
KOROZNÍ ZKOUŠKA V PŘÍRODNÍM GRANITOIDNÍM PROSTŘEDÍ

*ZAPOJENÍ V PROJEKTU MATERIAL CORROSION TEST
(MACOTE), ČÁST ZAKÁZKY Č.2 REALIZACE A
VYHODNOCENÍ MACOTE EXPERIMENTU V GRIMSEL
TEST SITE*

Autoři: D. Dobrev a kolektiv

ÚJV Řež, a. s.

Praha, květen 2020

Název projektu: Zapojení v projektu Material Corrosion Test (MaCoTe), Část zakázky č.2 Realizace a vyhodnocení MaCoTe experimentu v Grimsel Test Site

Název dílčí etapové zprávy: Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí

Průběžná zpráva

Evidenční číslo objednatele: SO2014-014

Evidenční číslo zhotovitele: 14SMP074

ŘEŠITELÉ:

ÚJV Řež, a. s.¹, Technická universita v Liberci²

Autoři: D. Dobrev¹

Autorský kolektiv: D. Dobrev¹, J. Gondolli¹, A. N. Mendoza Miranda¹, J. Steinová², K. Burkartová², M. Zuna¹

Schválil				
Funkce	Instituce	Jméno	Datum	Podpis
Osoba poskytovatele zodpovědná za technické řešení	ÚJV Řež, a. s.	Ing. David Dobrev		
Osoba poskytovatele zodpovědná za koordinaci projektu	ÚJV Řež, a. s.	RNDr. Václava Havlová, Ph.D.		
Osoba objednatele zodpovědná za technické řešení	SÚRAO	Ing. Lucie Hausmannová, Ph.D.		
Osoba objednatele zodpovědná za koordinaci projektu	SÚRAO	Ing. Lucie Hausmannová, Ph.D.		

Obsah

1	ÚVOD	32
2	Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí	33
3	Příprava korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí	36
3.1	Příprava kompaktovaného bentonitu	36
3.2	Vzorky kovových materiálů.....	39
3.3	Příprava modulů pro experiment	40
3.4	Přípravné práce před instalací aparatury.....	46
4	Instalace aparatury pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí 49	
5	Monitorování korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí	52
6	Odběr modulů se vzorky a vzorkování podzemní vody	54
6.1	Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.001 a vzorkování podzemní vody	54
6.2	Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.002 a vzorkování podzemní vody	58
6.3	Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.004 a vzorkování podzemní vody po třech letech experimentu.....	59
6.4	Vzorkování podzemní vody po čtyřech letech experimentu	60
6.5	Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.005 a vzorkování podzemní vody	60
6.6	Odběry vzorků podzemní vody pro mikrobiologické analýzy.....	61
7	Demontáž modulů	64
7.1	Demontáž modulů z vrtu 15.001	64
7.2	Demontáž modulů z vrtu 15.002.....	68
7.3	Demontáž modulů z vrtu 15.004.....	69
7.4	Demontáž modulů z vrtu 15.005.....	69
8	Výsledky provedených analýz	71
8.1	Analýza uhlíkové oceli ČSN 12022.....	71
8.2	Analýza měděného nástřiku	71
8.3	Analýza podzemních vod	71
8.4	Analýza bentonitu BaM a MX-80	80
8.5	Analýza kovových vzorků	81
8.5.1	Stanovení korozní rychlosti	81
8.5.2	Stanovení korozních produktů.....	83
8.5.3	Obrazová dokumentace vzorků.....	85
8.6	Mikrobiologické analýzy	92
8.6.2	Výsledky rok 2017.....	93

8.6.3	Výsledky rok 2018.....	99
8.6.4	Výsledky rok 2020.....	101
9	Závěr	105
10	Literatura	107
11	Přílohy.....	109
11.1	Stanovení vlhkosti použitých bentonitů.....	109
11.2	Navážky bentonitů.....	110
11.3	Hmotnosti vzorků	111
11.4	Umístění modulů v jednotlivých vrtech	116
11.5	Vnější povrch bentonitů po experimentu.....	117
11.6	Srovnání bentonitů po experimentu.....	120
11.7	Vzorky kovových materiálů po experimentu	121
11.8	Mikrostruktura uhlíkové oceli	123
11.9	Mikrostruktura měděného nástřiku	128
11.10	Měření pH, E_h , vodivosti a koncentrace kyslíku v GTS.....	129
11.11	Stanovení kationtů v podzemní vodě	132
11.12	Stanovení aniontů v podzemní vodě	134
11.13	Stanovení koloidních částic v roztoku	136
11.14	Stanovení vlhkosti bentonitu po korozní zkoušce.....	142
11.15	Stanovení korozní rychlosti kovových vzorků.....	143
11.16	Rentgenová difrakční analýza po 1 roce	147
11.17	Rentgenová difrakční analýza po 2 letech	156
11.18	Rentgenová difrakční analýza po 3 letech	165
11.19	Ramanova spektroskopie po 1 roce.....	173
11.20	Ramanova spektroskopie po 2 letech	179
11.21	Ramanova spektroskopie po 3 letech	187
11.22	Stanovené korozní produkty	194
11.23	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce v bentonitu BaM	196
11.24	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu BaM.....	206
11.25	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce v bentonitu BaM.....	218
11.26	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce v bentonitu MX-80	231
11.27	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80.....	240

11.28	Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80.....	254
11.29	Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po roční korozní zkoušce v bentonitu MX-80.....	268
11.30	Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80.....	273
11.31	Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po tříleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80.....	280
11.32	Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po roční korozní zkoušce 289	
11.33	Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po dvouroční korozní zkoušce.....	293
11.34	Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po tříleté korozní zkoušce 298	
11.35	Profilometrie vzorků po roční korozní zkoušce.....	303
11.36	Profilometrie vzorků po dvouroční korozní zkoušce	317
11.37	Nejhojnější mikroorganismy použité pro mikrobiologické analýzy v roce 2017..	331
11.38	Zhodnocení mikroorganismů z hlediska nároků na kyslík (rok 2018)	333
11.39	Zhodnocení mikroorganismů z hlediska trofických strategií (rok 2018)	334
11.40	Zhodnocení mikroorganismů z hlediska donorů elektronů (rok 2018)	335
11.41	Zhodnocení mikroorganismů z hlediska terminálních akceptorů elektronů (rok 2018)	336
11.42	Výsledky mikrobiologických analýz rok - rok 2020	337

Seznam obrázků:

Obr. 2-1 Ilustrační obrázek nosné části aparatury	33
Obr. 2-2 Vzorkovač pro odběr podzemní vody	34
Obr. 2-3 Moduly s perforovaným vnějším košem.....	34
Obr. 2-4 Rozvaděč vytápění RTC01.....	35
Obr. 2-5 Mechanické obturátory	35
Obr. 3-1 Bentonit MX-80 před mletím	37
Obr. 3-2 Granule bentonitu MX-80 před mletím	37
Obr. 3-3 Mletí bentonitu MX-80	37
Obr. 3-4 Lisovací forma	38
Obr. 3-5 Bentonitové okruží. Nalevo bentonit MX-80 napravo bentonit BaM	39
Obr. 3-6 Vzorek uhlíkové oceli.....	39
Obr. 3-7 Mechanicky poškozená strana měděných vzorků (nalevo) a nepoškozená strana (napravo).....	40
Obr. 3-8 Vzorky kovových materiálů na středové trubce modulu	40
Obr. 3-9 Moduly s bentonitem MX-80.....	41
Obr. 3-10 Moduly s bentonitem BaM	41
Obr. 3-11 Umístění filtračních tkanin okolo bentonitu	42
Obr. 3-12 Dokončení montáže modulu	42
Obr. 3-13 Moduly v rukavicovém boxu s argonovou atmosférou	42
Obr. 3-14 Přepravní plastové nádoby s podzemní vodou z GTS	43
Obr. 3-15 Sycení modulů v rukavicovém boxu	43
Obr. 3-16 Měření zbytkového kyslíku po sycení	44
Obr. 3-17 Příprava modulů pro přepravu do Grimsel Test Site	44
Obr. 3-18 Zabalené moduly umístěné v plastovém sudu.....	45
Obr. 3-19 Bentonit MX-80 na dně nádoby po sycení modulů.....	45
Obr. 3-20 Bentonit MX-80 mezi perforovaným vnějším košem a plastovým čelem.....	46
Obr. 3-21 Nosná část aparatury spojená se vzorkovačem.....	47
Obr. 4-1 Probublávání vrtu argonem	49
Obr. 4-2 Bubliny argonu při utahování mechanického obturátoru	50
Obr. 4-3 Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí za zvýšené teploty (foto Nagra).....	51
Obr. 5-1 Záznam teploty nosných částí aparatury v jednotlivých vrtech. Označení vrtů je 15.001 až 15.005.....	53
Obr. 6-1 Manometr použitý pro měření tlaku podzemní vody pod mechanickým obturátorem ve vrtu 15.001	54

Obr. 6-2 Cella pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek	55
Obr. 6-3 Filtr k cele pro měření elektrochemických parametrů	55
Obr. 6-4 pH metr použitý při měření za „anaerobních“ podmínek	56
Obr. 6-5 Přístroje Gryf použité pro měření elektrochemických parametrů (pH, oxidačně redukčního potenciálu, kyslíku a vodivosti).....	56
Obr. 6-6 Moduly se vzorkovačem a těsnícím elementem mechanického obturátoru.....	57
Obr. 6-7 Transportní pouzdro s moduly při proplachování argonem	57
Obr. 6-8 Manometr použitý pro měření tlaku podzemní vody pod mechanickým obturátorem ve vrtu 15.002	58
Obr. 6-9 Pouzdro použité pro převoz modulů	58
Obr. 6-10 Zapojení dvou cel pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek.	59
Obr. 6-11 Zapojení dvou cel pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek po třech letech experimentu.....	60
Obr. 6-12 Zařízení pro vakuovou filtraci (A), filtry pro filtraci vzorků (B)	62
Obr. 7-1 Moduly umístěné do přechodové komory rukavicového boxu.....	64
Obr. 7-2 Moduly MaCoTe_AN_MX80_Cu_7, MaCoTe_AN_MX80_Fe_1 a MaCoTe_AN_BaM_Fe_1 v rukavicovém boxu	65
Obr. 7-3 Moduly MaCoTe_AN_MX80_Cu_7 (vlevo), MaCoTe_AN_MX80_Fe_1 (vpravo) a MaCoTe_AN_BaM_Fe_1 (dole) v rukavicovém boxu po odstranění vík	65
Obr. 7-4 Odběr vzorků bentonitu pro stanovení vlhkosti	66
Obr. 7-5 Vzorky bentonitu pro mikrobiologické analýzy	67
Obr. 7-6 Šedočerné zbarvení vnější strany bentonitu u modulů s uhlíkovou ocelí. Horní obrázek ukazuje stranu bentonitu přilehlou k uhlíkové oceli a v oblasti lomu bentonitu je pozorovatelné šedočerné zbarvení na vnější straně. Spodní obrázek ukazuje bentonit MX-80 z vnější strany	67
Obr. 7-7 Ilustrační obrázek šedočerného zbarvení na filtrační tkanině z modulu s bentonitem BaM.....	68
Obr. 7-8 Šedočerné zbarvení na filtračních tkaninách ze strany přiléhající k bentonitu. Vlevo modul s bentonitem MX80, vpravo modul s bentonitem BaM	69
Obr. 7-9 Degradovaná plastová část modulu.....	70
Obr. 8-1 Srovnání hodnot pH v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo	72
Obr. 8-2 Srovnání hodnot oxidačně redukčního potenciálu v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo	73
Obr. 8-3 Srovnání hodnot vodivosti v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo	74
Obr. 8-4 Srovnání koncentrace sodíku v jednotlivých vrtech v čase	75

Obr. 8-5 Srovnání koncentrace draslíku v jednotlivých vrtech v čase	75
Obr. 8-6 Srovnání koncentrace hořčíku v jednotlivých vrtech v čase	76
Obr. 8-7 Srovnání koncentrace vápníku v jednotlivých vrtech v čase	76
Obr. 8-8 Srovnání koncentrace celkového železa v jednotlivých vrtech v čase.....	77
Obr. 8-9 Srovnání celkové alkalinity v jednotlivých vrtech v čase	78
Obr. 8-10 Srovnání koncentrace fluoridů v jednotlivých vrtech v čase	78
Obr. 8-11 Srovnání koncentrace chloridů v jednotlivých vrtech v čase	79
Obr. 8-12 Srovnání koncentrace síranů v jednotlivých vrtech v čase (pozn. hodnoty pod 1 mg.l ⁻¹ jsou pouze orientační, neboť jsou pod mezí stanovitelnosti).....	79
Obr. 8-13 Bílý sediment u vzorků vod pro stanovení kationtů z vrtu 15.005.....	80
Obr. 8-14 Analýza sraženiny vzniklé po okyselení vody z vrtů.....	80
Obr. 8-15 Průměrné korozní rychlosti za celou dobu korozní zkoušky.....	82
Obr. 8-16 Průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM a MX-80 za jednotlivé roky	82
Obr. 8-17 Ilustrační difrakční záznam pro uhlíkovou ocel v prostředí bentonitu po 1 roce experimentu	84
Obr. 8-18 Ilustrační difrakční záznam pro uhlíkovou ocel v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu	84
Obr. 8-19 Ilustrační záznam z Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM po 2 letech. Červená – vzorek, fialová – ilustrační spektrum sideritu	85
Obr. 8-20 Ilustrační obrázek lokálního napadení uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM nalevo a v prostředí bentonitu MX-80 napravo	86
Obr. 8-21 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstev na povrchu vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu MX-80 po roce.....	86
Obr. 8-22 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstev na povrchu vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM po dvou letech.....	86
Obr. 8-23 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstvy na povrchu vzorku po tříleté korozní zkoušce.....	87
Obr. 8-24 Ilustrační obrázek důlku na povrchu měděného nástřiku po roční korozní zkoušce	88
Obr. 8-25 Ilustrační obrázek důlku na povrchu měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce	88
Obr. 8-26 Ilustrační obrázek bodového napadení vzorku mědi po třech letech experimentu	89
Obr. 8-27 Ilustrační obrázek bodového napadení vzorku mědi po čtyřech letech experimentu	89
Obr. 8-28 Ilustrační obrázek oblastí na povrchu vzorku mědi s velkou četností malých důlků po čtyřleté expozici.....	90
Obr. 8-29 Četnost korozních důlků na povrchu vzorků mědi. Do četnosti nejsou zahrnuty malé důlky ze čtyřletého experimentu.	90

Obr. 8-30 Prvková analýza krystalů nad důlky v mědi	91
Obr. 8-31 Ilustrační obrázek povrchu uhlíkové oceli v prostředí bentonitu MX-80 nahoře a bentonitu BaM dole. Vlevo fotografie povrchu, vpravo 3D obrázek z optického profilometru	92
Obr. 8-32 Ilustrační obrázek odchylek vzorků oceli od ideálního válce po výšce vzorku. Vlevo vzorek v prostředí bentonitu BaM, vpravo vzorek v prostředí bentonitu MX-80.....	92
Obr. 8-33 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na dominantních donorech elektronů (zkratka „red. formy S“ odpovídá „redukované formy síry“)	94
Obr. 8-34 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na dominantních akceptorech elektronů (zkratka „ox. formy S“ odpovídá „oxidované formy síry“)	95
Obr. 8-35 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na nárocích zjištěných mikroorganismů na kyslík	95
Obr. 8-36 Relativní zastoupení mikroorganismů s abundancí přesahující 2 % ve vzorcích bentonitu	97
Obr. 8-37 Mnohorozměrná analýza mikrobiální diverzity. Symboly představují jednotlivé vzorky (kosočtverce – bentonit, kolečka – voda z vrtů). Osy x a y jsou osami ordinačního prostoru a hodnoty na nich odpovídají relativní vzdálenosti (podobnosti) vzorků. Označení za číslem vrtu značí datum odběru: „v1“ odpovídá listopadu 2016, „v2“ dubnu 2017 a „v3“ červenci 2017..	98
Obr. 11-1 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu MX-80 po ročním (nahore vlevo), dvouletém (nahore vpravo), tříletém (dole vlevo) a čtyřletém (dole vpravo) experimentu s měděným nástřikem.....	117
Obr. 11-2 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu MX-80 po ročním (nahore vlevo), dvouletém (nahore vpravo), tříletém (dole vlevo) a čtyřletém (dole vpravo) experimentu s uhlíkovou ocelí	118
Obr. 11-3 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu BaM po ročním, dvouletém, tříletém a čtyřletém (od shora dolů) experimentu s uhlíkovou ocelí	119
Obr. 11-4 Srovnání bentonitů po experimentu. Zleva MX-80 s měděným nástřikem, MX-80 s uhlíkovou ocelí a BaM s uhlíkovou ocelí. Shora dolů roční zkouška, dvouletá zkouška, tříletá zkouška.....	121
Obr. 11-5 Srovnání kovových vzorků po experimentu. Zleva měděný nástřik, uhlíkovou ocel v bentonitu MX-80 a uhlíková ocel v bentonitu BaM. Shora dolů roční zkouška, dvouletá zkouška, tříletá zkouška, čtyřletá zkouška.....	122
Obr. 11-6 Zobrazení řezu vzorku v příčném (A) a podélném (B) směru.....	123
Obr. 11-7 Vměstky ve vzorku uhlíkové oceli, příčný řez, neleptáno. Jemné karbidy označené písmenem C a větší vměstky označené písmenem V	124
Obr. 11-8 Mikrostruktura, příčný řez, leptáno 2% Nitalem.....	124
Obr. 11-9 Mikrostruktura uprostřed vzorku, příčný řez, leptáno 2% Nitalem	125
Obr. 11-10 Mikrostruktura na okraji vzorku, příčný řez, leptáno 2% Nitalem	125
Obr. 11-11 Vměstky ve vzorku uhlíkové oceli, podélný řez, neleptáno. Jemné karbidy označené písmenem C, větší vměstky označené písmenem V, vměstky typu MnS označené písmenem S	126

Obr. 11-12 Mikrostruktura vzorku, podélný řez, leptáno 2% Nitalem.....	127
Obr. 11-13 Mikrostruktura měděného nástřiku.....	128
Obr. 11-14 Mikrostruktura mědi Cu OF.....	128
Obr. 11-15 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 1 roce	136
Obr. 11-16 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 po 1 roce	136
Obr. 11-17 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 2 letech.....	137
Obr. 11-18 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 2 letech ze vzorku vody odebraného po vyjmutí modulů u dna vrtu	137
Obr. 11-19 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 3 letech.....	138
Obr. 11-20 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 3 letech.....	138
Obr. 11-21 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 4 letech.....	139
Obr. 11-22 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 4 letech.....	139
Obr. 11-23 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 po 4 letech.....	140
Obr. 11-24 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020.....	140
Obr. 11-25 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020.....	140
Obr. 11-26 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.004 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020.....	141
Obr. 11-27 Difrakční záznam zachycených koloidních částic na filtru	141
Obr. 11-28 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	147
Obr. 11-29 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	148
Obr. 11-30 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	148
Obr. 11-31 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	149
Obr. 11-32 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	149
Obr. 11-33 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	150

Obr. 11-34 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	150
Obr. 11-35 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	151
Obr. 11-36 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	151
Obr. 11-37 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu	152
Obr. 11-38 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	152
Obr. 11-39 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	153
Obr. 11-40 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	153
Obr. 11-41 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	154
Obr. 11-42 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	154
Obr. 11-43 Difrakční záznam pro vzorek měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu	155
Obr. 11-44 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	156
Obr. 11-45 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	157
Obr. 11-46 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	157
Obr. 11-47 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	158
Obr. 11-48 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	158
Obr. 11-49 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	159
Obr. 11-50 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	159
Obr. 11-51 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	160
Obr. 11-52 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	160
Obr. 11-53 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu.....	161

Obr. 11-54 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu.....	161
Obr. 11-55 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu.....	162
Obr. 11-56 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu.....	162
Obr. 11-57 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu.....	163
Obr. 11-58 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu.....	163
Obr. 11-59 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Cu_2 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu	164
Obr. 11-60 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	165
Obr. 11-61 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_02 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	166
Obr. 11-62 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_03 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	166
Obr. 11-63 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_04 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	167
Obr. 11-64 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_05 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	167
Obr. 11-65 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_06 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	168
Obr. 11-66 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_07 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	168
Obr. 11-67 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_08 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	169
Obr. 11-68 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_09 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	169
Obr. 11-69 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu.....	170
Obr. 11-70 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu.....	170
Obr. 11-71 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu.....	171
Obr. 11-72 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu.....	171
Obr. 11-73 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu.....	172

Obr. 11-74	Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu.....	172
Obr. 11-75	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	173
Obr. 11-76	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	173
Obr. 11-77	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	174
Obr. 11-78	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	174
Obr. 11-79	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	174
Obr. 11-80	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	175
Obr. 11-81	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	175
Obr. 11-82	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	175
Obr. 11-83	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	176
Obr. 11-84	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu.....	176
Obr. 11-85	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	176
Obr. 11-86	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	177
Obr. 11-87	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	177
Obr. 11-88	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	177
Obr. 11-89	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	178
Obr. 11-90	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu.....	178
Obr. 11-91	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu.....	179
Obr. 11-92	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu.....	179
Obr. 11-93	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu.....	180

Obr. 11-94	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	180
Obr. 11-95	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	181
Obr. 11-96	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	181
Obr. 11-97	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	182
Obr. 11-98	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	182
Obr. 11-99	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	183
Obr. 11-100	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	183
Obr. 11-101	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	184
Obr. 11-102	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	184
Obr. 11-103	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	185
Obr. 11-104	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	185
Obr. 11-105	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu	186
Obr. 11-106	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu.....	186
Obr. 11-107	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_1 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	187
Obr. 11-108	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_3 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	187
Obr. 11-109	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_4 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	188
Obr. 11-110	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_6 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	188
Obr. 11-111	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_7 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	189
Obr. 11-112	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_8 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	189
Obr. 11-113	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_9 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	190

Obr. 11-114	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu	190
Obr. 11-115	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_1 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu	191
Obr. 11-116	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_2 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu	191
Obr. 11-117	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_3 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu	192
Obr. 11-118	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_4 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu	192
Obr. 11-119	Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_5 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu	193
Obr. 11-120	Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)	196
Obr. 11-121	Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli	196
Obr. 11-122	Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech	198
Obr. 11-123	Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	199
Obr. 11-124	Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků	199
Obr. 11-125	Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo neleptáno (pozice a) a napravo leptáno (pozice b)	199
Obr. 11-126	Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva c, d. Dole pozice zleva e, f.	200
Obr. 11-127	Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva g, h. Dole pozice zleva i, j	201
Obr. 11-128	Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	202
Obr. 11-129	Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	203
Obr. 11-130	Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	204
Obr. 11-131	Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli	205
Obr. 11-132	Povrch vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce (složený obrázek z několika částí)	206
Obr. 11-133	Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli (tři různé části vzorku)	206
Obr. 11-134	Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily z levého Obr. 11-133	207

Obr. 11-135 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily ze středového Obr. 11-133.....	208
Obr. 11-136 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily z pravého Obr. 11-133.....	209
Obr. 11-137 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	210
Obr. 11-138 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	210
Obr. 11-139 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků.....	211
Obr. 11-140 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře zleva pozice a, b. Dole zleva pozice c (leptaná pozice b), d.....	211
Obr. 11-141 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e, f. Dole pozice zleva g, h (detail z pozice g).....	212
Obr. 11-142 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice i. Dole pozice zleva j, k, l	212
Obr. 11-143 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva m, n. Dole pozice o	213
Obr. 11-144 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice p. Dole pozice q.....	213
Obr. 11-145 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva r, s. Dole pozice zleva t, u	214
Obr. 11-146 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	215
Obr. 11-147 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	216
Obr. 11-148 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	217
Obr. 11-149 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli.....	217
Obr. 11-150 Povrchu vzorku uhlíkové oceli (obrázek složen z několika částí). Červené čáry značí místo řezu vzorku.....	218
Obr. 11-151 Dokumentace povrchu vzorku uhlíkové oceli. Oranžová čára značí místo podélného řezu	218
Obr. 11-152 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce	219
Obr. 11-153 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce	220
Obr. 11-154 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech.....	221
Obr. 11-155 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech.....	222

