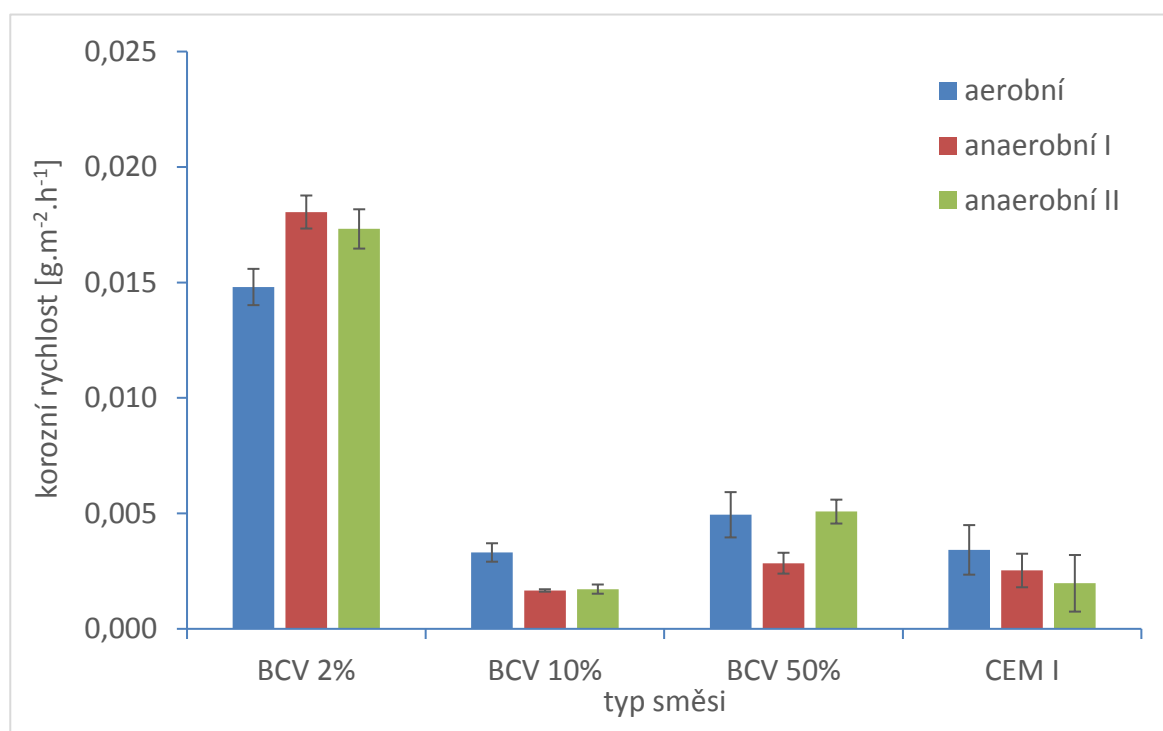
	v_k [g.m ⁻² .h ⁻¹]	σ [g.m ⁻² .h ⁻¹]
CB03 (2%)_AE	0,0111	0,0008
CB04 (2%)_AN	0,0193	0,0044
CB26 (2%)_AN	0,0113	0,0004
CB27 (2%)_AN	0,0192	0,0006
CB10 (10%)_AE	0,0020	0,0003
CB12 (10%)_AN	0,0009	0,0001
CB40 (10%)_AN	0,0010	0,0001
CB41 (10%)_AN	0,0010	0,0001
CB22 (50%)_AE	0,0022	0,0003
CB20 (50%)_AN	0,0015	0,0001
CB31 (50%)_AN	0,0022	0,0002
CB43 (50%)_AN	0,0015	0,0001
CB02 (100%)_AE	0,0016	0,0002
CB01 (100%)_AN	0,0014	0,0003
CB35 (100%)_AN	0,0021	0,0001
CB36 (100%)_AN	0,0022	0,0001

Tab. 3-5 Stanovené hodnoty korozní rychlosti po devítiměsíčním experimentu

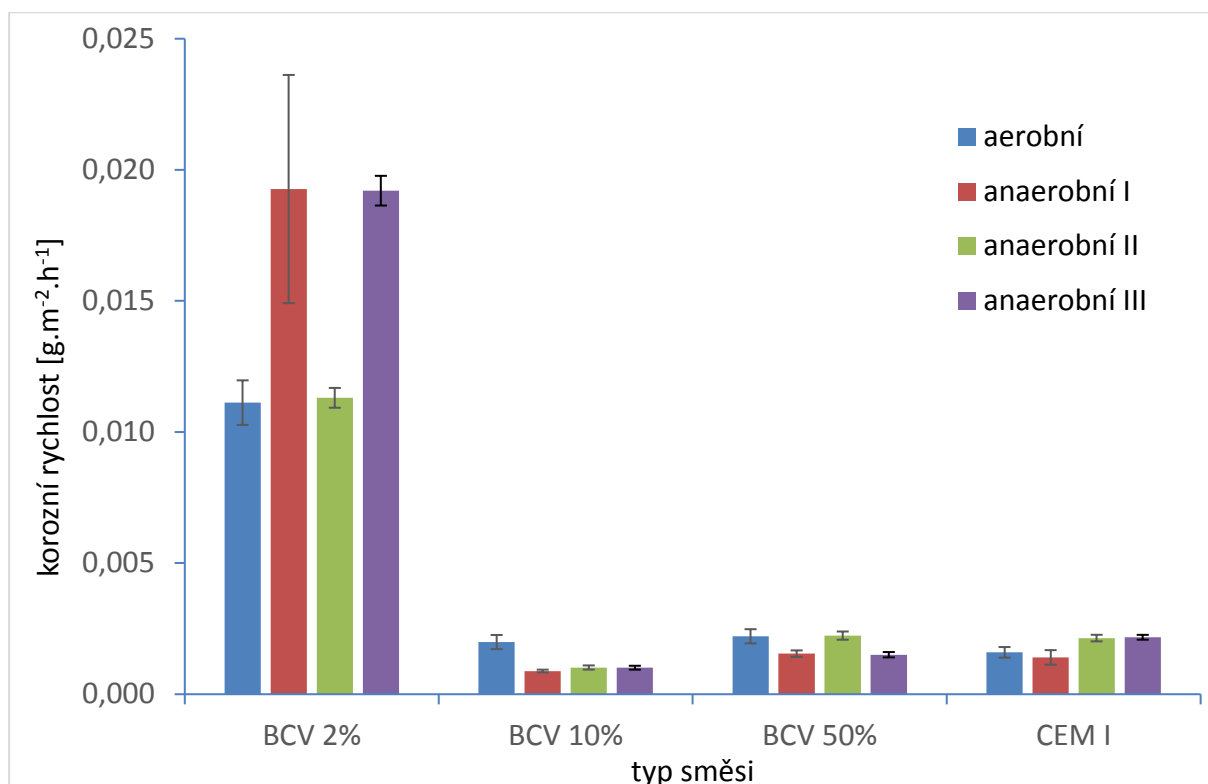
	v_k [g.m ⁻² .h ⁻¹]	σ [g.m ⁻² .h ⁻¹]
CB05 (2%)_AE	0,0101	0,0003
CB11 (2%)_AN	0,0163	0,0044
CB38 (2%)_AN	0,0183	0,0005
CB39 (2%)_AN	0,0161	0,0026
CB09 (10%)_AE	0,0017	0,0003
CB15 (10%)_AN	0,0007	0,0000
CB29 (10%)_AN	0,0011	0,0002
CB30 (10%)_AN	0,0017	0,0003

CB08 (50%)_AE	0,0017	0,0006
CB23 (50%)_AN	0,0012	0,0001
CB33 (50%)_AN	0,0018	0,0003
CB44 (50%)_AN	0,0011	0,0002
CB16 (100%)_AE	0,0013	0,0001
CB13 (100%)_AN	0,0010	0,0001
CB45 (100%)_AN	0,0008	0,0001
CB46 (100%)_AN	0,0008	0,0001

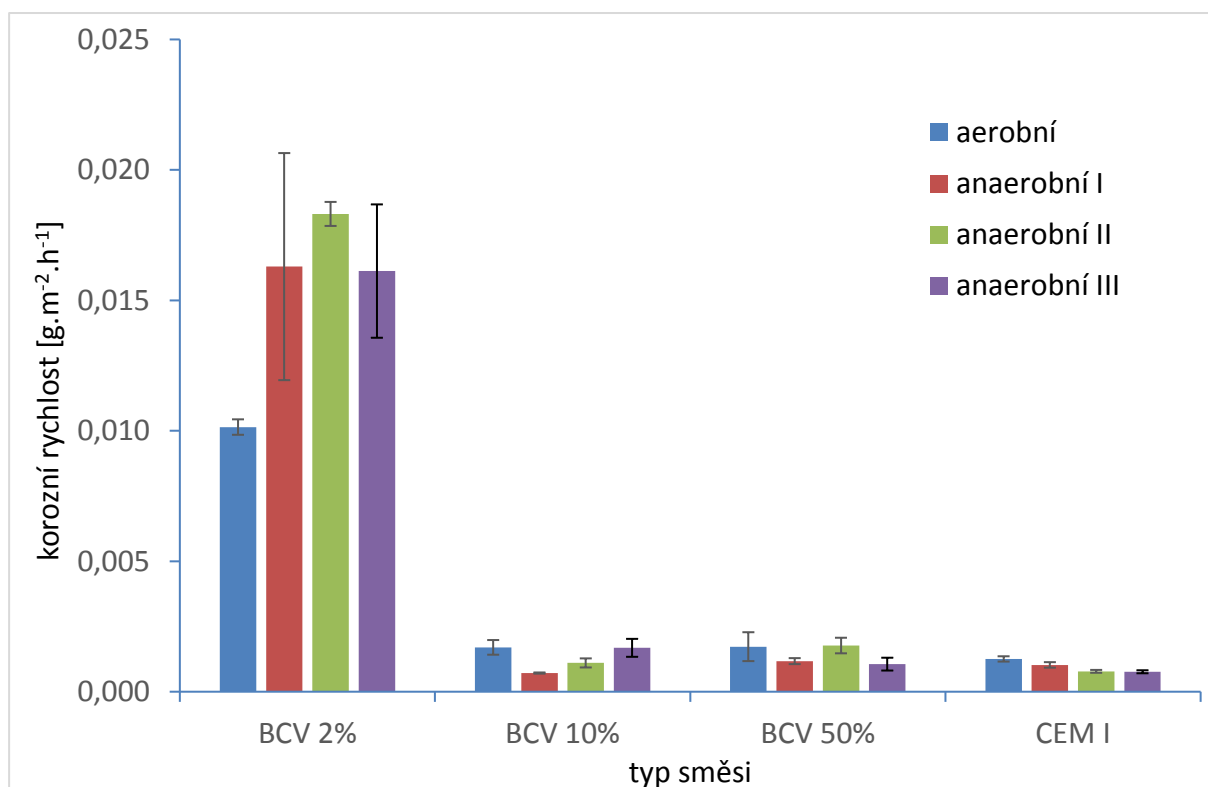
Obr. 3.9, Obr. 3.10 a Obr. 3.11 shrnují výsledky korozní rychlosti oceli v jednotlivých směsích. Výška sloupce odpovídá průměrné hodnotě korozní rychlosti a chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku. Významný rozdíl v korozní rychlosti byl zaznamenán mezi vzorky exponovanými ve směsi se dvěma procenty cementu, v níž byla korozí rychlost kolem 15 g/m²/h. Při vyšším obsahu cementu průměrná korozní rychlost klesá na úroveň nízkých jednotek mikrometru za rok. Rozdíl v korozní rychlosti v prostředí s 10, 50, resp. 100 cementu není statisticky významný. Stejně tak není významný ani rozdíl mezi aerobním a anaerobním režimem expozice. Průměrné korozní rychlosti ve směsích, s výjimkou směsi a 2 % cementu, v čase mírně klesají. V případě směsi s 2 % cementu je pokles korozní rychlosti možné pozorovat pouze u sad vzorků exponovaných za aerobních podmínek. Jelikož tento poznatek plyne ze tří experimentálních údajů, nelze mu přisuzovat podstatný význam. Závislost korozní rychlosti na době expozice naopak nebyla pozorována u ostatních sad ve směsi se 2 % cementu, které byly exponovány za anaerobních podmínek a u nichž se vývoj korozní rychlosti v čase ztrácí v rozdílech výsledků mezi jednotlivými sadami vzorků.



Obr. 3.9 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za první tři měsíce expozice ve směsích cement/bentonit



Obr. 3.10 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za prvních šest měsíců expozice ve směsích cement/bentonit



Obr. 3.11 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli za prvních devět měsíců expozice ve směsích cement/bentonit

Vzorky exponované v 2% směsi za anaerobních podmínek nevykazují lokalizované napadení. Jejich povrch je po třech měsících rovnoměrně naleptán tak, že je zviditelněna mikrostruktura.

Nepatrné důlky jsou pravděpodobně pozůstatky po přítomnosti vměstků. Delší expozice vede k prohloubení korozního napadení. Povrch je celoplošně naleptán. Stejný charakter napadení byl pozorován i za aerobních podmínek.

Lokalizace napadení je výraznější v 10% a 50% směsi, a to jak za anaerobních, tak aerobních podmínek. Objevují se lokálně napadené plochy o velikosti několika desetin milimetru.

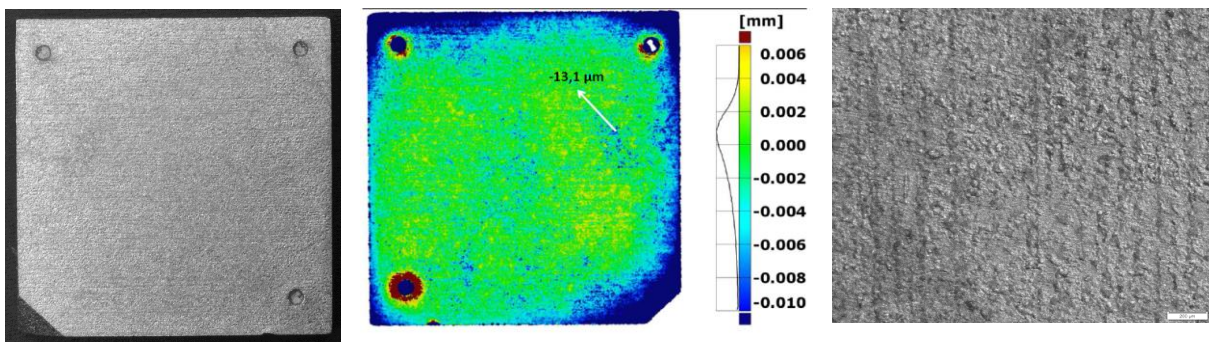
Vzorky exponované v čistém cementu lokálně napadené plochy nevykazují, nicméně i v tomto prostředí je ojediněle patrna místní koroze.

Hloubka napadení byla stanovena na základě optické profilometrie (protokoly jsou v příloze 5.3). Na Obr. 3.12 - Obr. 3.19 je zaznamenaný profil srovnáván s fotografickou dokumentací. Na každém záznamu profilu je vyznačen dob, ve kterém byla detekována maximální výchylka od roviny, která byla vzata za nulovou hladinu. Je pravděpodobné, že tato hladina koresponduje s původním povrchem vzorku v případech, kdy dochází k pasivaci části povrchu. To je případ obsahu cementu 10 % a vyššího. Ve směsi s 2 % cementu, kde byl povrch napaden celoplošně, je třeba počítat s tím, že nulová hladina na profilu se o korozní úbytek liší od původního povrchu. Maximální hloubka lokálního úbytku je tak ve vztahu k původnímu povrchu větší. Přesto byly tyto maximální lokální úbytky srovnávány tak, jak byly zjištěny. Kladné hodnoty zjištěné na profilometru nebyly brány v úvahu. Odpovídají pravděpodobně korozním produktům, které vznikly druhotně na aktivním povrchu po moření.

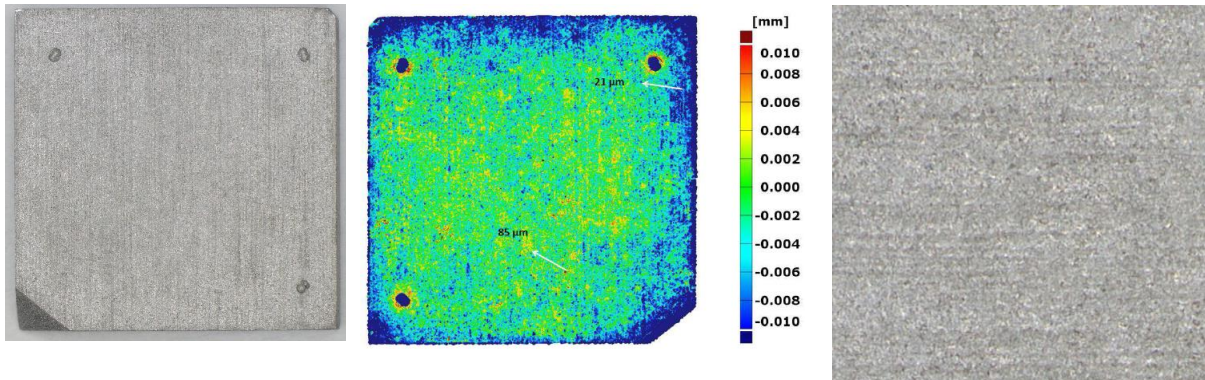
Snímky i profil vzorků exponovaných ve směsi s 2 % cementu prokazují celoplošné napadení vzorků za aerobních i anaerobních podmínek. Po odstranění korozních produktů je patrná deformační textura, kterou sleduje lokální napadení. Rozdíl mezi aerobními a anaerobními podmínkami není znatelný.

Vzhled i profilometrie vzorků exponovaných ve směsích s 10 a více procenty prokazuje, že většina povrchu zůstává při expozici v pasivním stavu, místně však dochází ke koroznímu napadení, jehož hloubka je mnohonásobkem průměrného korozního úbytku, který by vycházel z hmotnostního úbytku při započtení celé plochy vzorku. Maximální hloubky napadení nijak systematicky nesouvisí s dobou expozice ani s aerobními či anaerobními podmínkami expozice.

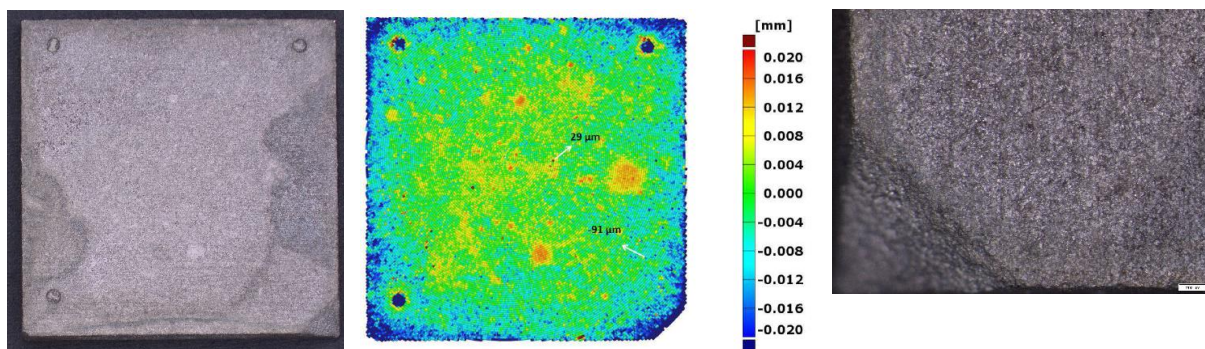
CB18-11, 3 měsíce:



CB04-11, 6 měsíců:

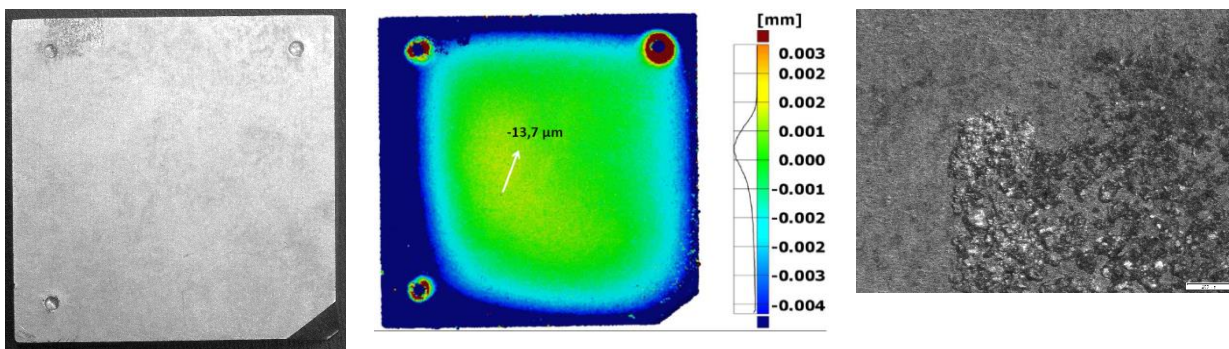


CB11-11, 9 měsíců:

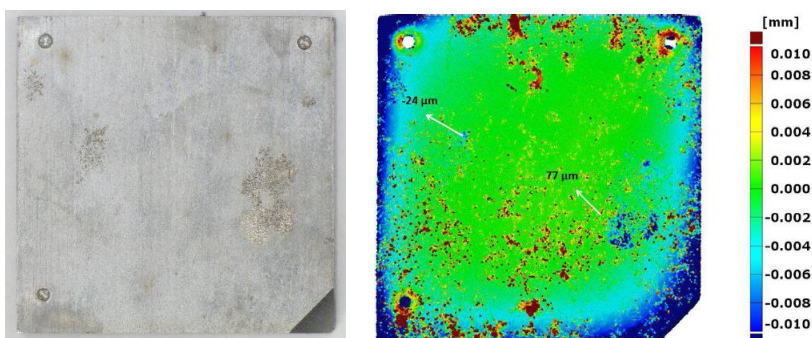


Obr. 3.12 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 2 % cementu za anaerobních podmínek

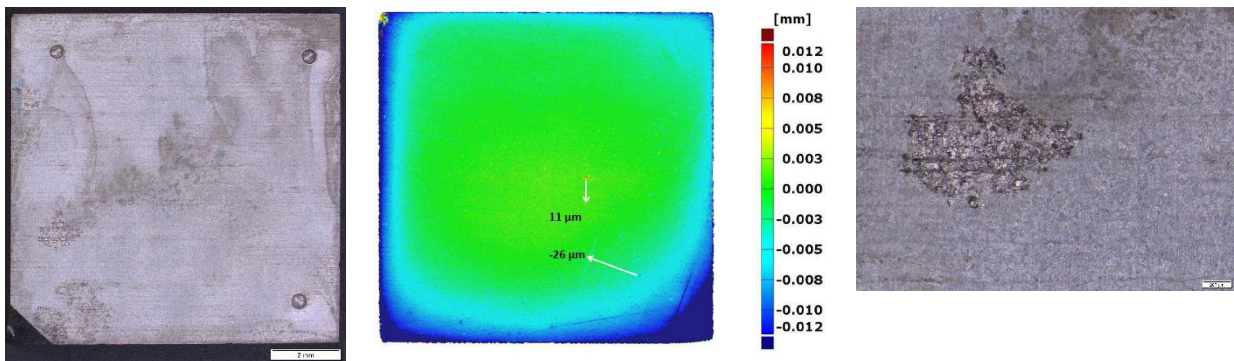
CB17-11, 3 měsíce:



CB12-11, 6 měsíců:

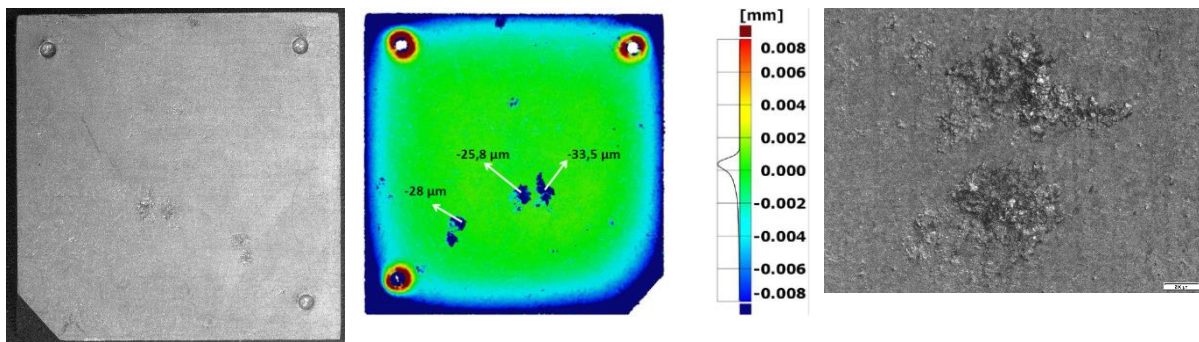


CB15-11, 9 měsíců:

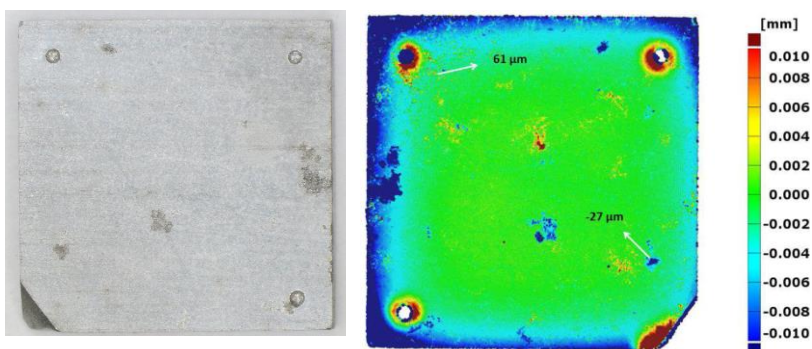


Obr. 3.13 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 10 % cementu za anaerobních podmínek

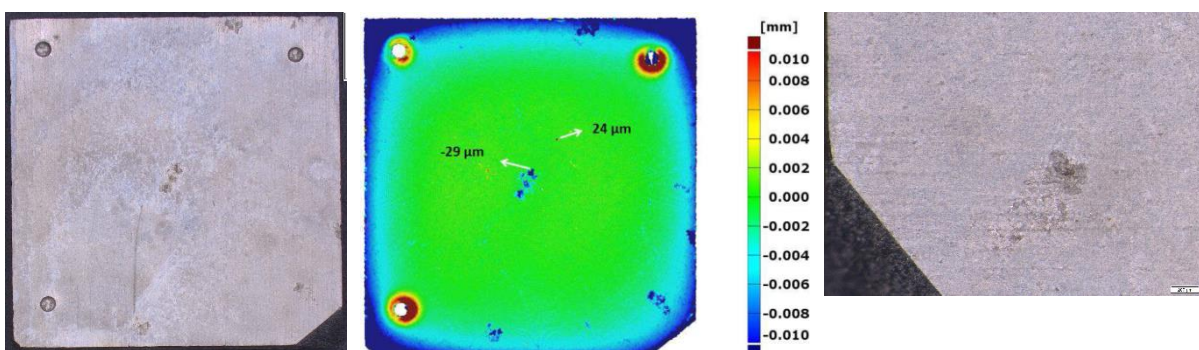
CB01-11, 3 měsíce:



CB20-11, 6 měsíců:

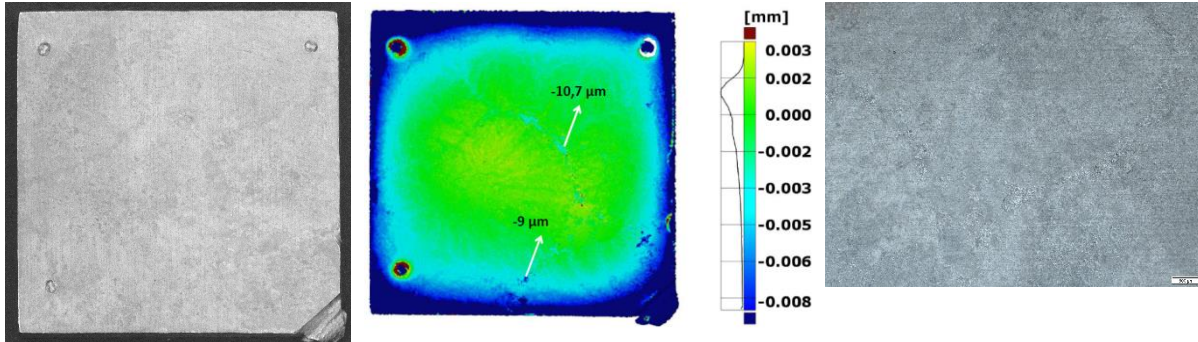


CB23-11, 9 měsíců:

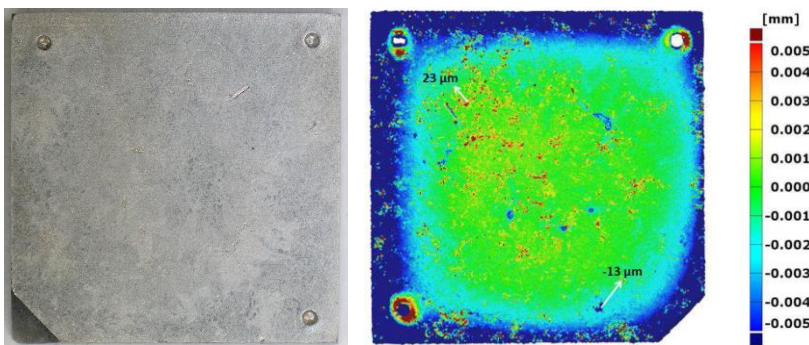


Obr. 3.14 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 50 % cementu za anaerobních podmínek