Obr. 11-156 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	223
Obr. 11-157 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	224
Obr. 11-158 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	225
Obr. 11-159 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	226
Obr. 11-160 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků.....	226
Obr. 11-161 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Pozice ab.....	226
Obr. 11-162 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva cd. Uprostřed pozice ef. Dole pozice zleva gh.....	227
Obr. 11-163 Mikrostruktura uhlíkové oceli	227
Obr. 11-164 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	228
Obr. 11-165 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	229
Obr. 11-166 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	230
Obr. 11-167 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)	231
Obr. 11-168 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli.....	231
Obr. 11-169 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	232
Obr. 11-170 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	233
Obr. 11-171 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků.....	233
Obr. 11-172 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva a, b. Dole pozice zleva c (leptáno), d.....	234
Obr. 11-173 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e, f. Dole pozice g	235
Obr. 11-174 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	236
Obr. 11-175 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	237
Obr. 11-176 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	238
Obr. 11-177 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli.....	239
Obr. 11-178 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)	240

Obr. 11-179 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli.....	240
Obr. 11-180 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	241
Obr. 11-181 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	242
Obr. 11-182 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	243
Obr. 11-183 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	244
Obr. 11-184 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků.....	244
Obr. 11-185 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva a, b. Dole pozice zleva c, d	244
Obr. 11-186 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e (leptáno), f. Dole pozice g, h (leptáno).....	245
Obr. 11-187 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice i. Dole pozice j (leptáno), k	245
Obr. 11-188 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Pozice zleva l, m.....	246
Obr. 11-189 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice n. Dole pozice o (leptáno), p.....	246
Obr. 11-190 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice q. Dole pozice r (leptáno).....	247
Obr. 11-191 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice s. Dole pozice t (leptáno), u.....	247
Obr. 11-192 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice v,w. Dole pozice x.....	248
Obr. 11-193 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	249
Obr. 11-194 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	250
Obr. 11-195 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	251
Obr. 11-196 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	252
Obr. 11-197 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli.....	253
Obr. 11-198 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí). Červené čáry značí místo řezu vzorku.....	254
Obr. 11-199. Povrch vzorku uhlíkové oceli. Červená čára značí místo podélného řezu.	254
Obr. 11-200 Povrch vzorku uhlíkové oceli po třech letech experimentu.....	255

Obr. 11-201 Povrch vzorku uhlíkové oceli po třech letech experimentu	256
Obr. 11-202 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	257
Obr. 11-203 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	258
Obr. 11-204 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	259
Obr. 11-205 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	259
Obr. 11-206 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	260
Obr. 11-207 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků.....	260
Obr. 11-208 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice ab, uprostřed pozice cd a dole pozice ef	261
Obr. 11-209 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice gh, dole pozice ij	262
Obr. 11-210 Mikrostruktura vzorku uhlíkové oceli	262
Obr. 11-211 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	263
Obr. 11-212 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	264
Obr. 11-213 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	265
Obr. 11-214 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	266
Obr. 11-215 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	267
Obr. 11-216 Naznačený způsob řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu	268
Obr. 11-217 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci	268
Obr. 11-218 Povrch vzorku měděného nástřiku po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	269
Obr. 11-219 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	270
Obr. 11-220 Dokumentace vzorku měděného nástřiku v příčném řezu. Nahoře přehledové snímky. Dole dutina.....	271

Obr. 11-221 Dokumentace dutiny na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	272
Obr. 11-222 Liniová analýza dutiny na povrchu měděného nástřiku	272
Obr. 11-223 Povrch vzorku měděného nástřiku (složená fotografie) včetně naznačeného způsobu řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu (část 2)	273
Obr. 11-224 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci	274
Obr. 11-225 Lokální korozní napadení vzorku mědi po dvouletém experimentu	274
Obr. 11-226 Povrch vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	275
Obr. 11-227 Povrch vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	276
Obr. 11-228 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	277
Obr. 11-229 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	277
Obr. 11-230 Dokumentace vzorku měděného nástřiku v příčném řezu.....	278
Obr. 11-231 Dokumentace dutiny na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	278
Obr. 11-232 Liniová analýza dutiny na povrchu měděného nástřiku	279
Obr. 11-233 Povrch vzorku měděného nástřiku (složená fotografie) včetně naznačeného způsobu řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu (část 2)	280
Obr. 11-234 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci s vyznačenými pozicemi detailní dokumentace	281
Obr. 11-235 Lokální korozní napadení vzorku mědi po tříletém experimentu. Nahoře pozice <i>bc</i> , uprostřed <i>d</i> , <i>e</i> , dole <i>f</i> , <i>g</i>	282
Obr. 11-236 Povrch vzorku měděného nástřiku po tříleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	283
Obr. 11-237 Povrch vzorku měděného nástřiku po tříleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.....	284
Obr. 11-238 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech	285
Obr. 11-239 Přehledový snímek podélného řezu vzorkem	286
Obr. 11-240 Pozice v řezu vzorku. Nahoře <i>bc</i> , dole <i>d</i>	286
Obr. 11-241 Dokumentace důlku na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech	287

Obr. 11-242	Liniová analýza podélného řezu vzorku	287
Obr. 11-243	Mikrostruktura vzorku. Nahoře u vnějšího povrchu, dole u vnitřního povrchu..	288
Obr. 11-244	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 po odmoření	289
Obr. 11-245	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 po odmoření	289
Obr. 11-246	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 po odmoření	289
Obr. 11-247	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 po odmoření	289
Obr. 11-248	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 po odmoření	290
Obr. 11-249	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 po odmoření	290
Obr. 11-250	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 po odmoření	290
Obr. 11-251	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 po odmoření	290
Obr. 11-252	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 po odmoření	291
Obr. 11-253	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 po odmoření	291
Obr. 11-254	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 po odmoření	291
Obr. 11-255	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 po odmoření	291
Obr. 11-256	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 po odmoření	292
Obr. 11-257	Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01	292
Obr. 11-258	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 po odmoření	293
Obr. 11-259	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 po odmoření	293
Obr. 11-260	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 po odmoření	293
Obr. 11-261	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 po odmoření	294
Obr. 11-262	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 po odmoření	294
Obr. 11-263	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 po odmoření	294
Obr. 11-264	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 po odmoření	294
Obr. 11-265	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 po odmoření	295
Obr. 11-266	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 po odmoření	295
Obr. 11-267	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 po odmoření	295
Obr. 11-268	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 po odmoření	295
Obr. 11-269	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 po odmoření	296
Obr. 11-270	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 po odmoření	296
Obr. 11-271	Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01	297
Obr. 11-272	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_02 po odmoření	298
Obr. 11-273	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_03 po odmoření	298
Obr. 11-274	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_04 po odmoření	298
Obr. 11-275	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_05 po odmoření	299
Obr. 11-276	Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_06 po odmoření	299

Obr. 11-277 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_07 po odmoření	299
Obr. 11-278 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_08 po odmoření	299
Obr. 11-279 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_09 po odmoření	300
Obr. 11-280 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 po odmoření	300
Obr. 11-281 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_02 po odmoření	300
Obr. 11-282 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_03 po odmoření	301
Obr. 11-283 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_04 po odmoření	301
Obr. 11-284 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_05 po odmoření	301
Obr. 11-285 Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_5_01	302
Obr. 11-286 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	303
Obr. 11-287 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	304
Obr. 11-288 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	305
Obr. 11-289 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	306
Obr. 11-290 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	307
Obr. 11-291 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	308
Obr. 11-292 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	309
Obr. 11-293 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	310
Obr. 11-294 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	311
Obr. 11-295 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	312
Obr. 11-296 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	313

Obr. 11-297 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	314
Obr. 11-298 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	315
Obr. 11-299 Profilometrie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01	316
Obr. 11-300 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	317
Obr. 11-301 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	318
Obr. 11-302 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	319
Obr. 11-303 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	320
Obr. 11-304 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	321
Obr. 11-305 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	322
Obr. 11-306 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	323
Obr. 11-307 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	324
Obr. 11-308 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	325
Obr. 11-309 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	326
Obr. 11-310 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	327
Obr. 11-311 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	328

Obr. 11-312 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu.....	329
Obr. 11-313 Profilometrie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01	330
Obr. 11-314 Nároky na kyslík v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitu	333
Obr. 11-315 Zastoupení různých trofických strategie v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů	334
Obr. 11-316 Využívané donory elektronů v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů	335
Obr. 11-317 Využívané terminální akceptory elektronů v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů	336
Obr. 11-318 Výsledky amplikonového sekvenování oblasti 16S rRNA – vzorky podzemní vody. Velikost barevných bodů odpovídá relativní hojnosti daného mikroorganismu ve vzorcích. Červené šrafované čáry značí vyjmutí modulu z vrtu. Zobrazeno 18 nejhojnějších taxonů.	337
Obr. 11-319 Výsledky amplikonového sekvenování oblasti 16S rRNA – vzorky bentonitu. Velikost barevných bodů odpovídá relativní hojnosti daného mikroorganismu ve vzorcích. Zobrazeno 21 nejhojnějších taxonů.....	338
Obr. 11-320 Výsledky mnohorozměrné analýzy PCaA. Vzorky bentonitu jsou vyznačeny červeně, vzorky podzemních vod modře.	340

Seznam tabulek:

Tab. 3-1 Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti.....	47
Tab. 8-1 Chemické složení uhlíkové oceli dle normy, výrobce a analýzy.....	71
Tab. 8-2 Silikátová analýza bentonitu MX-80 a BaM použitých v modulech.....	81
Tab. 8-3 Srovnání maximální hloubky důlků na provedených řezech uhlíkové oceli.....	85
Tab. 8-4 Výsledky qPCR analýzy: „-„: nedetekováno, „+“: zjištěno v malém množství, „++“: zjištěno v středně velkém množství, „+++“ zjištěno ve vyšším množství. Vzorky byly srovnávány mezi sebou.....	103
Tab. 11-1 Stanovené hodnoty přirozené vlhkosti bentonitu MX-80 a BaM.....	109
Tab. 11-2 Navážky bentonitu MX-80	110
Tab. 11-3 Navážky bentonitu BaM	111
Tab. 11-4 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem MX-80	111
Tab. 11-5 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem BaM	113
Tab. 11-6 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem BaM	114
Tab. 11-7 Hmotnosti vzorků měděného nástřiku pro experiment s bentonitem MX-80	115
Tab. 11-8 umístění modulů v jednotlivých vrtech	116
Tab. 11-9 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 1 roce.....	129
Tab. 11-10 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 2 letech (přístroje značky Gryf).....	129
Tab. 11-11 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 2 letech (přístroj Portavo 907 Multi).....	129
Tab. 11-12 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 3 letech (přístroje značky WTW)	129
Tab. 11-13 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 3 letech (přístroj Portavo 907 Multi).....	130
Tab. 11-14 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 ze srpna 2019 (přístroje značky WTW)	130
Tab. 11-15 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 4 letech (přístroje značky WTW)	130
Tab. 11-16 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 4 letech (přístroj Portavo 907 Multi).....	130
Tab. 11-17-11-18 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020 (přístroje značky WTW)	131

Tab. 11-19 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020 (přístroj Portavo 907 Multi)	131
Tab. 11-20 Hodnoty pH a vodivosti G měřené v laboratoři	131
Tab. 11-21 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po roční korozní zkoušce	132
Tab. 11-22 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po dvouleté korozní zkoušce	132
Tab. 11-23 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po tříleté korozní zkoušce	132
Tab. 11-24 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 ze srpna 2019.....	132
Tab. 11-25 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po čtyřech letech experimentu	133
Tab. 11-26 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 při odběru modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020	133
Tab. 11-27 Stanované koncentrace kationtů v podzemní vodě použité pro předsycení modulů	133
Tab. 11-28 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po roční korozní zkoušce	134
Tab. 11-29 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po dvouleté korozní zkoušce	134
Tab. 11-30 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po tříleté korozní zkoušce	134
Tab. 11-31 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 ze srpna 2019	135
Tab. 11-32 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po čtyřleté korozní zkoušce	135
Tab. 11-33 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020.....	135
Tab. 11-34 Stanované koncentrace aniontů v podzemní vodě použité pro předsycení modulů	135
Tab. 11-35 Stanované hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po roční korozní zkoušce	142
Tab. 11-36 Stanované hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po dvouleté korozní zkoušce	142
Tab. 11-37 Stanované hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po tříleté korozní zkoušce	142
Tab. 11-38 Stanované hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po čtyřleté korozní zkoušce	142

Tab. 11-39 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 1 roce	143
Tab. 11-40 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 1 roce	143
Tab. 11-41 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 2 letech	143
Tab. 11-42 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 2 letech	144
Tab. 11-43 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 3 letech	144
Tab. 11-44 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 3 letech	145
Tab. 11-45 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu BaM po 2 letech	145
Tab. 11-46 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu MX-80 po 2 letech	145
Tab. 11-47 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu BaM po 3 letech	146
Tab. 11-48 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu MX-80 po 3 letech	146
Tab. 11-49 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po roční korozní zkoušce	194
Tab. 11-50 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po dvouleté korozní zkoušce	194
Tab. 11-51 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po tříleté korozní zkoušce.....	195
Tab. 11-52 Názvy nejhojnějších OTU byly přiřazeny podle veřejně dostupné databáze GenBank nástrojem BLAST. Tabulka obsahuje nejpřesnější možné zařazení. Pokud nebyl k dané OTU nalezen pojmenovaný mikroorganismus, je ponecháno číslo OTU se zařazením na úrovni kmene či domény. Odstín výplně v jednotlivých polích odpovídá počtu sekvencí daného OTU ve vzorku (čím tmavší, tím více zastoupeny).....	331

Seznam elektronických příloh:

Elektronicka_priloha_1

Seznam použitých zkratk:

AAS	Atomová absorpční spektrometrie
BaM	Bentonit a montmorillonit, komerční produkt firmy KERAMOST a.s.
DNA	kyselina deoxyribonukleová (deoxyribonucleic acid)
DL	Detekční limit
DSR	Hydrogensířičitan reduktáza (dissimilatory (bi)sulfite reductase)
EPDM	Polyetylen-propylenový kaučuk
GTS	Grimsel Test Site
MaCoTe	Material Corrosion Test
Nagra	National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste
NWMO	Nuclear Waste Management Organisation
OTU	Operační taxonomická jednotka (operation)
PCA	Analýza hlavních komponent (principal component analysis)
PCR	Polymerázová řetězová reakce (polymerase chain reaction)
PTFE	Polytetrafluorethylen
PUR	Polyuretan
RNA	Ribonukleová kyselina (ribonucleic acid)
RWM	Radioactive Waste Management
SRB	Síran-redukující bakterie
NUMO	Nuclear Waste Management Organization
SEM	Rastrovací elektronový mikroskop
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
TUL	Technická univerzita v Liberci
UOS	Ukládací obalový soubor
UV	Ultrafialový

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Abstrakt

Výzkum korozní odolnosti potenciálních konstrukčních materiálů ukládacího obalového souboru pro vyhořelé jaderné palivo v přírodních granitoidních podmínkách je důležitým aspektem pro hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) zadala v rámci mezinárodního projektu Material Corrosion Test (MaCoTe) požadavek na provedení experimentů v přírodním granitoidním prostředí ve švýcarské podzemní laboratoři Grimsel Test Site, která svým granitoidním prostředím odpovídá potenciálním lokalitám pro hlubinné úložiště v ČR.

Zpráva obsahuje obecný popis aparatury a způsob instalace aparatury v podzemní laboratoři Grimsel Test Site. Dále jsou ve zprávě uvedeny výsledky probíhajícího experimentu získané do května 2020.

Klíčová slova

Koroze, granitoidní prostředí, uhlíková ocel

Abstract

Research of corrosion resistance of candidate canister materials for spent nuclear fuel under natural geological conditions is important for safety assessment of a deep geological repository. Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) commissioned request to perform an experiment in natural granitic environment in the Swiss underground laboratory Grimsel Test Site as a part of the international project Material Corrosion Test (MaCoTe). Granitic environment in the Grimsel Test Site laboratory is corresponding to potential sites for a deep geological repository in the Czech Republic.

The report contains of general description of apparatus and installation of the experiment in the underground laboratory Grimsel Test Site. The report also contains results of ongoing experiment; results are obtained to the May 2020.

Keywords

Corrosion, granitic host rock, carbon steel

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Poděkování

Autoři zprávy by rádi poděkovali pracovníkům podzemní laboratoře Grimsel Test Site za pomoc při instalaci aparatury pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí, následném monitoringu experimentu a pomoc při vyjímání modulů a vzorkování podzemních vod.

Seznam revizí

Číslo revize	Datum	Předmět revize	Zapsal
1	Prosinec 2018	Doplnění výsledků analýz kovových vzorků po dvouletém experimentu a výsledků analýz podzemních vod z roku 2018	Dobrev
2	Květen 2020	Doplnění výsledků analýz kovových vzorků po tříletém experimentu a výsledků analýz podzemních vod	Dobrev

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

1 ÚVOD

Tato zpráva byla zpracována v rámci projektu SÚRAO *Zapojení v projektu Material Corrosion Test (MaCoTe), Část zakázky č.2 Realizace a vyhodnocení MaCoTe experimentu v Grimsel Test Site*, který je součástí mezinárodního projektu Material Corrosion Test (MaCoTe). Partnery tohoto mezinárodního projektu jsou: Nagra (Švýcarsko), NWMO (Kanada), RWM (Velká Británie), NUMO (Japonsko) a SÚRAO (ČR).

Cílem projektu je ověřit korozní chování vybraných materiálů potenciálně vhodných pro konstrukci ukládací obalového souboru (UOS) v přírodních granitoidních podmínkách a ověřit efekt kompakovaného bentonitu na potlačení mikrobiální aktivity.

V první fázi projektu byla navržena aparatura pro provedení korozních zkoušek v přírodním granitoidním prostředí za zvýšené teploty, která byla v další fázi projektu instalována v podzemní laboratoři Grimsel Test Site (GTS). Aparatura byla instalována do pěti vrtů, které byly utěsněny pro udržení anaerobních podmínek. Korozní zkouška byla poté postupně v následujících letech po jednotlivých vrtech ukončována a vyhodnocena.

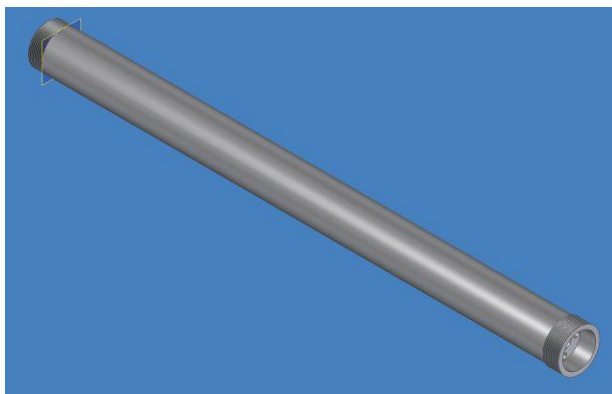
Zpráva vychází z předcházejících zpráv v projektu a jejím cílem je shrnout výsledky probíhajícího experimentu v podzemní laboratoři Grimsel Test Site včetně jeho přípravy a instalace.

2 Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí

Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí je detailně popsána ve zprávě Dobrev, 2014 a dodatečné detaily ve zprávě Dobrev a Zuna 2015. Z tohoto důvodu, je zde uveden pouze stručný popis, který slouží k orientaci v následujícím textu a objasnění experimentálního uspořádání.

Aparatura pro experimentální práce v projektu MaCoTe se skládá tedy z následujících částí: nosných částí, modulů se vzorky vybraných materiálů, rozvaděče vytápění pro regulaci teploty a mechanických obturátorů pro utěsnění vrtů.

Nosné části aparatury zobrazené na ilustračním Obr. 2-1 jsou kulatiny z korozivzdorné oceli, které jsou povlakovány polytetrafluorethylenem (PTFE) a mají otvory pro umístění topné patrony a čtyř čidel teploty. Z těchto čtyř teplotních čidel jsou dvě použita pro měření teploty, regulaci teploty a druhá dvě čidla jsou rezervní. Topná patrona (Backer ELTOP s.r.o., Česká republika) je umístěna ve středu kulatiny a čidla teploty Pt100 (Sensit s.r.o., Česká republika) jsou na kružnici okolo topné patrony s rozstupem 90°.



Obr. 2-1 Ilustrační obrázek nosné části aparatury

Nosná část aparatury je spojena při instalaci se vzorkovačem (Obr. 2-2), který představuje trubku z korozivzdorné oceli opatřenou dvěma vstupy s rozstupem 500 mm. Na tyto vstupy jsou připojeny ocelové trubičky, které slouží k odběru podzemní vody. Horním vstupem je do systému vtlačován plynný argon a dolním vstupem je odebírána podzemní voda. Pro udržení anaerobních podmínek jsou ocelové trubičky opatřeny trojcestnými ventily (Parker, USA), aby se zamezilo pronikání kyslíku do systému. Odebírání podzemní vody se provádí nad moduly se vzorky a není tak ovlivněna saturace bentonitu. Vzorkovač je napojen na mechanický obturátor.


Obr. 2-2 Vzorkovač pro odběr podzemní vody

Vzorky kovových materiálů, které jsou obklopeny okružím z kompaktovaného bentonitu jsou umístěny v modulech s perforovaným vnějším košem (Obr. 2-3). Uvnitř modulů jsou na vnějším povrchu bentonitových okružů umístěny filtrační tkaniny, které jednak zabraňují bobtnání bentonitu z modulů a umožňují rovnoměrný přístup vody k vnějšímu povrchu bentonitových okružů. Moduly použité v experimentu jsou dvou různých výšek, vyšší modul určený pro český bentonit (výška 230 mm) a poloviční moduly určené pro bentonit MX-80 (výška 130 mm). Moduly se volně navlékají na nosnou část aparatury, a to jeden vyšší modul a dva menší moduly.


Obr. 2-3 Moduly s perforovaným vnějším košem

Rozvaděč vytápění RTC01 (MKsystem, Česká republika) je určen k řízenému a regulovanému ohřevu nosných částí a je vybaven záznamníkem dat PUI 03 – 5A (DataCon MSI s.r.o., Česká republika) pro měření teplot (Obr. 2-4). Pro regulaci teploty jsou na rozvaděči vytápění nainstalovány regulátory teploty OMRON E5CSV (Omron, Japonsko). Data zaznamenávána na záznamníku dat lze dálkově stahovat/kontrolovat pomocí komunikačního kabelu, který lze k rozvaděči připojit.



Obr. 2-4 Rozvaděč vytápění RTC01

Mechanické obturátory (DESOI GmbH, Německo), které jsou v rozloženém stavu na Obr. 2-5, jsou určeny jednak k utěsnění vrtů proti průniku kyslíku do systému a zároveň jsou přes ně vyvedeny všechny kabely a ocelové trubičky. Délka těsnících elementů vyrobených z materiálu EPDM je 980 mm a vnější průměr těsnící pryže je 82 mm. Celková délka mechanických obturátoru je 5 m a jsou vyrobeny z korozivzdorné oceli. Mechanické obturátory budou při instalaci spojeny přes závit s vzorkovači pro podzemní vodu.



Obr. 2-5 Mechanické obturátory

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

3 Příprava korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí

3.1 Příprava kompakovaného bentonitu

Pro přípravu experimentu byly použity dva typy bentonitů, které byly lisovány tak, aby po jejich nabobtnání v modulech byla jejich suchá objemová hmotnost $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Bentonity se lisovaly na vyšší suchou objemovou hmotnost, než jakou budou mít po nabobtnání z důvodu nutnosti zmenšit vnější a zvětšit vnitřní průměr bentonitových okružích pro usnadnění montáže modulů. Skutečná suchá objemová hmotnost po lisování byla $\sim 1,75 \text{ g.cm}^{-3}$.

Bentonit použitý pro větší moduly je český bentonit *Bentonit a montmorillonit* (KERAMOST a.s., Česká republika) dále označovaný v textu zkratkou BaM a bentonit použitý pro menší moduly je MX-80, který dodala švýcarská NAGRA.