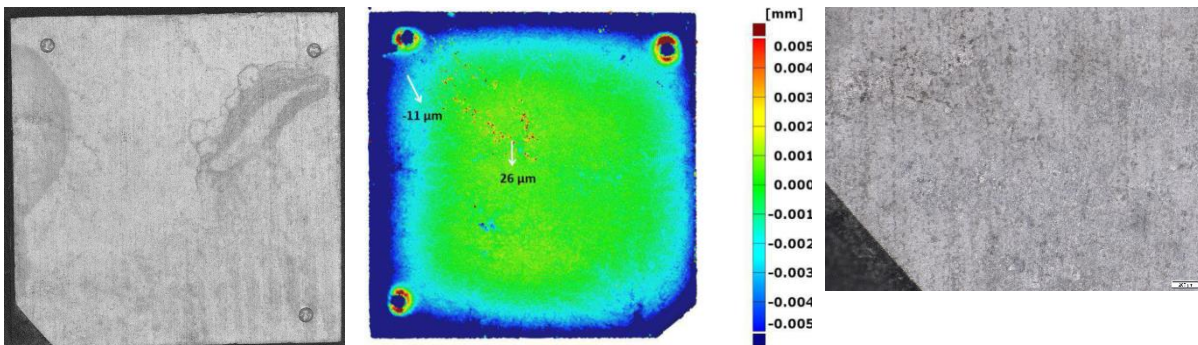
CB14-11, 3 měsíce:



CB21-11, 6 měsíců:

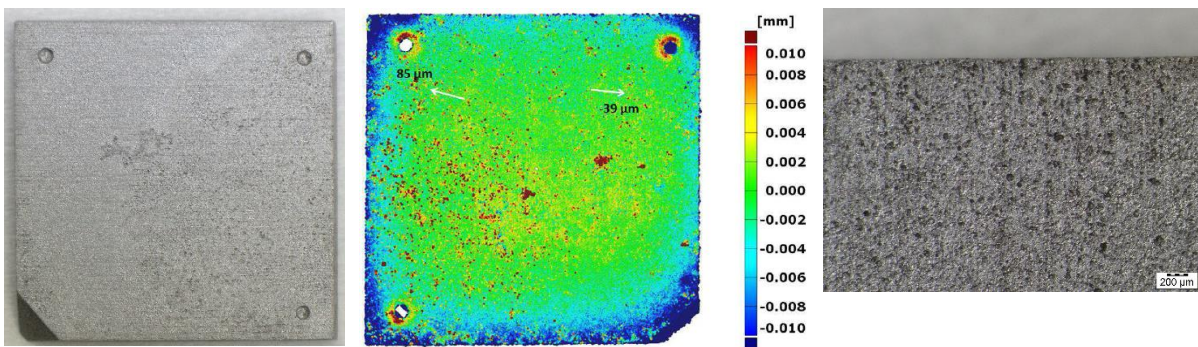


CB13-11, 9 měsíců:

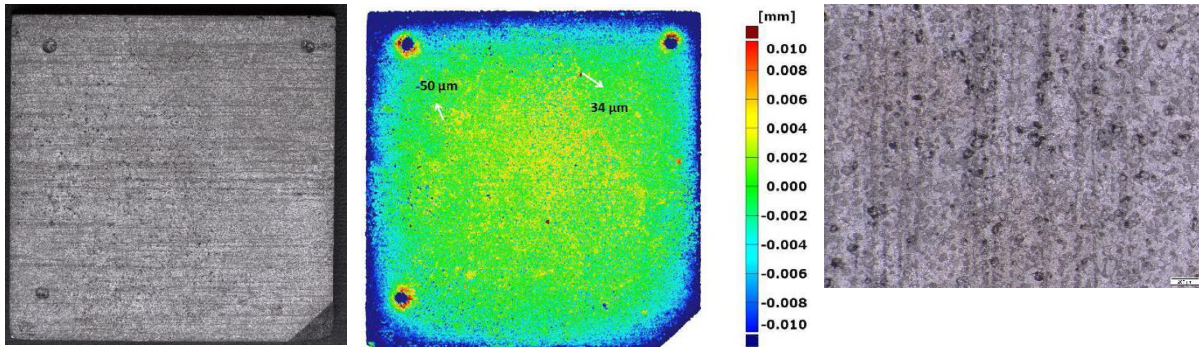


Obr. 3.15 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici v cementu za anaerobních podmínek

CB03-11, 6 měsíců:

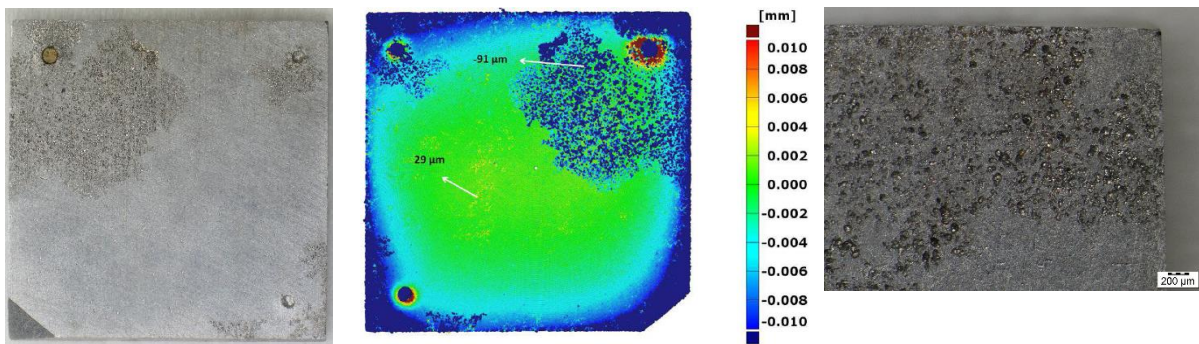


CB05-11, 9 měsíců:

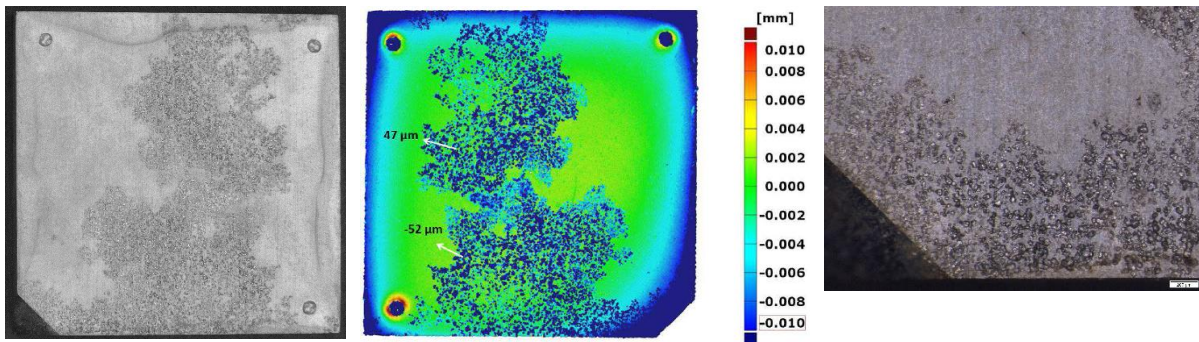


Obr. 3.16 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 2 % cementu za aerobních podmínek

CB10-11, 6 měsíců:

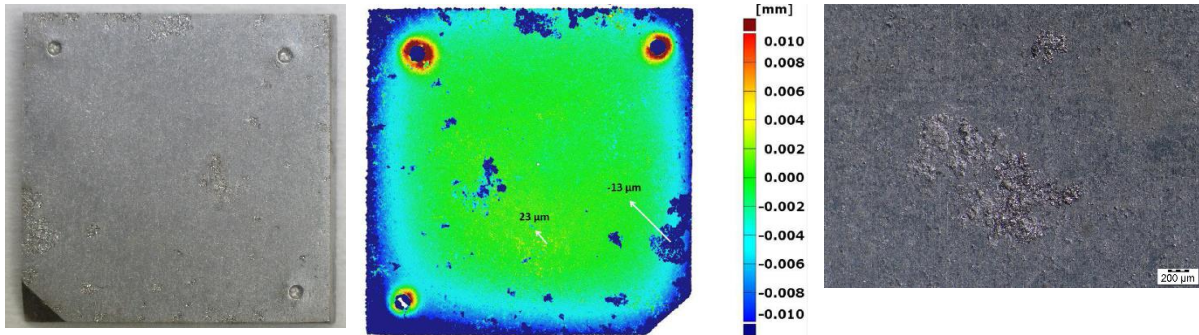


CB09-11, 9 měsíců:

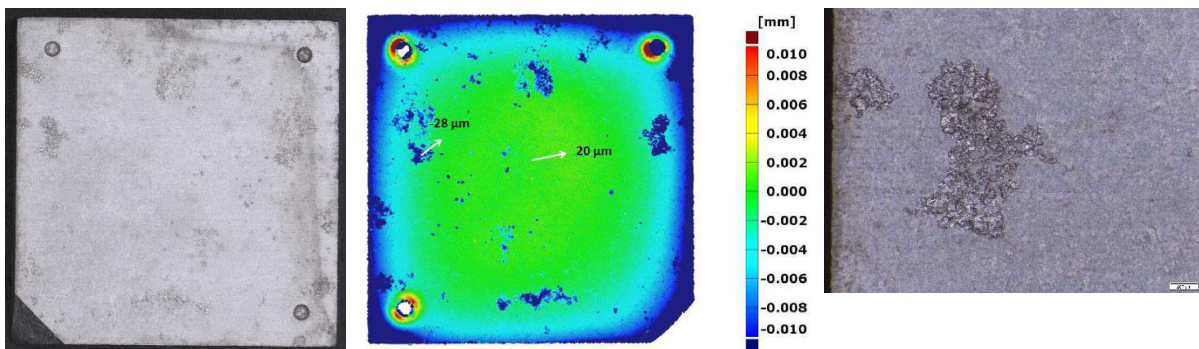


Obr. 3.17 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 10 % cementu za aerobních podmínek

CB22-11, 6 měsíců:

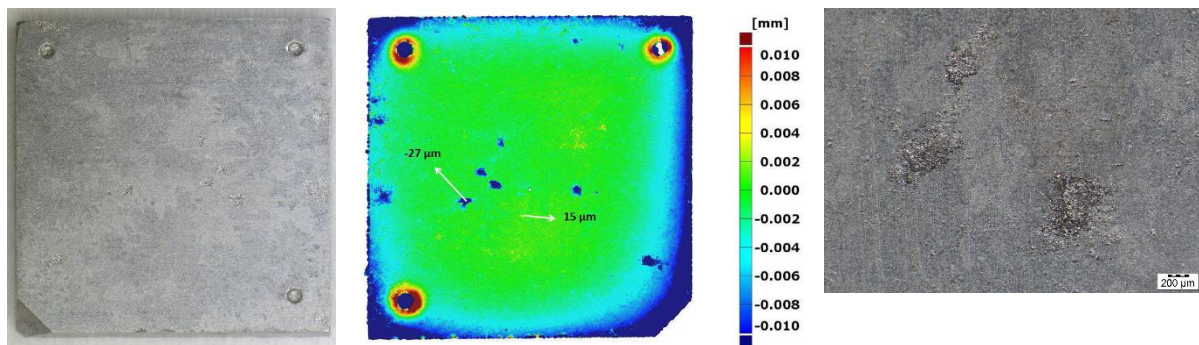


CB08-11, 9 měsíců:

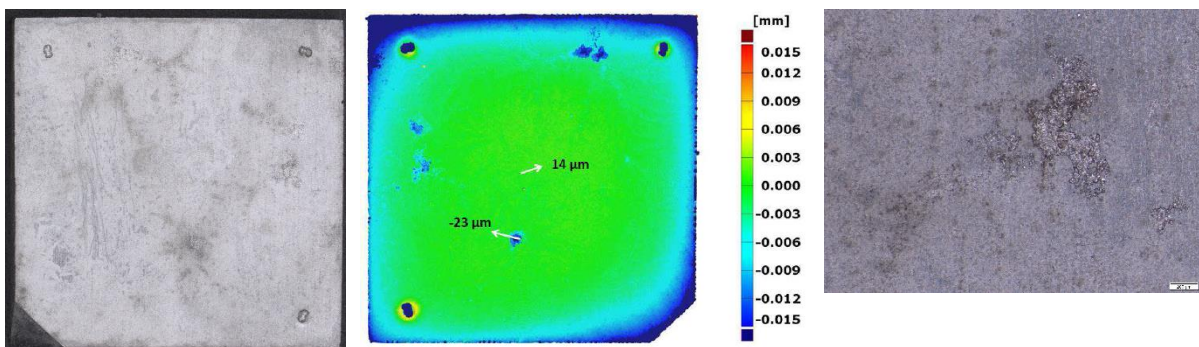


Obr. 3.18 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici ve směsi cement/bentonit s 50 % cementu za aerobních podmínek

CB02-11, 6 měsíců:



CB16-11, 9 měsíců:



Obr. 3.19 Vzhled a profilometrie vzorků po expozici v cementu za aerobních podmínek

Maximální zaznamenané lokální úbytky jsou shrnuty v Tab. 3-6. K maximálnímu lokálnímu úbytku je připočten průměrný úbytek tloušťky vyplývající z úbytku hmotnosti za danou dobu expozice a z tohoto součtu je vypočtena hypotetická maximální korozní rychlost. Je zřejmé, že po započtení lokálního napadení se rozdíl v korozním chování oceli v jednotlivých směsích stírá. Na druhou stranu je třeba konstatovat, že míra maximální lokalizace se v čase nezvyšuje a lze tedy předpokládat, že vliv lokalizace na maximální korozní rychlost bude postupně klesat.

Tab. 3-6 Míra lokálního napadení vzorků podle optické profilometrie a odhad maximální korozní rychlosti odvozený ze součtu plošného korozního úbytku a maximální lokalizace

vzorek	směs	doba expozice [měsíce]	max. lokalizace [μm]	korozní rychlost z hm. úbytku [μm/rok]	průměrný korozní úbytek z hm. úbytku [μm]	hypotetická max. korozní rychlost [μm/rok]
CB 18-11	2%, AN	3	13,1	20,1	5,0	73
CB 04-11	2%, AN	6	21	21,5	10,7	63
CB 11-11	2%, AN	9	91	18,1	13,6	139
CB 17-11	10%, AN	3	13,7	1,9	0,5	57
CB 12-11	10%, AN	6	24	1,0	0,5	49
CB 15-11	10%, AN	9	26	0,8	0,6	35
CB 01-11	50%, AN	3	33,5	3,1	0,8	137
CB 20-11	50%, AN	6	27	1,7	0,8	56
CB 23-11	50%, AN	9	29	1,3	1,0	40
CB 14-11	100%, AN	3	10,7	2,8	0,7	46
CB 21-11	100%, AN	6	13	1,6	0,8	28
CB 13-11	100%, AN	9	11	1,4	1,1	16
CB 03-11	2%, AE	6	39	12,4	6,2	90
CB 05-11	2%, AE	9	50	11,2	8,4	78
CB 10-11	10%, AE	6	91	2,2	1,1	184
CB 09-11	10%, AE	9	52	1,9	1,4	71
CB 22-11	50%, AE	6	13	2,4	1,2	28
CB 08-11	50%, AE	9	28	1,9	1,4	39
CB 02-11	100%, AE	6	27	1,8	0,9	56
CB 16-11	100%, AE	9	23	1,4	1,1	32

Náchylnost uhlíkové oceli ČSN 12 020 k lokálnímu koroznímu napadení byla testována v modelových roztocích o různých úrovních pH, ovšem při jednotné úrovni koncentrace chloridů, které odpovídá koncentraci v SBPOW. Základním měřením, kterým byla testována metodika, bylo realizováno při laboratorní teplotě a v provzdušňovaném elektrolytu. Podmínky a výsledné pH elektrolytu jsou shrnuty v Tab. 3-7.

Tab. 3-7 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem

podíl SBPOW [obj. %]	podíl Ca(OH) ₂ [obj. %]	Celkový obsah NaCl [g/l]	dodatek NaCl [g/l]	Koncentrace Cl ⁻ [mol/l]	pH
100	0	0,4191	0,0000	0,007171	8,50
98	2	0,4192	0,0085	0,007173	9,40
95	5	0,4197	0,0216	0,007182	9,9
90	10	0,4191	0,0419	0,007171	10,1
80	20	0,4188	0,0838	0,007166	10,0
50	50	0,4196	0,2100	0,007180	11,6
20	80	0,4192	0,3354	0,007173	12,0
0	100	0,4191	0,4191	0,007171	12,2

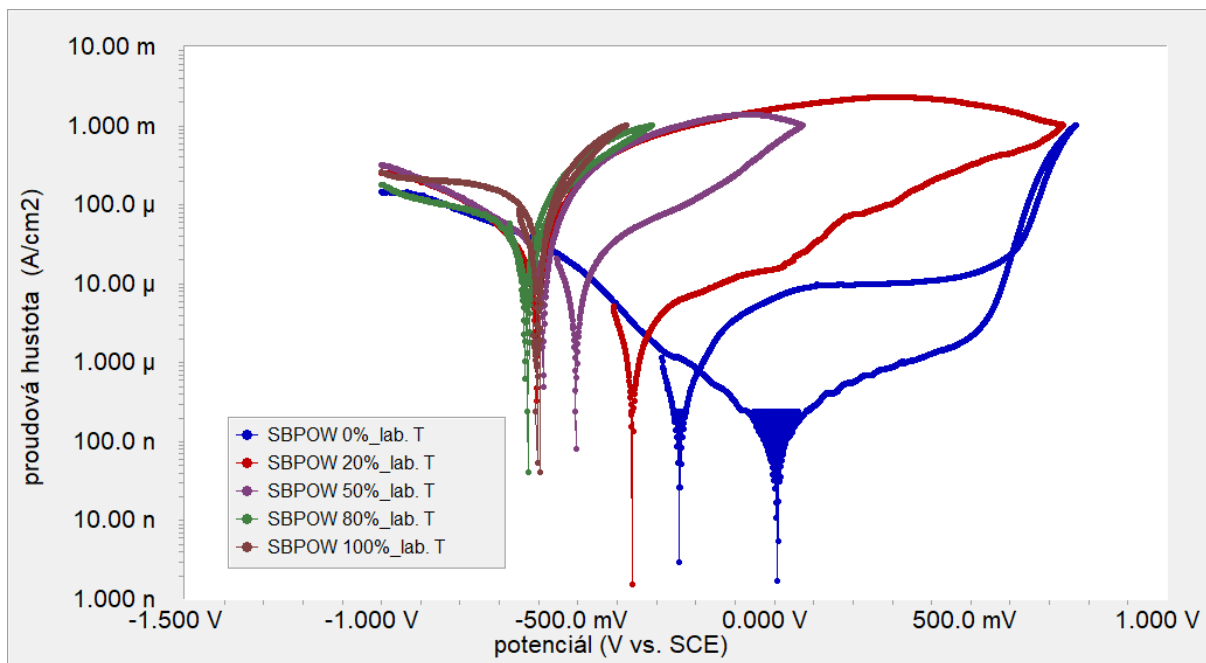
Jednotlivé elektrochemické korozní parametry uvedené v Tab. 3-8 a záznamy vybraných cyklických polarizačních křivek na Obr. 3.20 se vzájemně doplňují a ukazují, že ocel je za laboratorní teploty a ovzdušňování elektrolytu samovolně v pasivním stavu až do poměru roztoků SBPOW a Ca(OH)₂ 50:50, tzn. do pH 11,6, a to i přes to, že iniciace štěrbinové koroze je usnadňována třemi o-kroužky, které jsou navlečeny na plášť válce, který tvoří vzorek oceli. Při poměru 80:20 a vyšším je ocel samovolně v aktivním stavu, koroze probíhá plošně a není lokalizována do štěrbin, což potvrzují fotografie vzorků po expozici (Obr. 3.21).

Přechod mezi pasivním a aktivním stavem při samovolném korozním potenciálu (tedy bez polarizace) není zřejmý z korozních proudových hustot, které se od 20 do 90 % SBPOW pohybují v řádu jednotek $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, což zhruba odpovídá při rovnoměrné korozi korozní rychlosti v desítkách $\mu\text{m}/\text{rok}$, a výrazně se zvyšují až od podílů SBPOW 95% a výše, tedy zhruba při $\text{pH} < 10$. Přesnost určení korozní proudové hustoty je omezená, lépe je rozdíl v korozní rychlosti pro roztoky s vysokým podílem Ca(OH)₂ patrný z hodnot polarizačního odporu, který je nepřímo úměrný korozní rychlosti. V roztoku s 20 % SBPOW je korozní rychlost o řád vyšší než v roztoku 50:50 a asi 4x vyšší než v roztoku Ca(OH)₂ s daným obsahem chloridů. Odolnost oceli, která je samovolně v pasivním stavu, tedy pro poměr SBPOW a Ca(OH)₂ 50:50, 20:80 a 0:100, roste logicky v tomto pořadí tak, jak roste pH roztoku. Čím zápornější je průrazový potenciál E_b , tím nižší je odolnost. O odolnosti k lokalizované korozi nevypovídá jen průrazový potenciál, ale i repasivační E_{rp} , tedy potenciál, při němž dojde k opětovnému zapasivování aktivních míst při zpětné polarizaci. Materiály, které mají rozdíl mezi E_b a E_{rp} velký, nebo je-li E_{rp} dokonce zápornější než samovolný korozní potenciál E_{kor} , nelze považovat za odolné vůči bodové, resp. štěrbinové korozi. To je bohužel případ obou směsí SBPOW a Ca(OH)₂ v poměrech 50:50, 20:80. Pouze v roztoku Ca(OH)₂ s chloridy došlo k repasivaci při potenciálu kladnějším než E_{kor} .

Tab. 3-8 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem

podíl SBPOW [obj. %]	E_{kor} po 30min [mV(SCE)]	R_p po 30min [$\Omega \cdot \text{m}^2$]	j_{kor} z PDA [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	E_b [mV(SCE)]	E_{rp} resp. E_{kor2} [mV(SCE)]
100	-578	0,05	48	aktivita	-597
98	-564	0,10	111	aktivita	-580
95	-560	0,11	33	aktivita	-589

90	-621	0,12	2,5	aktivita	-628
80	-618	0,09	2,1	aktivita	-635
50	-504	0,28	5,0	-70	-588
20	-360	1,7	2,0	14	-605
0	-263	7,1	0,2	575	560



Obr. 3.20 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem



0:100



20:80



50:50



80:20



100:0

Obr. 3.21 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem

V dalším měření byla pozornost věnována vybraným poměrům roztoků. Sledován by především vliv zvýšené teploty na 70 °C a odvzdušnění elektrolytu dusíkem. Podmínky expozice a výsledné parametry jsou uvedeny v Tab. 3-9.

Zvýšení teploty na 70 °C při zachování probublávání vzduchem vede k poklesu korozní odolnosti oceli. Zvýšenou teplotou klesá polarizační odpor a roste tedy korozní rychlost, k samovolné pasivaci dochází pouze v roztoku $\text{Ca}(\text{OH})_2$. To jednoznačně dokazují cyklické polarizační křivky na Obr. 3.19.

Odkysličení roztoku při teplotě 70 °C vede celkově k výraznému snížení korozní rychlosti. Mezi polarizačními odpory v ovzdušněném a odvzdušněném roztoku je rozdíl jednoho řádu. Samovolná pasivita byla zaznamenána i při poměru 50:50, ačkoliv vzhledem k velmi zápornému průrazovému potenciálu je odolnost vůči lokalizované korozi neprůkazná (Obr. 3.23).

Vzhled vzorků po cyklické polarizaci za zvýšené teploty je zdokumentován na Obr. 3.24 a Obr. 3.25.

Vliv teploty a okysličení na korozní rychlost při samovolném korozním potenciálu shrnuje Obr. 3.26. Trend snižování korozní rychlosti s rostoucím podílem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ je zřejmý pro všechny podmínky. Vzhledem k logaritmickému měřítku na ose polarizačního odporu se jedná o velmi významné rozdíly. Zvýšená teplota v ovzdušněném elektrolytu vede vždy k růstu korozní rychlosti, zatímco odvzdušnění elektrolytu při 70 °C snižuje korozní rychlost na nižší hodnoty než v provzdušněném elektrolytu při laboratorní teplotě.

Tab. 3-9 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při 70 °C a probublávání vzduchem

podíl SBPOW [obj. %]	podíl Ca(OH) ₂ [obj. %]	Celkový obsah NaCl [g/l]	dodatek NaCl [g/l]	Koncentrace Cl ⁻ [mol/l]	pH
100	0	0,4191	0,0000	0,007171	8,25
90	10	0,4194	0,0422	0,007177	9,92
80	20	0,4192	0,0839	0,007173	9,90
50	50	0,4199	0,2103	0,007185	11,56
0	100	0,4191	0,4191	0,007171	12,11

Tab. 3-10 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem

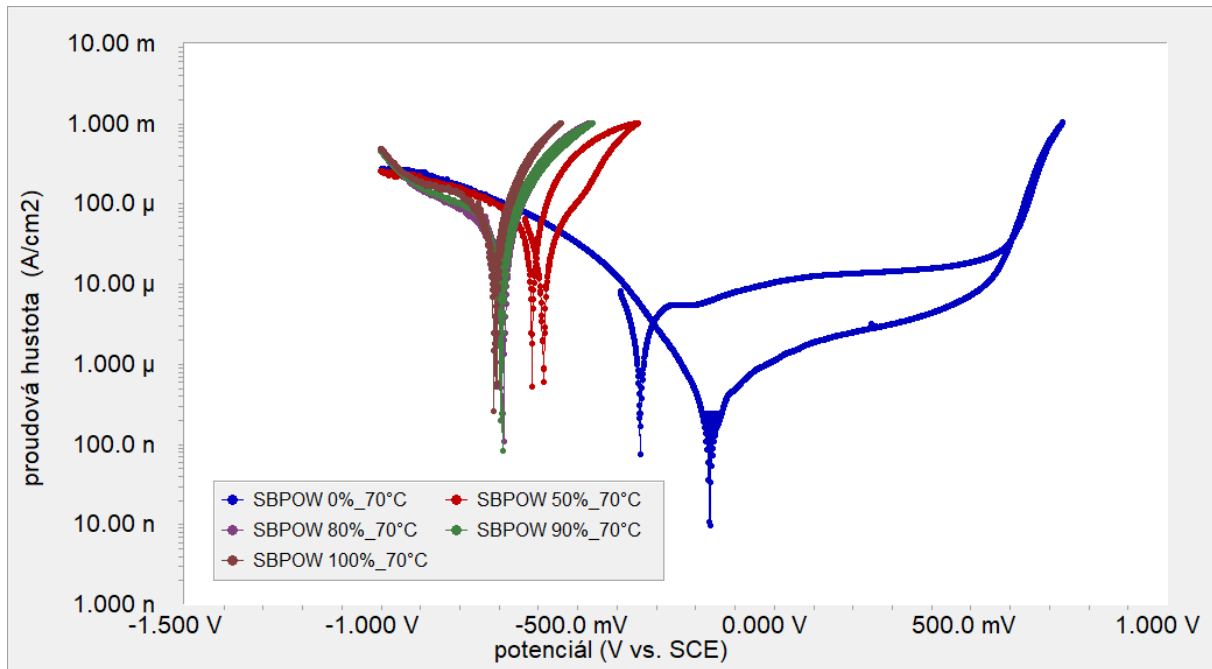
podíl SBPOW [obj. %]	E _{kor} po 30min [mV(SCE)]	R _p po 30min [Ω.m ²]	j _{kor} z PDA [μA/cm ²]	E _b [mV(SCE)]	E _{rp} resp. E _{kor2} [mV(SCE)]
100	-688	0,03	27,5	aktivita	-713
90	-691	0,08	>10	aktivita	-698
80	-683	0,07	>10	aktivita	-697
50	-579	0,10	21,3	aktivita	-616
0	-336	0,92	3,4	589	589

Tab. 3-11 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při 70 °C a probublávání dusíkem

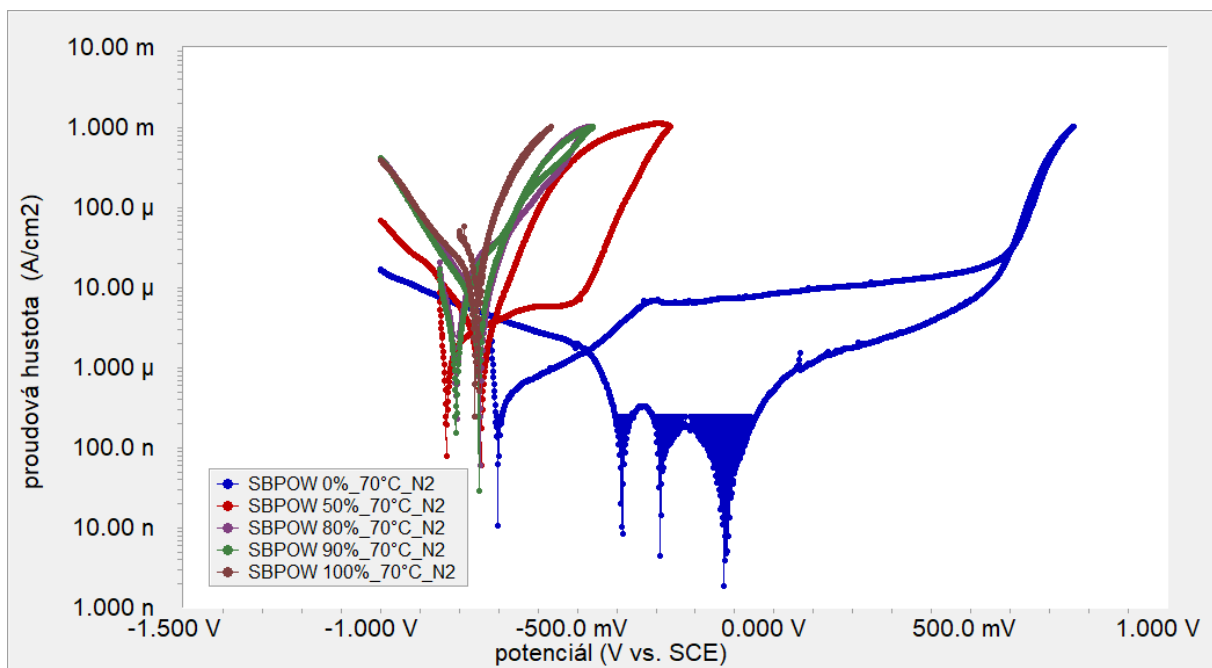
podíl SBPOW [obj. %]	podíl Ca(OH) ₂ [obj. %]	Celkový obsah NaCl [g/l]	dodatek NaCl [g/l]	Koncentrace Cl ⁻ [mol/l]	pH
100	0	0,4191	0,0000	0,007171	8,44
90	10	0,4191	0,0419	0,007171	9,97
80	20	0,4191	0,0838	0,007171	10,05
50	50	0,4197	0,2101	0,007182	11,55
0	100	0,4191	0,4191	0,007171	12,05

Tab. 3-12 Složení modelových roztoků pro modelové zkoušky při laboratorní teplotě a probublávání dusíkem

podíl SBPOW [obj. %]	E _{kor} po 30min [mV(SCE)]	R _p po 30min [Ω.m ²]	j _{kor} z PDA [μA/cm ²]	E _b [mV(SCE)]	E _{rp} resp. E _{kor2} [mV(SCE)]
100	-750	0,11	63,4	aktivita	-760
90	-798	0,51	1,88	aktivita	750
80	-798	0,40	1,72	aktivita	-746
50	-693	4,92	1,5	-480	-710
0	-606	28,2	0,6	583	583



Obr. 3.22 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50, 80:20, 90:10 a 100:0 při 70 °C a probublávání vzduchem



Obr. 3.23 Cyklické polarizační křivky pro ocel ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50, 80:20, 90:10 a 100:0 při 70 °C a probublávání dusíkem



0:100



50:50



80:20

Obr. 3.24 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50 a 80:20 při teplotě 70 °C a probublávání vzduchem



0:100

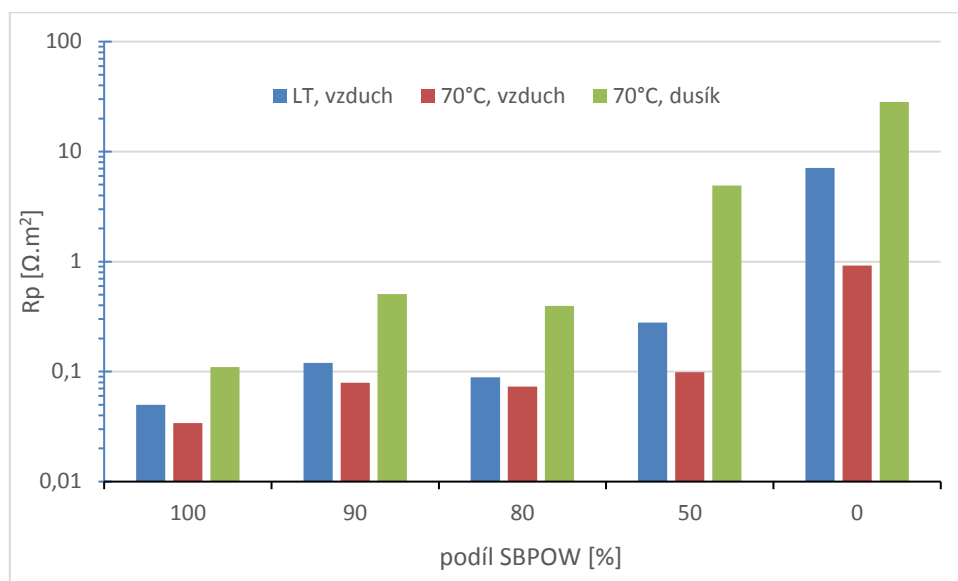


50:50



80:20

Obr. 3.25 Vzorky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 50:50 a 80:20 při teplotě 70 °C a probublávání dusíkem



Obr. 3.26 Vzorčky oceli ČSN 12 020 s o-kroužky pro usnadnění štěrbinového napadení po expozici s cyklickou polarizací v roztocích SBPOW a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v poměrech 0:100, 20:80, 50:50, 80:20 a 100:0 při laboratorní teplotě a probublávání vzduchem

4 Závěr

Bez ohledu na to, zda byly vzorky exponovány v aerobní, či anaerobním režimu, nejvyšší průměrná korozní rychlost, vypočtená z hmotnostního úbytku s předpokladem, že koroze probíhá rovnoměrně po celém povrchu vzorku, byla pozorována ve směsi s 2 % cementu. Pokud bude uvažováno rovnoměrné napadení, lze považovat zjištěnou průměrnou korozní rychlost přibližně 15 mg/m²/h za blízkou rychlosti rovnoměrného korozního úbytku 15 μm/rok, resp. nejvyšší zaznamenaná korozní rychlost byla 21 μm/rok. Výrazně nižší korozní rychlosti v nízkých jednotkách mg/m²/h byly zaznamenány po expozici v 10 a 50% směsi cementu s bentonitem a v cementu. Ve směsích cementu s bentonitem však bylo pozorováno lokalizované napadení, jehož rychlost lokálně může být výrazně vyšší než jednotky μm/rok. Výsledky 3D optické profilometrie potvrzují, že lokální napadení vztahované k zapasivovanému povrchu okolního kovu dosahuje hloubky desítek mikrometrů. Největší lokální napadení mělo hloubku 90 μm a bylo zaznamenáno u vzorku exponovaného 6 měsíců ve směsi s 10 % cementu za aerobních podmínek. Pokud spekulativně přičteme rychlost lokálního napadení k průměrné rychlosti plošné koroze, dostáváme i u vzorků exponovaných ve směsi s 10 a více procenty korozní rychlost lokálně až 184 μm/rok (většinou v řádu desítek μm/rok).

Uhlíková ocel exponovaná ve směsi s 2 % cementu sice koroduje aktivně po celém svém povrchu, nedochází k pasivaci na žádné části povrchu, i v tomto případě jsou však pozorovány oblasti s výrazně větším korozním napadením. Toto lokálně zvýšené napadení je rozloženo po povrchu vzorku rovnoměrněji než v případě vzorků exponovaných ve směsích s větším podílem cementu. Spekulativním součtem rovnoměrného úbytku s lokálně maximálním úbytkem dostáváme korozní rychlost v desítkách μm/rok, v jednom z uvažovaných případů až 139 μm/rok. Maximální hypotetický korozní rychlost se tak ve směsi s 2 % cementu neliší výrazně od té ve směsi z 10 a více procenty cementu.

Elektrochemické zkoušky v modelovém roztoku s různými podíly SBPOW a nasyceného roztoku Ca(OH)₂ při vždy stejném obsahu chloridů naznačují, že uhlíková ocel přechází samovolně do pasivního stavu při pH asi 11,5. Pasivní vrstva ale není příliš stabilní a při malé anodické polarizaci dochází k jejímu porušení na stíněném povrchu.

Na základě doposud provedených korozních zkoušek nelze jednoznačně konstatovat, zda by použití směsí bentonit – cement bylo přínosem pro celkovou životnost ukládacího obalového souboru v podmínkách hlubinného úložiště. Riziko vzniku lokalizovaného napadení je vzhledem k nízké stabilitě pasivní vrstvy velké, nicméně propagace lokálního napadení není dle provedených experimentů zcela zřejmá a není možné odhadovat dlouhodobý charakter/vývoj lokálního napadení v těchto typech materiálu. Dlouhodobé expozice uhlíkové oceli v těchto směsích by mohly umožnit lepší srovnání přínosů a negativ těchto systémů a následně zhodnotit celkový přínos pro bezpečnost hlubinného úložiště radioaktivních odpadů.

Literatura:

ČSN CEN ISO/TS 17892-1 (2005): Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti. Český normalizační institut, 12 str.

ČERVINKA R., GONDOLLI, J. (2016): Výběr reprezentativních podzemních vod a příprava jejich syntetických ekvivalentů. – Technická zpráva číslo 41/2016. SÚRAO, Praha.

R BENNETT D.G, GENS R. (2008): Overview of European concepts for high-level waste and spent fuel disposal with special reference waste container corrosion, Journal of Nuclear Materials 379, 1–8

TOWNSEND H.E. (1970): Potencial-pH Diagrams at Elevated Temperature for the System Fe-H₂O, Corrosion Science, 1970. Vol. 10, pp. 343 to 358

SUCHOTIN A.M., PARPUC I.V. (1984): Vliv pH na passivacii železa, Zaščita Metallov, 20, 73

MADINA V. (2002): Materials for High Level Waste (HLW) Containers, Corrosion in Saturated Bentonite, International Corrosion Congress 2002

5 Přílohy

5.1 Vzhled vzorků po expozici a po moření

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB37-11

ABM BCV 2%

3 měsíce

aerobní



CB37-19

ABM BCV 2%

3 měsíce

aerobní



CB37-18

ABM BCV 2%

3 měsíce

aerobní



CB37-98

ABM BCV 2%

3 měsíce

aerobní



Lokalizované napadení:



CB37_11



CB37_18

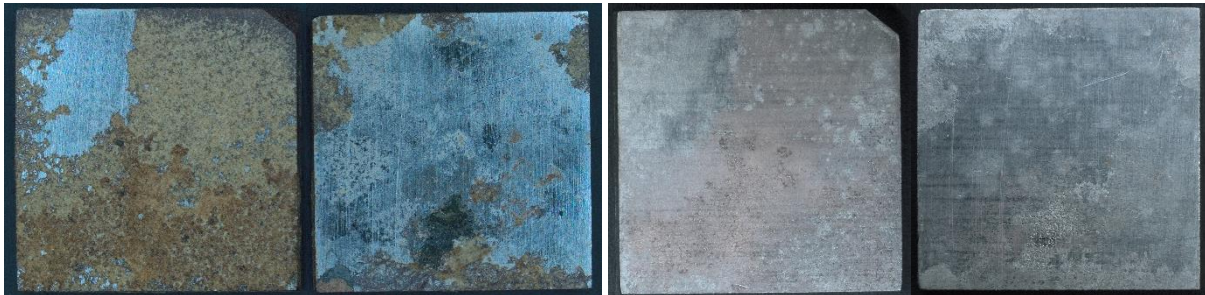
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB28-11

ABM BCV 10%

3 měsíce

aerobní



CB28-19

ABM BCV 10%

3 měsíce

aerobní



CB28-18

ABM BCV 10%

3 měsíce

aerobní

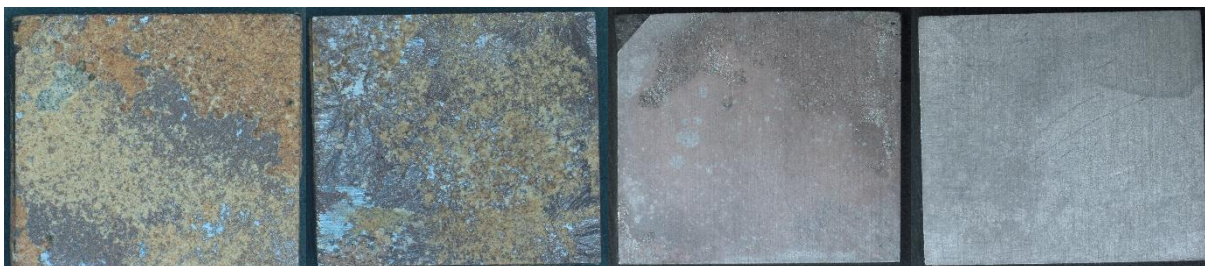


CB28-98

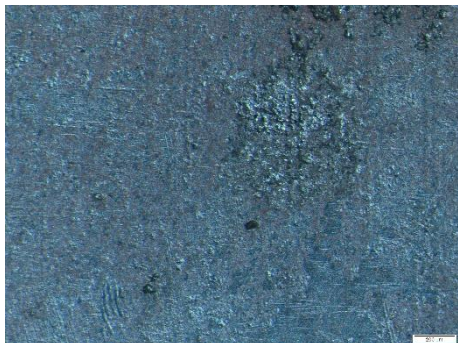
ABM BCV 10%

3 měsíce

aerobní



Lokalizované napadení:



CB28_18



CB28_18

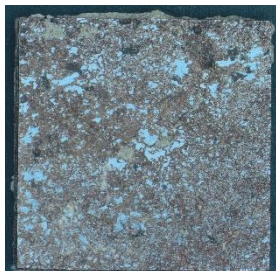
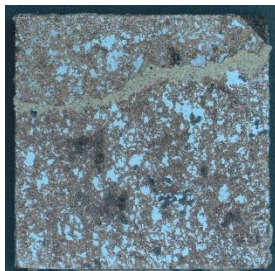
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB32-11

ABM BCV 50%

3 měsíce

aerobní

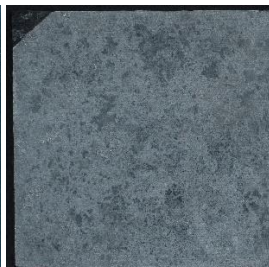
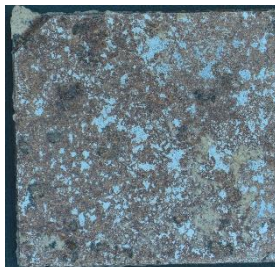


CB32-19

ABM BCV 50%

3 měsíce

aerobní

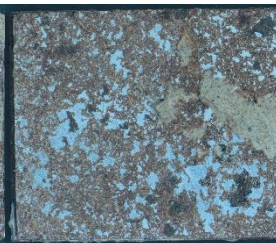
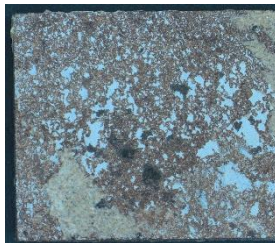


CB32-18

ABM BCV 50%

3 měsíce

aerobní

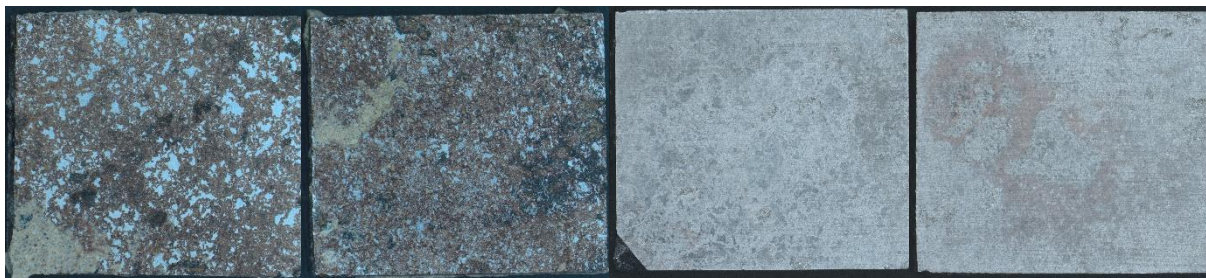


CB32-98

ABM BCV 50%

3 měsíce

aerobní



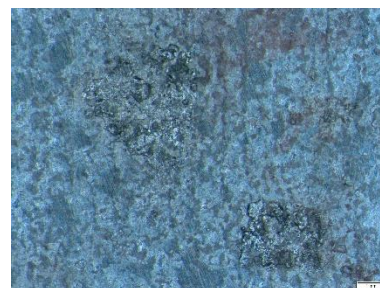
Lokalizované napadení:



CB32_11



CB32_19



CB32_98

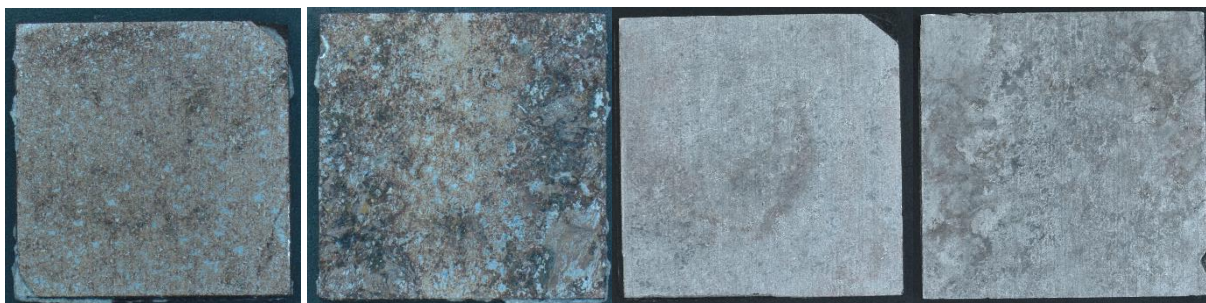
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB34-11

ABM CEM I

3 měsíce

aerobní

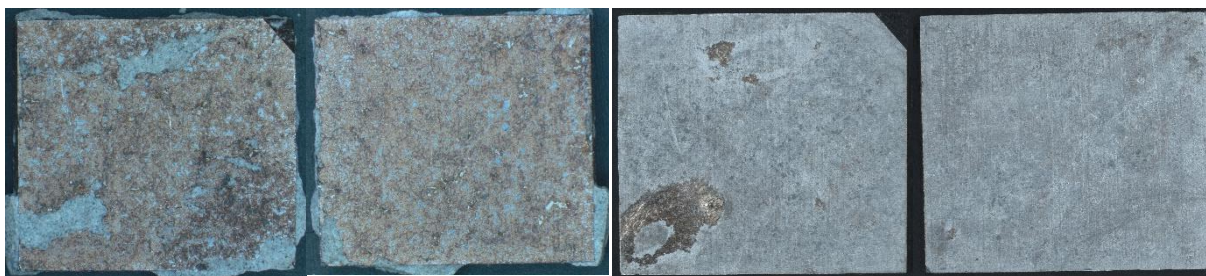


CB34-19

ABM CEM I

3 měsíce

aerobní

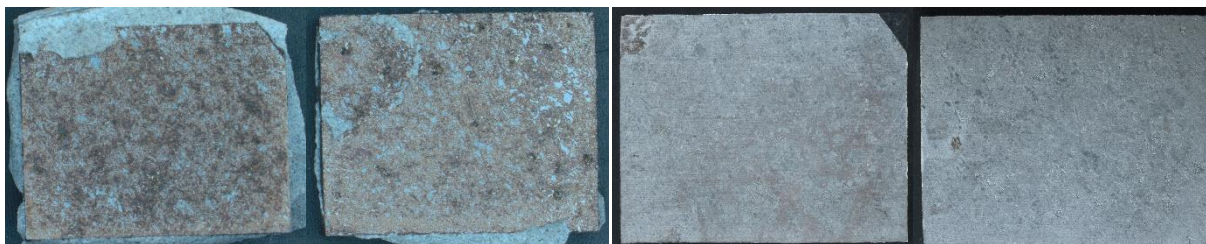


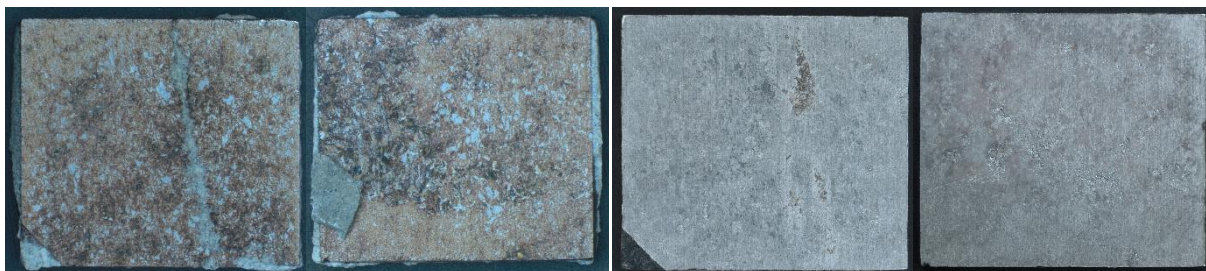
CB34-18

ABM CEM I

3 měsíce

aerobní



CB34-98
ABM CEM I
3 měsíce
aerobní


Lokalizované napadení:

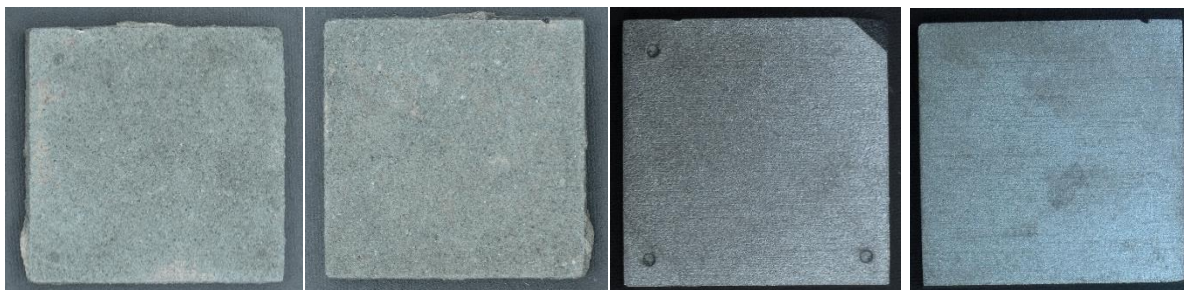


CB34_11

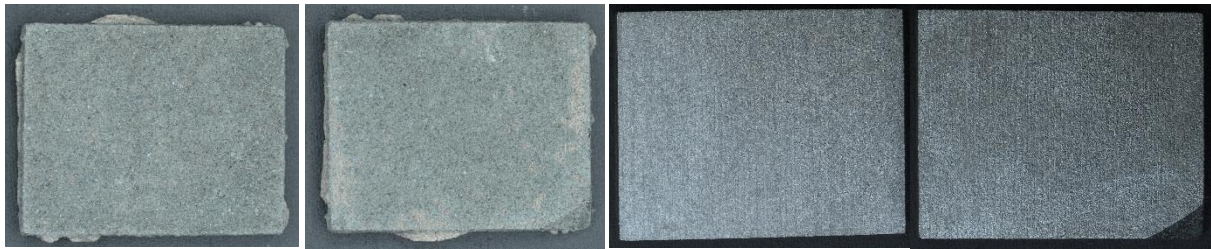
CB34_18

CB34_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB18-11
ABM BCV 2%
3 měsíce
anaerobní

CB18-19
ABM BCV 2%
3 měsíce
anaerobní

CB18-18
ABM BCV 2%
3 měsíce
anaerobní

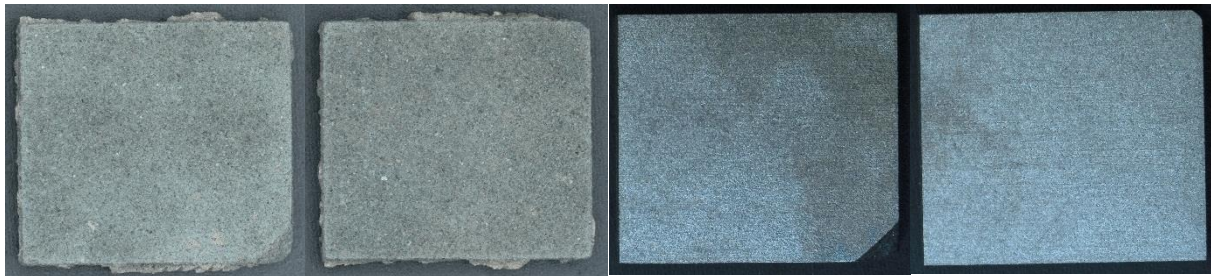


CB18-98

ABM BCV 2%

3 měsíce

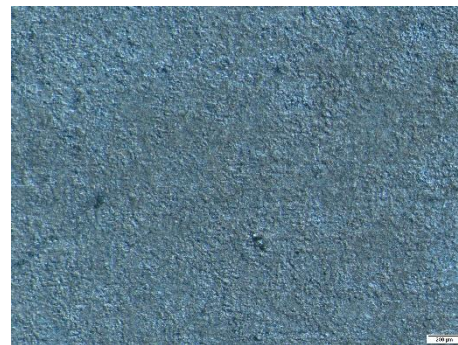
anaerobní



Lokalizované napadení:



CB18_11



CB18_19

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB25-11

ABM BCV 2%

3 měsíce

anaerobní

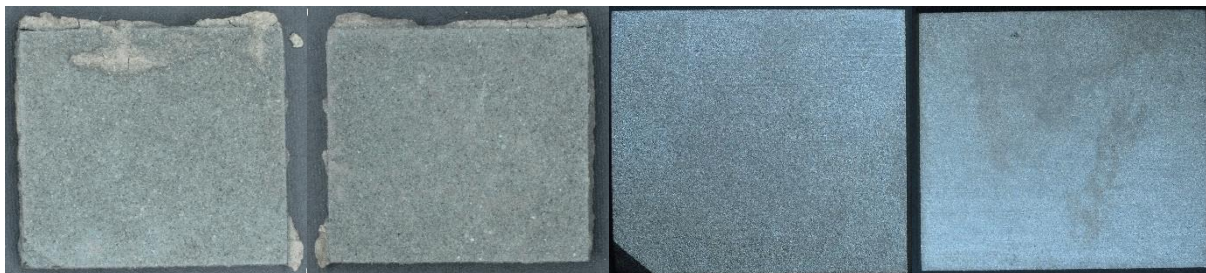


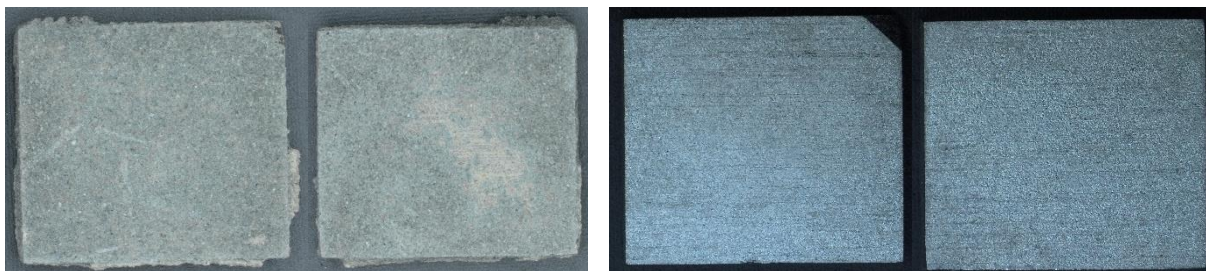
CB25-19

ABM BCV 2%

3 měsíce

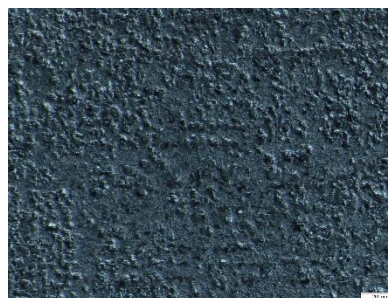
anaerobní


CB25-18
ABM BCV 2%
3 měsíce
anaerobní

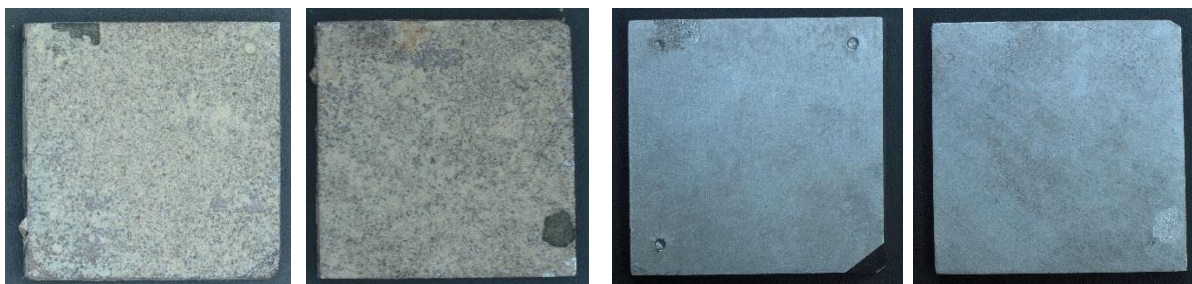
CB25-98
ABM BCV 2%
3 měsíce
anaerobní


Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):


CB25_11

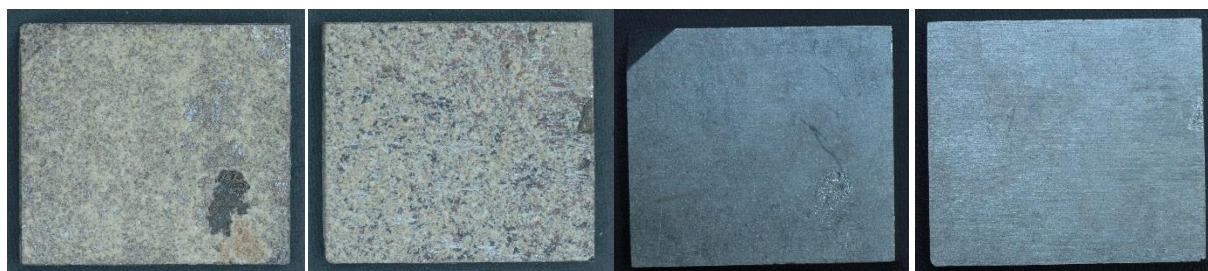
CB25_19

CB25_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

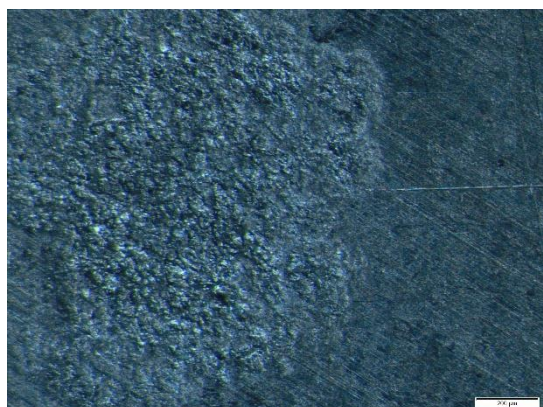
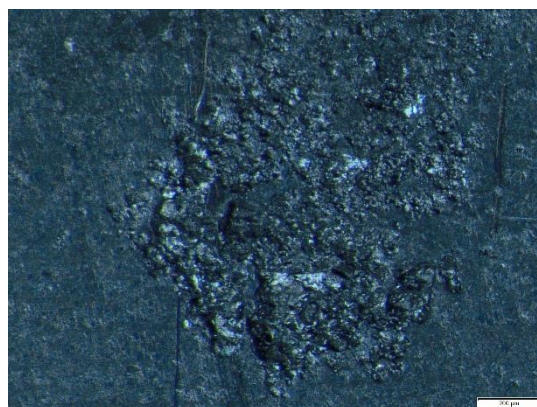
CB17-11
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní


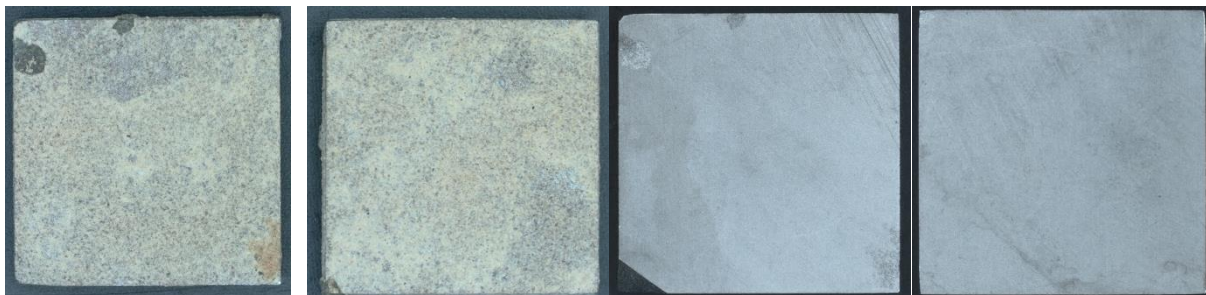
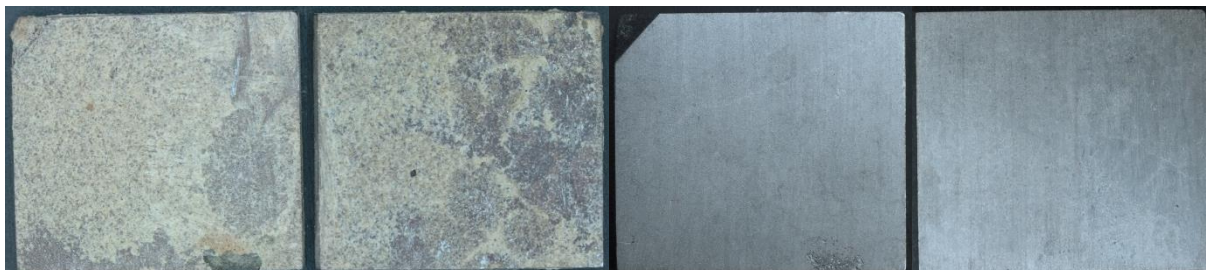
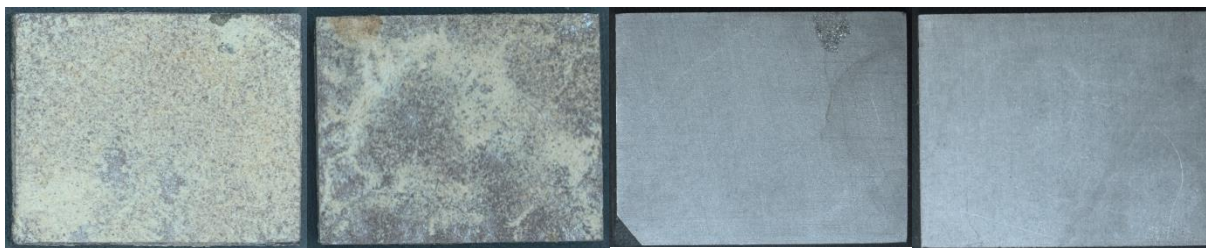
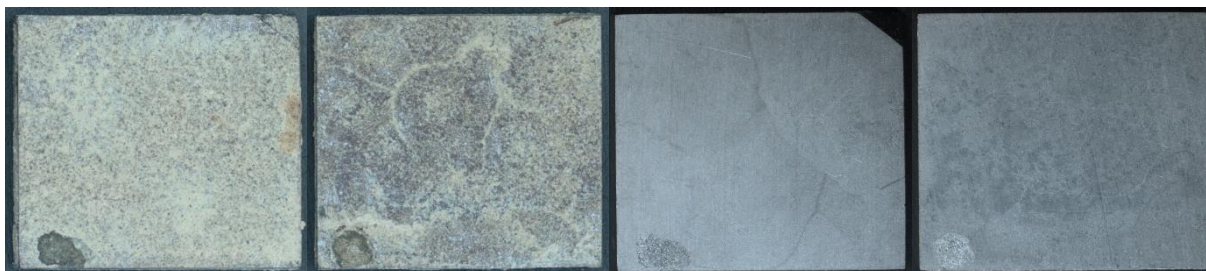
CB17-19
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní

CB17-18
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní

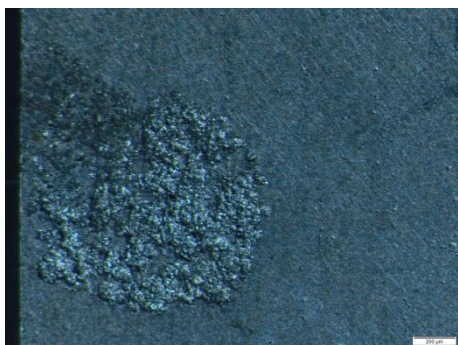
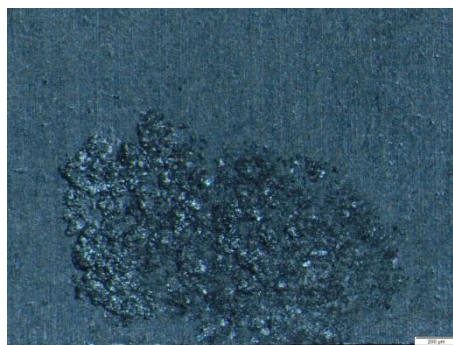
CB17-98
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní


Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):

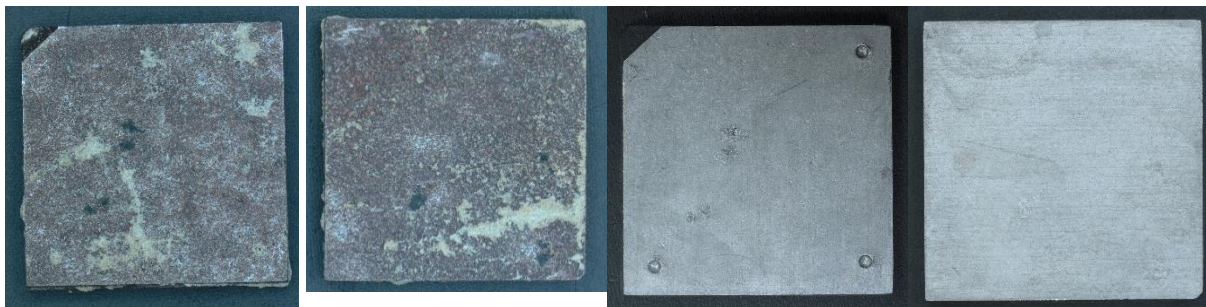

CB17_11

CB17_98
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2
CB42-11
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní


CB42-19
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní

CB42-18
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní

CB42-98
ABM BCV 10%
3 měsíce
anaerobní


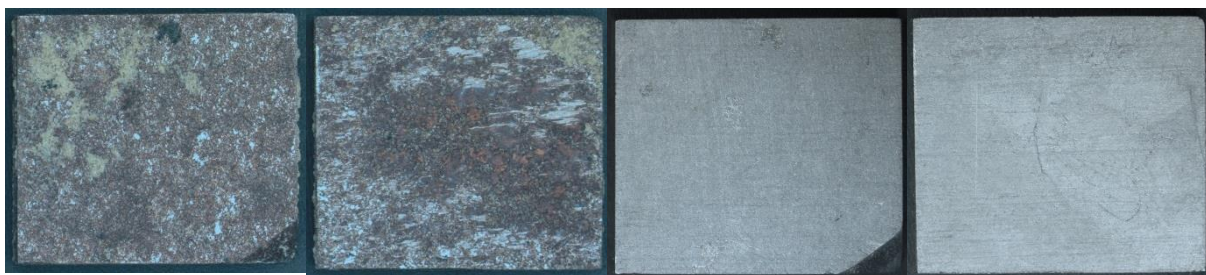
Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):


CB42_11

CB42_19

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB21-11
ABM BCV 50%
3 měsíce
anaerobní

CB21-19
ABM BCV 50%
3 měsíce
anaerobní

CB21-18
ABM BCV 50%
3 měsíce
anaerobní

CB21-98
ABM BCV 50%
3 měsíce
anaerobní


Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):



CB21_11



CB21_18

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB47-11

ABM BCV 50%

3 měsíce

anaerobní

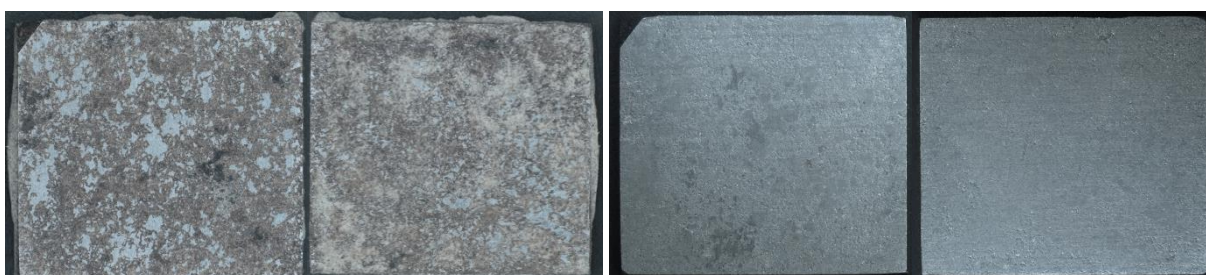


CB47-19

ABM BCV 50%

3 měsíce

anaerobní



CB47-18

ABM BCV 50%

3 měsíce

anaerobní



CB47-98

ABM BCV 50%

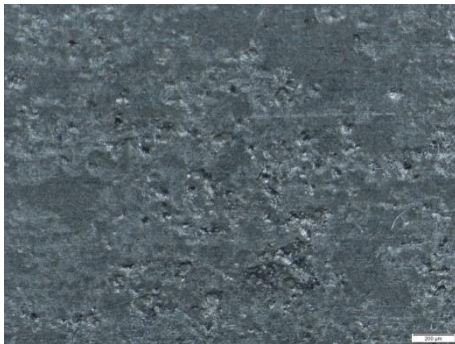
3 měsíce

anaerobní





Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):



CB47_19



CB47_98

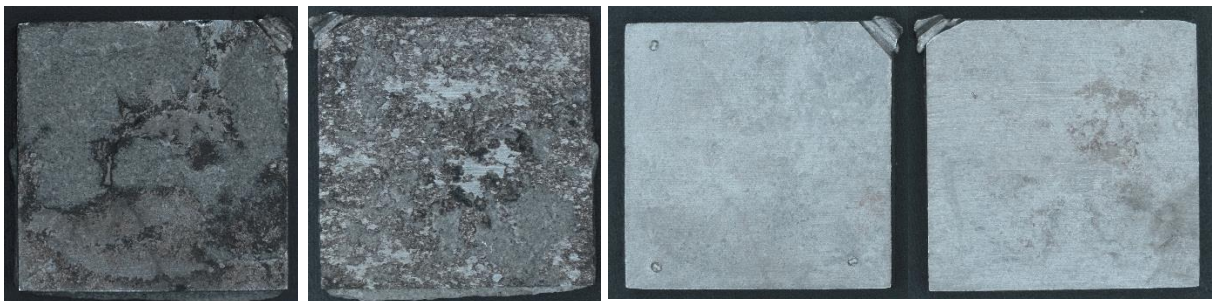
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB14-11

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní

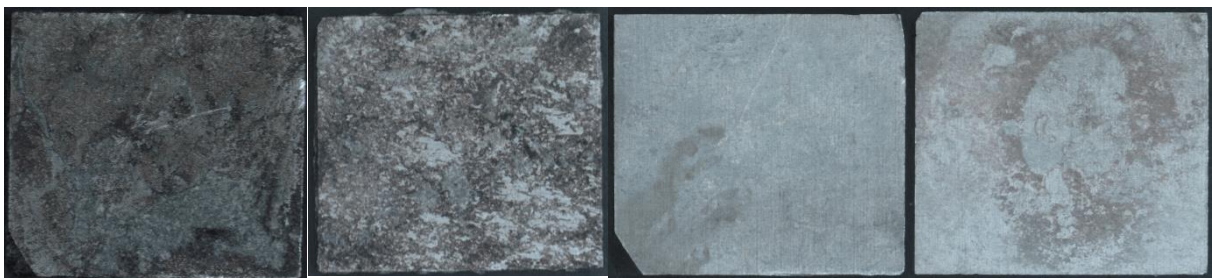


CB14-19

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní

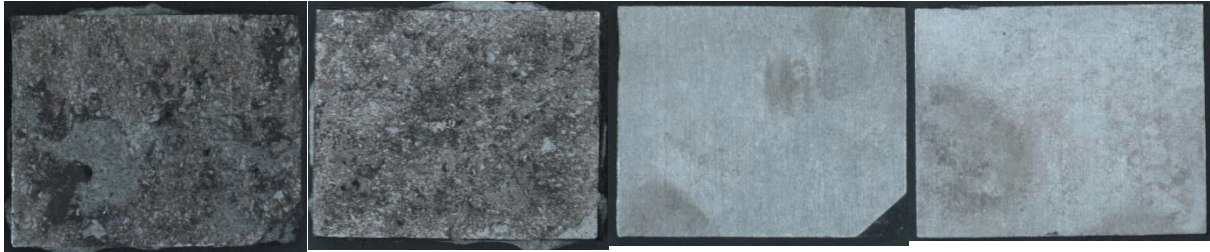


CB14-18

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní



CB14-98

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní



Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 200 um):



CB14_11



CB14_18

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB24-11

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní



CB24-19

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní



CB24-18

ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní

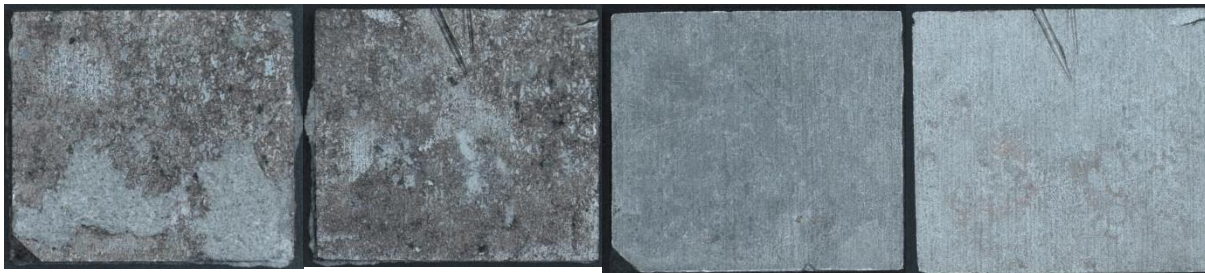


CB24-98

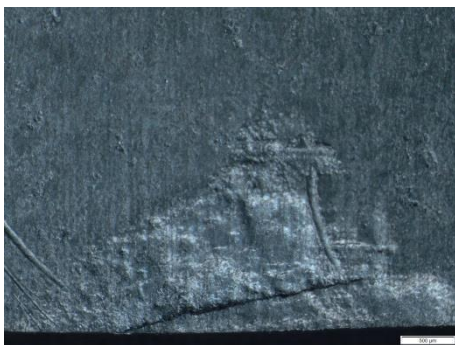
ABM CEM I

3 měsíce

anaerobní



Lokalizované napadení (měřítko na snímku je 500 um):



CB24_19



CB24_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

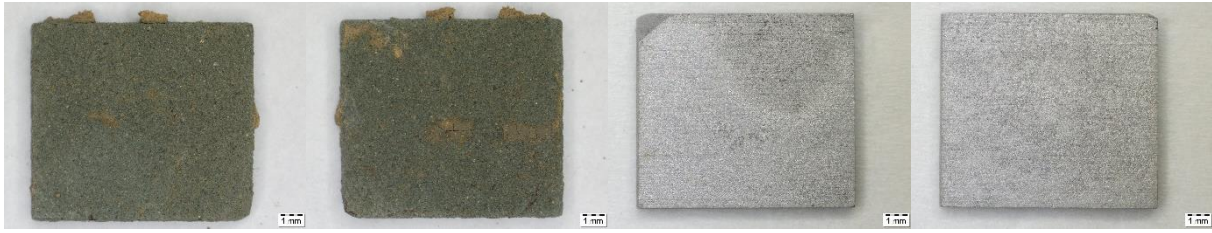
CB03-11

ABM BCV 2%

6 měsíců

aerobní



CB03-19
ABM BCV 2%
6 měsíců
aerobní

CB03-18
ABM BCV 2%
6 měsíců
aerobní

CB03-98
ABM BCV 2%
6 měsíců
aerobní

Lokalizované napadení:

CB03_18

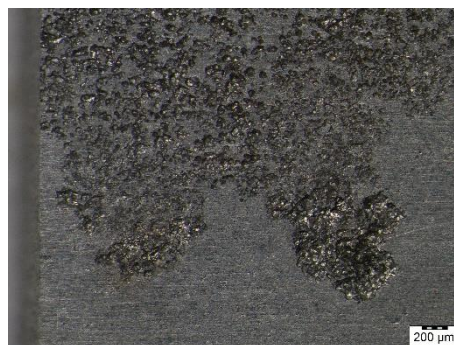
CB03_98
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2
CB10-11
ABM BCV 10%
6 měsíců
aerobní

CB10-19
ABM BCV 10%
6 měsíců
aerobní


CB10-18
ABM BCV 10%
6 měsíců
aerobní

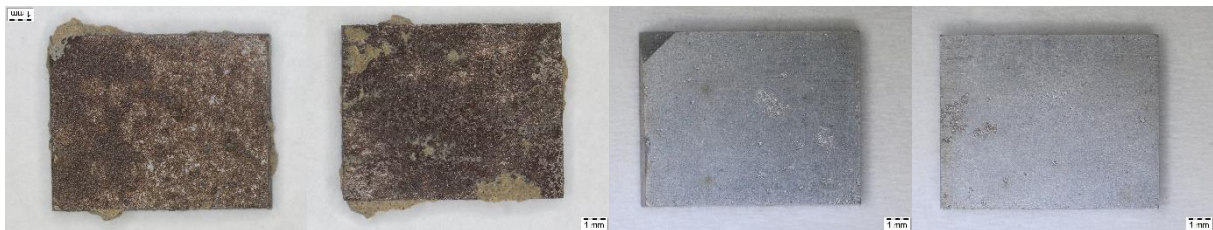
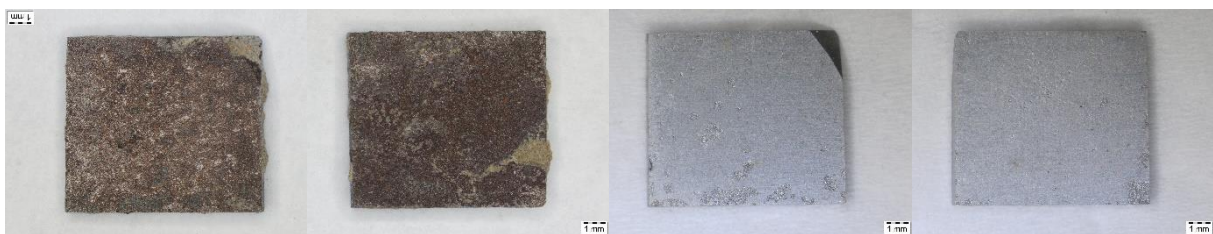
CB10-98
ABM BCV 10%
6 měsíců
aerobní

Lokalizované napadení:

CB10_18

CB10_18
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2
CB22-11
ABM BCV 50%
6 měsíců
aerobní

CB22-19

ABM BCV 50%
6 měsíců
aerobní


CB22-18
ABM BCV 50%
6 měsíců
aerobní

CB22-98
ABM BCV 50%
6 měsíců
aerobní

Lokalizované napadení:

CB22_18

CB22_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB02-11
ABM CEM I
6 měsíců
aerobní

CB02-19
ABM CEM I
6 měsíců
aerobní


CB02-18
ABM CEM I
6 měsíců
aerobní

CB02-98
ABM CEM I
6 měsíců
aerobní


Lokalizované napadení:


CB02_18

 Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB04-11
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní


CB04-19
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB04-18
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB04-98
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB26-11
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB26-19
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní


CB26-18
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB26-98
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB27-11
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB27-19
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

CB27-18
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní

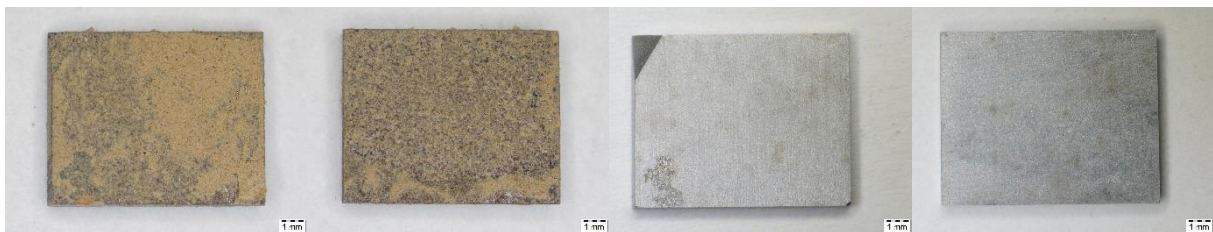
CB27-98
ABM BCV 2%
6 měsíců
anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

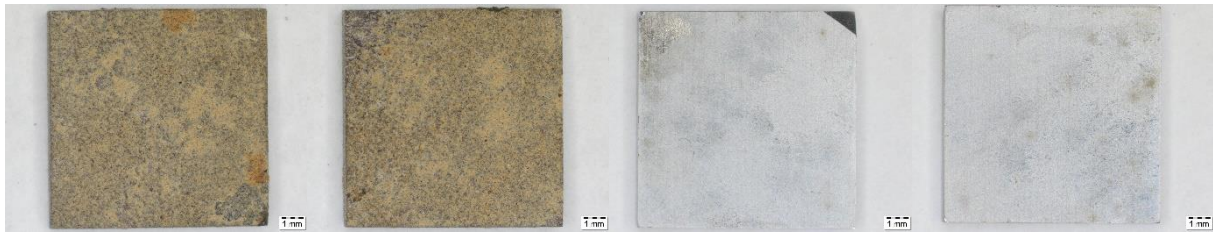
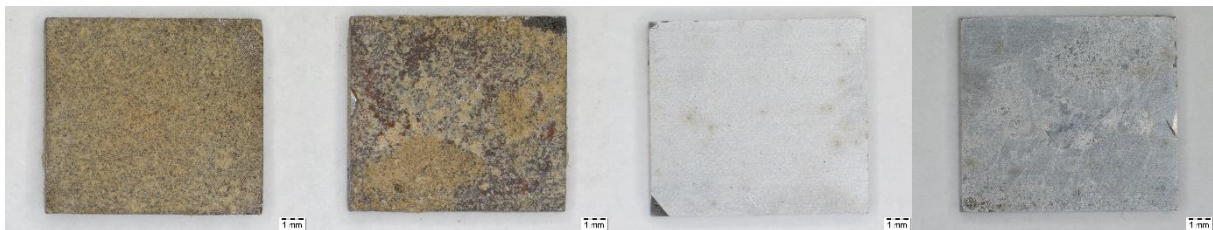
CB12-11
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB12-19
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB12-18
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB12-98
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB40-11
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní


CB40-19
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB40-18
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

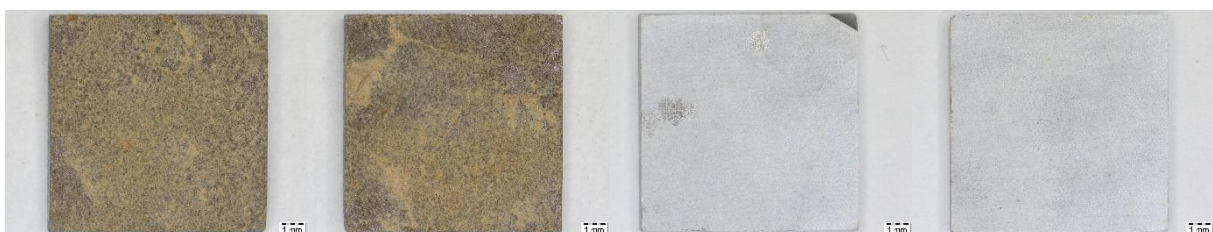
CB40-98
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1

Po expozici – strana 2

Po moření – strana 1

Po moření – strana 2

CB41-11
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB41-19
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní


CB41-18
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní

CB41-98
ABM BCV 10%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB20-11
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní

CB20-19
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní

CB20-18
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní

CB20-98
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB31-11 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní



CB31-19 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní



CB31-18 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní



CB31-98 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB43-11 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní



CB43-19 ABM BCV 50% 6 měsíců anaerobní


CB43-18
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní

CB43-98
ABM BCV 50%
6 měsíců
anaerobní

Po expozici – strana 1
Po expozici – strana 2
Po moření – strana 1
Po moření – strana 2
CB21-11
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

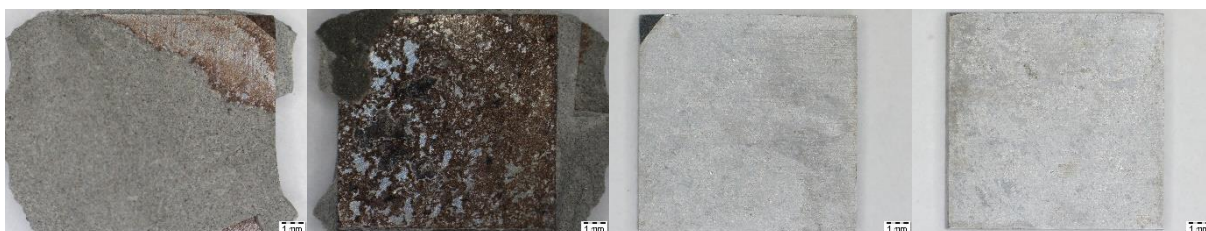
CB01-19
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

CB01-18
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

CB01-98
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB35-11
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

CB35-19
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

CB35-18
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

CB35-98
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB36-11
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní


CB36-19
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

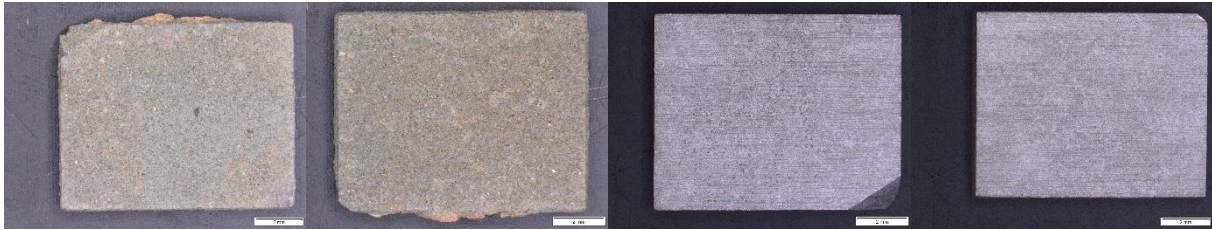
CB36-18
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní

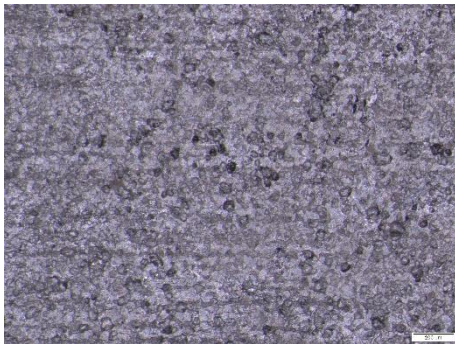
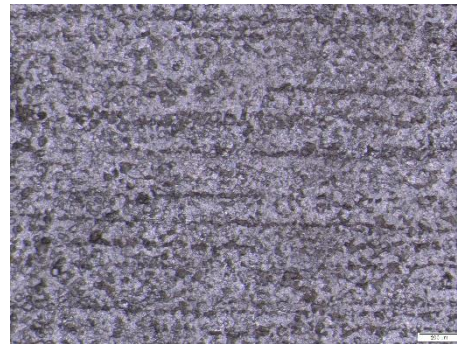
CB36-98
ABM CEM I
6 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB05-11
ABM BCV 2%
9 měsíců
aerobní