Bentonit MX-80 byl směsí prášku a granulí (Obr. 3-1) a před lisováním byla provedena jeho homogenizace. V prvním kroku byl bentonit prosíván na laboratorním sítu s velikostí oka 0,5 mm (VEB Metallweberei Neustadt, Německo). Zbytek granulového bentonitu (Obr. 3-2) byl poté převeden do keramické mlecí misky (Bloch-Rossetti, Německo) a achátové mlecí misky (výrobce neznámý). Do misek byly přidány dvě mlecí kuličky ze stejných materiálů jako misky a bentonit byl namlet (Obr. 3-3) na laboratorním mlýnu (ALPINE Augsburg, Německo). Po ukončení mletí byl opět oddělen bentonitový prášek a celý proces se opakoval až do úplného prosetí bentonitu. Namletý bentonit MX-80 se s původním práškem nakonec mechanicky homogenizoval v plastové nádobě.

Homogenizovaný bentonit MX-80 byl poté lisován v lisovací formě (Obr. 3-4) na hydraulickém lisu MEGA 11-300 DM1S (Form+Test Seidner+Co GmbH, Německo). Bentonit MX-80 byl lisován na výšku okružích 50 mm, vnitřní průměr 51 mm a vnější průměr 70 mm (Obr. 3-5). Navážka bentonitu MX-80 byla počítána pro rozměry bentonitového okružích: výška 50 mm, vnitřní průměr 50 mm a vnější průměr 72,4 mm. Pro výpočet navážky byla stanovena vlhkost bentonitu MX-80 sušením při $105 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 24 hod v laboratorní sušárně (MEMMER UNE 400 (Memmert GmbH + Co. KG, Německo). Přirozená vlhkost bentonitu MX-80 byla stanovena na 6,27% (Příloha 11.1).

Pro tyto hodnoty je vypočtená navážka bentonitu MX-80 171,63 g. Praktická navážka je vzhledem k drobným ztrátám bentonitu při lisování navýšena o cca 0,5 g. Lisování bentonitu MX-80 probíhalo bez problémů, přičemž lisovací síla se pohybovala okolo 100 kN.



Obr. 3-1 Bentonit MX-80 před mletím



Obr. 3-2 Granule bentonitu MX-80 před mletím



Obr. 3-3 Mletí bentonitu MX-80



Obr. 3-4 Lisovací forma

Pro lisování českého bentonitu BaM byl odebrán pytel č. 3 z dodané palety bentonitu v roce 2014. Oproti bentonitu MX-80 je český bentonit BaM v práškové formě a nebyla nutná jeho homogenizace a mletí. Pro výpočet navážky se stanovila přirozená vlhkost bentonitu stejným způsobem jako u bentonitu MX-80. Pro bentonit BaM byla stanovena hodnota přirozené vlhkosti 8,75 % (Příloha 11.1).

Teoretická navážka bentonitu byla pro výšku okruží 50 mm napočtena na 175,64 mm a byla opět navýšena o 0,5 g stejně jako předchozí. Při lisování takto vysokého bentonitového okruží bylo dosaženo maximální síly, kterou vyvine lis tj. 300 kN. Při maximální vyvinuté síle lisu se však přesto nepodařilo okruží nalisovat. Proto bylo přistoupeno k lisování okruží o výšce 25 mm. Pro tuto výšku je napočtená navážka 87,82 g. Praktická navážka je opět navýšena z důvodu drobných ztrát při lisování o 0,5 g. Vzhledem k velkým lisovacím silám, které se opět pohybovaly na hranici možností lisu MEGA 11-300 DM1S (Form+Test Seidner+Co GmbH, Německo) bylo nutné proces lisování zastavit a navrhnout jiný způsob lisování. Pro další lisování bentonitu BaM byla vybrána varianta, při které je bentonit BaM zvlhčen přidáním cca 10 g demineralizované vody. Takto zvlhčený bentonit bylo možné lisovat opět na výšku okruží 50 mm a to silou okolo 200 kN. Při kompletaci modulů byly poté použity jednak okruží s výškou 50 mm, ale i okruží s výškou 25 mm, které se podařilo nalisovat.

Hodnoty navážek bentonitů jsou uvedeny v příloze 11.2.



Obr. 3-5 Bentonitové okruží. Nalevo bentonit MX-80 napravo bentonit BaM

3.2 Vzorky kovových materiálů

Pro experimenty byly použity dva typy vzorků. Uhlíková ocel, která byla navržena v projektu SÚRAO *Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku (SO2013-088)* a měděný nástřík dle požadavků kanadské Nuclear Waste Management Organisation.

Ocelové vzorky byly vyrobeny z uhlíkové oceli 12022 (výrobce polotovaru Železiarne Podbrezová, Slovenská republika). Vnější průměr vzorků byl 50 mm a výška 18 mm (Obr. 3-6). Koncové vzorky byly vysoké 24 mm pro větší modul a 21 mm pro menší modul.



Obr. 3-6 Vzorek uhlíkové oceli

Vzorky měděného nástříku byly vyrobeny v kanadské společnosti Integran Technologies inc. (certifikát číslo EX-1031-01). Vnější průměr vzorků je 50 mm a délka 98 mm. Vzorky byly z důvodů těsnění zkráceny z původních 100 mm a zároveň byly zkrácením zarovnány boční hrany vzorků, které byly mechanicky poškozené (Obr. 3-7).



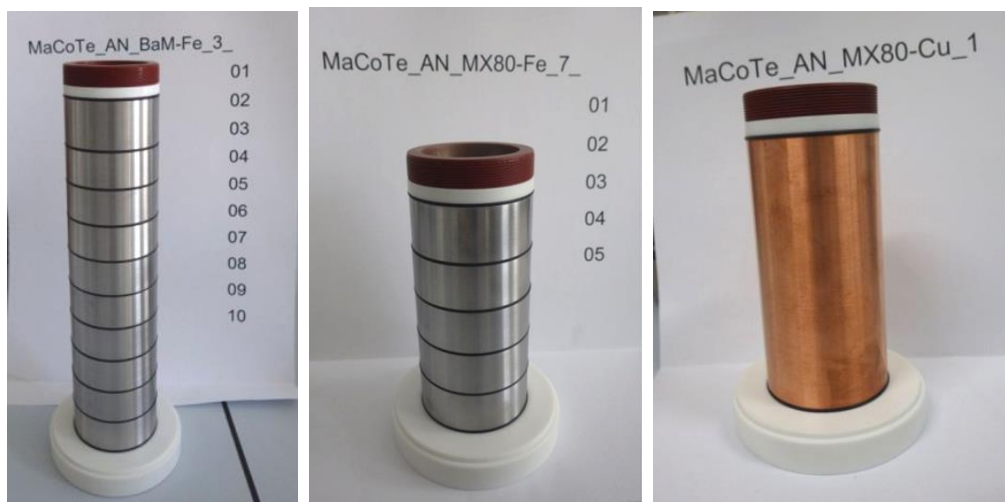
Obr. 3-7 Mechanicky poškozená strana měděných vzorků (nalevo) a nepoškozená strana (napravo)

3.3 Příprava modulů pro experiment

Příprava modulů pro provedení experimentu se skládala ze tří kroků. Prvním krokem byla samotná montáž modulů, po které následovalo odkysličení modulů a nakonec jejich předsycení.

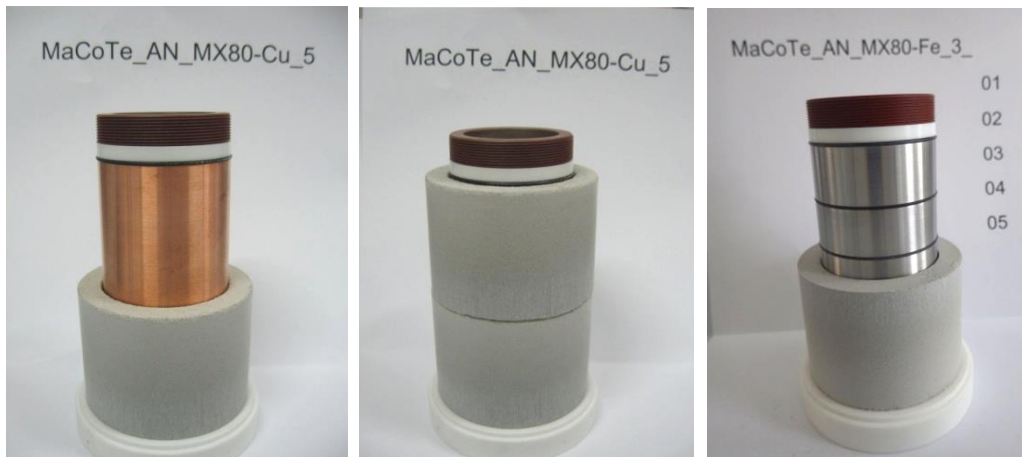
Před zahájením montáže modulů byly odmaštěny kovové vzorky etanolem v ultrazvukové lázni Sonorex RK 106 (Bandelin Electronic GmbH & Co. KG, Německo) po dobu 15 min. Poté byly vzorky z uhlíkové oceli zváženy na analytických vahách AND GH-252 (A&D Instruments Ltd., Spojené Království) a měděné vzorky vzhledem ke své hmotnosti (přes rozsah dostupných vah) na vahách MS303S (Metler Toledo, Švýcarsko) s přesností na 1 mg (hmotnosti vzorků jsou uvedeny v příloze 11.3). Odmaštěné vzorky byly poté umístěny na středovou trubku modulů a těsněny mezi sebou o-kroužky z polyethylen-propylenového kaučuku (EPDM).

Na větší moduly bylo umístěno 10 ks vzorků z uhlíkové oceli, na kratší moduly po 5 kusech vzorků z uhlíkové oceli a jeden vzorek mědi. Celkem bylo připraveno 5 modulů s deseti vzorky uhlíkové oceli, 5 modulů s pěti vzorky uhlíkové oceli a 5 modulů s jedním vzorkem mědi (Obr. 3-8).



Obr. 3-8 Vzorky kovových materiálů na středové trubce modulu

Přes umístěné vzorky se poté navlékla bentonitová okruží. Pro větší moduly byla použita okruží z bentonitu BaM a pro kratší vzorky okruží z bentonitu MX-80 (Obr. 3-9). Pro jeden delší modul byla použita bentonitové okruží o výšce 25 mm (Obr. 3-10). U třech modulů s bentonitem BaM (moduly MACOTE_AN_BaM_Fe_2, MACOTE_AN_BaM_Fe_3, MACOTE_AN_BaM_Fe_7) bylo nutné při montáži jedno bentonitové okruží zbrousit cca o 1 mm z důvodu celkového nárůstu výšky jednotlivých okruží (pravděpodobně vlivem nabobtnání od přidané vody z důvodu lisování). Odchyłka od teoretické navážky je menší než jedno procento a suchá objemová hmotnost je tak ovlivněna minimálně.



Obr. 3-9 Moduly s bentonitem MX-80



Obr. 3-10 Moduly s bentonitem BaM

Okolo bentonitových okruží byly umístěny filtrační tkaniny z korozivzdorné oceli (Obr. 3-11) a to nejprve jemnější tkanina (mesh 322×1900) a poté hrubší tkanina (mesh 24×110).


Obr. 3-11 Umístění filtračních tkanin okolo bentonitu

Nakonec byly moduly zkompletovány umístěním perforovaného koše okolo filtračních tkanin a uzavřením pomocí plastových čel (Obr. 3-12). Takto připravené moduly byly z důvodu dosažení anaerobních podmínek pro experiment umístěny do rukavicového boxu MB 200B (MBRAUN GmbH, Německo) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 (Linde Gas a.s., Česká republika)) a koncentrací kyslíku pod 0,1 ppm obj. (Obr. 3-13). V rukavicovém boxu byly moduly 23 dní před zahájením sycení podzemní vodou z GTS.


Obr. 3-12 Dokončení montáže modulu

Obr. 3-13 Moduly v rukavicovém boxu s argonovou atmosférou

Podzemní voda z GTS byla doručena ve čtyřech uzavřených plastových nádobách (Obr. 3-14). Potřebné množství podzemní vody z GTS (dvě plastové nádoby) bylo poté přeneseno do rukavicového boxu s inertní argonovou atmosférou. V rukavicovém boxu bylo poté změřeno pH a oxidačně redukční potenciál ve dvou plastových nádobách. Pro měření byla použita pH elektroda HC113/Ni XB2 (Gryf, Česká republika) a pro měření oxidačně redukčního potenciálu kombinovaná platinová elektroda ORC 103 XB2 (Gryf, Česká republika). Naměřené hodnoty jsou následující: pH = 9,24 a 9,26 a oxidačně redukční potenciál přepočtený ke standardní vodíkové elektrodě $E_h = 203,7$ mV a 201,5 mV. Zbytkový kyslík v podzemní vodě nebyl měřen externí sondou z technických důvodů (pravidelná výměna měřící hlavice).

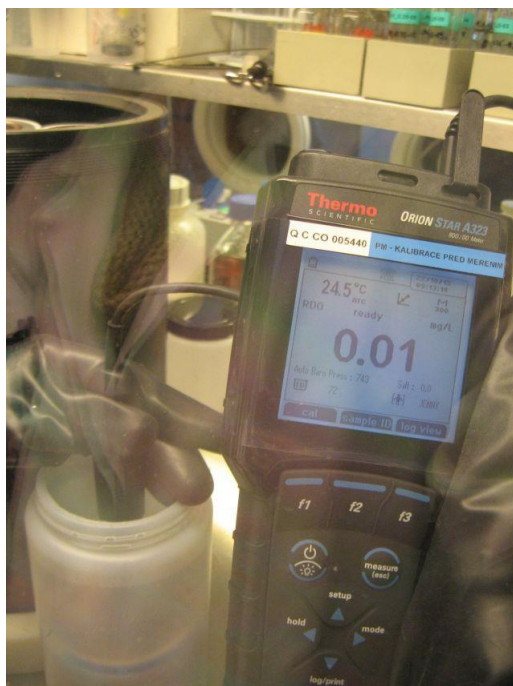
Podzemní voda z GTS byla použita pro předsycení modulů. Většina modulů byla pro sycení podzemní vodou umístěna do velké plastové nádoby (Obr. 3-15). Pět modulů se již do této nádoby nevešlo, a proto byly tři moduly umístěny do menší plastové nádoby a zbylé dva moduly separátně do dvou malých plastových nádob. Sycení probíhalo po dobu 14 dní. Po ukončení sycení byl kontrolován obsah kyslíku v roztoku pomocí oxymetru OrionStar A323 (Thermo Scientific, USA) s RDO sondou (Thermo Scientific, USA). Obsah kyslíku byl ve všech nádobách pod mezí detekce tj. pod 0,01 mg.l⁻¹ (Obr. 3-16).



Obr. 3-14 Převážné plastové nádoby s podzemní vodou z GTS



Obr. 3-15 Sycení modulů v rukavicovém boxu



Obr. 3-16 Měření zbytkového kyslíku po sycení

Pro zajištění anaerobních podmínek modulů při převozu do Grimsel Test Site byly všechny moduly zataveny do dvou plastových vakuovacích sáčků (Obr. 3-17). Po zatavení sáčků byly mechanicky testovány na těsnost (vnějším tlakem). Takto zabalené moduly byly přeneseny z rukavicového boxu do plastového sudu napuštěného argonem (Obr. 3-18) a uzavřeny do druhého dne, kdy byl plastový sud opět napuštěn argonem těsně před samotným převozem z laboratoře. Doba přesunu z laboratoří ÚJV Řež a. s. do podzemní laboratoře Grimsel Test Site byla 4 dny.



Obr. 3-17 Příprava modulů pro přepravu do Grimsel Test Site



Obr. 3-18 Zabalené moduly umístěné v plastovém sudu

Při balení modulů v rukavicovém boxu byla v nádobách pozorována suspenze z bentonitu MX-80 (Obr. 3-19). U jednoho modulu (Obr. 3-20) bylo na styku vnějšího obalu a plastového čela pozorováno malé množství vybobtnalého bentonitu. Tento modul byl proto použit pro experiment trvající jeden rok, aby se minimalizoval vliv případné další ztráty bentonitu na jeho celkovou suchou objemovou hmotnost. Důvodem vzniku suspenze bude pravděpodobně dostatečně vysoký bobtnací tlak, který je dostačující k protlačení se mezi vnějším obalem a plastovým čelem (přes filtrační tkaniny k žádnému úniku bentonitu nedošlo). U modulů s českým bentonitem BaM nebyl vznik suspenze pozorován.



Obr. 3-19 Bentonit MX-80 na dně nádoby po sycení modulů



Obr. 3-20 Bentonit MX-80 mezi perforovaným vnějším košem a plastovým čelem

3.4 Přípravné práce před instalací aparatury

Před instalací aparatury v GTS byla provedena příprava i dalších součástí aparatury, aby byla v GTS urychlena instalace do vrtů. Nosná část aparatury byla osazena čidly teploty a topnou patronou. Kabely byly utěsněny teflonovou páskou v místě vstupu do nosné části a zality polyuretanovou (PUR) pryskyřicí WEBAC 1403 (WEBAC Chemie GmbH, Německo). Teflonová páska, zde tedy sloužila k utěsnění kabelů proti zatečení PUR pryskyřice. Po zatuhnutí pryskyřice (24 hod) byla ověřena funkčnost čidel teploty a topných patron. Takto připravené nosné části byly poté spojeny se vzorkovači (Obr. 3-21). Spojovací závit byl těsněn teflonovou páskou a vnitřek v okolí spoje byl opět zalit PUR pryskyřicí (200 ml). Po zatuhnutí pryskyřice byla opět ověřena funkčnost čidel teploty a topných patron.

Ověřováním funkčnosti čidel a topné patrony byly zároveň otestovány regulátory teploty OMRON E5CSV (Omron, Japonsko) a záznamník dat PUI 03 – 5A (DataCon MSI s.r.o., Česká republika).


Obr. 3-21 Nosná část aparatury spojená se vzorkovačem

Teplota, při které bude proveden experiment, byla navržena na 70 °C. Návrh této teploty vycházel z výpočtů teploty povrchu ukládacího obalového souboru (Blaheta et al., 2012), z výpočtů poklesu dávkového příkonu na povrchu UOS (Lovecký, 2014) a z předpokládané spotřeby kyslíku v okolí UOS (Dobrev et al., 2014). Principiálně se volilo období vývoje prostředí v okolí UOS, kdy je prostředí anaerobní a dávkový příkon na povrchu UOS je zanedbatelný vůči počáteční hodnotě po uložení. Teplota byla dále diskutována na jednáních se zahraničními partnery, kde byla teplota 70 °C na povrchu vzorku odsouhlasena (Martin a Giroud, 2014). Vzhledem k tomu, že měření a regulace teploty je v nosné části aparatury, bylo nutné přepočítat teplotu, na kterou se bude regulovat nosná část tak, aby na povrchu vzorku bylo 70 °C.

Výpočet teploty na povrchu vzorku byl proveden pro zjednodušující případ stacionárního vedení tepla, kdy se teplota v daném místě s časem nezmění. To v reálném případě nebude platit, neboť se teplota bude měnit s časem do ustálení „stacionárního“ stavu, u kterého ovšem nebudeme znát teplotu masivu, neboť ta se neměří.

Teplota masivu byla pro výpočet použita 13 °C (osobní sdělení od vedoucího projektu MaCoTe Andrew Martina dne 19. 10. 2015) a do výpočtu se tak zanáší chyba způsobená nárůstem teploty masivu. Nárůst teploty masivu však předpokládáme minimální. Další chyba vnesená do výpočtu je způsobena použitím hodnot součinitelů tepelné vodivosti λ , které nemusejí přesně odpovídat teplotě daného materiálu. Jednak tato chyba vznikla nenalezením závislosti λ na teplotě pro některé materiály a také tím, že není známá budoucí teplota masivu v okolí vrtu a není tedy možné spočítat „reálné“ teploty na rozhraní jednotlivých vrstev. Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že se s vypočtenou hodnotou teploty pro regulaci nosné části musí pracovat opatrně a ačkoliv bude použita pro experiment, nemůžeme tvrdit, že na rozhraní vzorek – bentonit je „přesně“ požadovaných 70 °C. V tabulce Tab. 3-1 jsou uvedeny hodnoty součinitelů tepelné vodivosti použité pro výpočet.

Tab. 3-1 Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti

Materiál	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Literatura
Korozivzdorná ocel AISI 316	6,88	Ho a Chu, 1977
Teflon	0,25	Teflon PTFE Properties Handbook, 2012

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Uhlíková ocel*	45,5	ČSN 41 2022
Bentonit MX-80	1,38	Tang et al., 2008
Voda	0,6009	Ramires et al., 1994

*Pro teplotu 100 °C, pro teplotu 20 °C je uvedena hodnota 47 W.m⁻¹.K⁻¹

Pro výpočet teploty nosné části aparatury, která je potřeba pro dosažení teploty 70 °C na povrchu vzorků, byl použit následující vztah:

$$t_r = t_1 - \frac{g}{2\pi \cdot l} \sum_{i=1}^x \lambda_i \cdot \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}, \text{ kde}$$

$$g = \frac{2\pi \cdot l \cdot (t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}},$$

kde t jsou teploty, g je hustota tepelného toku, l je délka trubky, λ_i je i -tý součinitel tepelné vodivosti, r_i je i -tý poloměr, d_i je i -tý průměr.

Vypočtená hodnota s použitím výše uvedených vztahů, na kterou je potřeba regulovat nosnou část aparatury, aby byla teplota na povrchu vzorku 70 °C, je 80 °C. Na tuto teplotu se proto budou regulovat nosné části aparatury po instalaci v GTS. Jak již bylo uvedeno výše, není možné tvrdit, že při regulaci nosných částí aparatur na 80 °C budeme mít na povrchu vzorku přesně požadovanou teplotu 70 °C.

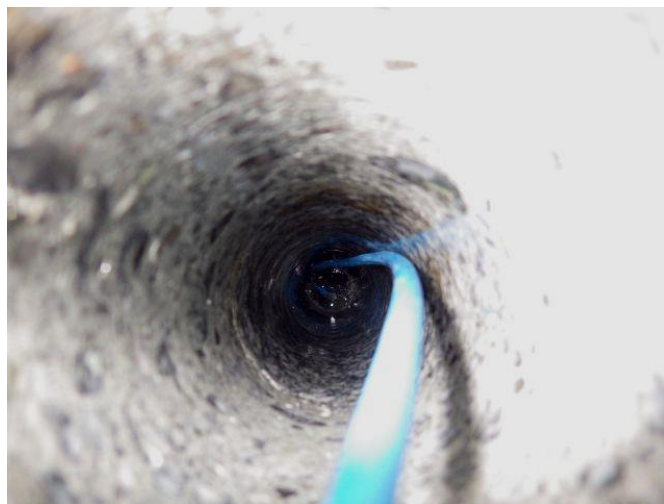
4 Instalace aparatury pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí

Instalace aparatury v podzemní laboratoři Grimsel Test Site probíhala v období 26 – 30. 10. 2015. Detailněji je instalace aparatury popsána ve zprávě Dobrev a Zuna 2015.

Dne 27. 10. 2015 byla zahájena instalace aparatury do vrtů, které byly vrtány v období 18 – 25. 6. 2015. Vrty byly po ukončení jednotlivých vrtných prací utěsněny mechanickými obturátory, které byly použity pro experiment. Podrobnější informace o vrtných pracích jsou uvedeny v Detzner, 2015.

Moduly byly do jednotlivých vrtů instalovány v následujících dnech: 27. 10. 2015 byla provedena montáž do vrtu 15.0001 a 15.002, do vrtů 15.003, 15.004 a 15.005 byla provedena dne 28. 10. 2015.

Při instalaci aparatury do vrtů byly jednotlivé vrty po vytažení mechanického obturátoru probublávány argonem (Obr. 4-1) s průtokem 0,5 l.min⁻¹. Probublávání probíhalo až do zahájení samotné instalace modulů (cca 1 hod).



Obr. 4-1 Probublávání vrtu argonem

Jednotlivé moduly byly nandány na nosnou část aparatury a po spojení s mechanickým obturátorem přes vzorkovač instalovány do vrtů. Rozmístění modulů v jednotlivých vrtech je uvedeno v příloze 11.4.

Při instalaci modulů na nosnou část byly vystaveny prostředí kyslíku před instalací do vrtu po dobu cca. 10 minut. Po dokončení instalace mechanických obturátoru s moduly a vzorkovači byla do těl obturátoru nalita PUR pryskyřice WEBAC 1403 (WEBAC Chemie GmbH, Německo) v objemu 800 ml (vnitřní objem vzorkovače je cca 515 ml), která vyplnila prostor mezi vzorkovačem a částí těsnících elementů. Tím byl utěsněn spoj mezi vzorkovači a mechanickými obturátory.

Po instalaci aparatury do vrtů byly na kapiláry připojeny trojcestné kohouty (Parker, USA), které byly navíc utěsněny epoxidovým. Spoj mezi trojcestným kohoutem a kapilárou je těsný sám o sobě, ale z hlediska dlouhodobosti experimentu bylo raději přistoupeno k dodatečnému dotěsnění epoxidovým lepidlem Epoxy F-05 Clear (Alteco Chemical PTE LTD., Singapur).

Při kontrole dotažení mechanických obturátorů bylo zjištěno, že následující den po instalaci lze opět mírně dotáhnout mechanický obturátor (kromě vrtu 15.005 viz detaily ve zprávě Dobrev a Zuna 2015.). Po provedení nápravných opatření (dne 29. 11. 2015) byly jednotlivé

mechanické obturátory otestovány na těsnost pomocí argonu (Obr. 4-2), kdy byl pomocí vzorkovače aplikován argon pod těsnění obturátorů (průtok nastavený na redukčním ventilu byl $2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) a obturátory byly dotaženy tak, aby argon neunikal ze systému a tím byla zaručena těsnost instalovaných obturátorů.



Obr. 4-2 Bubliny argonu při utahování mechanického obturátoru

Zapojení rozvaděče vytápění RTC01 bylo provedeno po dokončení předcházejících prací. Dne 29. 11. 2015 v 15 hod a 35 minut bylo zahájeno topení nejprve na teplotu $40 \text{ }^\circ\text{C}$, která byla ponechána do druhého dne. Zahájení topení (včetně nastavení regulace) ve všech vrtech na $80 \text{ }^\circ\text{C}$ bylo spuštěno 30. 10. 2015.

Nakonec byly otestovány vzorkovače a trojcestné kohouty. Po otestování vzorkovačů byly ještě jednotlivé vrty bublány argonem a opět otestovány na těsnost. U všech vrtů byla zjištěna funkčnost těsnění. Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí za zvýšené teploty je po dokončené instalaci v GTS zobrazena na obrázku Obr. 4-3.



Obr. 4-3 Aparatura pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí za zvýšené teploty (foto Nagra)

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

5 Monitorování korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí

Aparatura instalovaná v roce 2015 v podzemní laboratoři Grimsel Test Site (GTS) byla od spuštění korozní zkoušky monitorována přes kontrolu teploty. Detailnější popis způsobu monitorování je popsán ve zprávě Dobrev a Zuna, 2015. Po instalaci aparatury do vrtů byla od zahájení monitorování na měřeném záznamu teploty identifikována fluktuace u čidla teploty ve vrtu 15.001 a zkeslený signál z čidla teploty ve vrtu 15.003 (Dobrev a Zuna, 2015). Zkeslený signál představuje chybné hodnoty pravděpodobně způsobené elektronickým problémem v instalovaném záznamníku dat (detailnější popis aparatury je ve zprávě Dobrev, 2014). Ověření správného fungování aparatury, tedy konkrétně regulace teploty na 80 °C, byla nicméně prováděna i nezávisle pracovníky Nagry v GTS. Průběh regulace teploty byl touto nezávislou kontrolou potvrzen jako bezproblémový (ústní sdělení pracovníků Nagry při odebírání modulů z vrtů).

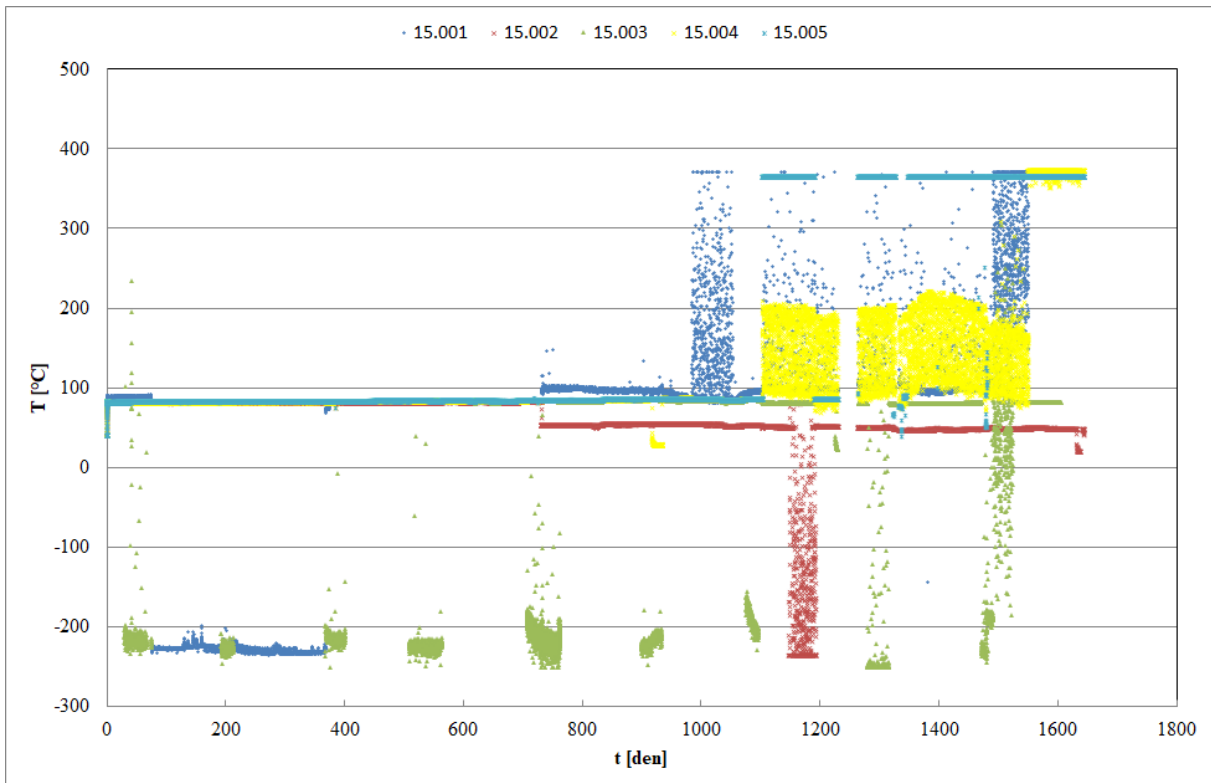
U čidel teploty ve vrtech 15.001 a 15.003 docházelo k periodickému zkeslování měřeného signálu v průběhu experimentu. Celkový záznam z čidel teploty bez zkesleného signálu je uveden na Obr. 5-1. Po vyjmutí modulů z vrtu 15.001 byla vypnuta regulace teploty, po vyjmutí modulů z vrtu 15.002 byla regulace teploty nastavena na 50 °C.

V roce 2018 došlo u vrtu 15.004 k výpadku topení vlivem poruchy v rozvaděči vytápění. Konkrétně výpadek nastal 5. 5. 2018 v cca 1 hod ráno a systém byl opravený a uvedený na požadovanou teplotu dne 22. 5. v cca 11 hod. Z tohoto důvodu byly moduly po třech letech experimentu vyjmuty z vrtu 15.004 místo vrtu 15.003, kde se plánovalo ponechat moduly po dobu pěti let.

V roce 2019 proběhlo několik výpadků topení způsobených poruchou prvků s relé a ztrátou funkčnosti čidel teploty. Dne 11. 3. 2019 došlo k výpadku topení ve vrtu 15.003 z důvodu poruchy relé. Relé bylo vyměněno a od 13. 3. 2019 probíhalo topení standardně. Výměna relé musela být provedena i pro topení ve vrtu 15.005 a to ve dnech 8. 4. až 9. 4. 2019.

V období 14. 6. až 19. 6. 2019 byl řešen problém s nefunkčním čidlem teploty pro regulaci teploty ve vrtu 15.005. Čidlo teploty bylo nahrazeno rezervním. Dne 19. 11. 2019 přestalo fungovat opět čidlo teploty pro regulaci u vrtu 15.005. U druhého náhradního čidla byla zjištěna také závada a z tohoto důvodu nemohl dále být vrt vytápěn. Proto bylo rozhodnuto, že korozní zkouška ve vrtu bude ukončena, konkrétně se tak stalo dne 28. 1. 2020. Poslední moduly ve vrtu 15.003, budou ponechány ve vrtu po dobu 7 let.

Dne 23. 4. 2020 byla provedena výměna relé pro topení ve vrtu 15.002.



Obr. 5-1 Záznam teploty nosných částí aparatury v jednotlivých vrtech. Označení vrtů je 15.001 až 15.005

6 Odběr modulů se vzorky a vzorkování podzemní vody

6.1 Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.001 a vzorkování podzemní vody

Odběr modulů s kovovými vzorky z vrtu 15.001 byl proveden v podzemní laboratoři GTS dne 1. 11. 2016 po jednom roce trvání experimentu (přesně po 367 dnech). Tento odběr modulů se skládal z několika kroků, které budou popsány dále v textu. Odebírané moduly z vrtu 15.001 byly konkrétně následující: MaCoTe_AN_MX80_Cu_7, MaCoTe_AN_MX80_Fe_1 a MaCoTe_AN_BaM_Fe_1. Tedy dva moduly s bentonitem MX-80 a jeden modul s bentonitem *Bentonit a montmorillonit* (BaM). Modul MaCoTe_AN_MX80_Cu_7 obsahoval vzorek měděného nástřiku a zbylé dva moduly obsahovaly vzorky uhlíkové oceli ČSN 12022. Prvním krokem, který byl proveden před odběrem modulů, bylo změření tlaku podzemní vody pod mechanickým obturátorem pomocí manometru (Wika, Německo) napojeného na výstup vzorkovače (Dobrev a Zuna, 2015). Manometr je zobrazen na Obr. 6-1. Odečtená hodnota tlaku byla 0,26 MPa (pořízená fotografie není zcela pod správným úhlem pro odečet hodnoty).



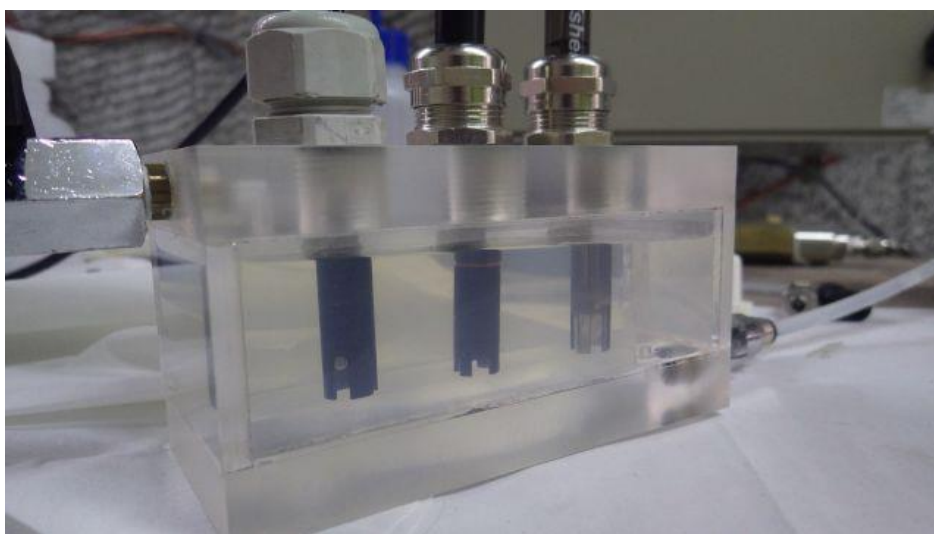
Obr. 6-1 Manometr použitý pro měření tlaku podzemní vody pod mechanickým obturátorem ve vrtu 15.001

Po změření tlaku podzemní vody následovalo měření elektrochemických parametrů podzemní vody za „anaerobních“ podmínek. Konkrétně bylo měřeno pH, oxidačně redukční potenciál, koncentrace kyslíku a vodivost. Pro měření za „anerobních“ podmínek byla vyrobena cela (Obr. 6-2), která obsahovala na vstupu filtrační prvek zobrazený na Obr. 6-3 (membrány filtr, velikost pórů 0,45 μm).

Cela byla před měřením osazena pH elektrodou SE 101 NMS (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo), platinovou elektrodou XCL 102 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika) a kyslíkovou elektrodou KCL 151/t D (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika). Měření vodivosti elektrodou VEL 152/t (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika) se provedlo dodatečně po odběru vody do vzorkovnic. Měření pH bylo prováděno pomocí přístroje Portavo 907 Multi (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo), měření oxidačně redukčního potenciálu pomocí přístroje Gryf 259 V (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika), měření koncentrace kyslíku oxymetrem Gryf 463 (GRYF HB, spol. s r.o.,

Česká republika) a vodivost přístrojem Gryf 156 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika). Uvedené přístroje jsou zobrazeny na obrázku Obr. 6-4 a Obr. 6-5.

Měření probíhalo následujícím způsobem: nejprve byla cela s filtračním prvkem (0,45 μm , Pragolab) připojena k výstupu vzorkovače (Dobrev a Zuna, 2015) přes trojcestný ventil. K tomuto trojcestnému ventilu byl připojen i zdroj argonu (tlaková láhev). Cela byla cca 2 minuty intenzivně proplachována argonem a poté uzavřena na vstupu i výstupu. Poté byl zdroj argonu připojen ke vstupu vzorkovače a před otevřením trojcestného ventilu na vstupu vzorkovače do systému, byl trojcestný ventil propláchnut argonem. Následovalo přepnutí trojcestných ventilů (vstupu i výstupu) do polohy, která umožňovala vytlačení podzemní vody do cely. Po naplnění cely podzemní vodou, byla cela odpojena pomocí kohoutů na vstupu a výstupu cely. Vzhledem k popsanému způsobu proplachování cely argonem nazýváme systém „anaerobní“ s uvozkami, protože není k dispozici nezávislé měření koncentrace kyslíku v cele, ačkoliv se dá předpokládat minimální zbytková koncentrace kyslíku.

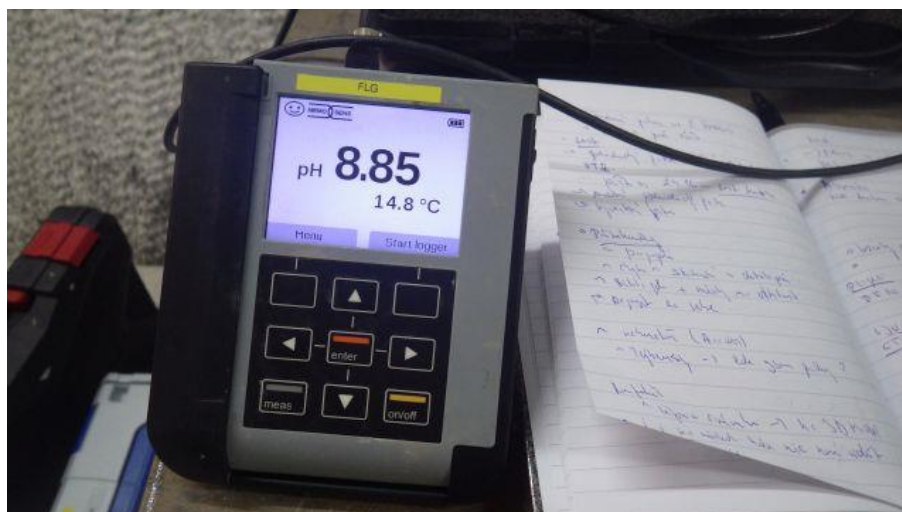


Obr. 6-2 Cela pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek

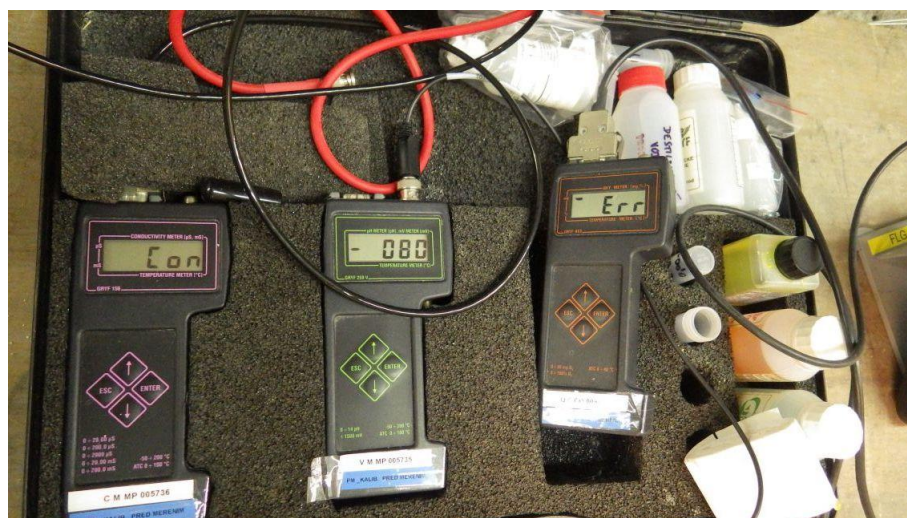


Obr. 6-3 Filtr k cele pro měření elektrochemických parametrů

Po ukončení měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a koncentrace kyslíku (měřené hodnoty budou uvedeny v další kapitole) byla přes celou naplněna vzorkovnice o objemu 250 ml. K tomuto objemu byly přidány 2 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové pro stabilizaci kationtů. Dále bylo odebráno přibližně 100 ml vody pro analýzu aniontů. Odběr vzorků pro mikrobiologické analýzy, jenž bude popsán v samostatné kapitole, byl realizován přímo ze vzorkovače, jedná se tedy o odběr nefiltrované vody. Výše uvedeným způsobem bylo provedeno měření a vzorkování podzemních vod ze všech pěti vrtů.



Obr. 6-4 pH metr použitý při měření za „anaerobních“ podmínek



Obr. 6-5 Přístroje Gryf použité pro měření elektrochemických parametrů (pH, oxidačně redukčního potenciálu, kyslíku a vodivosti)

Obecně lze konstatovat, že všechny odebrané vody zapáchaly typicky po sulfanu a obsahovaly koloidní částice (zachycené částečně při filtraci). Zápach po sulfanu byl detekován sensoricky (čichem, rozsah mezí detekce H_2S tímto způsobem je uveden např. v publikaci Iremonger, 2012). Dále lze konstatovat, že odebíraná voda pro mikrobiologické analýzy (cca 1,5 litru) měla zvýšenou teplotu oproti vodě měřené v cele. To mohlo být způsobeno promícháním vody ve vrtu při odběru většího množství potřebného pro mikrobiologické analýzy. Teplota této vody nebyla měřena z důvodu zabránění kontaminace systému.

Samotné odebírání modulů z vrtu 15.001 probíhalo následujícím způsobem: v prvním kroku bylo v rozvaděči vytápění RTC01 (MKsystem, Česká republika) odpojeny čidla teploty a topná

patrona. Poté byla zahájena postupná demontáž mechanického obturátoru. Těsnící element mechanického obturátoru byl vyjmut společně se vzorkovačem a moduly (Obr. 6-6) a následně byly moduly v co nejkratším čase přemístěny do transportního pouzdra (Obr. 6-7), které bylo po celou dobu demontáže proplachováno argonem. Transportní pouzdro bylo uzavřeno víkem s dodatečným těsněním závitu pomocí teflonové pásky.

Po vyjmutí modulů z vrtu byla na jejich povrchu patrná vrstva bentonitu (pravděpodobně zpětně usazeného z podzemní vody). Následný transport modulů z podzemní laboratoře GTS do laboratoří ÚJV Řež, a. s. trval dva dny.



Obr. 6-6 Moduly se vzorkovačem a těsnícím elementem mechanického obturátoru



Obr. 6-7 Transportní pouzdro s moduly při proplachování argonem

6.2 Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.002 a vzorkování podzemní vody

Odběr modulů po dvou letech experimentu z vrtu 15.002 byl proveden obdobným způsobem jako v případě odběru modulů z vrtu 15.001. Samotná realizace odběru proběhla dne 31. 10. 2017.

Tlak vody pod mechanickým obturátorem stanovený manometrem (Keller, Švýcarsko) byl před ukončením experimentu ve vrtu 15.002 0,38 MPa (Obr. 6-8). Oproti předešlému roku bylo pro převoz modulů za anaerobních podmínek použito menší pouzdro (Obr. 6-9). Transport modulů z podzemní laboratoře GTS do laboratoří ÚJV Řež, a. s. trval tři dny.



Obr. 6-8 Manometr použitý pro měření tlaku podzemní vody pod mechanickým obturátorem ve vrtu 15.002

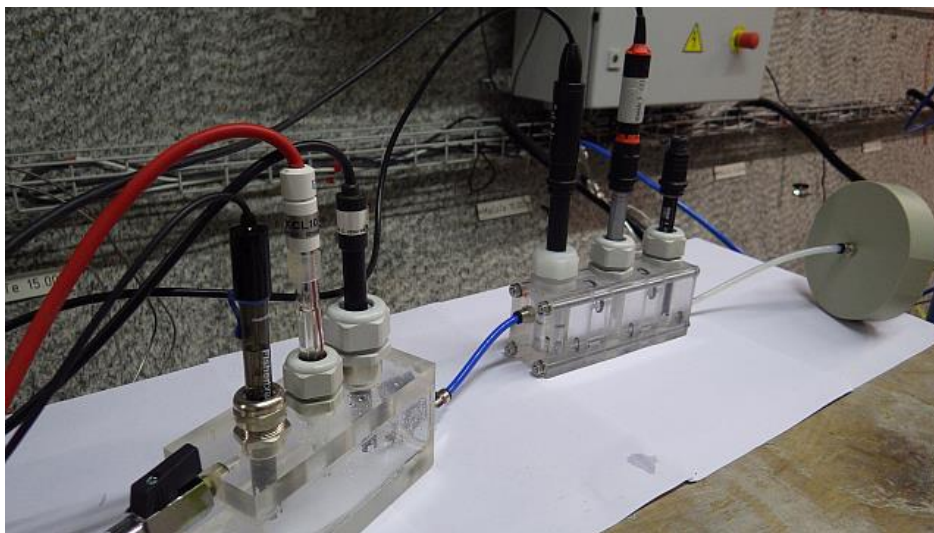


Obr. 6-9 Pouzdro použité pro převoz modulů

Měření elektrochemických parametrů za anaerobních podmínek probíhalo oproti ročnímu experimentu v rozšířené formě. Měřící cela (Obr. 6-2) byla rozšířena o druhou celu, aby bylo možné měřit nezávisle jednotlivé parametry vždy dvěma elektrodami. Nově zkonstruovaná cela umožňuje měření elektrochemických parametrů v průtoku a současně v menším objemu

měřeného roztoku (Obr. 6-10). Před vstupem do měřících cel byl zapojen filtrační nástavec, zajišťující kontinuální filtraci podzemní vody (membránový filtr 0,45 μm , Pragopor).

Pro měření se použili elektrody: pH elektroda SE 101 NMS (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo), platinová elektroda SE564X/1-NMSN (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) a kyslíková elektroda SE340 (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo). Dále pak platinová elektroda XCL 102 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika), pH elektroda FB68793 (Fisherbrand, U.S.A.) a kyslíková elektroda KCL 151/t D (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika). Měření vodivosti elektrodou VEL 152/t (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika) a elektrodou SE615/1-MS (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) se provádělo dodatečně po odběru vody do vzorkovnic. Měření pH, oxidačně redukčního potenciálu, koncentrace kyslíku a vodivosti bylo prováděno v jedné cele pomocí přístroje Portavo 907 Multi (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) a ve druhé cele bylo měření oxidačně redukčního potenciálu a pH prováděno pomocí přístroje Gryf 259 V (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika), měření koncentrace kyslíku oxymetrem Gryf 463 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika) a vodivost přístrojem Gryf 156 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika).



Obr. 6-10 Zapojení dvou cel pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek.

6.3 Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.004 a vzorkování podzemní vody po třech letech experimentu

Odběr modulů po třech letech experimentu z vrtu 15.004 byl proveden obdobným způsobem jako v případě odběru modulů z vrtu 15.002. Samotná realizace odběru proběhla dne 6. 11. 2018.