CB05-19
ABM BCV 2%
9 měsíců
aerobní


CB05-18
ABM BCV 2%
9 měsíců
aerobní

CB05-98
ABM BCV 2%
9 měsíců
aerobní

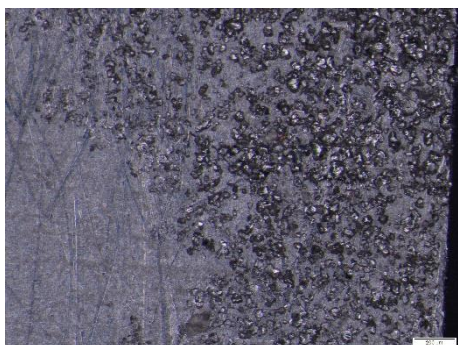
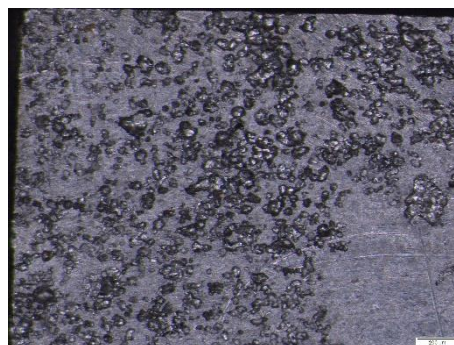
Lokalizované napadení:

CB05_18

CB05_98
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2
CB09-11
ABM BCV 10%
9 měsíců
aerobní

CB09-19
ABM BCV 10%
9 měsíců
aerobní

CB09-18
ABM BCV 10%
9 měsíců
aerobní

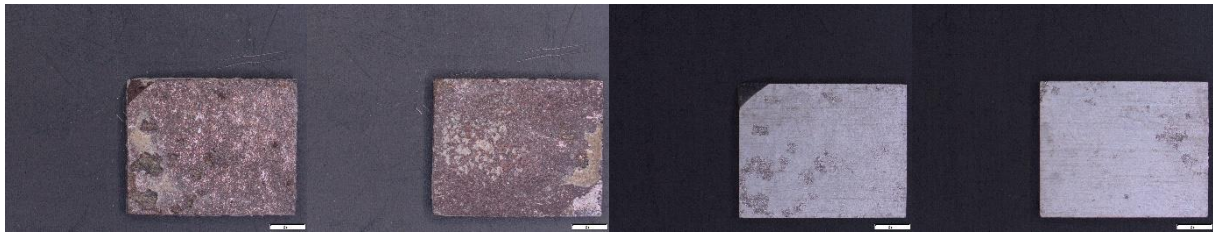

CB09-98
ABM BCV 10%
9 měsíců
aerobní


Lokalizované napadení:

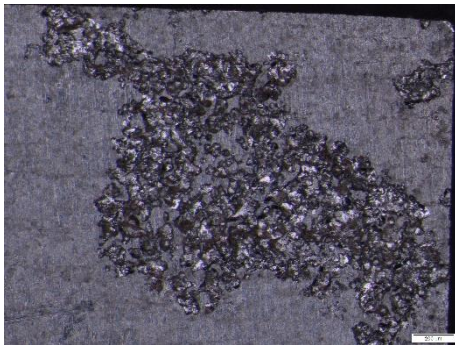
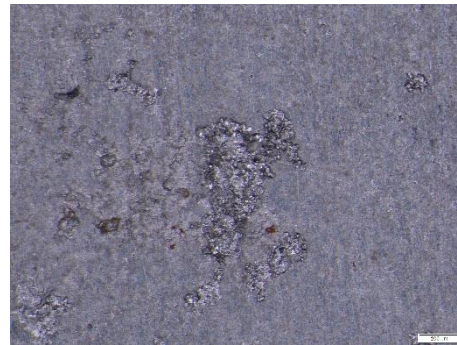

CB09_18

CB09_98
Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2
CB08-11
ABM BCV 50%
9 měsíců
aerobní

CB08-19
ABM BCV 50%
9 měsíců
aerobní

CB08-18
ABM BCV 50%
9 měsíců
aerobní


CB08-98
ABM BCV 50%
9 měsíců
aerobní


Lokalizované napadení:

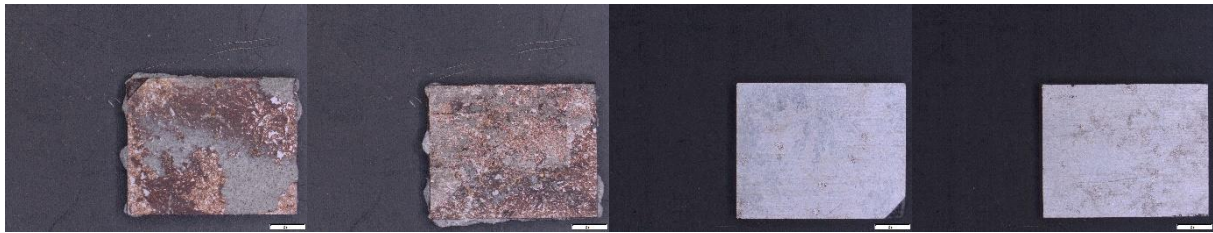

CB08_18

CB08_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB16-11
ABM CEM I
9 měsíců
aerobní

CB16-19
ABM CEM I
9 měsíců
aerobní

CB16-18
ABM CEM I
9 měsíců
aerobní

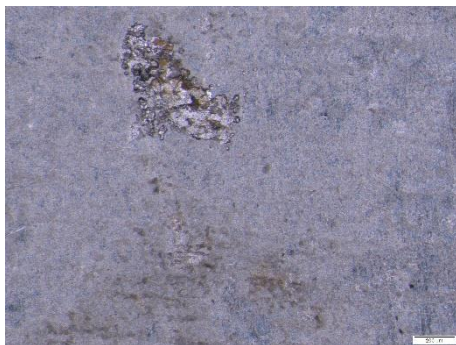


CB16-98

ABM CEM I

9 měsíců

aerobní


Lokalizované napadení:


CB08_18



CB08_98

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB11-11

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní

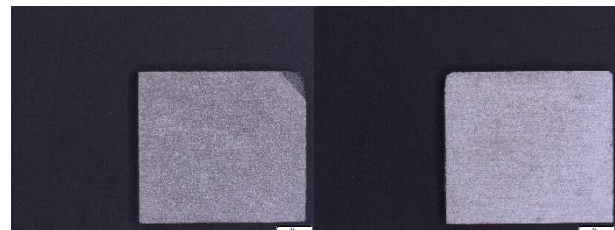


CB11-19

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



CB11-18

ABM BCV 2%

9 měsíců

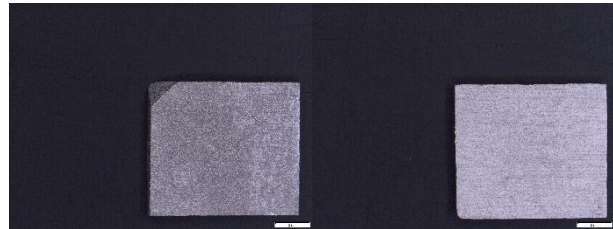
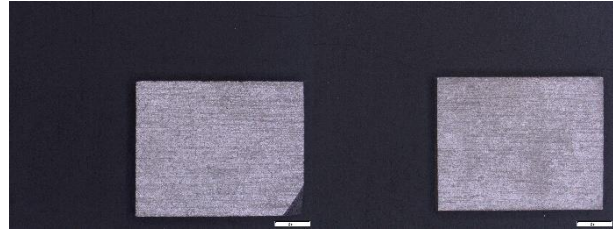
anaerobní

CB11-98

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB38-11

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



CB38-19

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



CB38-18

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



CB38-98

ABM BCV 2%

9 měsíců

anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB39-11 ABM BCV 2% 9 měsíců anaerobní



CB39-19 ABM BCV 2% 9 měsíců anaerobní



CB39-18 ABM BCV 2% 9 měsíců anaerobní



CB39-98 ABM BCV 2% 9 měsíců anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB15-11 ABM BCV 10% 9 měsíců anaerobní



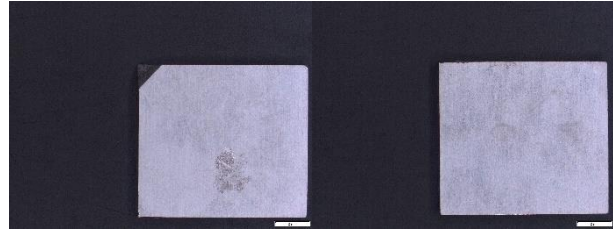
CB15-19 ABM BCV 10% 9 měsíců anaerobní

CB15-18

ABM BCV 10%

9 měsíců

anaerobní

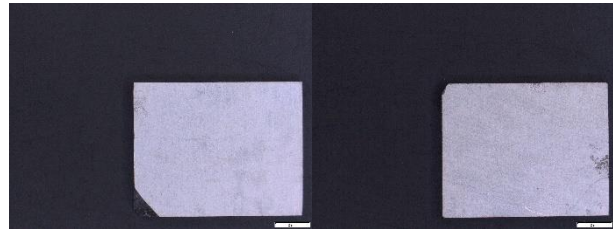


CB15-98

ABM BCV 10%

9 měsíců

anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB29-11

ABM BCV 10%

9 měsíců

anaerobní

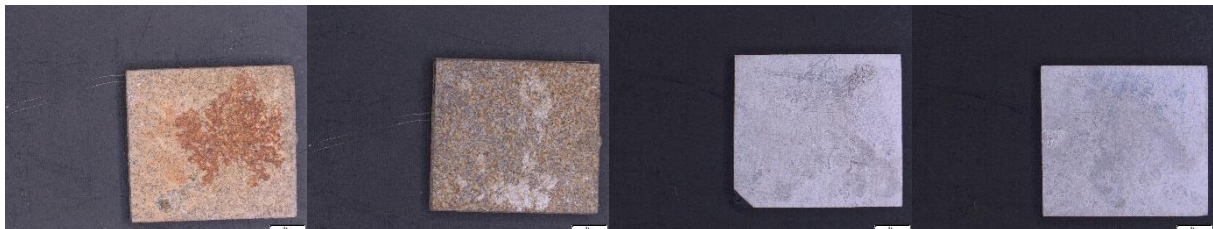


CB29-19

ABM BCV 10%

9 měsíců

anaerobní

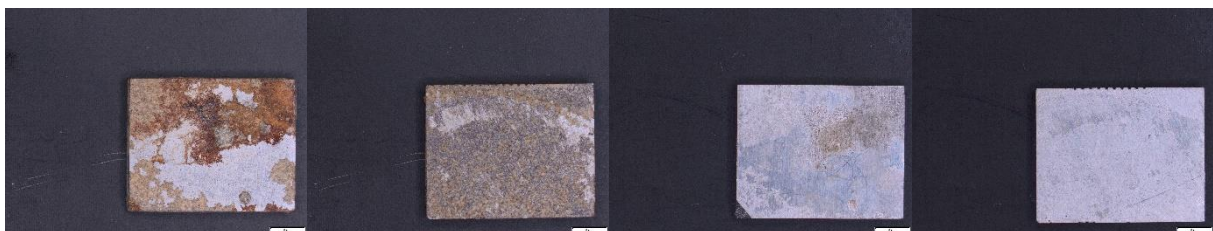


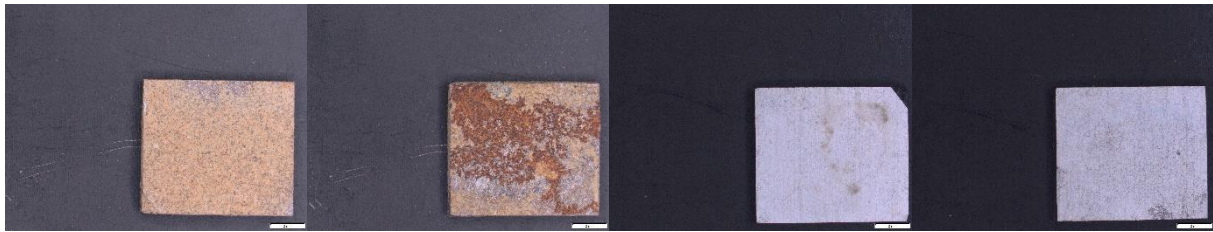
CB29-18

ABM BCV 10%

9 měsíců

anaerobní



CB29-98
ABM BCV 10%
9 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1

Po expozici – strana 2

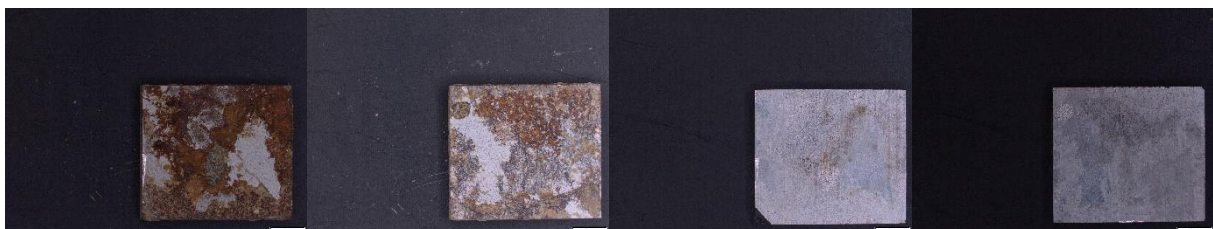
Po moření – strana 1

Po moření – strana 2

CB30-11
ABM BCV 10%
9 měsíců
anaerobní

CB30-19
ABM BCV 10%
9 měsíců
anaerobní

CB30-18
ABM BCV 10%
9 měsíců
anaerobní

CB30-98
ABM BCV 10%
9 měsíců
anaerobní


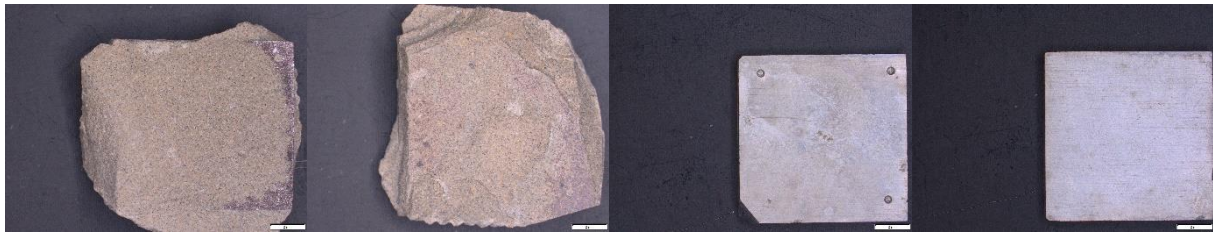
Po expozici – strana 1

Po expozici – strana 2

Po moření – strana 1

Po moření – strana 2

CB23-11
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

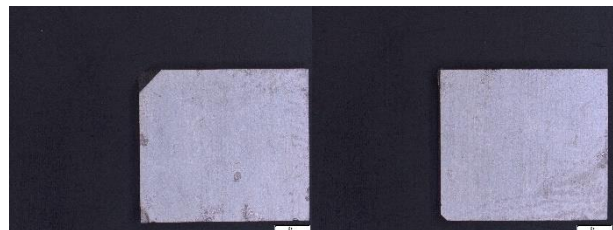


CB23-19

ABM BCV 50%

9 měsíců

anaerobní



CB23-18

ABM BCV 50%

9 měsíců

anaerobní



CB23-98

ABM BCV 50%

9 měsíců

anaerobní



Po expozici – strana 1

Po expozici – strana 2

Po moření – strana 1

Po moření – strana 2

CB33-11

ABM BCV 50%

9 měsíců

anaerobní



CB33-19

ABM BCV 50%

9 měsíců

anaerobní



CB33-18
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

CB33-98
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

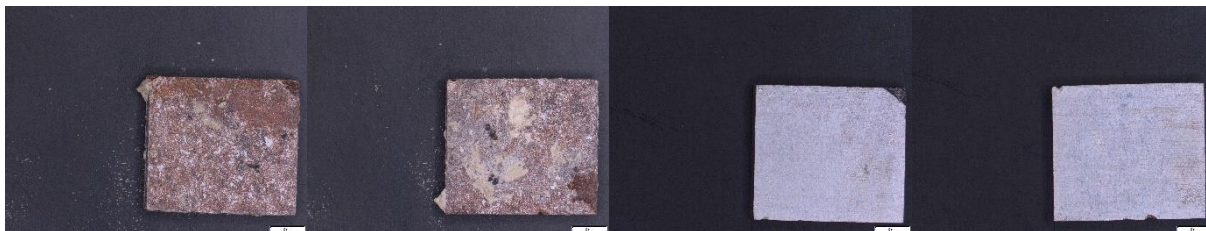

Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB44-11
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

CB44-19
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

CB44-18
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní

CB44-98
ABM BCV 50%
9 měsíců
anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB13-11

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní



CB13-19

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní



CB13-18

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní

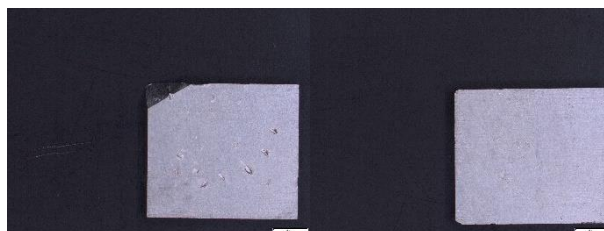


CB13-98

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní



Po expozici – strana 1 Po expozici – strana 2 Po moření – strana 1 Po moření – strana 2

CB45-11

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní


CB45-19
ABM CEM I
9 měsíců
anaerobní

CB45-18
ABM CEM I
9 měsíců
anaerobní

CB45-98
ABM CEM I
9 měsíců
anaerobní


Po expozici – strana 1

Po expozici – strana 2

Po moření – strana 1

Po moření – strana 2

CB46-11
ABM CEM I
9 měsíců
anaerobní

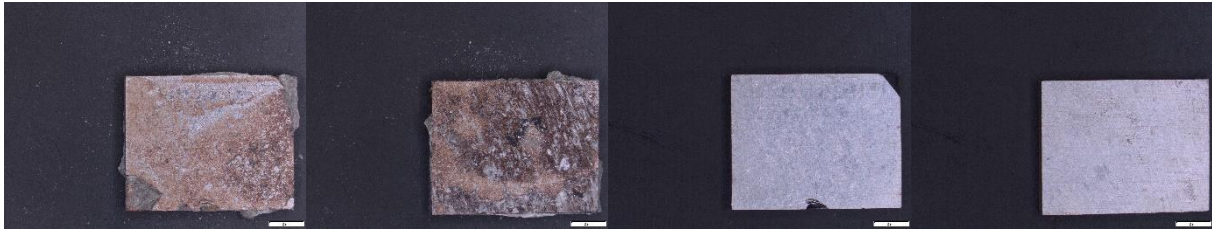
CB46-19
ABM CEM I
9 měsíců
anaerobní


CB46-18

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní

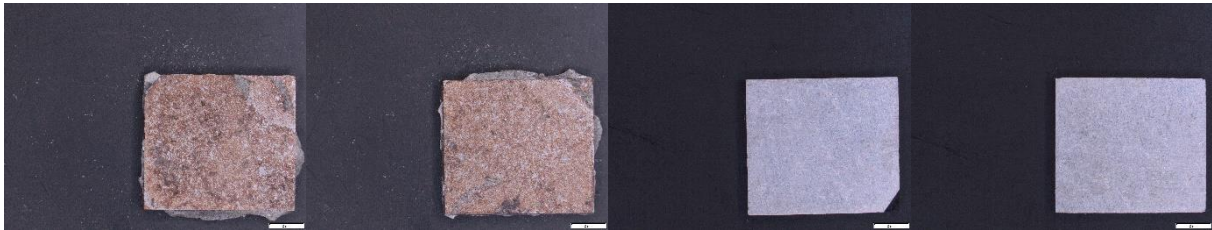


CB46-98

ABM CEM I

9 měsíců

anaerobní



5.2 Vyhodnocení hmotnostního úbytku vzorků

3 měsíce - Aerobní režim:

Aerobní		z grafu											
vzorek	velikost	m_{beil}	m_{ae}	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_{0reg}	Δm [g]	t [h]	S [m ²]	v_k [g/m ² /h]
CB37	11	0.728892	0.7358	0.7227	0.7224	0.7223	0.7222	0.7219	0.72284	0.0060516	2160	0.00020	0.014008
	19	0.744230	0.7491	0.7386	0.7383	0.7383	0.7381	0.7381	0.73864	0.0055899	2160	0.00018	0.014377
	18	0.584889	0.5912	0.5794	0.5791	0.5791	0.5790	0.5789	0.57943	0.0054592	2160	0.00016	0.015796
	98	0.581865	0.5814	0.5772	0.5770	0.5769	0.5769	0.5769	0.57719	0.0046753	2160	0.00014	0.015031
CB28	11	0.82991	0.8354	0.8287	0.8286	0.8286	0.8286	0.8285	0.82872	0.001187	2160	0.00020	0.002748
	19	0.73730	0.7444	0.7359	0.7358	0.7358	0.7357	0.7357	0.73593	0.001367	2160	0.00018	0.003515
	18	0.66902	0.6752	0.6678	0.6678	0.6677	0.6676	0.6676	0.66788	0.001143	2160	0.00016	0.003309
	98	0.52108	0.5261	0.5199	0.5198	0.5196	0.5196	0.5196	0.51994	0.001137	2160	0.00014	0.003655
CB32	11	0.751744	0.7540	0.7499	0.7499	0.7496	0.7498	0.7496	0.74997	0.001774	2160	0.00020	0.004107
	19	0.743848	0.7448	0.7414	0.7414	0.7414	0.7413	0.7412	0.74149	0.002358	2160	0.00018	0.006065
	18	0.639897	0.6435	0.6384	0.6384	0.6383	0.6383	0.6382	0.63847	0.001427	2160	0.00016	0.004130
	98	0.571157	0.5731	0.5695	0.5694	0.5693	0.5694	0.5694	0.56946	0.001697	2160	0.00014	0.005456
CB34	11	0.832726	0.8338	0.8309	0.8308	0.8308	0.8308	0.8306	0.83096	0.001766	2160	0.00020	0.004087
	19	0.759873	0.7675	0.759	0.7589	0.7589	0.7588	0.7585	0.75915	0.000723	2160	0.00018	0.001858
	18	0.647665	0.6511	0.6464	0.6463	0.6463	0.6462	0.6462	0.64643	0.001235	2160	0.00016	0.003573
	98	0.533084	0.5389	0.5317	0.5317	0.5317	0.5316	0.5315	0.53179	0.001294	2160	0.00014	0.004160

3 měsíce - Anaerobní režim:

Anaerobní		z grafu											
vzorek	velikost	$m_{be\mu}$	m_{ae}	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_{0regr}	Δm [g]	t [h]	S [m ²]	v_k [g/m ² /h]
CB18	11	0.765086	0.7739	0.7576	0.7571	0.7569	0.7566	0.7566	0.75771	0.007376	2160	0.00020	0.01707508
	19	0.576355	0.5858	0.5689	0.5687	0.5685	0.5683	0.5682	0.56906	0.007295	2160	0.00018	0.01876166
	18	0.656004	0.6638	0.6496	0.6496	0.6493	0.6493	0.6491	0.64977	0.006234	2160	0.00016	0.01803733
	98	0.469291	0.4778	0.4635	0.4632	0.4630	0.4629	0.4628	0.46359	0.005701	2160	0.00014	0.01832937
CB25	11	0.805476	0.8184	0.7977	0.7974	0.7972	0.7971	0.7971	0.79775	0.007726	2160	0.00020	0.01788356
	19	0.728657	0.7406	0.7217	0.7212	0.7211	0.7207	0.7206	0.72187	0.006787	2160	0.00018	0.01745508
	18	0.569161	0.5780	0.5629	0.5626	0.5624	0.5623	0.5622	0.56299	0.006171	2160	0.00016	0.01785619
	98	0.540090	0.5458	0.5350	0.5347	0.5345	0.5344	0.5343	0.53509	0.005000	2160	0.00014	0.01607575
CB17	11	0.783257	0.7900	0.7825	0.7823	0.7821	0.7821	0.7821	0.78252	0.000737	2160	0.00020	0.00170563
	19	0.670757	0.6773	0.6701	0.6700	0.6698	0.6698	0.6698	0.67014	0.000617	2160	0.00018	0.00158702
	18	0.658974	0.6639	0.6584	0.6582	0.6581	0.6581	0.6581	0.65839	0.000584	2160	0.00016	0.00169001
	98	0.454377	0.4580	0.4538	0.4537	0.4536	0.4535	0.4535	0.45386	0.000517	2160	0.00014	0.00166195
CB42	11	0.795958	0.8025	0.7952	0.7950	0.7949	0.7948	0.7948	0.79524	0.000718	2160	0.00020	0.00166211
	19	0.745690	0.7507	0.7449	0.7448	0.7447	0.7447	0.7447	0.74491	0.00078	2160	0.00018	0.00200694
	18	0.526033	0.5311	0.5255	0.5253	0.5253	0.5253	0.5252	0.52550	0.000533	2160	0.00016	0.00154196
	98	0.576890	0.5809	0.5763	0.5763	0.5762	0.5762	0.5761	0.57637	0.00052	2160	0.00014	0.00167127
CB21	11	0.716716	0.7201	0.7154	0.7154	0.7154	0.7153	0.7152	0.71549	0.00123	2160	0.00020	0.00283827
	19	0.701238	0.7041	0.7000	0.7000	0.7000	0.6999	0.6999	0.70005	0.001188	2160	0.00018	0.00305521
	18	0.635676	0.6375	0.6345	0.6345	0.6345	0.6344	0.6344	0.63455	0.001126	2160	0.00016	0.00325849

	98	0.514519	0.5165	0.5138	0.5137	0.5137	0.5136	0.5136	0.51383	0.000689	2160	0.00014	0.0022144
CB47	11	0.616775	0.6181	0.6146	0.6145	0.6144	0.6144	0.6144	0.61461	0.002165	2160	0.00020	0.00501165
	19	0.668723	0.6724	0.6670	0.6668	0.6668	0.6668	0.6667	0.66700	0.001723	2160	0.00018	0.00443236
	18	0.633589	0.6382	0.6318	0.6318	0.6318	0.6318	0.6318	0.63180	0.001789	2160	0.00016	0.00517525
	98	0.576530	0.5861	0.5748	0.5746	0.5746	0.5746	0.5746	0.57476	0.00177	2160	0.00014	0.00568951
CB14	11	0.803038	0.8220	0.8025	0.8014	0.8014	0.8013	0.8013	0.80233	0.000708	2160	0.00020	0.00163974
	19	0.625781	0.6304	0.6247	0.6245	0.6246	0.6246	0.6245	0.62467	0.001111	2160	0.00018	0.00285854
	18	0.669751	0.6761	0.6690	0.6688	0.6688	0.6688	0.6688	0.66896	0.000791	2160	0.00016	0.00228771
	98	0.592933	0.5948	0.5919	0.5918	0.5919	0.5918	0.5918	0.59190	0.001033	2160	0.00014	0.00331983
CB24	11	0.648455	0.6523	0.6475	0.6472	0.6471	0.6472	0.6471	0.64746	0.000995	2160	0.00020	0.00230432
	19	0.748678	0.7543	0.7478	0.7475	0.7474	0.7474	0.7474	0.74777	0.000908	2160	0.00018	0.00233453
	18	0.638021	0.6450	0.6381	0.6368	0.6368	0.6365	0.6366	0.63795	7.12E-05	2160	0.00016	0.00020592
	98	0.546257	0.5523	0.5453	0.5451	0.5451	0.5450	0.5450	0.54531	0.000947	2160	0.00014	0.00304355

6 měsíců - Aerobní režim:

Aerobní		z grafu										t [h]	S [m ²]	v _k [g/m ² /h]
vzorek	velikost	m _{beu}	m _{ae}	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	m _{0regr}	Δm [g]				
CB02	11	0.817040933	1.3196	0.8193	0.8157	0.8153958	0.815353533	0.815292967	0.815553	0.0014879	4224	0.00020	0.001761	
	19	0.631615933	1.0505	0.6435	0.631	0.630402967	0.630379767	0.630351933	0.6304803	0.0011356	4224	0.00018	0.001494	
	18	0.624344267	1.9386	0.6264	0.6237	0.623249367	0.623210933	0.6231376	0.6234228	0.0009215	4224	0.00016	0.001363	
	98	0.578791233	1.92	0.5831	0.5778	0.577609467	0.577596367	0.577544633	0.5777132	0.0010780	4224	0.00014	0.001772	
CB03	11	0.6121534	0.6249	0.6038	0.6036	0.603408433	0.603343467	0.603328433	0.6035201	0.00863	4224	0.00020	0.010219	
	19	0.7364799	0.7519	0.7285	0.7283	0.727853033	0.727830833	0.7277429	0.7280292	0.0084507	4224	0.00018	0.011115	
	18	0.6823925	0.6916	0.6754	0.6751	0.674908133	0.674853567	0.674822433	0.6750328	0.0073597	4224	0.00016	0.010890	
	98	0.5941622	0.608	0.5871	0.5868	0.5865649	0.586544033	0.586477233	0.5867041	0.0074581	4224	0.00014	0.012262	
CB10	11	0.639211067	0.6462	0.6038	0.6036	0.603408433	0.603343467	0.603328433	0.6374547	0.0017564	4224	0.00020	0.002079	
	19	0.6638689	0.6694	0.7285	0.7283	0.727853033	0.727830833	0.7277429	0.6624082	0.0014607	4224	0.00018	0.001921	
	18	0.609818067	0.6157	0.6754	0.6751	0.674908133	0.674853567	0.674822433	0.6082631	0.001555	4224	0.00016	0.002301	
	98	0.5890867	0.5937	0.5871	0.5868	0.5865649	0.586544033	0.586477233	0.5880776	0.0010091	4224	0.00014	0.001659	
CB22	11	0.797045	0.8081	0.7957	0.7951	0.794906333	0.7948849	0.794874867	0.7949516	0.0020934	4224	0.00020	0.002478	
	19	0.717861633	0.7279	0.7169	0.7165	0.716276833	0.716245233	0.7162035	0.7163885	0.0014731	4224	0.00018	0.001938	
	18	0.663675767	0.6672	0.6625	0.6624	0.662223967	0.662193033	0.662166833	0.6623089	0.0013669	4224	0.00016	0.002022	
	98	0.521041233	0.5228	0.5198	0.5196	0.519497433	0.519464067	0.519442267	0.5195783	0.0014629	4224	0.00014	0.002405	

6 měsíců - Anaerobní režim:

Anaerobní		z grafu											
vzorek	velikost	m_{beil}	m_{ae}	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_{0reg}	Δm [g]	t [h]	S [m ²]	v_k [g/m ² /h]
CB01	11	0.788760167	1.3138	1.1328	0.7906	0.7872	0.787188567	0.7871513	0.7872774	0.0014828	4224	0.00020	0.00175517
	19	0.725005667	1.1389	1.0821	0.7251	0.7237	0.723627233	0.723563733	0.7239029	0.0011028	4224	0.00018	0.0014504
	18	0.6505977	1.8473	0.656	0.6503	0.6496	0.6495708	0.649532167	0.6497033	0.0008944	4224	0.00016	0.00132339
	98	0.575769833	0.6973	0.581	0.576	0.5749	0.574770333	0.5747497	0.5751073	0.0006625	4224	0.00014	0.00108923
CB04	11	0.790898	0.8058	0.7799	0.7794	0.779277667	0.779174133	0.779078333	0.7795754	0.0113226	4224	0.00020	0.0134027
	19	0.7213998	0.7883	0.7095	0.7042	0.704154333	0.7041167	0.7040411	0.7043305	0.0170693	4224	0.00018	0.02245015
	18	0.6514429	0.8612	0.6422	0.6358	0.635817867	0.635712467	0.6356239	0.636106	0.0153369	4224	0.00016	0.02269309
	98	0.511071133	0.64	0.5026	0.4997	0.4996303	0.4995566	0.499509467	0.4998071	0.011264	4224	0.00014	0.01851857
CB12	11	0.764596467	0.7798	0.7651	0.764	0.763674833	0.763617833	0.763564	0.7638406	0.0007559	4224	0.00020	0.00089473
	19	0.617830933	0.7290	0.6182	0.6173	0.617073967	0.617020367	0.6169832	0.6172074	0.0006235	4224	0.00018	0.00082009
	18	0.6563104	0.6682	0.6564	0.6557	0.655609933	0.655540633	0.6555315	0.6557176	0.0005928	4224	0.00016	0.00087713
	98	0.467904	0.4735	0,0,4677	0.4676	0.467285	0.467273667	0.467257	0.4673279	0.0005761	4224	0.00014	0.00094713
CB20	11	0.777994	0.7832	0.7768	0.7765	0.776439133	0.776378667	0.776349433	0.7765685	0.001425	4224	0.00020	0.00168679
	19	0.733343	1.04	0.7346	0.7326	0.7321274	0.732076033	0.732048967	0.732241	0.0011023	4224	0.00018	0.00144974
	18	0.644609	0.6504	0.6443	0.6436	0.6435266	0.643470967	0.643448633	0.64364	0.0009712	4224	0.00016	0.00143703
	98	0.565619	0.869	0.5665	0.5648	0.564535133	0.5644915	0.564466867	0.5646344	0.0009848	4224	0.00014	0.001619
CB26	11	0.845703	0.8681	0.8359	0.8358	0.835465633	0.835387167	0.835324767	0.83567	0.01003	4224	0.00020	0.01187125
	19	0.722496	0.9375	0.7141	0.7140	0.713778400	0.713630967	0.713554000	0.7141033	0.0083923	4224	0.00018	0.01103781




Korozní zkouška v alkalickém prostředí –
Závěrečná zpráva

Evidenční označení:

SÚRAO TZ 406/2019

	18	0.672013	0.9011	0.6643	0.6641	0.663948333	0.663887733	0.663816667	0.6641476	0.0078656	4224	0.00016	0.01163831
	98	0.592799	0.7479	0.5861	0.5860	0.585801267	0.585744567	0.585691933	0.5859646	0.0068343	4224	0.00014	0.01123584
CB27	11	0.83012965	0.8882	0.8306	0.8139	0.813100000	0.812786300	0.812731700	0.8136093	0.0165204	4224	0.00020	0.01955534
	19	0.643164367	0.7091	0.6410	0.6294	0.628800000	0.628779733	0.628724100	0.62892	0.0142447	4224	0.00018	0.01873509
	18	0.5369436	0.5676	0.5337	0.5235	0.523300000	0.523144500	0.523118600	0.52355	0.0133931	4224	0.00016	0.01981697
	98	0.5938748	0.6586	0.5990	0.5836	0.582100000	0.581848400	0.581813700	0.5824933	0.0113815	4224	0.00014	0.01871169
CB31	11	0.808812867	0.9051	0.8084	0.8071	0.806916233	0.806852900	0.806821633	0.8070528	0.0017601	4224	0.00020	0.00208341
	19	0.715608333	0.7613	0.7279	0.7139	0.713820033	0.713791033	0.713760833	0.713909	0.0016993	4224	0.00018	0.00223502
	18	0.67377	0.7120	0.6745	0.6725	0.672188133	0.672145000	0.672111700	0.6723011	0.0014689	4224	0.00016	0.00217344
	98	0.604424067	0.6617	0.6054	0.6030	0.602836567	0.602828533	0.602776933	0.60293	0.0014908	4224	0.00014	0.00245089
CB35	11	0.745911467	1.0206	0.7454	0.7441	0.744011733	0.743966333	0.743930833	0.7441314	0.0017801	4224	0.00020	0.00210709
	19	0.588739733	0.8971	0.5910	0.5877	0.587104533	0.587081267	0.587053867	0.5871812	0.0015585	4224	0.00018	0.00204984
	18	0.654932567	0.7632	0.6548	0.6537	0.653446167	0.653419267	0.653393500	0.653525	0.0014076	4224	0.00016	0.00208269
	98	0.580016933	0.8736	0.5820	0.5789	0.578536267	0.578512533	0.578492400	0.5786015	0.0014154	4224	0.00014	0.00232704
CB36	11	0.6989704	0.8132	0.6972	0.6972	0.697132100	0.697112133	0.697097133	0.6971837	0.0017867	4224	0.00020	0.00211494
	19	0.640586033	0.7439	0.6392	0.6390	0.638975933	0.638961733	0.638941800	0.6390281	0.0015579	4224	0.00018	0.00204905
	18	0.580639133	0.7938	0.5793	0.5791	0.579099833	0.579092967	0.579078333	0.5791334	0.0015057	4224	0.00016	0.00222794
	98	0.5834745	0.6575	0.5823	0.5821	0.582051900	0.582049767	0.582015667	0.5821116	0.0013629	4224	0.00014	0.00224067
CB40	11	0.803706133	0.812	0.8035	0.8030	0.802732767	0.802689300	0.802656167	0.8028459	0.0008602	4224	0.00020	0.00101827
	19	0.703710633	0.7096	0.7032	0.7028	0.702784000	0.702739800	0.702713733	0.7028864	0.0008242	4224	0.00018	0.00108406
	18	0.5826961	0.5871	0.5824	0.5820	0.581902267	0.581868700	0.581852467	0.5819741	0.000722	4224	0.00016	0.0010683

	Korozní zkouška v alkalickém prostředí – Závěrečná zpráva	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 406/2019

	98	0.592934833	0.5988	0.5928	0.5923	0.592271267	0.592226267	0.592195400	0.5923827	0.0005521	4224	0.00014	0.00090773
CB41	11	0.689429633	0.6969	0.6892	0.6886	0.688476100	0.688440167	0.688391533	0.6886051	0.0008245	4224	0.00020	0.00097601
	19	0.5904378	0.5944	0.5897	0.5896	0.589594767	0.589559767	0.589504533	0.5897335	0.0007043	4224	0.00018	0.00092632
	18	0.6669298	0.6726	0.6664	0.6661	0.666103967	0.666074867	0.666041533	0.6661983	0.0007315	4224	0.00016	0.00108236
	98	0.5974386	0.601	0.5968	0.5967	0.596683567	0.596658900	0.596613900	0.5967915	0.0006471	4224	0.00014	0.00106386
CB43	11	0.786914167	0.7979	0.7861	0.7858	0.785530633	0.785503033	0.785453100	0.7856507	0.0012635	4224	0.00020	0.00149558
	19	0.705823567	0.7167	0.7051	0.7046	0.704552867	0.704512300	0.704483900	0.7046543	0.0011693	4224	0.00018	0.00153786
	18	0.5236079	0.5446	0.5226	0.5225	0.522427367	0.522389067	0.522368100	0.5225134	0.0010945	4224	0.00016	0.00161947
	98	0.545112467	0.559	0.5450	0.5442	0.544171233	0.544123567	0.544098933	0.5442758	0.0008367	4224	0.00014	0.00137552

9 měsíců - Aerobní režim:

Aerobní

z grafu

vzorek	velikost	$m_{be\mu}$	m_{ae}	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_{Oregr}	Δm [g]	t [h]	S [m ²]	V_k [g/m ² /h]
CB05	11	0.757492933	0.7674	0.745	0.7447	0.7446	0.744516667	0.744473633	0.744407467	0.7447389	0.012754	6504	0.00020	0.009805
	19	0.748088267	0.7603	0.736	0.7357	0.7357	0.7356966	0.7356692	0.7356457	0.7357977	0.0122906	6504	0.00018	0.010498
	18	0.528138633	0.5388	0.5178	0.5177	0.5177	0.5176218	0.5175994	0.5175817	0.5177013	0.0104373	6504	0.00016	0.010030
	98	0.531587867	0.54	0.5222	0.522	0.5219	0.5218721	0.5218376	0.5218092	0.5219968	0.0095911	6504	0.00014	0.010241
CB08	11	0.7644121	0.7684	0.7628	0.7627	0.7628	0.762487333	0.762448933	0.762381233	0.7627044	0.0017077	6504	0.00020	0.001313
	19	0.7264792	0.7316	0.7243	0.7237	0.7236	0.723524033	0.723498167	0.723473667	0.7236245	0.0028547	6504	0.00018	0.002438
	18	0.5822360	0.5846	0.5807	0.5804	0.5803	0.5801724	0.580145733	0.580124133	0.5802681	0.0019679	6504	0.00016	0.001891

	98	0.6004592	0.6062	0.5994	0.5993	0.5993	0.5991787	0.599152233	0.599129833	0.5992758	0.0011834	6504	0.00014	0.001264
CB09	11	0.7996506	0.8135	0.8011	0.7972	0.7971	0.796883333	0.796839633	0.7967849	0.797082	0.0025686	6504	0.00020	0.001975
	19	0.7177058	0.7276	0.7203	0.7155	0.7155	0.7153395	0.715303167	0.7152728	0.7154719	0.0022339	6504	0.00018	0.001908
	18	0.682008833	0.6877	0.6828	0.6805	0.6802	0.680189167	0.680157033	0.6801262	0.6803149	0.0016939	6504	0.00018	0.001447
	98	0.597973067	0.6043	0.5994	0.5965	0.5965	0.596470667	0.596435	0.5964063	0.5965982	0.0013749	6504	0.00014	0.001468
CB16	11	0.781477633	0.8218	0.7905	0.7842	0.781	0.779550867	0.779505733	0.779477833	0.7796941	0.0017835	6504	0.00020	0.001371
	19	0.7388189	0.7786	0.7474	0.7375	0.7375	0.737300667	0.737271133	0.737249767	0.7374011	0.0014178	6504	0.00018	0.001211
	18	0.597144633	0.6043	0.5959	0.5959	0.5959	0.595689733	0.595656533	0.5956396	0.5957873	0.0013573	6504	0.00016	0.001304
	98	0.462905433	0.4763	0.4648	0.4619	0.4619	0.461705633	0.461683167	0.4616415	0.4618371	0.0010683	6504	0.00014	0.001141

9 měsíců - Anaerobní režim:

Anaerobní

z grafu

vzorek	velikost	m_{beil}	m_{ae}	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_{0regr}	Δm [g]	t [h]	S [m ²]	v_k [g/m ² /h]
CB11	11	0.7653177	0.8112	0.7549	0.7428	0.742	0.7420029	0.741879533	0.741801233	0.7423987	0.022919	6504	0.00020	0.01761916
	19	0.7240984	0.7549	0.7096	0.7027	0.7027	0.702646133	0.702589033	0.7025529	0.7028291	0.0212693	6504	0.00018	0.01816771
	18	0.61403	0.6251	0.6038	0.6036	0.6036	0.603583967	0.603546667	0.603500533	0.6037523	0.0102777	6504	0.00016	0.00987633
	98	0.5721849	0.6026	0.5664	0.5545	0.5537	0.553747633	0.553692533	0.5536638	0.5539109	0.018274	6504	0.00014	0.0195115
CB13	11	0.671045733	0.7164	0.6745	0.6701	0.6695	0.669369167	0.6693231	0.669292133	0.6695207	0.001525	6504	0.00020	0.00117238
	19	0.681363733	0.6992	0.6822	0.6809	0.68	0.680008667	0.679967867	0.679932567	0.6801599	0.0012038	6504	0.00018	0.00102828
	18	0.655243433	0.6846	0.6568	0.6543	0.6542	0.654081333	0.654036667	0.654011833	0.654217	0.0010264	6504	0.00016	0.00098635

	98	0.561463567	0.6084	0.5826	0.5605	0.5607	0.560479633	0.560442933	0.560419033	0.5605987	0.000865	6504	0.00014	0.00092343
CB23	11	0.6684519	0.7231	0.6762	0.6685	0.6671	0.666913833	0.666855667	0.6668189	0.6671001	0.0013518	6504	0.00020	0.00103921
	19	0.6993594	0.7141	0.6978	0.6979	0.698	0.697705333	0.697659	0.697635833	0.6978405	0.0015189	6504	0.00018	0.00129741
	18	0.650190433	0.6876	0.652	0.6489	0.6489	0.648761333	0.6487126	0.6486859	0.6489085	0.0012819	6504	0.00016	0.00123187
	98	0.529743467	0.5375	0.5289	0.5286	0.5287	0.528566533	0.5285259	0.5285017	0.5286935	0.00105	6504	0.00014	0.00112107
CB15	11	0.802686	0.809	0.8019	0.8019	0.8019	0.801519433	0.801466	0.801412367	0.8017336	0.0009519	6504	0.00020	0.00073181
	19	0.755016	0.7617	0.7544	0.7543	0.7543	0.754064567	0.754030933	0.754004633	0.7541832	0.000833	6504	0.00018	0.00071156
	18	0.644157	0.6489	0.6437	0.6434	0.6435	0.6433247	0.643287067	0.643264	0.6434437	0.000713	6504	0.00016	0.00068516
	98	0.589834	0.595	0.5897	0.5893	0.5893	0.5890296	0.588993233	0.588969433	0.5891478	0.0006864	6504	0.00014	0.00073292
CB38	11	0.738928	0.8174	0.7381	0.7173	0.7159	0.715692633	0.715647433	0.715615833	0.715844	0.02308	6504	0.00020	0.01774595
	19	0.743875	0.7961	0.7371	0.7231	0.7220	0.721726833	0.721675533	0.721655567	0.7218641	0.0220111	6504	0.00018	0.01880136
	18	0.595491	0.6405	0.5927	0.5781	0.5765	0.576413667	0.576376900	0.576346800	0.5765463	0.0189442	6504	0.00016	0.01820437
	98	0.529906	0.5663	0.5264	0.5140	0.5132	0.512967867	0.512928267	0.512896733	0.5131088	0.016797	6504	0.00014	0.01793451
CB39	11	0.8275446	0.8724	0.8174	0.8094	0.8073	0.806662567	0.806610133	0.806575667	0.8068334	0.0207112	6504	0.00020	0.01592189
	19	0.7546616	0.7794	0.7439	0.7403	0.7400	0.739789667	0.739756400	0.739734033	0.7398991	0.0147625	6504	0.00018	0.01260976
	18	0.650867267	0.6945	0.6474	0.6367	0.6341	0.632313100	0.632202333	0.632173500	0.6325786	0.0182887	6504	0.00016	0.01757444
	98	0.584811067	0.6181	0.5804	0.5692	0.5677	0.567438967	0.567382333	0.567358700	0.567594	0.0172171	6504	0.00014	0.01838299
CB45	11	0.794957867	0.7999	0.7941	0.7942	0.7940	0.793877900	0.793838500	0.793807967	0.7940163	0.0009416	6504	0.00020	0.00072384
	19	0.716723267	0.7279	0.7172	0.7161	0.7156	0.715595100	0.715559100	0.715527633	0.7157293	0.000994	6504	0.00018	0.00084902
	18	0.618329833	0.6352	0.6199	0.6179	0.6174	0.617373467	0.617344567	0.617310700	0.6174998	0.00083	6504	0.00016	0.00079762
	98	0.5477002	0.5676	0.5503	0.5475	0.5469	0.546887267	0.546855433	0.546832367	0.5469956	0.0007046	6504	0.00014	0.00075231
CB46	11	0.6845436	0.6891	0.6835	0.6835	0.6835	0.683400533	0.683367133	0.683331933	0.683538	0.0010056	6504	0.00020	0.00077306



**Korozní zkouška v alkalickém prostředí –
Závěrečná zpráva**

Evidenční označení:

SÚRAO TZ 406/2019

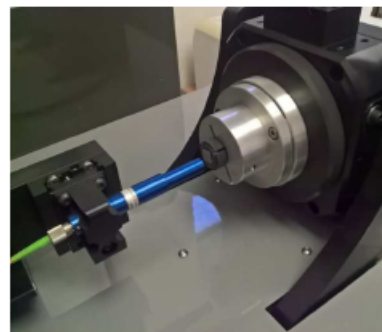
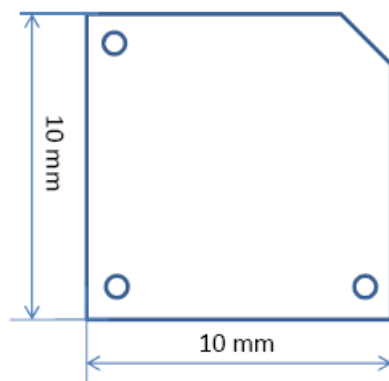
	19	0.717517133	0.7296	0.7210	0.7179	0.7167	0.716542300	0.716515900	0.716480200	0.7166681	0.000849	6504	0.00018	0.00072522
	18	0.6068576	0.6113	0.6063	0.6060	0.6059	0.605861400	0.605826300	0.605800733	0.6059811	0.0008765	6504	0.00016	0.00084227
	98	0.580314533	0.5853	0.5796	0.5797	0.5797	0.579542100	0.579511067	0.579490500	0.5796436	0.0006709	6504	0.00014	0.00071637
CB29	11	0.740988367	0.7492	0.7397	0.7393	0.7393	0.739011500	0.738963000	0.738945100	0.7391392	0.0018492	6504	0.00020	0.00142156
	19	0.723636033	0.7326	0.7233	0.7228	0.7228	0.722362567	0.722340567	0.722325300	0.722436	0.0012	6504	0.00018	0.00102504
	18	0.577621367	0.5429	0.5774	0.5767	0.5767	0.576388567	0.576349367	0.576337233	0.5764867	0.0011347	6504	0.00016	0.00109035
	98	0.578010733	0.5844	0.5771	0.5771	0.5769	0.576786300	0.576756033	0.576733067	0.5768916	0.0011191	6504	0.00014	0.00119492
CB30	11	0.639848567	0.6473	0.6389	0.6381	0.6380	0.637884533	0.637854833	0.637829767	0.6379933	0.0018553	6504	0.00020	0.00142625
	19	0.7454	0.7532	0.7437	0.7438	0.7437	0.743669233	0.743631667	0.743608933	0.7437874	0.0016126	6504	0.00018	0.00137744
	18	0.636555133	0.6461	0.6350	0.6345	0.6344	0.634190133	0.634135333	0.634101633	0.6343636	0.0021915	6504	0.00016	0.00210595
	98	0.576960567	0.5822	0.5758	0.5754	0.5753	0.575163000	0.575126800	0.575113100	0.5752591	0.0017015	6504	0.00014	0.00181669
CB33	11	0.815790267	0.8254	0.8141	0.8140	0.8140	0.813874033	0.813849900	0.813816867	0.8139898	0.0018005	6504	0.00020	0.00138412
	19	0.701515033	0.708	0.6963	0.6995	0.6994	0.699227800	0.699191700	0.699167167	0.6993471	0.0021679	6504	0.00018	0.00185179
	18	0.647658767	0.645	0.6462	0.6461	0.6459	0.645767300	0.645744900	0.645726967	0.6458472	0.0018116	6504	0.00016	0.00174082
	98	0.5863047	0.5949	0.5845	0.5843	0.5844	0.584225300	0.584205833	0.584172000	0.5843343	0.0019704	6504	0.00014	0.00210383
CB44	11	0.827335767	0.8308	0.8265	0.8263	0.8263	0.826004700	0.825961367	0.825936800	0.8261374	0.0011984	6504	0.00020	0.00092125
	19	0.7185049	0.7225	0.7178	0.7178	0.7178	0.717376700	0.717331933	0.717303433	0.7175205	0.0009844	6504	0.00018	0.00084085
	18	0.646907767	0.6518	0.6459	0.6459	0.6460	0.645688200	0.645658233	0.645634133	0.6457954	0.0011124	6504	0.00016	0.00106893
	98	0.573568567	0.5763	0.5722	0.5724	0.5723	0.572147833	0.572121000	0.572091767	0.5722604	0.0013082	6504	0.00014	0.00139675

5.3 Optická profilometrie

Rozložení koroze na vzorcích destiček

Parametry měření

Celkem byly naskenovány 4 zkušební vzorky pomocí 4-osého optického profilometru RedLux (RedLux Ltd., Southampton, UK). Upevnění vzorku bylo provedeno pomocí magnetu a celoplastového přípravku.



Sestava měření

Parametry skenování (30.5.2019):

Všechny plochy byly skenovány tak, aby rozteč bodů v obvodovém směru byla 0,02 mm (průměrná hodnota) a v podélném směru byla 0,03 mm.

Skenování plochy:

počet bodů na otáčku: 1000

počet otáček: 2 x 120

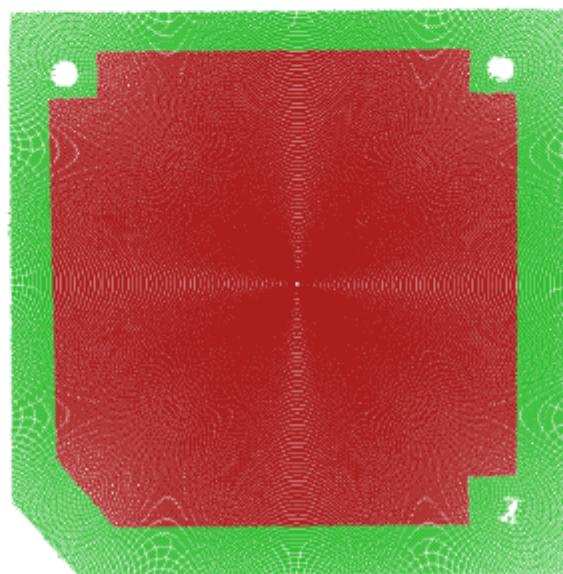
scan rate: 1200 Hz

Vyhodnocení

Vybraná část naskenované čtvercové plochy o rozměrech 10 x 10 mm byla proložena rovinou – viz. obr. Výběr pro proložení byl navržen tak, aby do výběru nebyly zahrnuty oblasti, kde je vzniklá deformace při výrobě vzorků (okraje, šikmý roh a díry). Výsledkem je barevná mapa odchylek a histogram odchylek od proložené roviny s vyznačením minimálních hodnot. Všechny vzorky jsou porovnány se stavem před korozním experimentem.

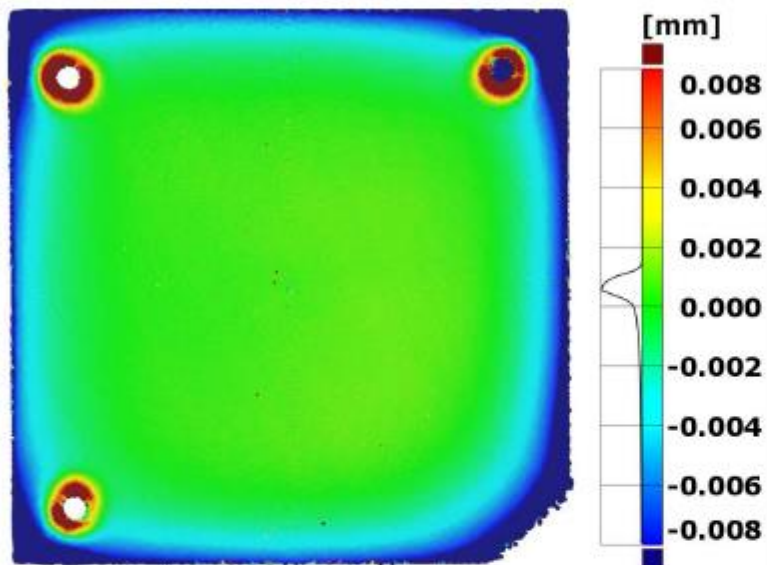
Při porovnání výsledků je třeba vzít v úvahu, že proložená rovina odpovídá aktuálnímu stavu, a liší se pro stav před experimentem a stav po experimentu.