Tlak vody pod mechanickým obturátorem stanovený opět manometrem (Keller, Švýcarsko) byl před ukončením experimentu ve vrtu 15.004 0,35 MPa. Měření elektrochemických parametrů za anaerobních podmínek probíhalo stejně jako u dvouletého experimentu, tedy ve dvou celách najednou (Obr. 6-11).

Pro měření se použili elektrody: pH elektroda SE 101 NMS (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo), platinová elektroda SE564X/1-NMSN (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) a kyslíková elektroda SE340 (Knick Elektronische

Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo). Dále pak platinová elektroda ORP-T 900P (WTW, Německo), pH elektroda SenTix 940P (WTW, Německo) a kyslíková elektroda FDO 925P (WTW, Německo). Měření vodivosti elektrodou TetraCon 925-P (WTW, Německo) a elektrodou SE615/1-MS (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) se provádělo dodatečně po odběru vody do vzorkovnic. Měření pH, oxidačně redukčního potenciálu, koncentrace kyslíku a vodivosti bylo prováděno v jedné cele pomocí přístroje Portavo 907 Multi (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) a ve druhé cele bylo měření oxidačně redukčního potenciálu, pH, vodivosti a kyslíku prováděno pomocí přístroje WTW Multi 3630 IDS (WTW, Německo).



Obr. 6-11 Zapojení dvou cel pro měření pH, oxidačně redukčního potenciálu a kyslíku za „anaerobních“ podmínek po třech letech experimentu.

6.4 Vzorkování podzemní vody po čtyřech letech experimentu

Vzorkování podzemních vod z jednotlivých vrtů proběhl dne 19. 11. 2019. Měření elektrochemických parametrů za anaerobních podmínek probíhalo stejně jako u dvouletého a tříletého experimentu ve dvou celách najednou (Obr. 6-11). Přístroje a elektrody byly použity stejně jako v případě vzorkování po třech letech.

6.5 Odběr modulů se vzorky z vrtu 15.005 a vzorkování podzemní vody

Odběr modulů z vrtu 15.005 měl být původně uskutečněn po 7 letech. Vzhledem ke ztrátě funkčnosti čidel teploty dne 19. 11. 2019 nebylo dále již možné topit. Proto bylo na základě dohody mezi partnery projektu přikročeno k ukončení experimentu v tomto vrtu. Vyndání modulů z vrtu 15.005 proběhlo dne 28. 1. 2020 stejným způsobem jako v předcházejících letech. Ačkoliv doba experimentu přesáhla 4 roky, tak pro následné analýzy se k těmto vzorkům přistoupí konzervativně a bude se brát ukončení experimentu dnem ztráty topení, tedy 19. 11. 2019.

Tlak vody pod mechanickým obturátorem stanovený manometrem (Keller, Švýcarsko) byl před ukončením experimentu ve vrtu 15.005 0,9 MPa. Měření elektrochemických parametrů za anaerobních podmínek probíhalo stejně jako v předcházejících případech s laboratorním

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

vybavením stejným jako při odběru po třech a čtyřech letech. Kyslíková elektroda SE340 (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) nebyla při vzorkování vod funkční a pro měření nebyla použita.

Při transportu modulů do laboratoří došlo dne 29. 1. 2019 ke ztrátě těsnosti pouzdra a zbytek transportu musel probíhat pod kyslíkovou atmosférou. Moduly byly vystaveny atmosféře do 31. 1. 2019, kdy byly umístěny do rukavicového boxu s argonovou atmosférou.

6.6 Odběry vzorků podzemní vody pro mikrobiologické analýzy

Pro účely stanovení mikrobiální diverzity podzemních vod v GTS byly v roce 2016, 2017, 2018, 2019 a 2020 odebírány vzorky ze všech pěti vrtů (15.001 až 15.005). Voda byla z vrtů vytlačována argonem a intaktním způsobem odebírána do předem připravených sterilních nádob (plastové nádoby o objemu 1,5 l, po dobu 5 minut exponované UV světlem v UVP PCR workstation, vlnová délka UV záření 254 nm, 25 W, výrobce UVP, Kanada). Při odběrech byly používány sterilní rukavice pro omezení případné kontaminace vzorků. Z každého vzorkovaného zdroje podzemní vody byl odebírán minimálně 1,5 l vody. Pro stanovení vhodného postupu dalších plánovaných odběrů byly srovnány dva různé postupy prvotního zpracování vzorků podzemních vod. Mimo to je odebírána i voda z vrtu 85.003, která slouží jako pozadí.

První postup představuje zchlazení většího objemu vody (výše uvedených 1,5 l vzorků podzemních vod) a následný transport v transportní ledničce k dalšímu zpracování na pracoviště TUL. Výhodou tohoto postupu je, že umožňuje analýzu poměrně velkého objemu vody, avšak na druhou stranu během transportu může dojít k posunům v druhovém spektru mikrobiálního konsorcia oproti stavu v čase odběru vzorků. Další zpracování vzorků podzemní vody na pracovišti TUL zahrnovalo filtraci pomocí zařízení pro vakuovou filtraci (systém SpeedFlow, Crami Group, Itálie) přes sterilní duraporový filtr o velikosti pórů 0,22 µm (Merck, Německo) (Obr. 6-12). Filtry se zachycenými mikroorganismy jsou do dalšího zpracování dále skladovány při teplotě -80 °C.



Obr. 6-12 Zařízení pro vakuovou filtraci (A), filtry pro filtraci vzorků (B)

Při druhém postupu zpracování vzorků podzemní vody bylo využito filtrace vzorků vody přímo v GTS. Voda byla pomocí sterilní stříkačky filtrována přes sterilní filtry Millex-GV (Millipore, Francie) o velikosti pórů 0,22 μm . Získané filtry se následně zamrazily a zamražené byly transportovány k dalšímu zpracování na pracoviště TUL. Předností tohoto postupu je zachycení aktuálního stavu v době odběru vzorků, avšak lze jím zpracovat jen relativně malý objem vody (20 až 80 ml), což může výrazně ovlivnit další výsledky molekulárně-biologických analýz. Pro přesné stanovení mikrobiální diverzity je totiž nutné získat určité minimální množství DNA (závislé na vstupním množství analyzované vody). Stejně jako v předchozím případě jsou i tyto filtry do dalšího zpracování uchovávány na pracovišti TUL při teplotě $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V průběhu roku 2017 uskutečnili pracovníci podzemní laboratoře další dva odběry vzorků podzemních vod (v dubnu a v červenci). V červenci byl ovzorkován i pozadový vrt 85.003. Na TUL byly zaslány předem zamražené filtry Millex-GV (Millipore, Francie) se zachycenou biomasou. Tyto filtry byly využity pro další molekulárně-biologické zhodnocení.

Na podzim roku 2017 při odběru modulu 15.002 proběhlo další kolo vzorkování podzemních vod výše popsaným postupem. Pro účely mikrobiologických analýz byly opět využity filtry získané přímo v podzemní laboratoři.

V roce 2018 byly vzorky vod sterilně filtrovány přímo na lokalitě pomocí filtrů Sterivex (Merck Milipore, Německo), které byly následně zamrazeny a převezeny k dalšímu zpracování na TUL. Celkem proběhly čtyři odběry podzemních vod (v březnu, v červnu, v srpnu a v listopadu).

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

V letech 2019 a 2020 pokračovaly odběry vzorů podzemních vod stejným způsobem, tj. sterilní filtrací pomocí filtrů Sterivex (Merck, Německo). Filtry byly následně zmrazeny a zamražené převezeny k dalšímu zpracování na TUL. V roce 2019 proběhly 4 odběry (v březnu, červnu, srpnu a listopadu), v roce 2020 prozatím jeden odběr (leden 2020).

7 Demontáž modulů

7.1 Demontáž modulů z vrtu 15.001

Moduly byly v laboratoři ÚJV Řež, a. s. přeneseny do rukavicového boxu MB 200B (MBRAUN GmbH, Německo) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 (Linde Gas a.s., Česká republika)) a koncentrací kyslíku pod 0,1 ppm obj. přes přechodovou komoru dne 3. 11. 2016 (Obr. 7-1). Evakuace přechodové komory byla provedena 10× na hodnotu podtlaku 0,6 vůči atmosféře. Přechodová komora s moduly nebyla evakuována na hodnotu podtlaku 1 („vakuum“) z důvodu omezení odparu vody z bentonitu. Přesto i při podtlaku 0,6 dojde částečným odparem k ovlivnění systému.



Obr. 7-1 Moduly umístěné do přechodové komory rukavicového boxu

Po umístění modulů do rukavicového boxu (Obr. 7-2) byla zahájena jejich demontáž. V prvním kroku se podařilo odstranit z modulů víka (Obr. 7-3). Po odstranění jednotlivých vík byly odebrány pomocí skalpelu vzorky bentonitu pro stanovení vlhkosti (Obr. 7-4). Z každého modulu byly odebrány dva vzorky bentonitu a to z oblasti horního víka a z oblasti dolního víka. Vzhledem k minimální vlhkosti v rukavicovém boxu není možné zabránit při odběru vzorku k jejich částečnému vysychání, tím je do vyhodnocení vnášena nejistota, se kterou je nutné počítat při interpretaci výsledků.

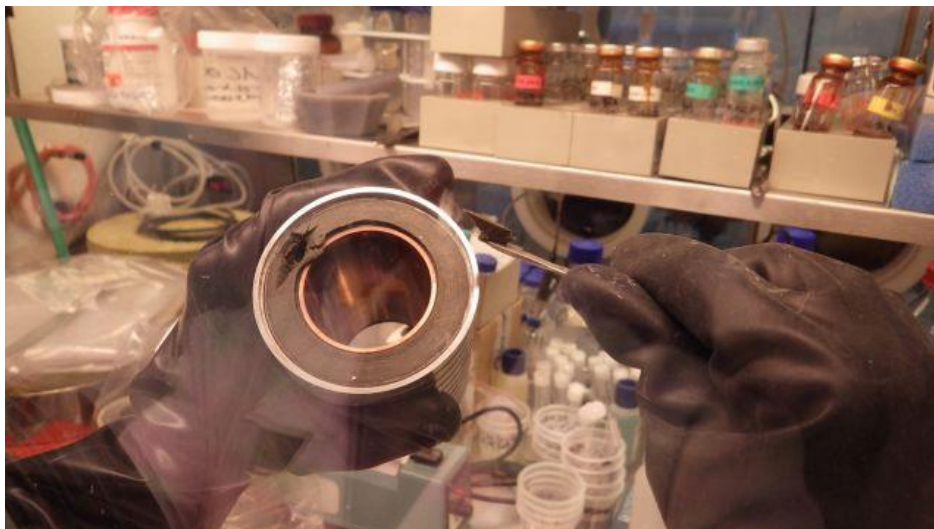
Vzhledem k bobtnacímu tlaku bentonitů v modulech a omezené možnosti „hrubé“ mechanické práce v rukavicovém boxu nebylo možné dokončit celkovou demontáž. Pro dokončení demontáže modulů bylo nutné nechat částečně vyschnout bentonity v modulech.



Obr. 7-2 Moduly MaCoTe_AN_MX80_Cu_7, MaCoTe_AN_MX80_Fe_1 a MaCoTe_AN_BaM_Fe_1 v rukavicovém boxu



Obr. 7-3 Moduly MaCoTe_AN_MX80_Cu_7 (vlevo), MaCoTe_AN_MX80_Fe_1 (vpravo) a MaCoTe_AN_BaM_Fe_1 (dole) v rukavicovém boxu po odstranění vík

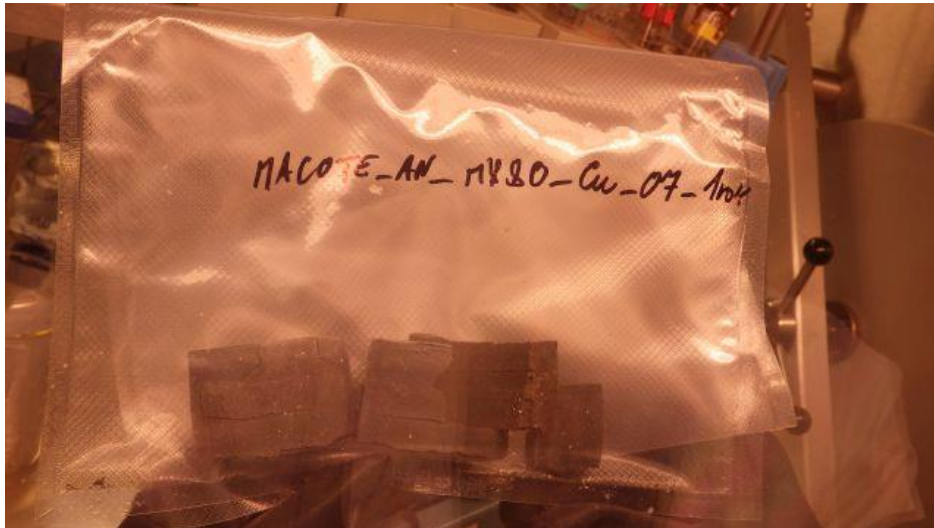


Obr. 7-4 Odběr vzorků bentonitu pro stanovení vlhkosti

Demontáž modulů bylo možné dokončit 4. 11. 2016 (druhý den po umístění modulů do rukavicového boxu), kdy byly bentonity částečně vysušeny. Po odstranění perforovaného koše a filtračních tkanin byly vizuálně zkontrolovány bentonitové obaly vzorků. Nikde nebyl pozorován úbytek bentonitu z modulů (vyjma odebraného množství pro stanovení vlhkosti). Zároveň byly zkontrolovány filtrační tkaniny, u kterých nebyl pozorován průnik bentonitu skrz. Je tedy pravděpodobné, že bentonit pozorovaný na povrchu modulů se částečně dostával ven v oblasti mezi víky a perforovaným vnějším košem, tak jak bylo pozorováno u modulu MaCoTe_AN_MX80_Cu_7 po předsycení modulů před zahájením experimentu (Dobrev a Zuna, 2015). Z jednotlivých modulů byly odebrány vzorky bentonitu (Obr. 7-5) do předem sterilizovaných plastových sáčků (sterilizace min. 15 minut pod UV lampou Prolux G od výrobce Nexa, Slovensko s UV-C trubicí Philips o výkonu 15 W), které byly uzavřeny zatavením. Tyto vzorky bentonitů byly využity pro mikrobiologické analýzy, které byly provedeny na TUL. Je nutné zdůraznit, že prostředí v rukavicovém boxu nebylo sterilní a ani nebylo možné ho převést do sterilního stavu. To musí být následně zohledněno při mikrobiálních analýzách odebraných vzorků.

Na vnějším povrchu bentonitů, které byly v modulech se vzorky uhlíkové oceli, bylo pozorováno šedočerné zbarvení (Obr. 7-6), které bylo pozorovatelné i na filtračních tkaninách u modulů s uhlíkovou ocelí (Obr. 7-7). Příčina tohoto zbarvení nebyla objasněna. Vnější povrch bentonitů je dokumentován v příloze 11.5 a vzorky bentonitu v příloze 11.6.

Vzorky uhlíkové oceli a měděného nástřiku (Příloha 11.7) byly po odstranění bentonitu označeny a umístěny do separátních plastových obalů pro následné analýzy.



Obr. 7-5 Vzorky bentonitu pro mikrobiologické analýzy



Obr. 7-6 Šedočerné zbarvení vnější strany bentonitu u modulů s uhlíkovou ocelí. Horní obrázek ukazuje stranu bentonitu přilehlou k uhlíkové oceli a v oblasti lomu bentonitu je pozorovatelné šedočerné zbarvení na vnější straně. Spodní obrázek ukazuje bentonit MX-80 z vnější strany

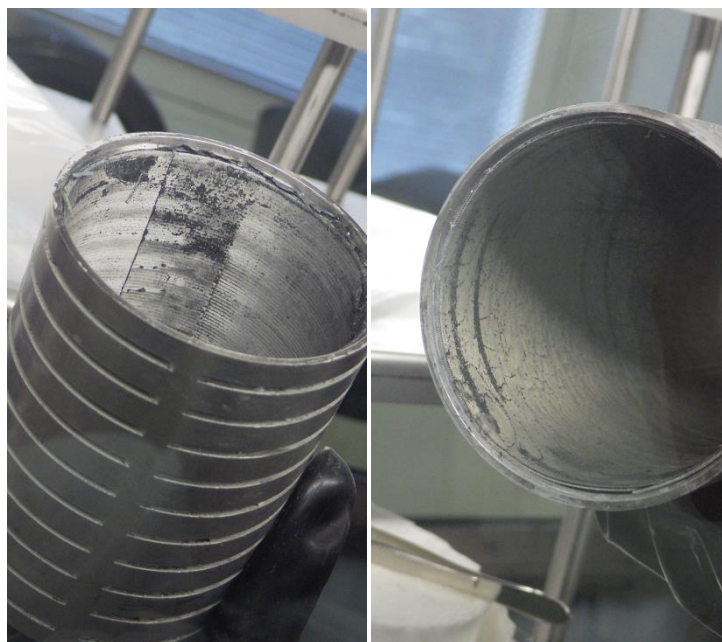


Obr. 7-7 Ilustrační obrázek šedočerného zabarvení na filtrační tkanině z modulu s bentonitem BaM

7.2 Demontáž modulů z vrtu 15.002

Moduly byly v laboratoři ÚJV Řež, a. s. přeneseny do rukavicového boxu GP CONCEPT (Jacomex, Francie) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 (Linde Gas a.s., Česká republika) a koncentrací kyslíku pod 1 ppm obj. přes přechodovou komoru dne 3. 11. 2017. Evakuace byla opět provedena 10× na hodnotu podtlaku 0,6 bar. Před samotným vložením modulů do boxu byl vnitřek rukavicového boxu a laboratorní vybavení sterilizováno UV lampou Prolux G (Nexa, Slovensko, s UV-C trubicí Philips o výkonu 15 W) po dobu 40 min. Následující postup prací byl obdobný jako u modulů z vrtu 15.001. Po odebrání vzorků na vlhkost bylo nutné počkat na částečné vyschnutí bentonitu v modulech. Dokončení demontáže modulů včetně odběru vzorků proběhlo dne 6. 11. 2017 (první pracovní den po vložení modulů do boxu).

Na bentonitu z modulů s ocelovými vzorky bylo opět patrné šedočerné zabarvení z vnější strany (Příloha 11.5), které bylo pozorovatelné i na filtračních tkaninách u modulů s uhlíkovou ocelí (Obr. 7-8). Porovnání bentonitů po experimentu je v příloze 11.6. a obrazová dokumentace kovových vzorků po odstranění bentonitu v příloze 11.7.



Obr. 7-8 Šedočerné zabarvení na filtračních tkaninách ze strany přiléhající k bentonitu. Vlevo modul s bentonitem MX80, vpravo modul s bentonitem BaM

7.3 Demontáž modulů z vrtu 15.004

Moduly byly v laboratoři ÚJV Řež, a. s. přeneseny opět do rukavicového boxu GP CONCEPT (Jacomex, Francie) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 (Linde Gas a.s., Česká republika) a koncentrací kyslíku pod 1 ppm obj. přes přechodovou komoru dne 9. 11. 2018. Evakuace byla provedena stejným způsobem jako v předcházejících letech tedy 10× na hodnotu podtlaku 0,6 bar. Před samotným vložením modulů do boxu byl vnitřek rukavicového boxu a laboratorní vybavení opět sterilizováno UV lampou Prolux G (Nexa, Slovensko, s UV-C trubicí Philips o výkonu 15 W) po dobu 30 min. Následující postup prací byl obdobný jako u modulů z vrtu 15.001 a 15.002. Po odebrání vzorků na vlhkost se opět čekalo na částečné vyschnutí bentonitu v modulech. Dokončení demontáže modulů včetně odběru vzorků proběhlo dne 12. 11. 2017 (první pracovní den po vložení modulů do boxu).

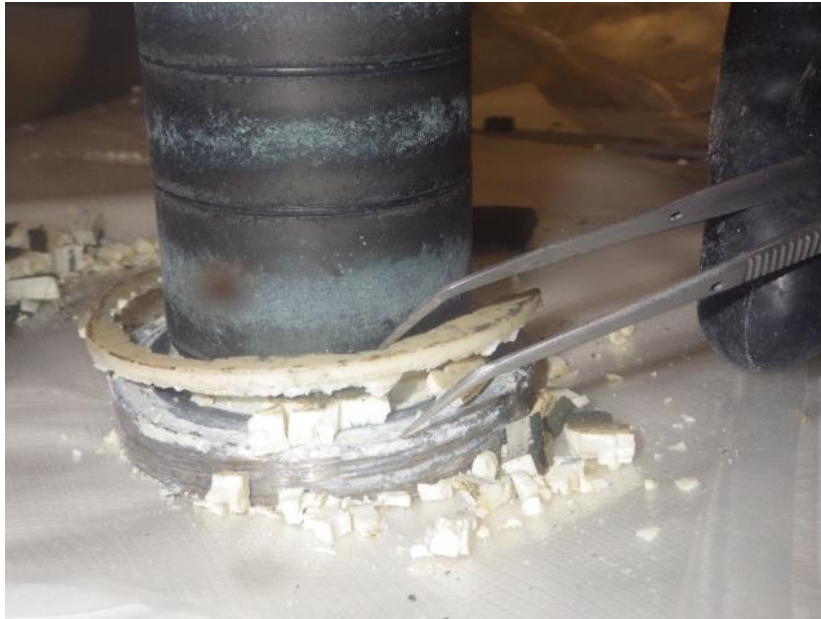
Na bentonitu z modulů s ocelovými vzorky nebylo tak patrné šedočerné zabarvení z vnější strany, které bylo pozorovatelné u předchozích modulů po 1 a 2 letech. Oproti předchozím letům nedržel bentonit po vyschnutí původní tvar a při demontáži došlo k „vysypání bentonitu“. Porovnání bentonitů po experimentu je v příloze 11.6. a obrazová dokumentace kovových vzorků po odstranění bentonitu v příloze 11.7.

7.4 Demontáž modulů z vrtu 15.005

Moduly byly v laboratoři ÚJV Řež, a. s. přeneseny do rukavicového boxu GP CONCEPT (Jacomex, Francie) s argonovou atmosférou (pracovní plyn argon 4.8 (Linde Gas a.s., Česká republika) a koncentrací kyslíku pod 1 ppm obj. přes přechodovou komoru dne 31. 1. 2020. Evakuace byla provedena stejným způsobem jako v předcházejících letech. Před samotným vložením modulů do boxu byl vnitřek rukavicového boxu a laboratorní vybavení sterilizováno UV lampou NBV15N (Ultra-Viol, Polsko, s UV-C trubicí Philips o výkonu 15 W) po dobu 20 min. Následující postup prací byl obdobný jako v předcházejících případech. U modulů s bentonitem MX80 nebylo možné provést demontáž vzhledem k bobtnacímu tlaku a musely

být ponechány k vyschnutí bez odběru vzorků pro stanovení vlhkosti. Dokončení demontáže modulů včetně odběru vzorků proběhlo dne 3. 2. 2020 (první pracovní den po vložení modulů do boxu).

Šedočerné zbarvení bentonitu z vnější strany bylo také v menším rozsahu oproti jednoletému a dvouletému experimentu. Plastové části modulů byly již značně degradovány a při manipulaci došlo k jejich rozpadnutí (Obr. 7-9). Porovnání bentonitů po experimentu je v příloze 11.6. a obrazová dokumentace kovových vzorků po odstranění bentonitu v příloze 11.7.



Obr. 7-9 Degradovaná plastová část modulu

	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

8 Výsledky provedených analýz

8.1 Analýza uhlíkové oceli ČSN 12022

Uhlíková ocel 12022 použitá v korozních zkouškách (Dobrev a Zuna, 2015) byla analyzována pro stanovení chemického složení a zároveň u ní byla charakterizována mikrostruktura.

Chemické složení uhlíkové oceli bylo uvedeno již ve zprávě Dobrev a Zuna, 2015. Nejednalo se však o nezávislou analýzu, ale o analýzu výrobce oceli. Nezávislá analýza provedená optickým emisním spektrometrem FOUNDRY-MASTER Xline (Oxford Instruments, UK) je uvedena v Tab. 8-1, kde je zároveň chemické složení dle normy a tavby (Certifikát 13978/1/2013, Železiarne Podbrezová). Jak je z uvedené tabulky patrné, shodují se velmi dobře naměřené hodnoty s hodnotami uvedenými výrobcem.