Výběr bodů pro proložení referenční rovinou – vzorek č. CB 01-11

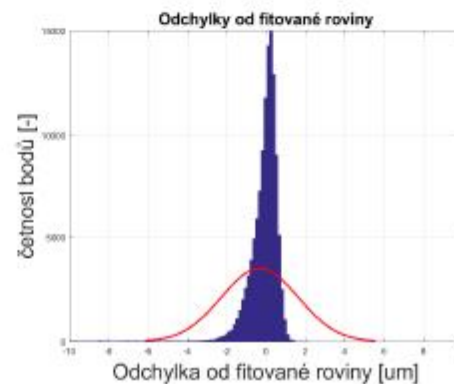
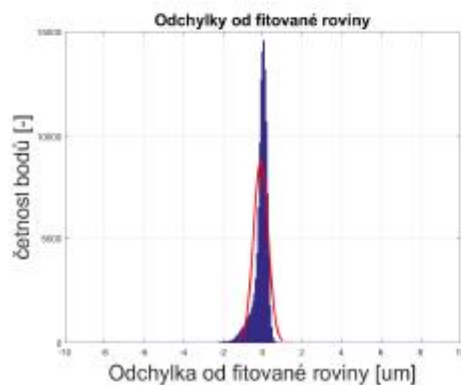
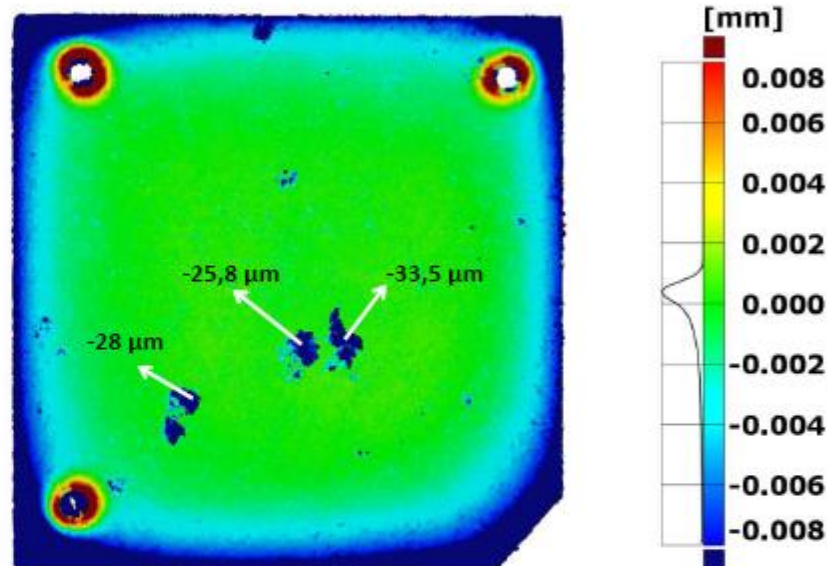


Odchylky od fitovaného válce – vzorek č. CB 01-11

před experimentem

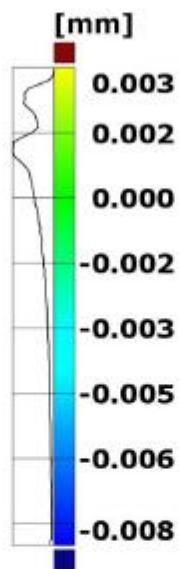
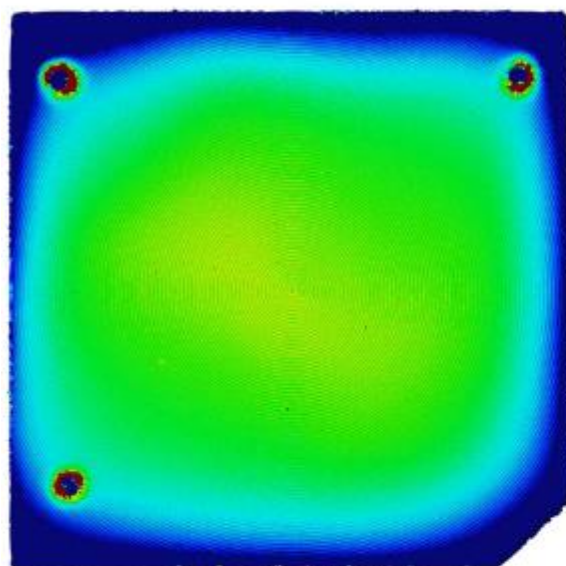


po experimentu

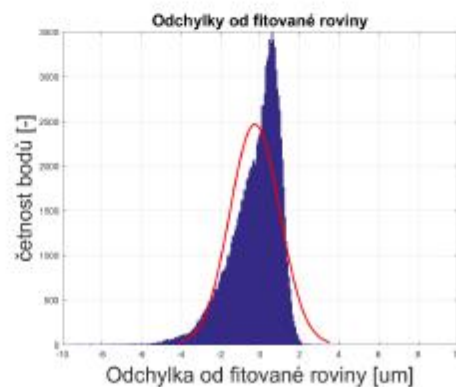
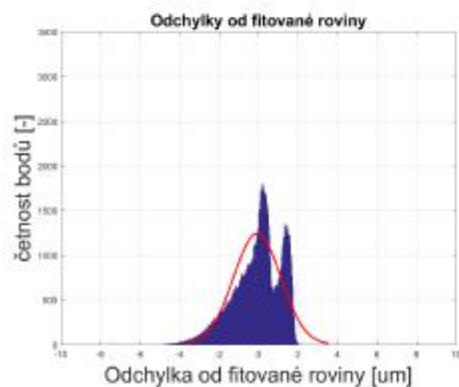
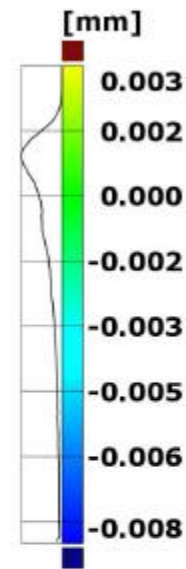
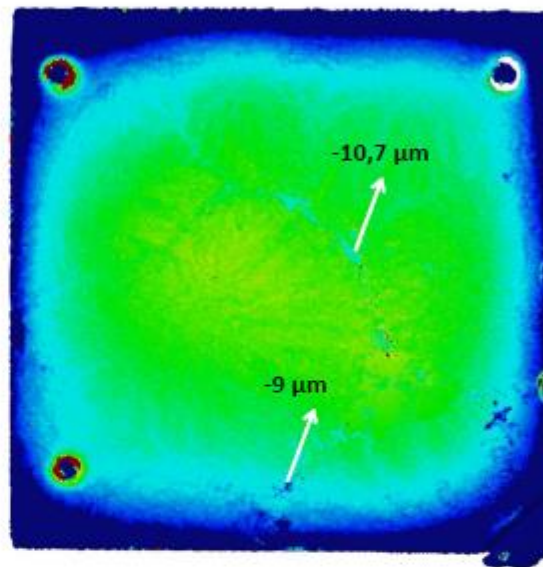


Odchyly od fitovaného válce – vzorek č. CB 14-11

před experimentem

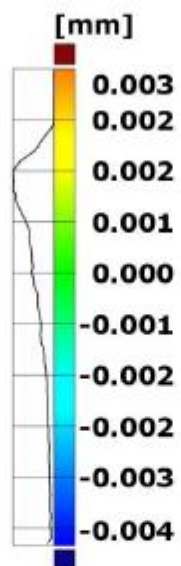
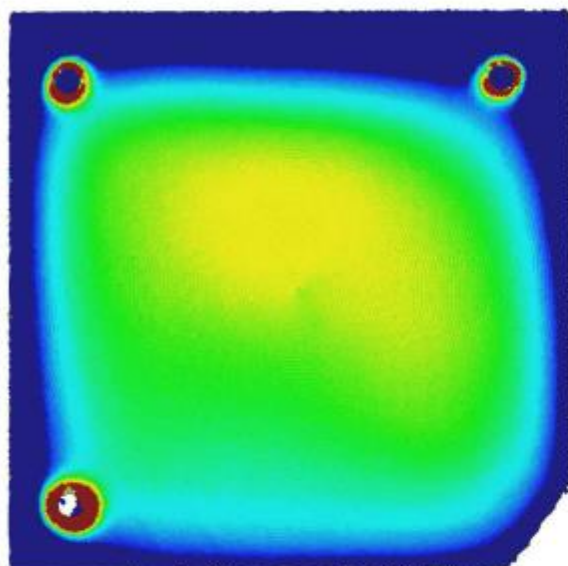


po experimentu

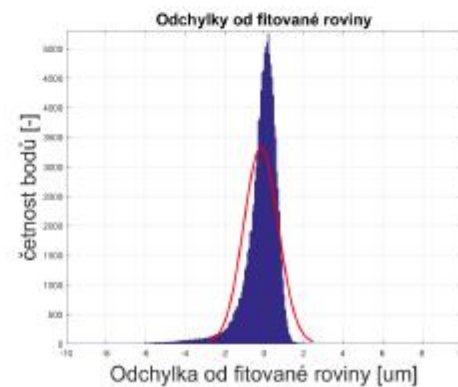
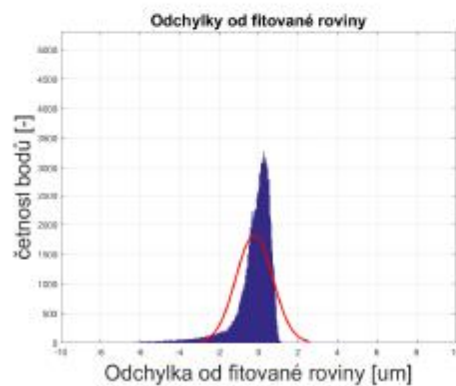
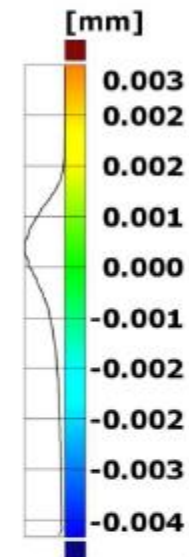
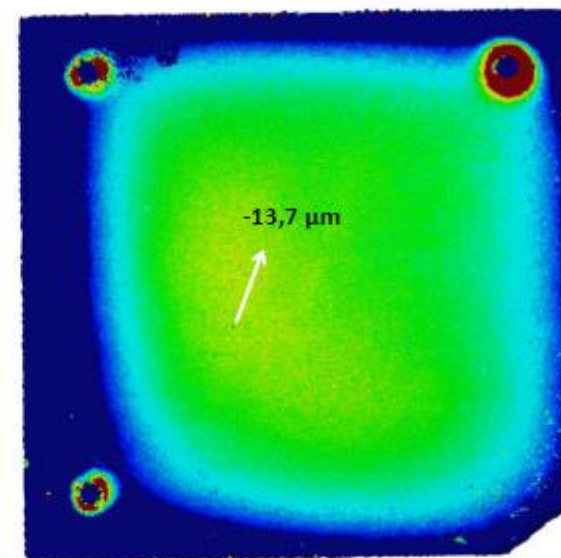


Odchylky od fitovaného válce – vzorek č. CB 17-11

před experimentem

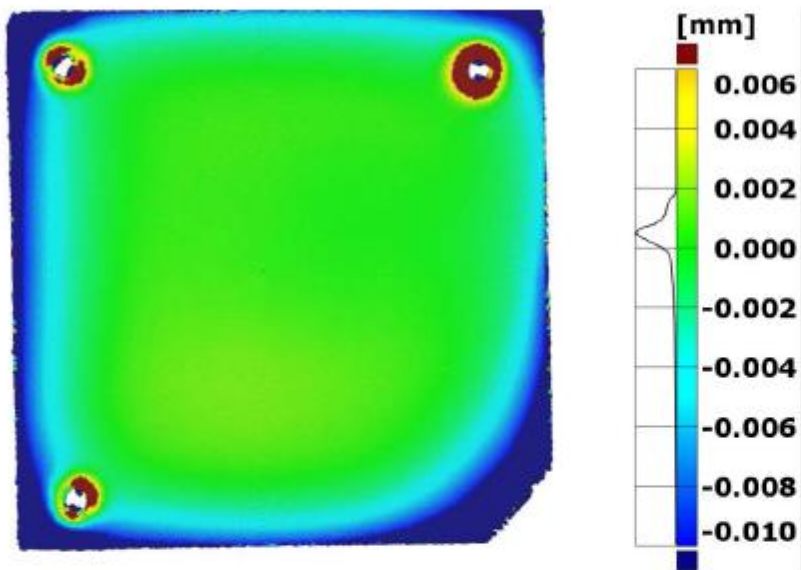


po experimentu

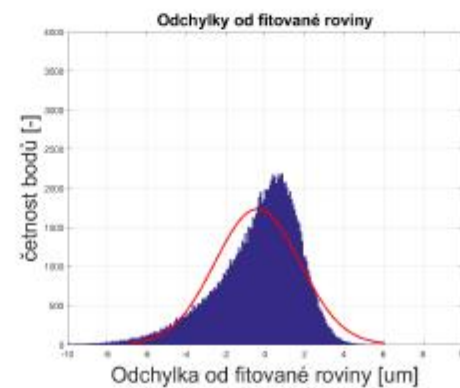
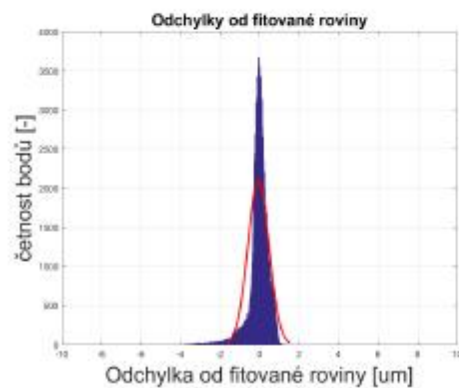
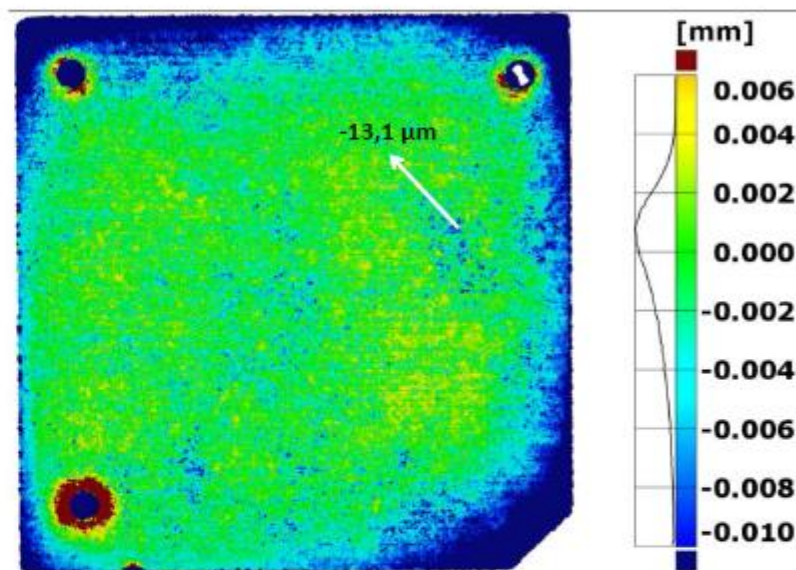


Odchyly od fitovaného válce – vzorek č. CB 18-11

před experimentem



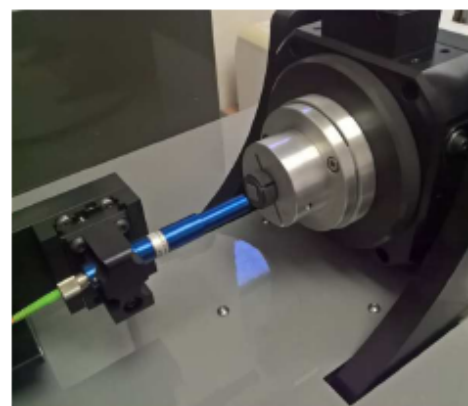
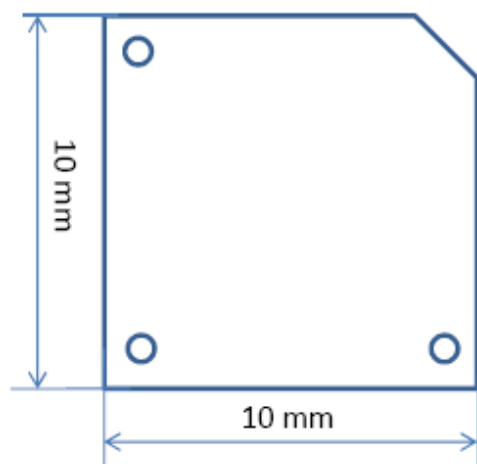
po experimentu



Rozložení koroze na vzorcích destiček

Parametry měření

Celkem bylo naskenováno 16 zkušebních vzorků pomocí 4-osého optického profilometru RedLux (RedLux Ltd, Southampton, UK). Upevnění vzorku bylo provedeno pomocí magnetu a celoplastového přípravku.



Sestava měření

Parametry skenování (11.7.2019 – 25.7.2019):

Všechny plochy byly skenovány tak, aby rozteč bodů v obvodovém směru byla 0,02 mm (průměrná hodnota) a v podélném směru byla 0,03 mm.

Skenování plochy:

počet bodů na otáčku: 1000

počet otáček: 2 x 120

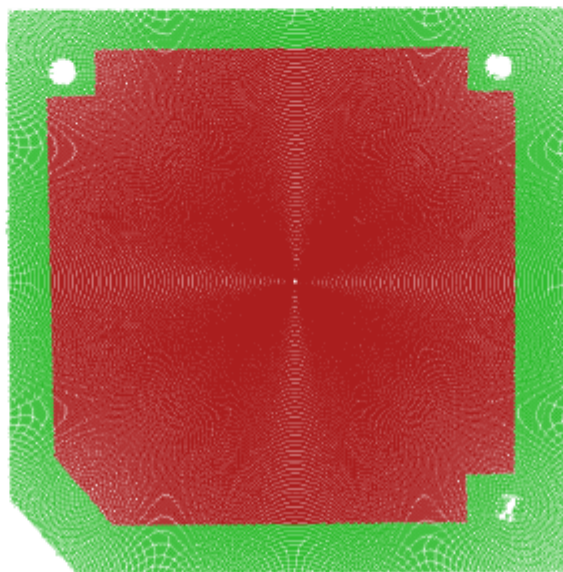
scan rate: 1200 Hz

Vyhodnocení

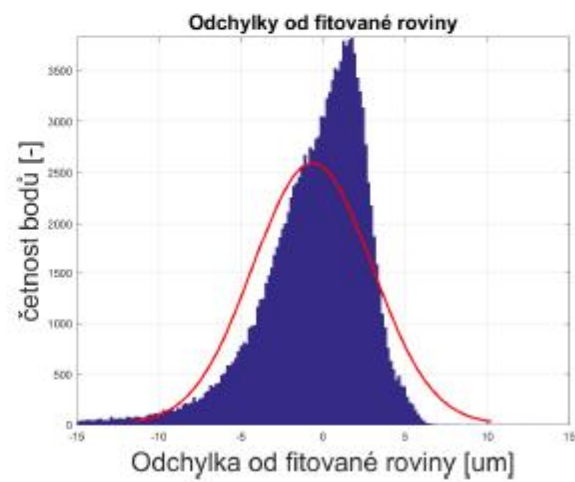
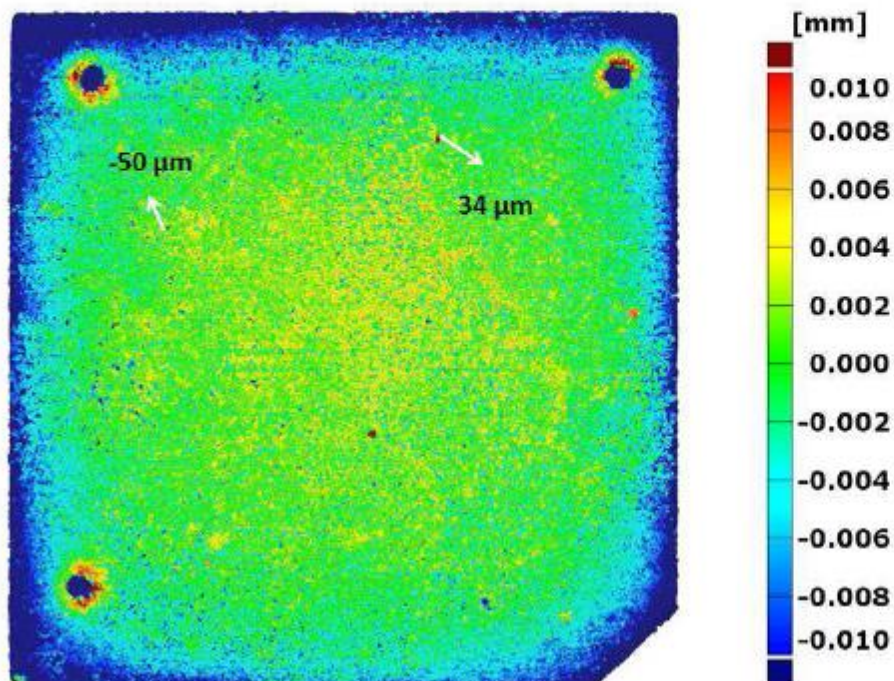
Vybraná část naskenované čtvercové plochy o rozměrech 10 x 10 mm byla proložena rovinou – viz. obr. Výběr pro proložení byl navržen tak, aby do výběru nebyly zahrnuty oblasti, kde je vzniklá deformace při výrobě vzorků (okraje, šikmý roh a díry). Výsledkem je barevná mapa odchylek a histogram odchylek od proložené roviny s vyznačením minimálních a maximálních hodnot.

Při porovnání výsledků je třeba vzít v úvahu, že proložená rovina odpovídá aktuálnímu stavu – tedy po korozním experimentu. Hodnoty odchylek od roviny mohou tedy být i pozitivní a to je třeba zohlednit při hodnocení koroze.

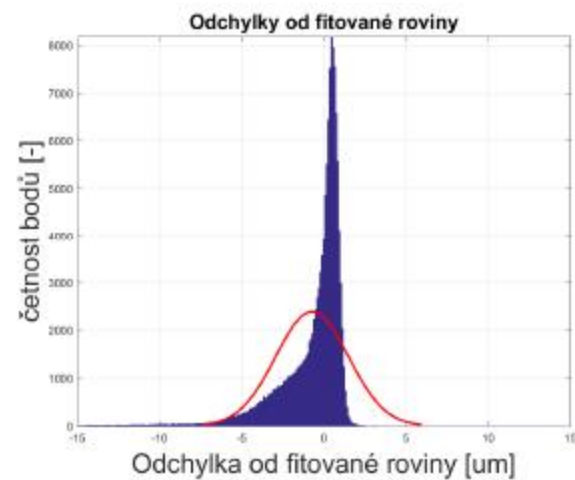
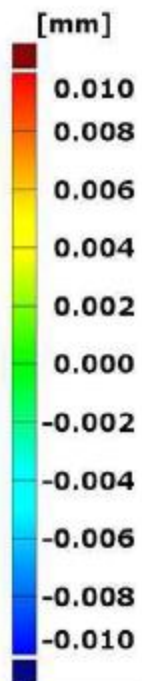
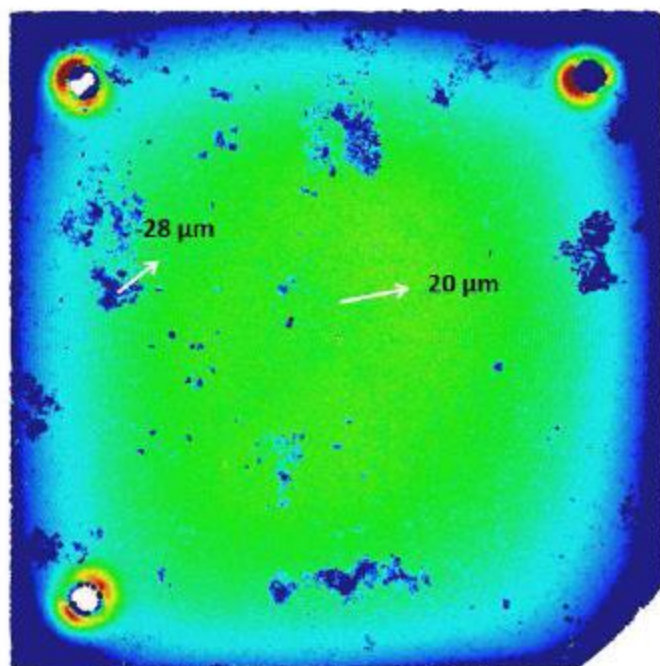
Výběr bodů pro proložení referenční rovinou – vzorek č. CB 01-11



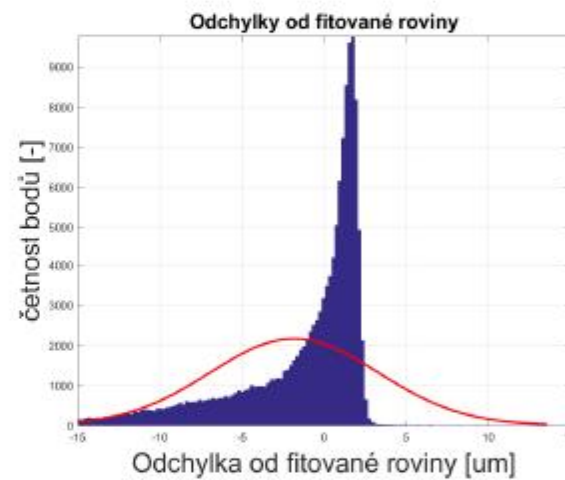
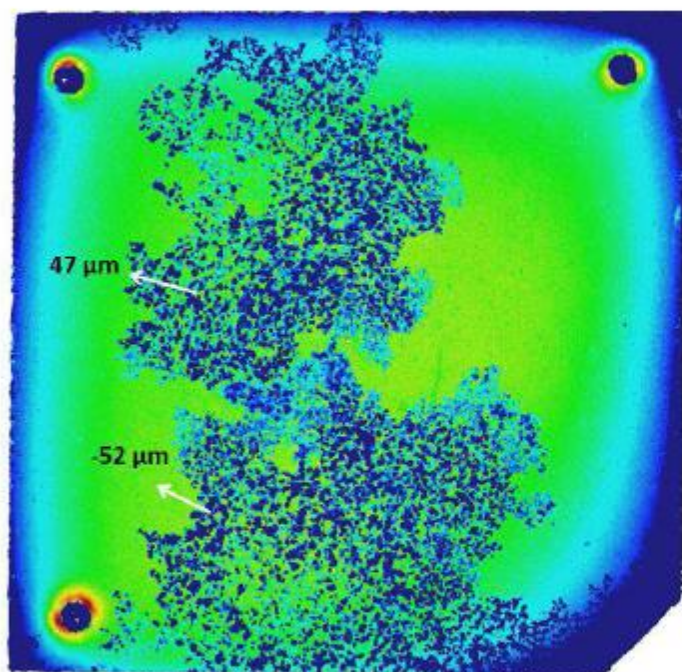
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. CB 05-11



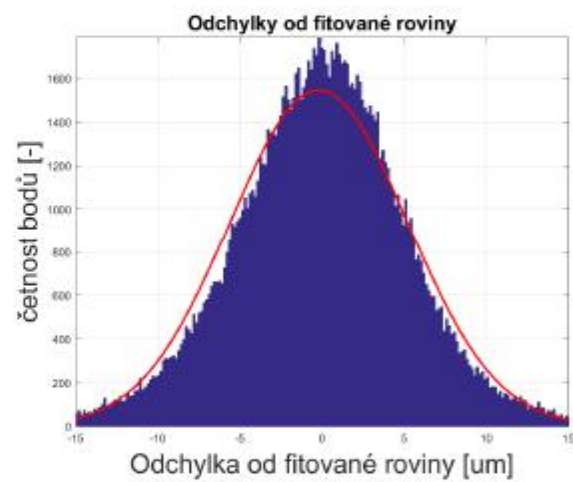
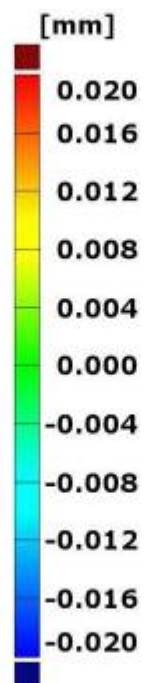
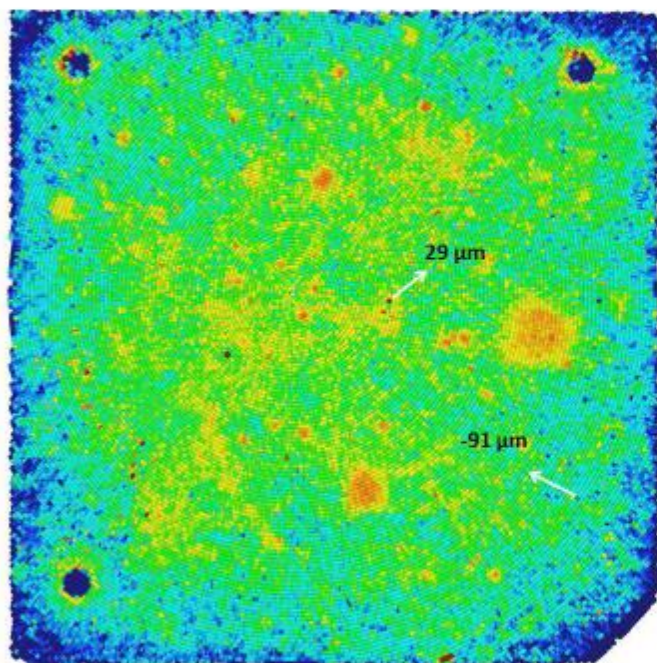
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 08-11**



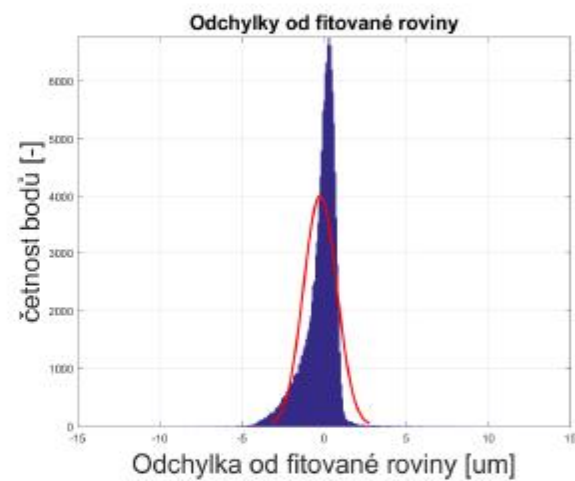
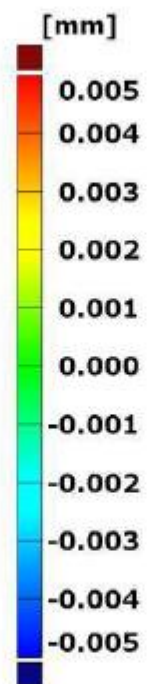
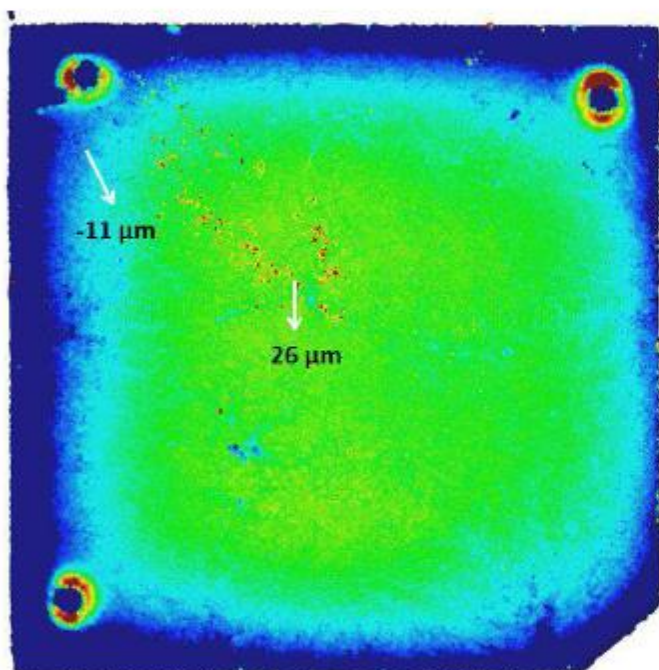
Odchyly od fitované roviny – vzorek č. **CB 09-11**



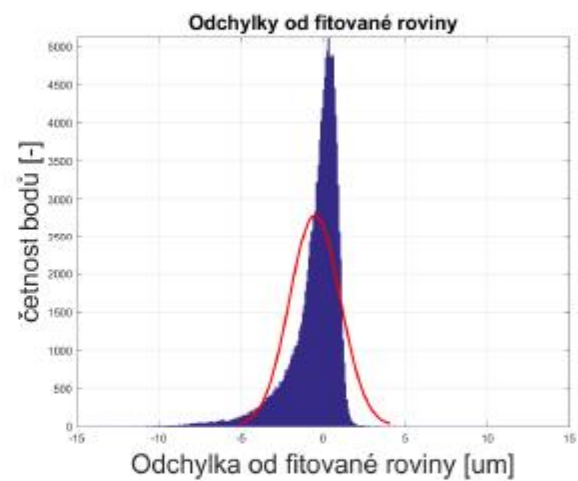
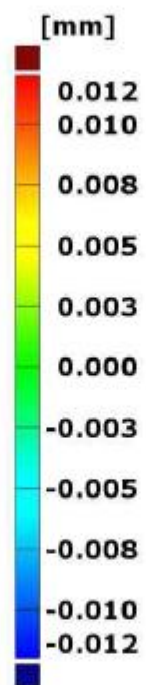
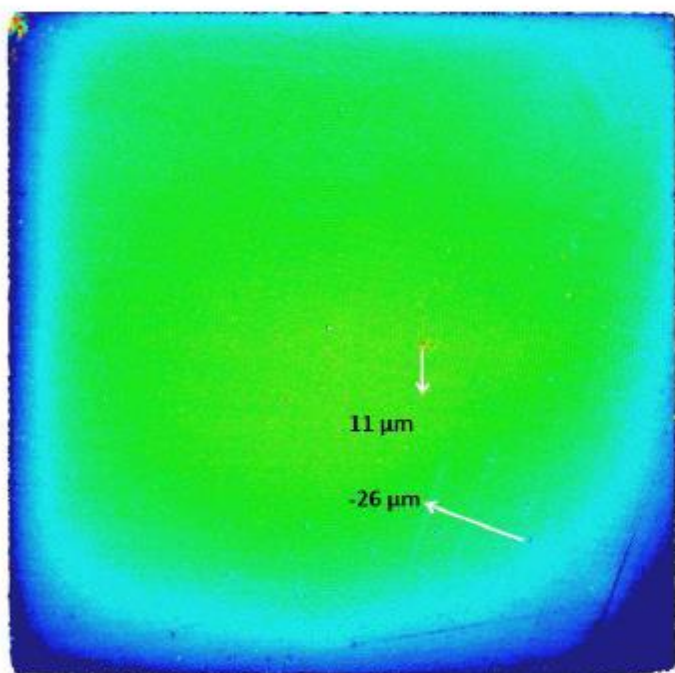
Odchyly od fitované roviny – vzorek č. **CB 11-11**



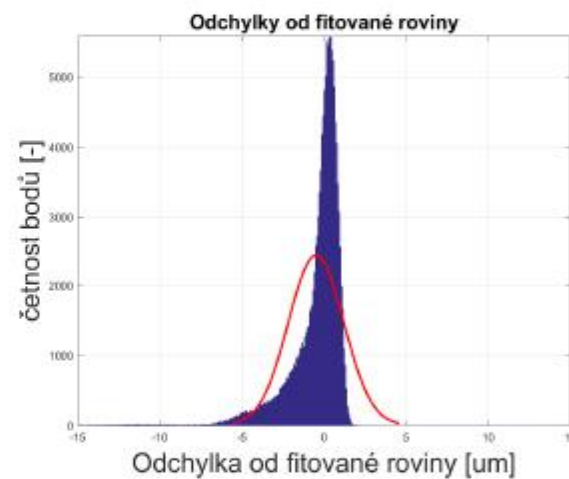
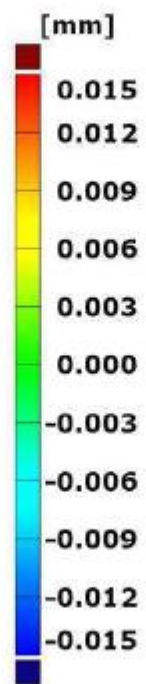
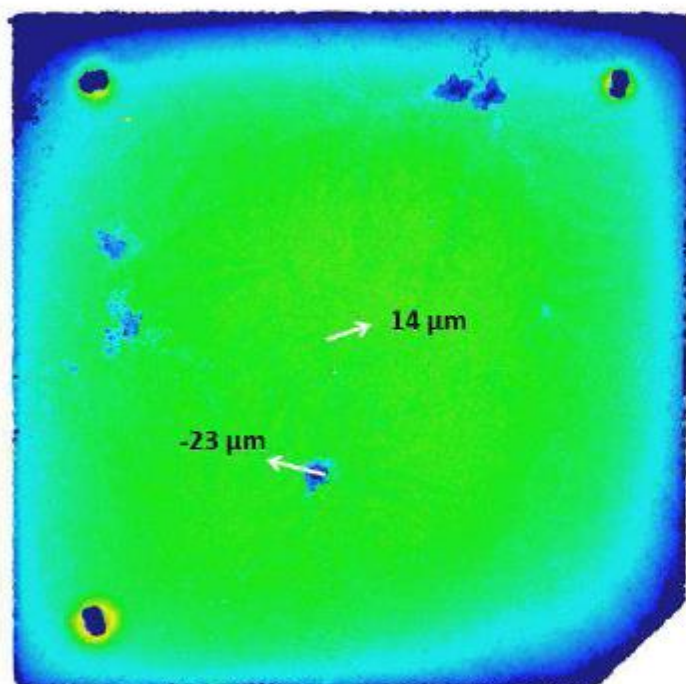
Odchyly od fitované roviny – vzorek č. CB 13-11



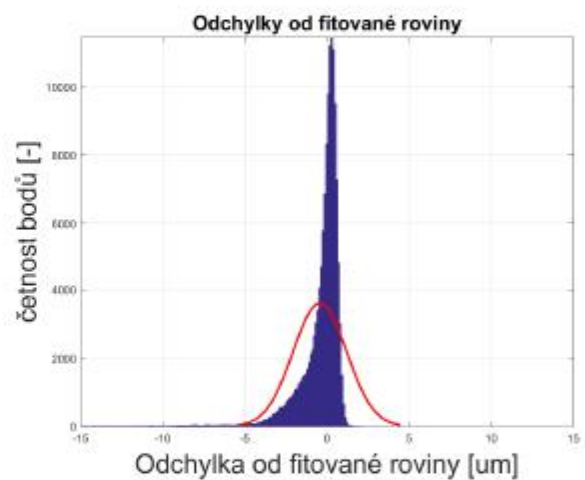
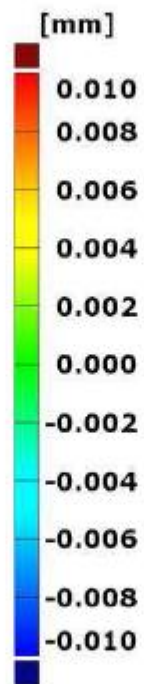
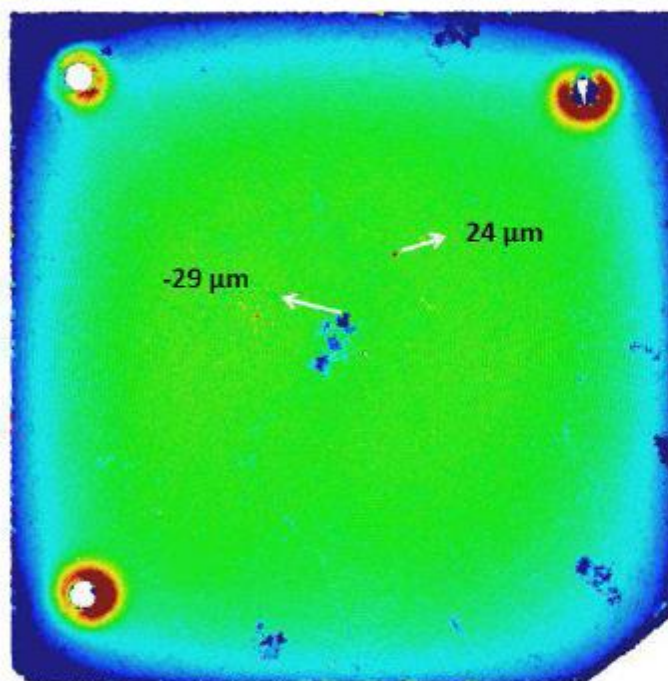
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 15-11**



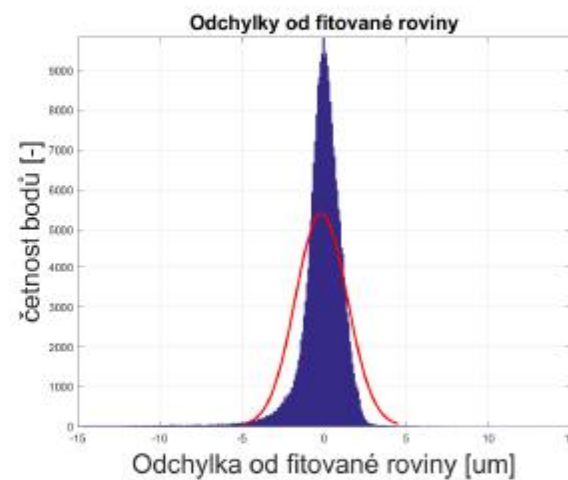
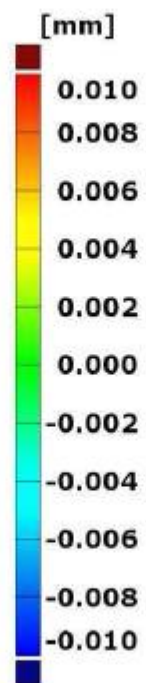
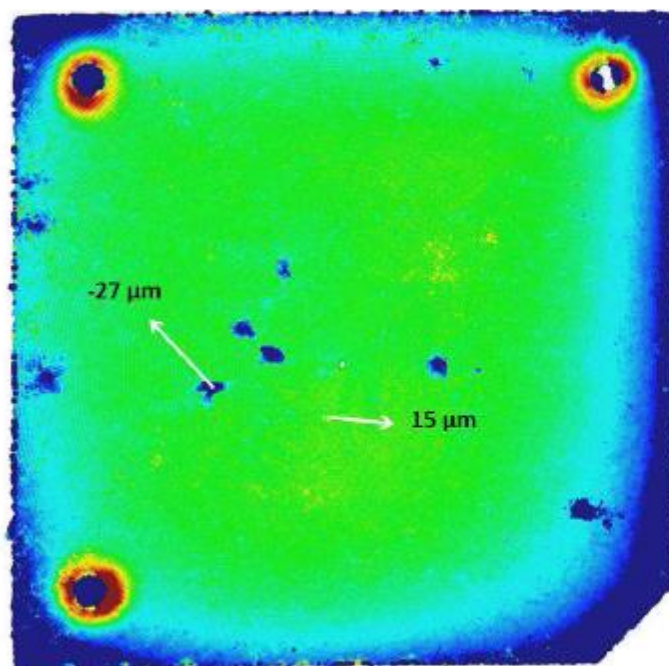
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 16-11**



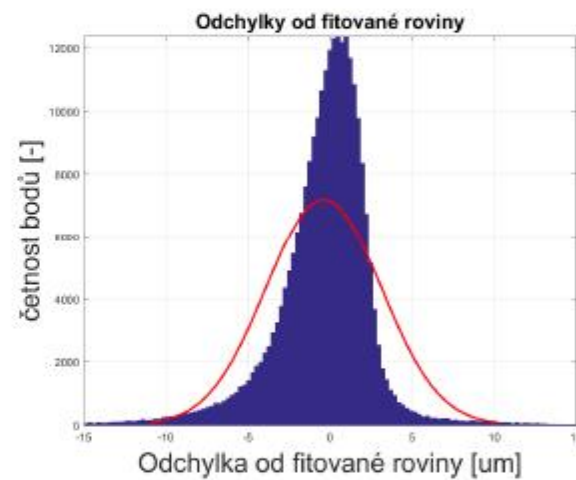
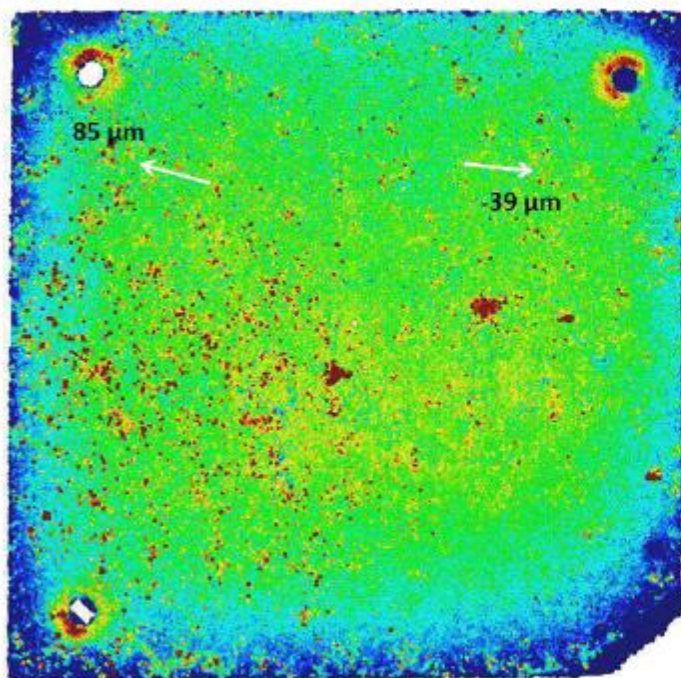
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. CB 23-11



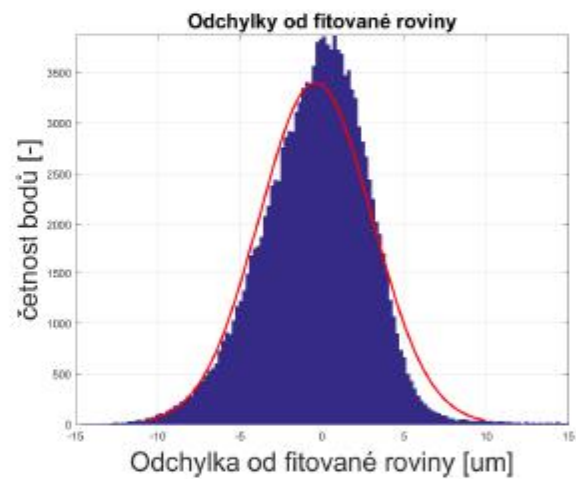
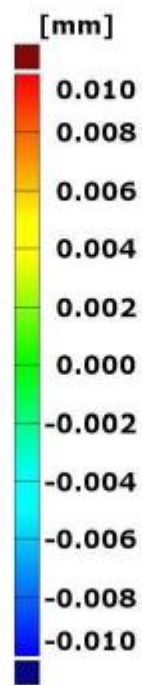
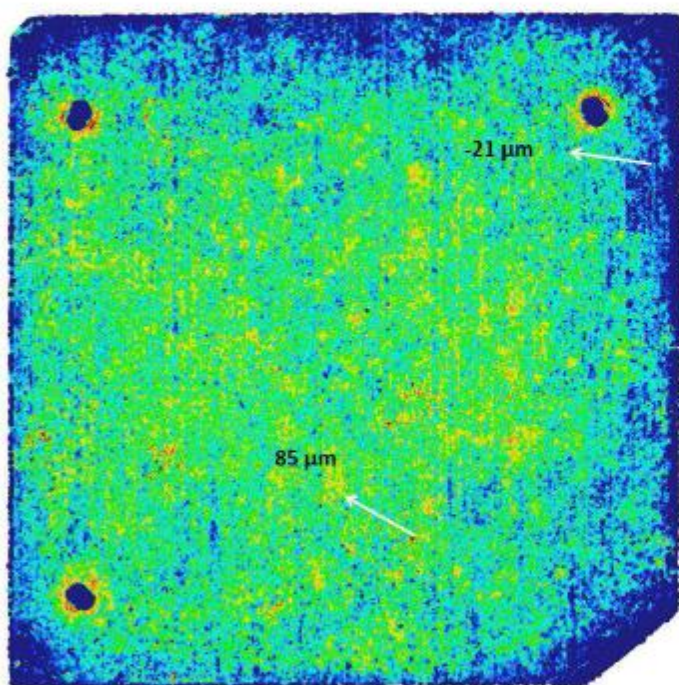
Odchyly od fitované roviny – vzorek č. CB 02-11



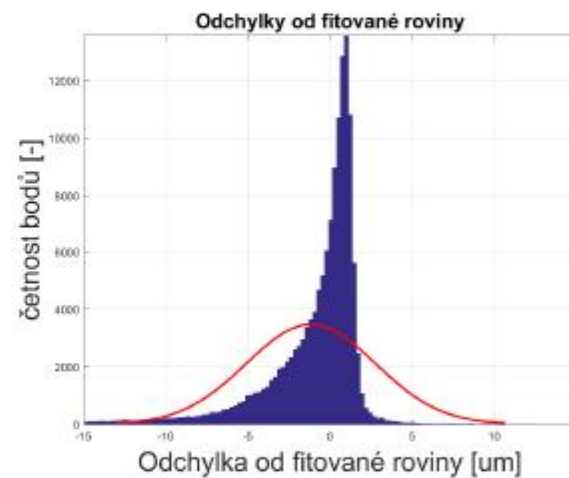
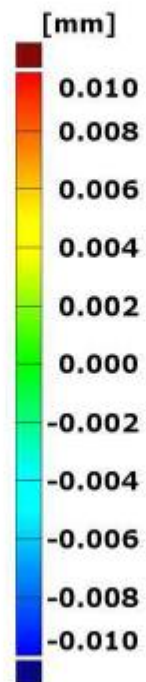
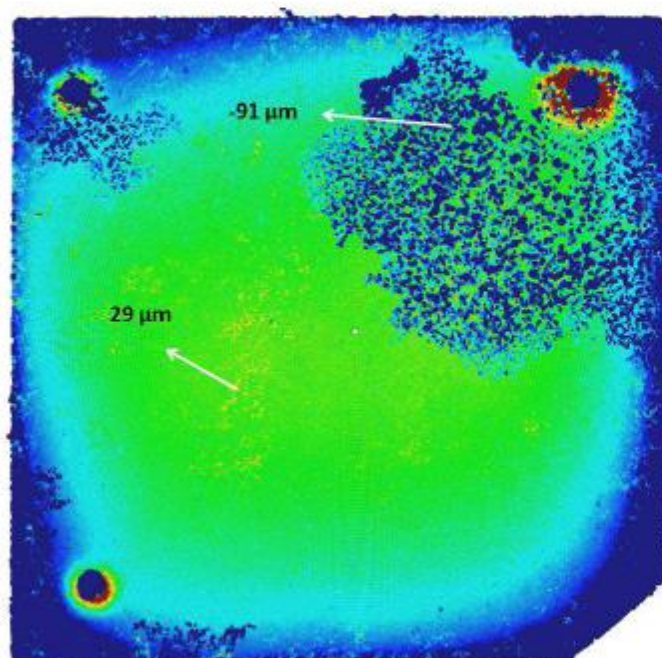
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 03-11**



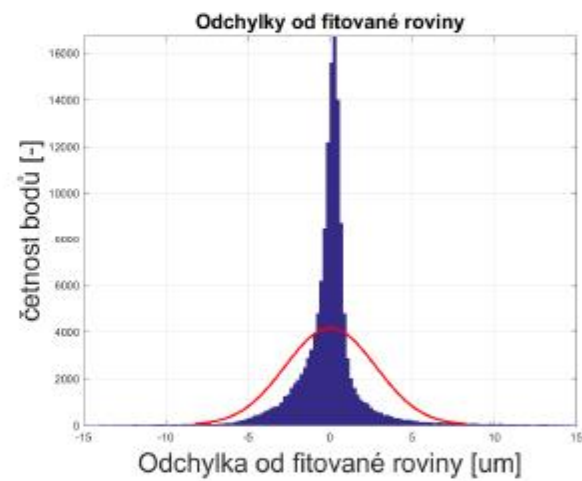
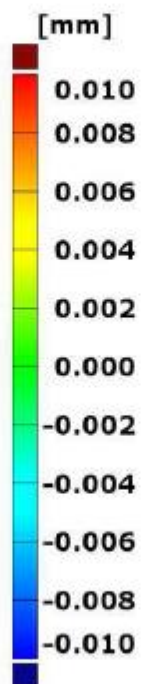
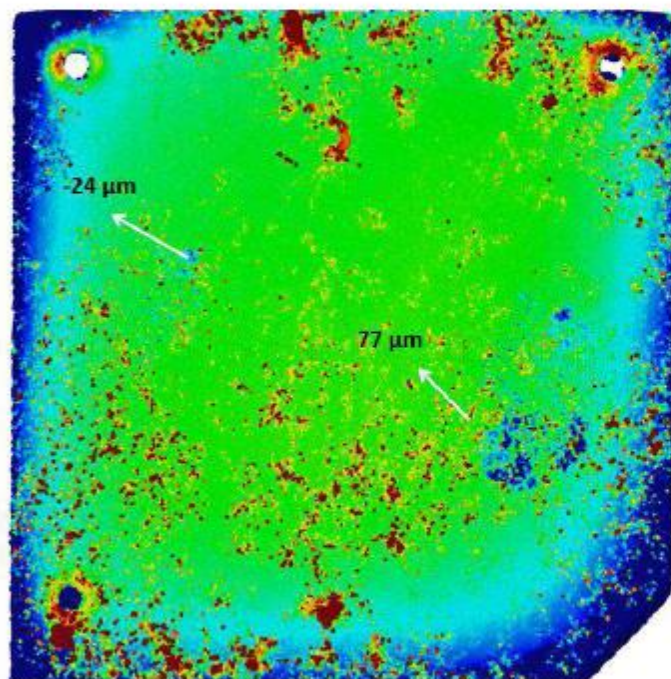
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 04-11**



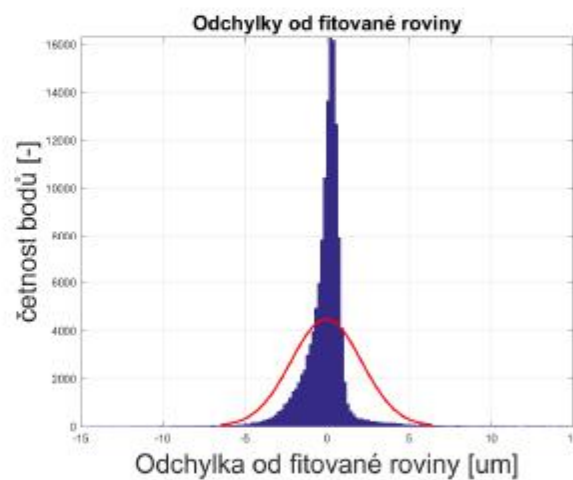
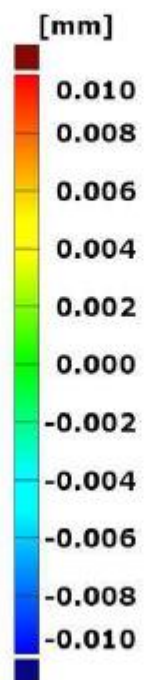
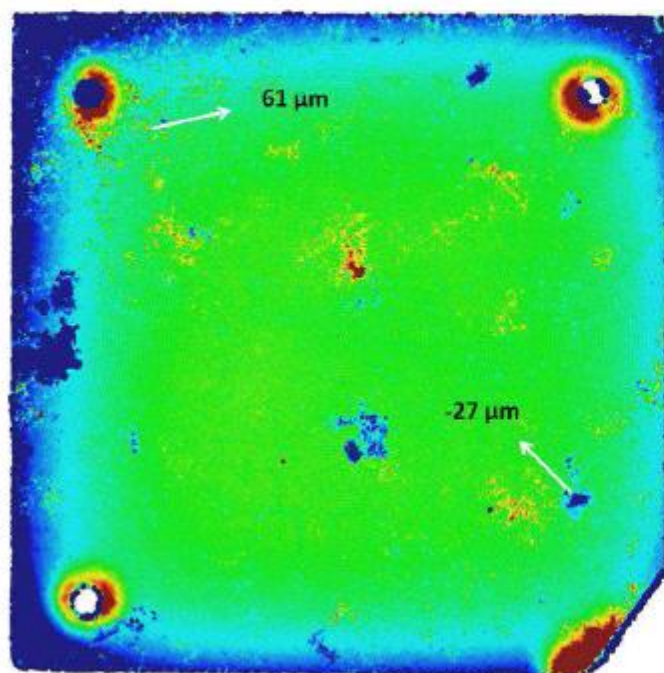
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 10-11**



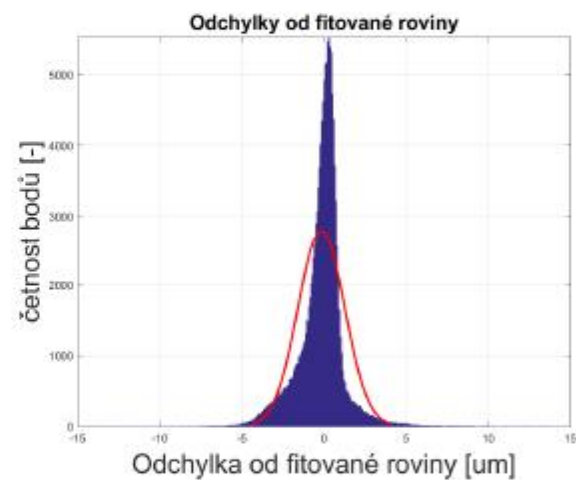
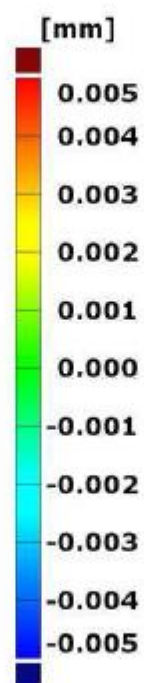
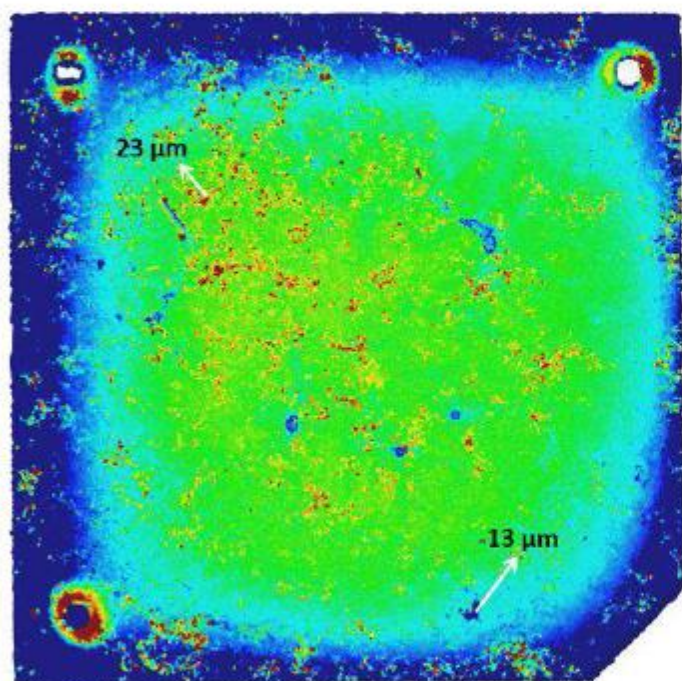
Odchylky od fitované roviny – vzorek č. **CB 12-11**



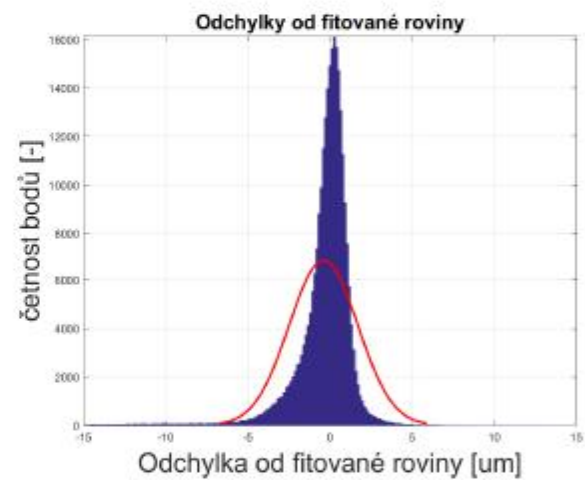
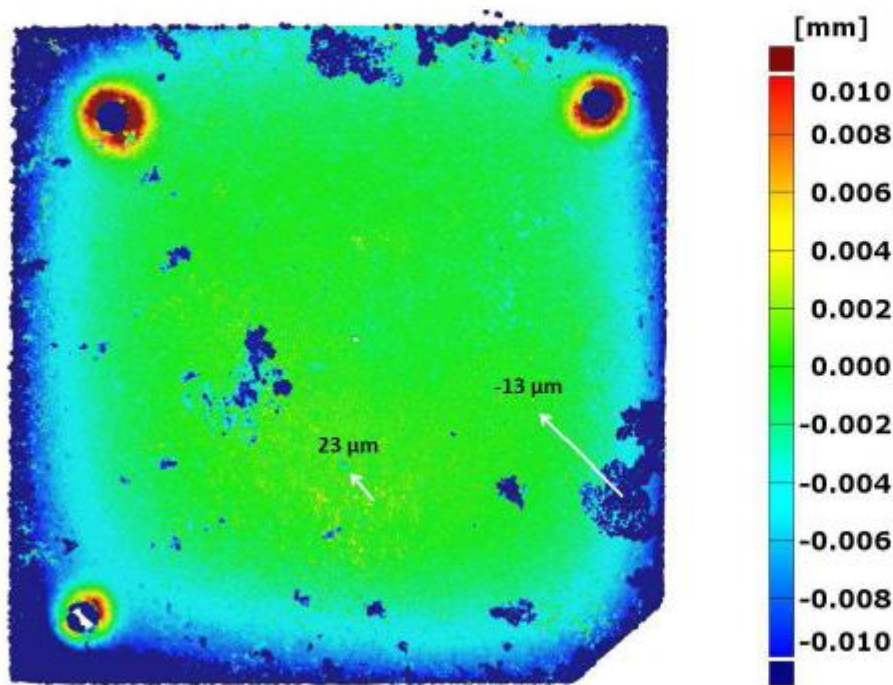
Odchyly od fitované roviny – vzorek č. **CB 20-11**



Odchylky od fitované roviny – vzorek č. CB 21-11



Odchyly od fitované roviny – vzorek č. **CB 22-11**



NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



SÚRAO

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: info@surao.cz

www.surao.cz