Tab. 8-1 Chemické složení uhlíkové oceli dle normy, výrobce a analýzy

	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Fe [%]
Dle normy	0,15-0,22	0,5-0,8	0,17-0,37	0,04	0,04	0,25	0,25	0,25	do 100%
Tavba 30875	0,16	0,53	0,23	0,009	0,008	0,14	0,03	0,06	do 100%
Analýza	0,18	0,51	0,21	0,009	0,006	0,15	0,03	0,05	do 100%

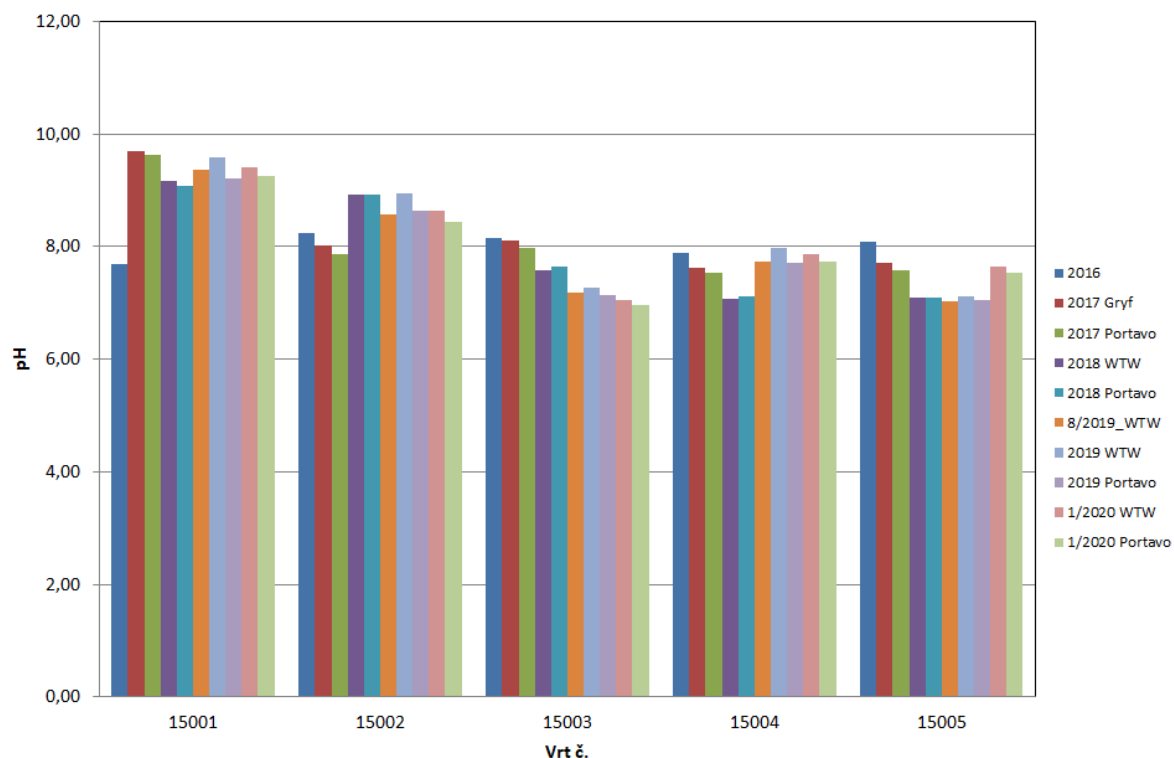
Kromě chemického složení byla provedena i analýza mikrostruktury, která je detailněji popsána v příloze 11.8. Mikrostruktura uhlíkové oceli je feriticko perlitická a obsahuje vměstky karbidů a sulfidů. Výsledky odpovídají příslušné normě ČSN 41 2022.

8.2 Analýza měděného nástřiku

U vzorku měděného nástřiku byla analyzována mikrostruktura, viz Příloha 11.9. V mikrostrukturu nebyly patrné žádné dutiny nebo póry, které by mohly vzniknout během výroby měděného nástřiku. Mikrostruktura není porovnatelná s mikrostrukturou mědi (Cu OF, EN1652/1997).

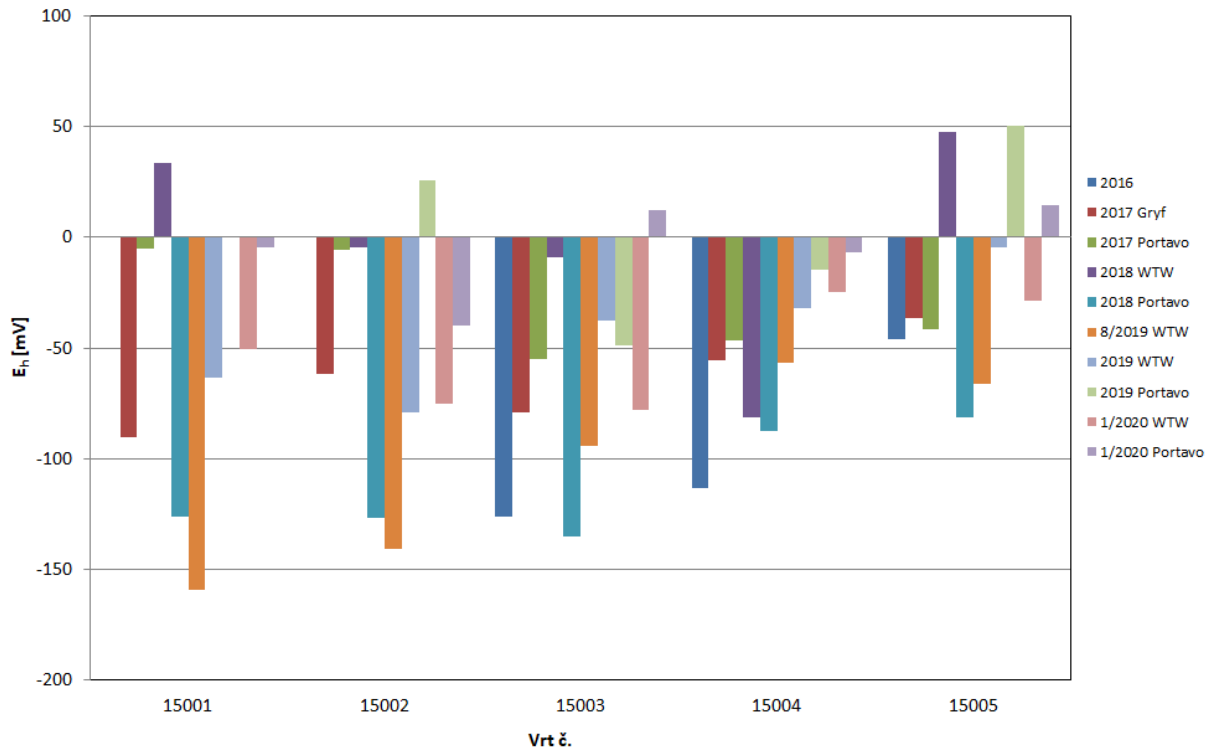
8.3 Analýza podzemních vod

Jak bylo uvedeno v kapitole 6, bylo provedeno v podzemní laboratoři GTS měření pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G a koncentrace kyslíku C_{O_2} . Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 11.10. Srovnání vývoje pH v jednotlivých vrtech je uvedeno na Obr. 8-1. Jak je z uvedeného grafu patrné je pH podzemní vody relativně stabilní v čase. U vrtu 15.001 a 15.002 je pak pozorovatelný nárůst pH, který je spojen s vyjmutím modulů, a poklesem koncentrace uhličitánů viz dále. U vrtu 15.004 nárůst pH nebyl po vyjmutí modulů nad hodnotu 8 jako v předcházejících dvou případech. U vrtu 15.005 došlo před vyjmutím modulů v roce 2020 k mírnému nárůstu pH, což by mohlo být dáno poklesem teploty z důvodu ztráty topení a snížení rozpouštění uhličitánů. Ve vrtu 15.003 dochází stále k mírnému poklesu pH, který by mohl být dán přítomností organických složek ve vodě z aparatury a následnou mikrobiální aktivitou.



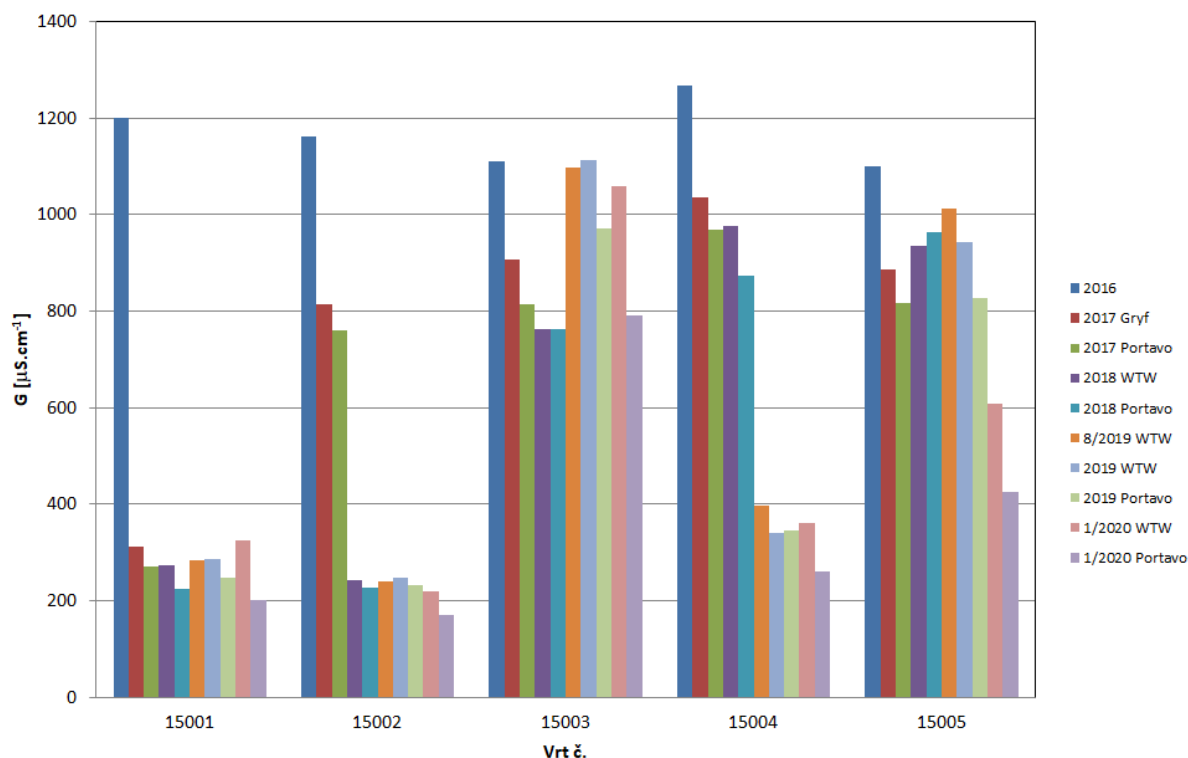
Obr. 8-1 Srovnání hodnot pH v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo

Grafické porovnání vývoje oxidačně redukčního potenciálu v čase přepočteného vůči standardní vodíkové elektrodě je uvedeno na Obr. 8-2. Hodnoty oxidačně redukčního potenciálu jsou při většině měření záporné a nepřímo se tak potvrzuje, že podmínky ve vrtech jsou pravděpodobně anaerobní. Občasné vyšší hodnoty mohou souviset s pomalým ustalováním potenciálu na elektrodách z důvodu nepřítomnosti dostatečných koncentrací oxidačně redukčních párů.



Obr. 8-2 Srovnání hodnot oxidačně redukčního potenciálu v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo

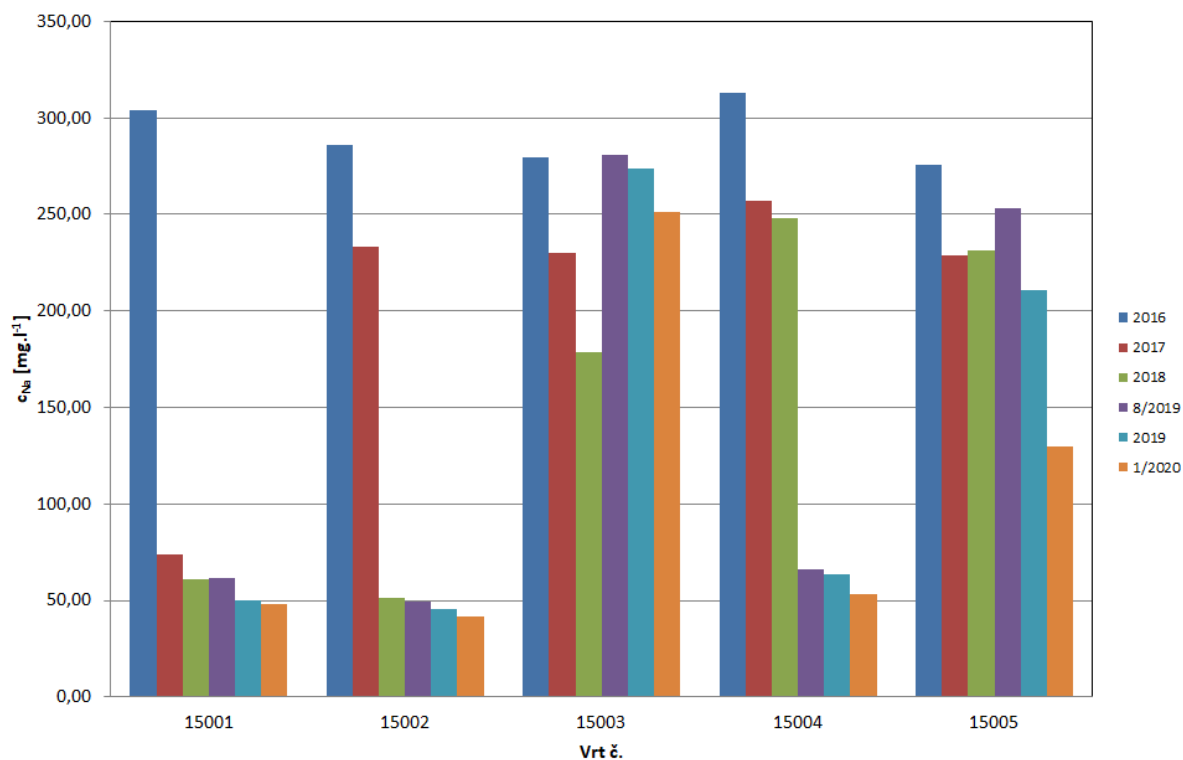
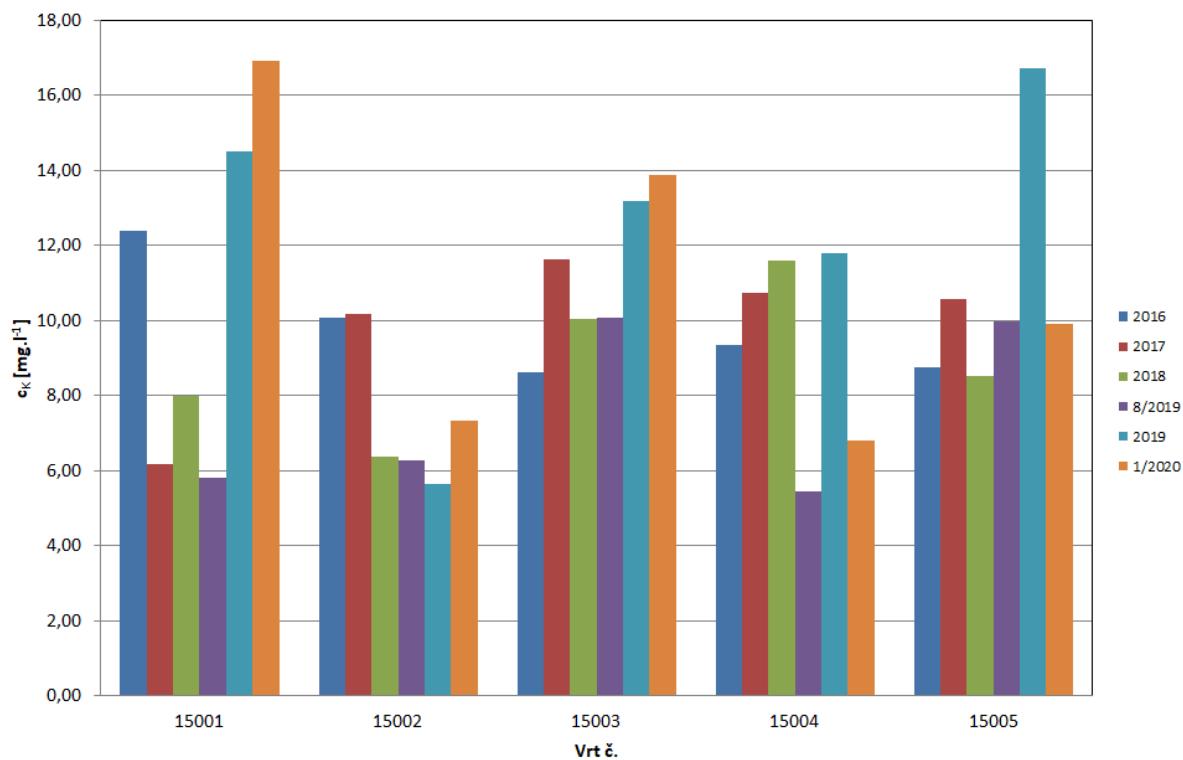
Stanovené hodnoty vodivosti jsou uvedeny na Obr. 8-3. U vodivosti dochází k poklesu u vrtů kde, byly vyjmuty moduly což je spojeno s poklesem obsahu uhlíčanů v systému viz dále. Před vyjmutím modulů byly hodnoty vodivosti obdobné v jednotlivých vrtech.

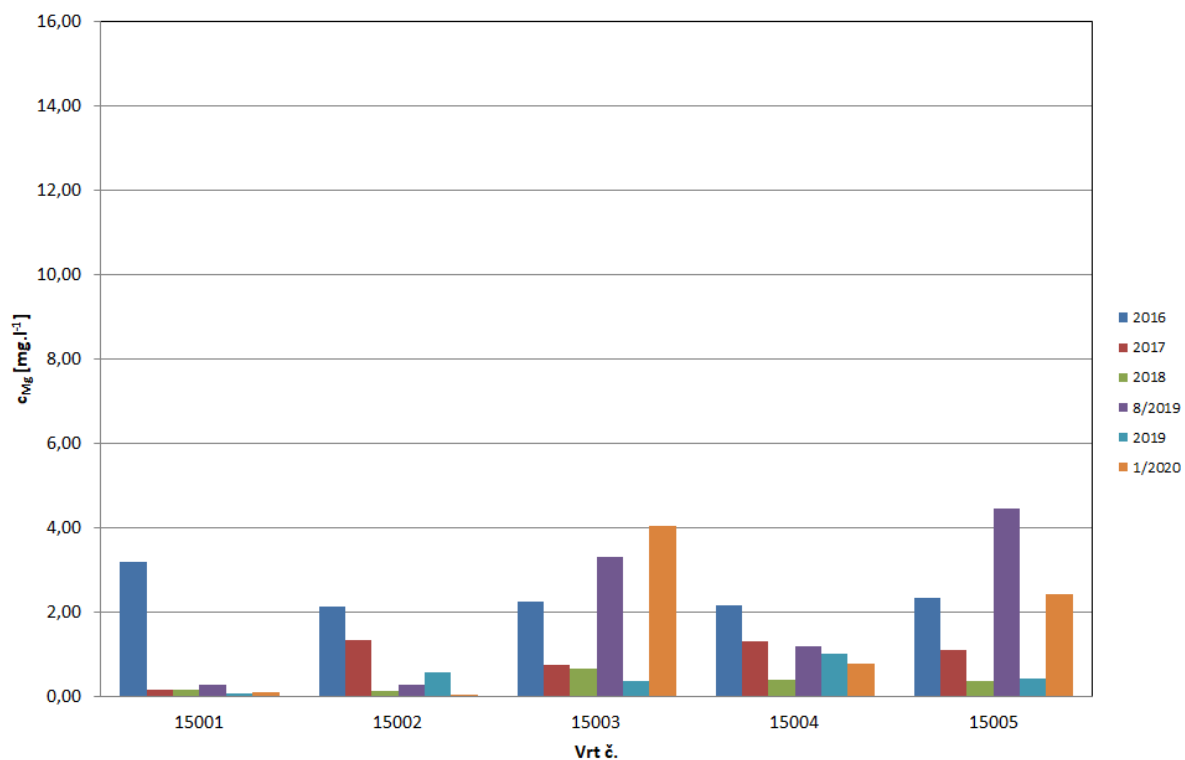
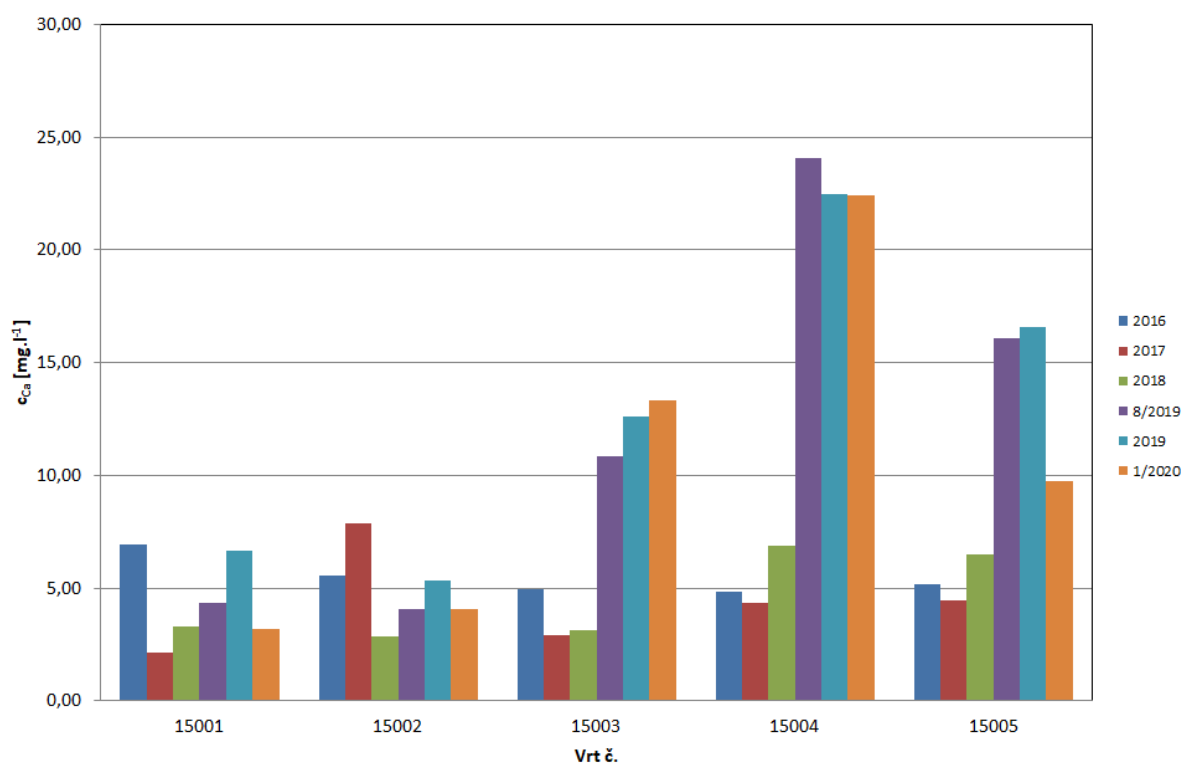


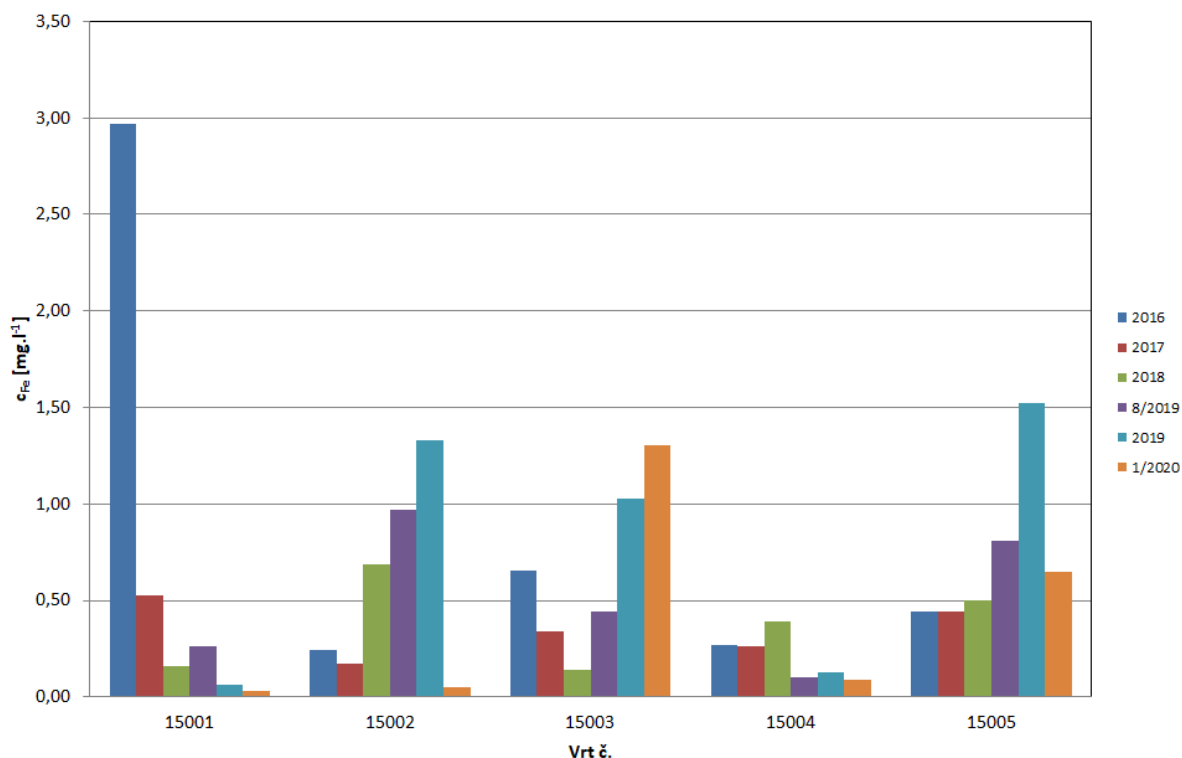
Obr. 8-3 Srovnání hodnot vodivosti v jednotlivých vrtech v čase. V roce 2017 bylo provedeno měření dvěma přístroji Gryf a Portavo a v následujících letech přístroji WTW a Portavo

Koncentrace kyslíku byla při všech měřeních podzemních vod pod detekčním limitem (DL), který je $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ u oxymetru Gryf 463 (GRYF HB, spol. s r.o., Česká republika), při měření přístrojem Portavo 907 Multi (Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Německo) a WTW Multi 3630 IDS (WTW, Německo) jsme se pohybovali nad hranicí detekčního limitu $0,01$ resp. $0,02 \text{ mg.l}^{-1}$. Stanovené nenulové hodnoty mohou být dány zbytkovým kyslíkem v celách pro propláchnutí argonem.

Stanovení kationtů v podzemních vodách z jednotlivých vrtů bylo provedeno pomocí atomové absorpční spektroskopie (AAS) na přístroji SavantAA (GBC, Austrálie). Analýza byla provedena pro vybrané kationty očekávané v podzemní vodě. Pro samotné měření musely být vzorky předem filtrovány přes filtr $0,2 \mu\text{m}$. V příloze 11.11 jsou uvedené průměrné stanovené hodnoty měřených kationtů. V této příloze jsou také uvedeny hodnoty stanovených kationtů pomocí AAS v podzemní vodě, která byla použita pro předsycení modulů (analýza provedena v roce 2015). Lze konstatovat, že v prvních letech došlo k výraznému nárůstu koncentrací jednotlivých kationtů (vyjma vápníku) oproti podzemní vodě použité pro předsycení modulů. K nárůstu koncentrace vápníku došlo u některých vrtů až po čtyřech letech experimentu z nejasné příčiny. Na grafech Obr. 8-4, až Obr. 8-8 je zobrazen vývoj koncentrace kationtů v jednotlivých vrtech v čase. Dle očekávání dochází ve vrtech po vyjmutí modulů k poklesu koncentrace sodíku což je v souladu s pozorovaným poklesem vodivosti. U ostatních vrtů jsou stanovené hodnoty kationtů obdobné a není pozorovatelný jasný trend chování.


Obr. 8-4 Srovnání koncentrace sodíku v jednotlivých vrtech v čase

Obr. 8-5 Srovnání koncentrace draslíku v jednotlivých vrtech v čase


Obr. 8-6 Srovnání koncentrace hořčíku v jednotlivých vrtech v čase

Obr. 8-7 Srovnání koncentrace vápníku v jednotlivých vrtech v čase



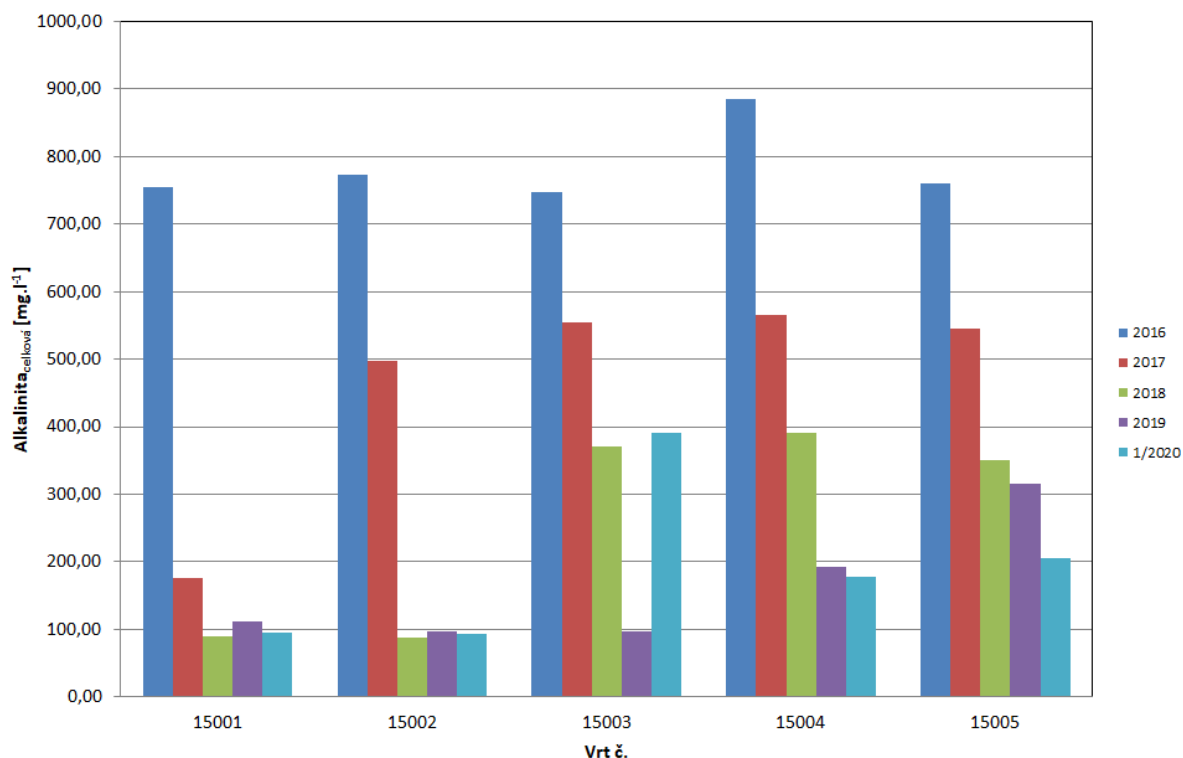
Obr. 8-8 Srovnání koncentrace celkového železa v jednotlivých vrtech v čase

Kromě kationtů byly stanoveny i anionty iontovým chromatografem ICS 3000 (Dionex, USA). Stanovení celkové alkalinity bylo provedeno separátně titrací dle ČSN-ISO 9963-1 odměrným roztokem kyseliny chlorovodíkové ($0,02 \text{ mol.l}^{-1}$) pomocí přístroje TIM800 (Radiometer Analytical, Francie). Analýza byla provedena pro vybrané anionty očekávané v podzemní vodě. V příloze 11.12 jsou uvedeny tabulky se stanovenými hodnotami koncentrací aniontů. Na Obr. 8-9 až Obr. 8-12 jsou uvedeny srovnání vývoje koncentrací aniontů v jednotlivých vrtech v čase. V grafech jsou zobrazeny i hodnoty pod mezí stanovitelnosti (u síranů). Oproti podzemní vodě použité pro předsycení modulů výrazně vzrostla celková alkalinita (viz tabulky v příloze 11.12), která následně v čase mírně klesá (u vrtu bez modulů výrazněji, což odpovídá vyjmutí bentonitu ze systému). U ostatních aniontů došlo v čase k nárůstu jejich koncentrace, která je však dále v čase nejeví výraznější změny. U chloridů a fluoridů je stanovená koncentrace vyšší než v podzemní vodě použité pro předsycení. Koncentrace síranů u některých vrtů fluktuuje nad mez stanovitelnosti. Celkově nelze pozorovat u aniontů vyjma uhličitanů žádné trendy v chování.

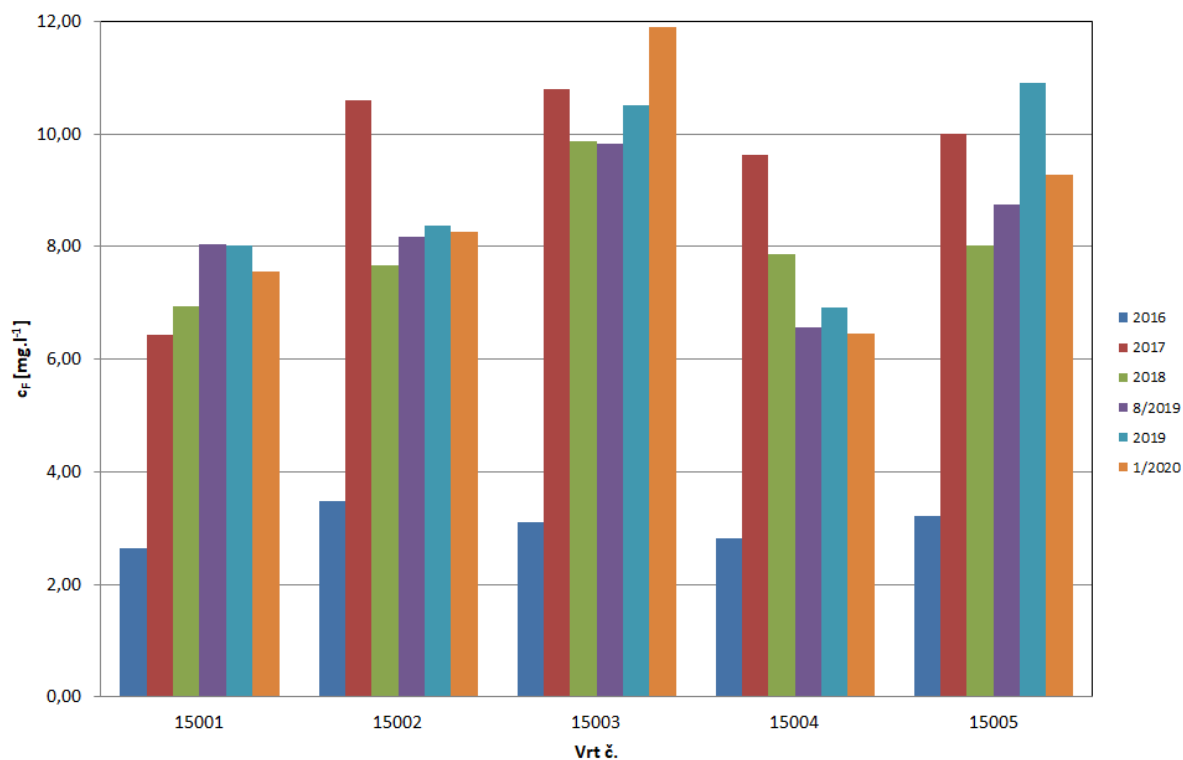
Po třech letech experimentu byla ve vodě odebrané pro stanovení kationtů, která byla okyselená kyselinou dusičnou pozorována na dně bílá sraženina (Obr. 8-13). Tato sraženina byla vizuálně pozorovatelná pouze u vod z vrtů s moduly. U vrtu 15.001 a 15.002 pozorována nebyla, nicméně při analýzách se přítomnost potvrdila i tam, viz dále.

Kromě měření koncentrací kationtů a aniontů v podzemní vodě byla také sledována přítomnost koloidních částic. Cílem nebylo určit distribuci a množství koloidních částic, ale pouze potvrdit jejich přítomnost v systému. Měření byla provedena na přístroji Nanophox (Sympatec GmbH, Německo). U všech měřených vzorků byla zjištěna přítomnost koloidních částic v systému. Množství koloidních částic bylo nicméně nízké a vyhodnotitelná byla pouze některá měření (Příloha 11.13). Po prvním roce experimentu bylo také provedeno měření zachycených

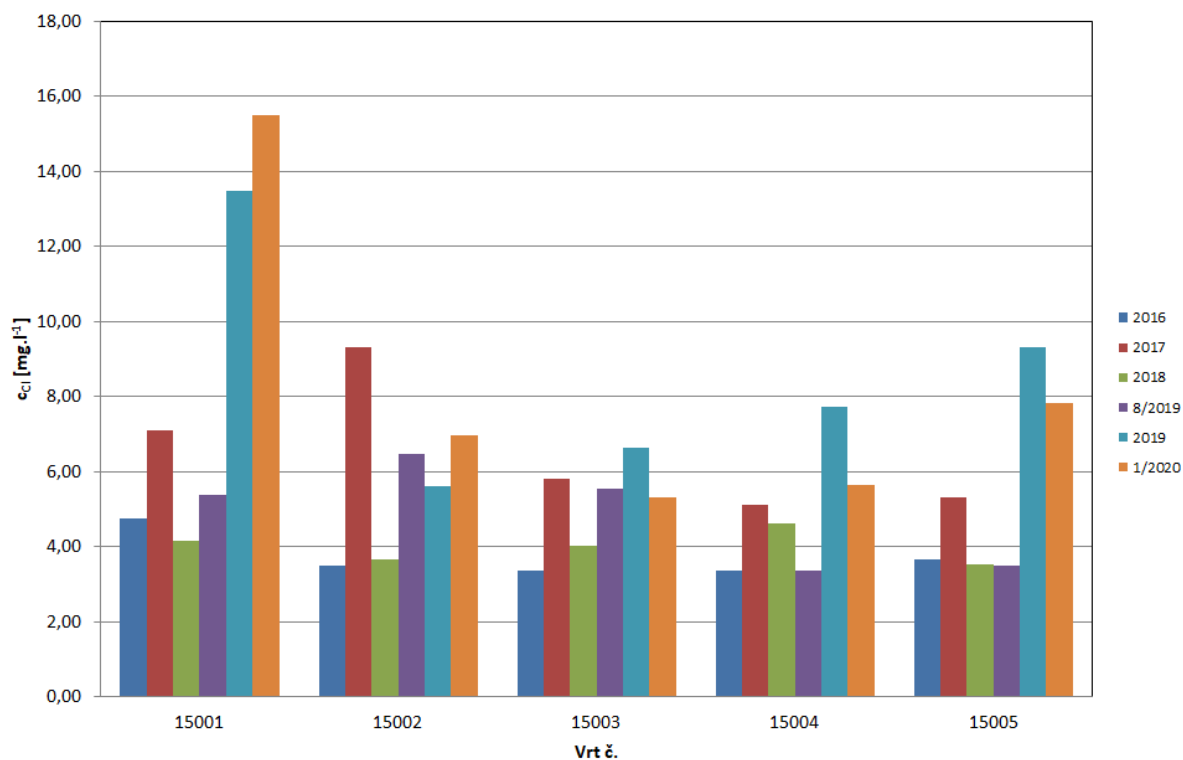
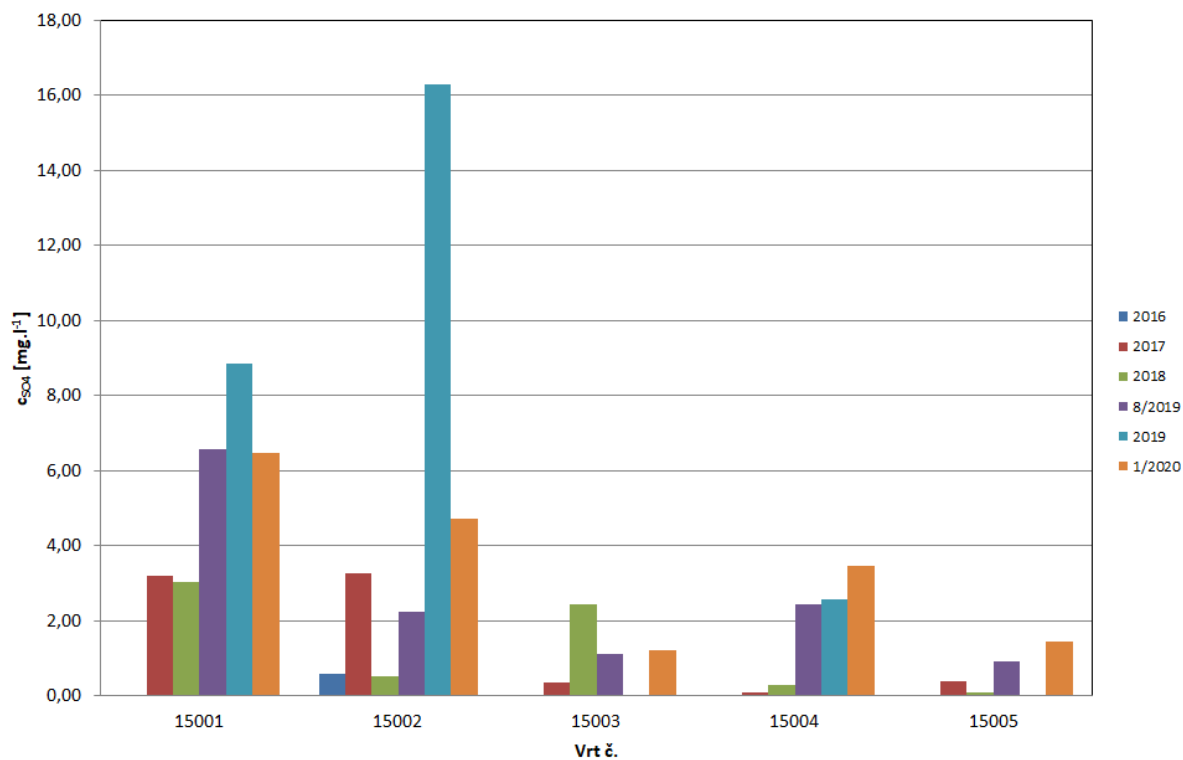
koloidních částic na filtru, pomocí rentgenové difrakční analýzy přístrojem PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, B. V., Almelo, The Netherlands). Výsledkem bylo potvrzení, že se jedná o bentonitové koloidy (Příloha 11.13).



Obr. 8-9 Srovnání celkové alkalinity v jednotlivých vrtech v čase



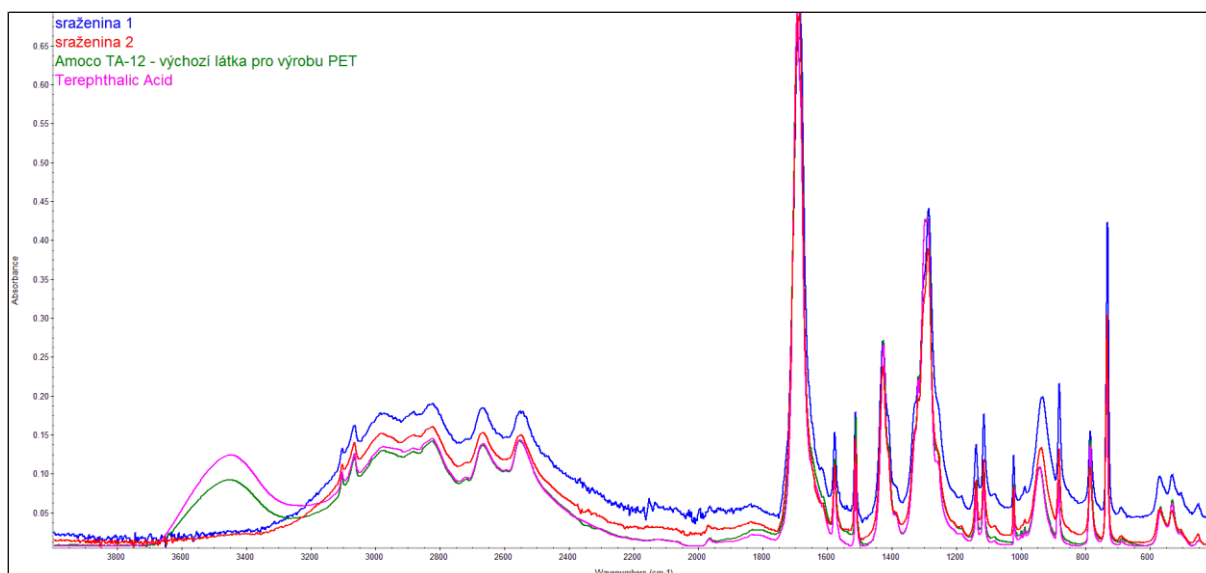
Obr. 8-10 Srovnání koncentrace fluoridů v jednotlivých vrtech v čase


Obr. 8-11 Srovnání koncentrace chloridů v jednotlivých vrtech v čase

Obr. 8-12 Srovnání koncentrace síranů v jednotlivých vrtech v čase (pozn. hodnoty pod $1 mg.l^{-1}$ jsou pouze orientační, neboť jsou pod mezí stanovitelnosti)



Obr. 8-13 Bílý sediment u vzorků vod pro stanovení kationtů z vrtu 15.005

Sraženina vznikající v roztoku po okyselení Obr. 8-13 byla identifikována jako kyselina tereftalová (Obr. 8-14), která pochází z degradace platových čel modulů, které jsou z polyethyltereftalátu (Dobrev, 2014)



Obr. 8-14 Analýza sraženiny vzniklé po okyselení vody z vrtů

8.4 Analýza bentonitu BaM a MX-80

V rámci projektu byla též provedena silikátová analýza bentonitu BaM (KERAMOST a.s., Česká republika) a bentonitu MX-80, který dodala švýcarská Nagra. Stanovené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8-2.

Tab. 8-2 Silikátová analýza bentonitu MX-80 a BaM použitých v modulech

	MX-80 [% hm. sušiny]	BaM [% hm. sušiny]
Ztráta žiháním, 1000 °C	11,62	16,53
SiO ₂	55,81	44,76
Al ₂ O ₃	17,76	15,85
Fe ₂ O ₃ celk.	3,88	9,01
TiO ₂	0,15	0,79
CaO	2,34	1,87
MgO	1,30	2,39
Na ₂ O	1,25	0,35
K ₂ O	0,56	2,47
MnO	0,026	0,092
P ₂ O ₅	0,23	0,43
SO ₃ síran	0,18	0,02
CO ₂	0,43	2,51
FeO	0,68	1,35

Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitů z jednotlivých modulů jsou uvedeny v příloze 11.14. Hodnoty vlhkostí bentonitů o suché objemové hmotnosti 1,5 g.cm⁻³ se pohybují okolo 35 % u všech doposud odebraných modulů z vrtů.

8.5 Analýza kovových vzorků

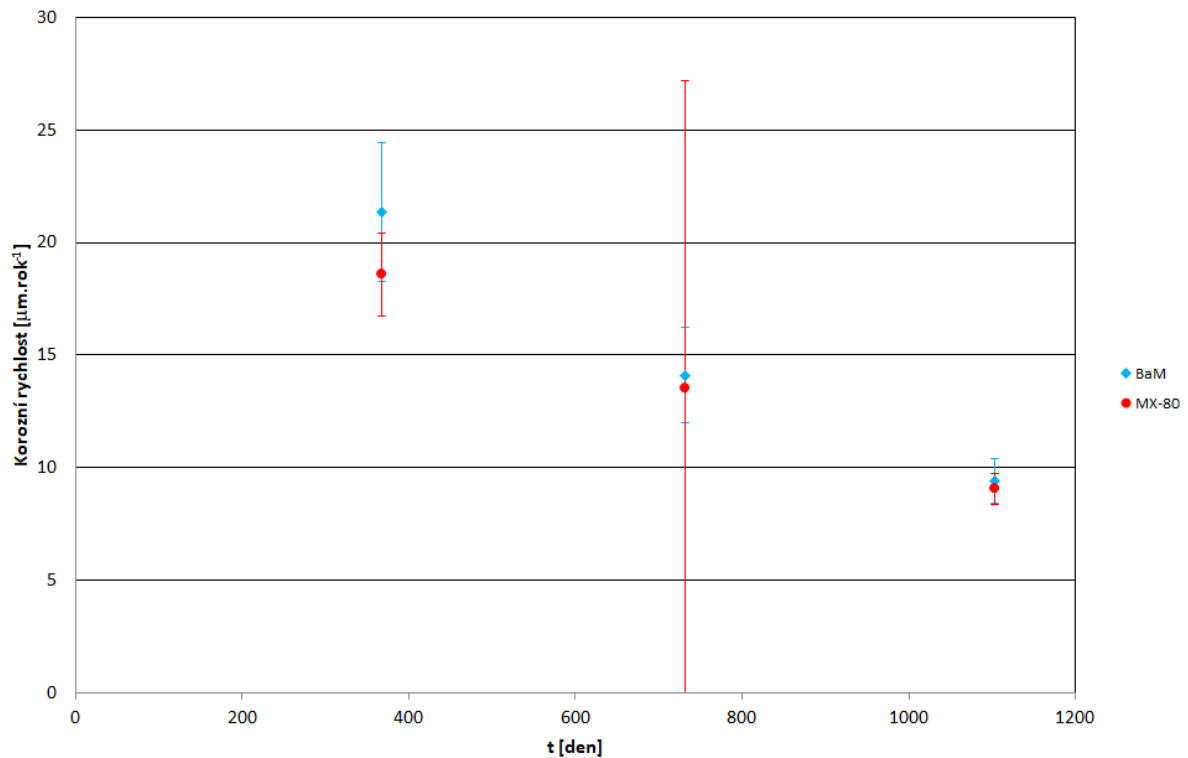
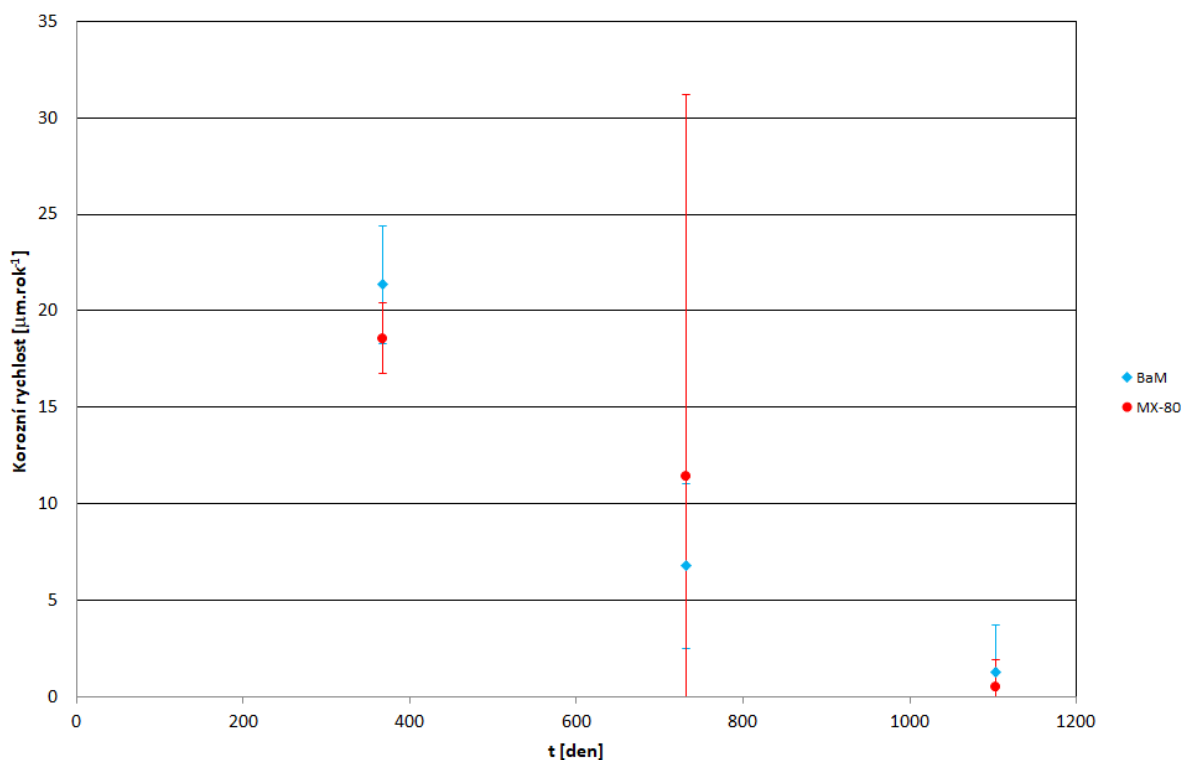
8.5.1 Stanovení korozní rychlosti

Stanovení korozní rychlosti uhlíkové oceli bylo provedeno přes stanovení hmotnostních úbytků dle normy ČSN ISO 8407 kyselinou chlorovodíkovou s hexamethyltetraaminem. Jako referenční vzorek při odmožování byl použit nový vzorek uhlíkové oceli stejných rozměrů, který byl předem zvážen a odmaštěn stejným způsobem jako při přípravě vzorků pro experiment. Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli po 3 letech experimentu jsou uvedeny na Obr. 8-15 a Obr. 8-16. Stanovené hodnoty pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v příloze 11.15.

Po třech letech experimentu jsou průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM a MX-80 obdobné a není patrný mezi nimi výrazný rozdíl. Průměrné korozní rychlosti za jednotlivé roky* jsou doplněny i o hodnoty průměrných korozních rychlostí za celou dobu experimentu**. Při výpočtu průměrných korozních rychlostí za tři roky byly některé hodnoty korozní rychlosti pod mezí stanovitelnosti a v rámci výpočtů průměrných hodnot a rozptylu byla brána do výpočtu hodnota 0. Průměrné hodnoty korozních rychlostí se pohybují po třech letech okolo 1 μm.rok⁻¹.

Zatím se jedná pouze o předběžné výsledky a je nutné počkat na hodnoty ze zbylých modulů. Na všech vzorcích uhlíkové oceli bylo pozorované nerovnoměrné korozní napadení, viz dále v textu.

U vzorků měděného nástřiku se po korozní zkoušce korozní rychlost nestanovovala, protože povrchy vzorků vizuálně nejeví rovnoměrné korozní napadení a vzorky byly proto přednostně analyzovány na rastrovacím elektronovém mikroskopu (na vzorcích je pozorovatelné bodové napadení viz dále).


Obr. 8-15 Průměrné korozní rychlosti za celou dobu korozní zkoušky

Obr. 8-16 Průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM a MX-80 za jednotlivé roky

* počítáno z hmotnostních úbytků za jednotlivé roky poníženo o průměrné hmotnostní úbytky za předcházející rok

** počítáno z hmotnostních úbytků za celou dobu korozní zkoušky

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

8.5.2 Stanovení korozních produktů

Korozní produkty na kovových vzorcích se stanovovaly pomocí rentgenové difrakční analýzy přístrojem PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, B. V., Almelo, Nizozemsko, Co katoda, 40 kV, 30 mA) se softwarem the HighScorePlus software package (PANalytical, Nizozemsko, version 4.6.1), Diffrac-Plus software package (Bruker AXS, Německo, version 8.0) a databází JCPDS PDF-2 (JCPDS 2016) a pomocí Ramanovy spektroskopie přístrojem DXR Smart Raman (Thermo Scientific, USA) s excitační vlnovou délkou 532 nm a výkonem laseru 5 mW.

Stanovené korozní produkty pomocí rentgenové difrakční analýzy na vzorcích uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM po 1 i 2 letech trvání experimentu byly čukanovit a siderit. Po tříleté korozní zkoušce byl detekován pouze čukanovit. Množství korozních produktů se ve všech případech pohybuje na hranici stanovitelnosti. V prostředí bentonitu MX-80 byl na uhlíkové oceli detekován pouze siderit. Na měděném nástřiku nebyl detekován žádný korozní produkt. Ilustrační difrakční záznam pro uhlíkovou ocel v bentonitu BaM je na Obr. 8-17 a Obr. 8-18 Obr. 8-3. Difrakční záznamy pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v příloze 11.16 až 11.18.

V případě měření pomocí Ramanovy spektroskopie byl na některých ocelových vzorcích detekován slabý signál uhličitanu a nebylo možné blíže určit, zda se jedná o siderit nebo čukanovit. U ostatních vzorků uhlíkové oceli se nepodařilo detekovat pomocí Ramanovy spektroskopie žádné korozní produkty a obdobný výsledek byl zaznamenán i u vzorku měděného nástřiku. Po dvouletém experimentu byla četnost detekce uhličitanů větší oproti ročnímu experimentu, přesto nebyly změřené signály dostatečné intenzity pro jednoznačnou identifikaci korozního produktu. Ilustrační výsledek měření je uveden na Obr. 8-19. U tříleté korozní zkoušky se vzhledem k velmi slabým signálům nepodařilo identifikovat korozní produkty na většině vzorků. Výsledky z Ramanovy spektroskopie jsou uvedeny v příloze 11.19 až 11.21.

Obecně jsou stanovené korozní produkty shrnuty v příloze 11.22.

MaCoTe_All_BaM_Fe_1_01

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

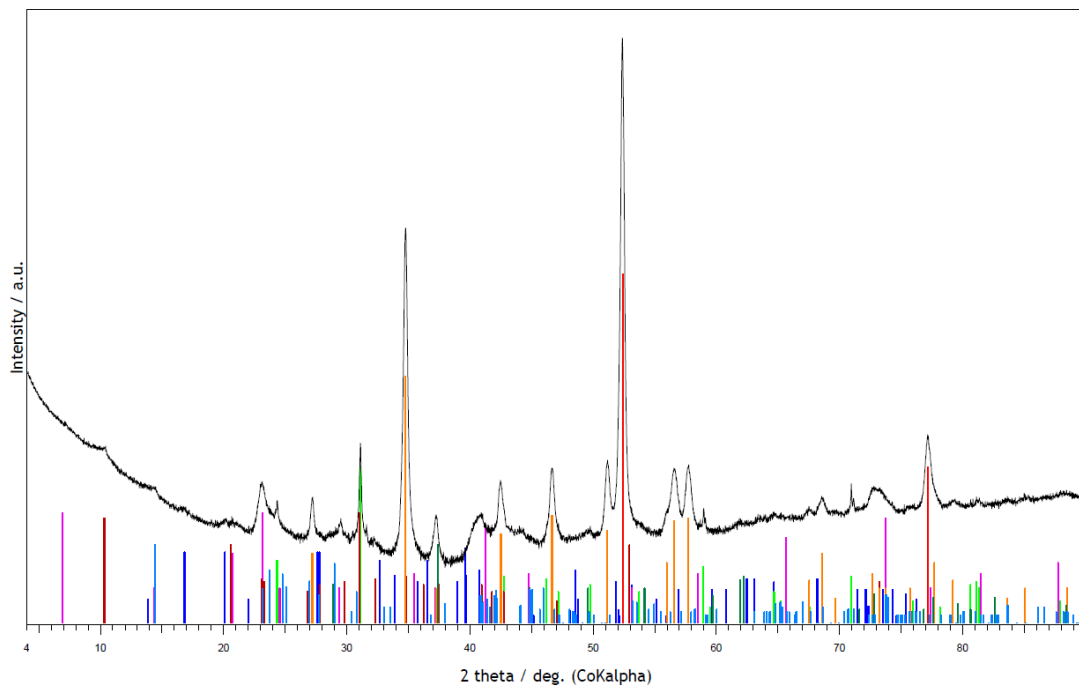
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO

86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)(CO

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄


Obr. 8-17 Ilustrační difrakční záznam pro uhlíkovou ocel v prostředí bentonitu po 1 roce experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_All_BaM_Fe_5_01

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

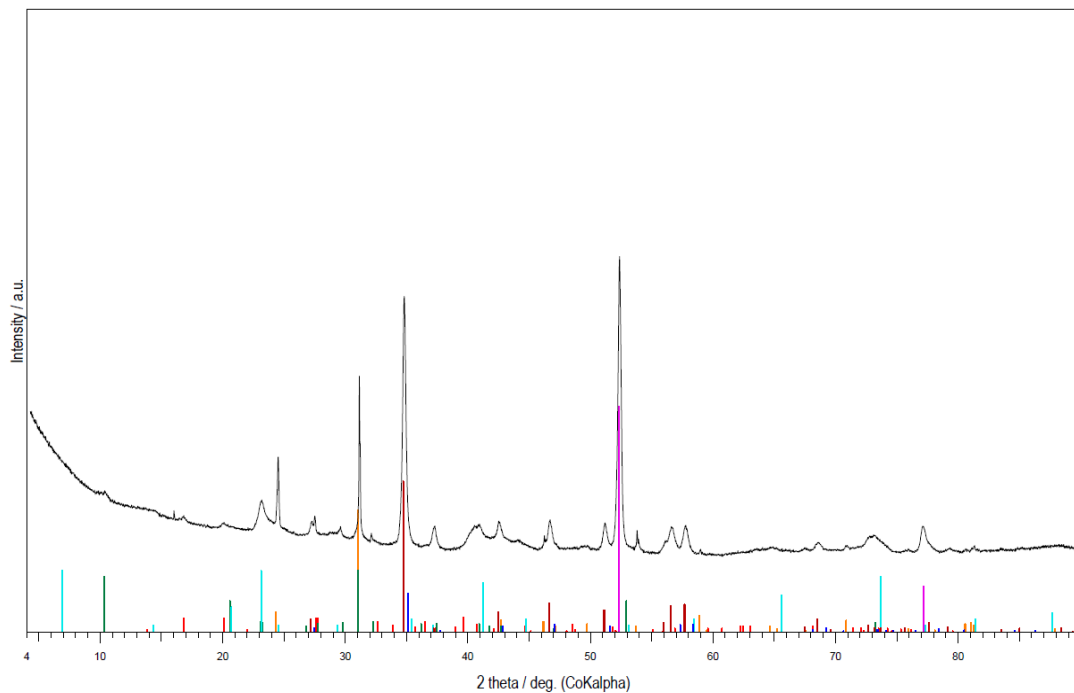
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)(CO₃)

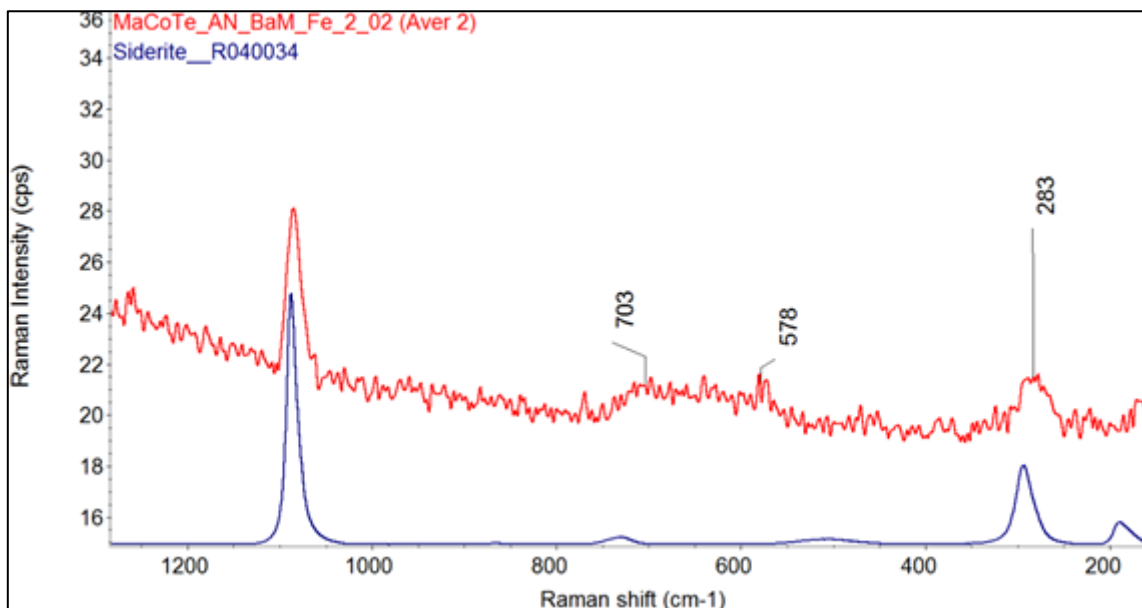
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)(CO₃)


Obr. 8-18 Ilustrační difrakční záznam pro uhlíkovou ocel v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu



Obr. 8-19 Ilustrační záznam z Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM po 2 letech. Červená – vzorek, fialová – ilustrační spektrum sideritu

8.5.3 Obrazová dokumentace vzorků

Pro analýzu vzorků byl použit světelný mikroskop Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovací elektronový mikroskop Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR), optický profilometr RedLux (RedLux Ltd., Southampton, UK) a stereomikroskopem Leica S6 D (Leica Microsystems, Švýcarsko). Vzorky mědi byly dále analyzovány i na rastrovacím elektronovém mikroskopu Lyra3 GMU (Tescan, ČR).

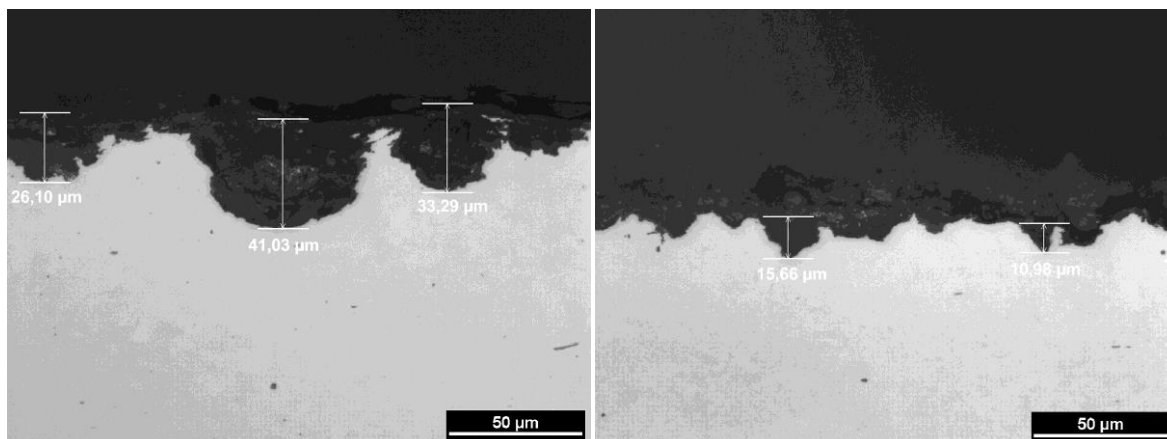
Obrazová dokumentace povrchů a řezů kovových vzorků po ročním a dvouletém experimentu je uvedena v přílohách 11.23 až 11.30. Na povrchu vzorků uhlíkové oceli je v řezech pozorovatelné lokální korozní napadení (Obr. 8-20). Maximální hloubka korozního napadení stanovená na provedených řezech je okolo 100 μm (Tab. 8-3). U bentonitu BaM byla tato hloubka pozorována už po dvou letech experimentu, u bentonitu MX-80 až po třech letech. Jak již bylo uvedeno, jedná se o maximální hloubku v provedených řezech, a to nevylučuje hlubší důlky v jiných místech vzorku. Narůstající hloubka důlků u vzorku z bentonitu MX-80 by mohla naznačovat určitou propagaci v čase, což by mohly potvrdit budoucí výsledky.

Tab. 8-3 Srovnání maximální hloubky důlků na provedených řezech uhlíkové oceli

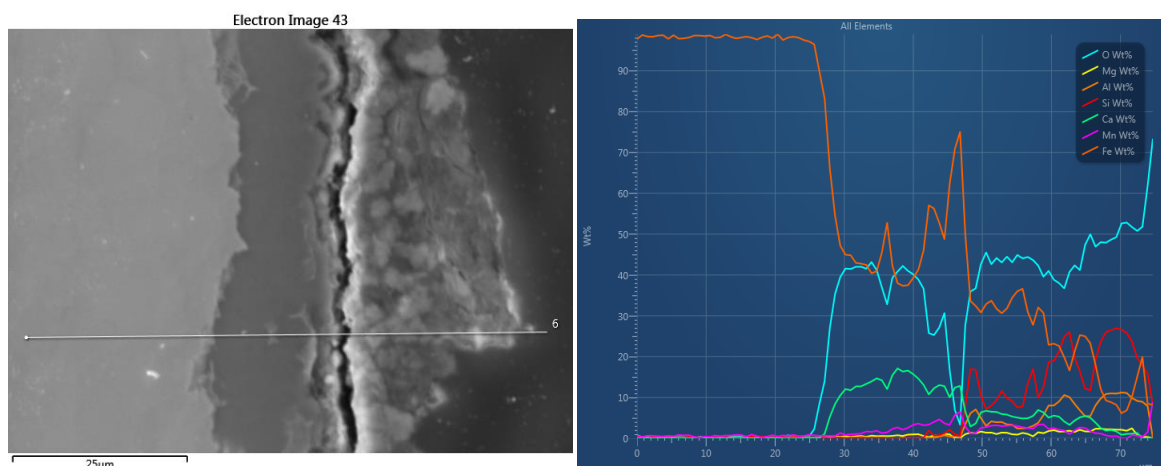
Rok	MX-80 [μm]	BaM [μm]
1	15,66	41,03
2	46,58	106,42
3	129	112

Vrstva korozních produktů na povrchu vzorků uhlíkové oceli po ročním (Obr. 8-21), dvouletém (Obr. 8-22) i tříletém experimentu (Obr. 8-23) obsahuje vápník a křemík. To by mohlo naznačovat, že korozní produkty tvoří směsnou vrstvou. Zda se jedná např. o směs uhličitánů vápenatého a železnatého nelze z doposud získaných výsledků potvrdit. Dále vrstva korozních

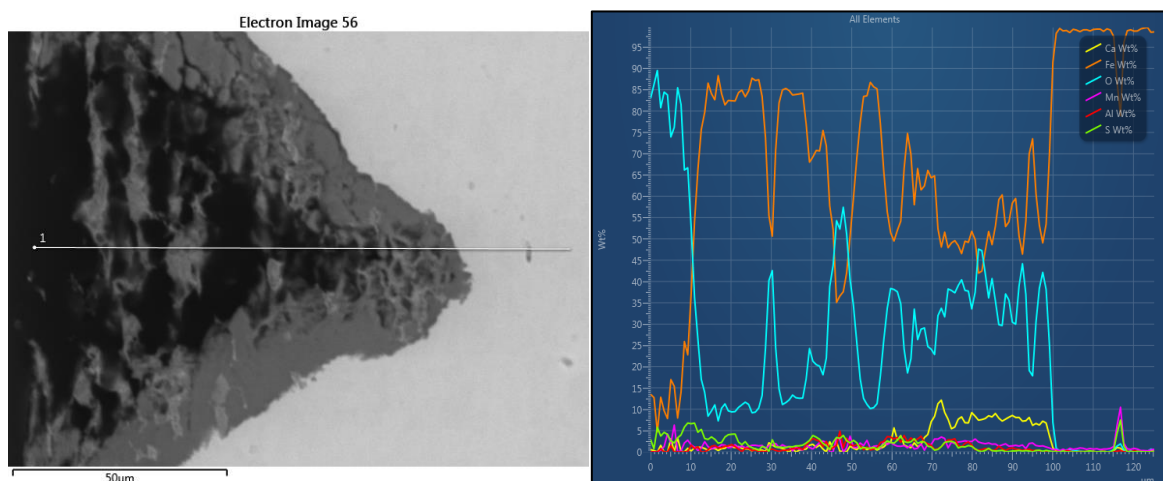
produktů obsahuje i křemík, konkrétní křemičitanový korozní produkt ale nelze na základě získaných dat určit.



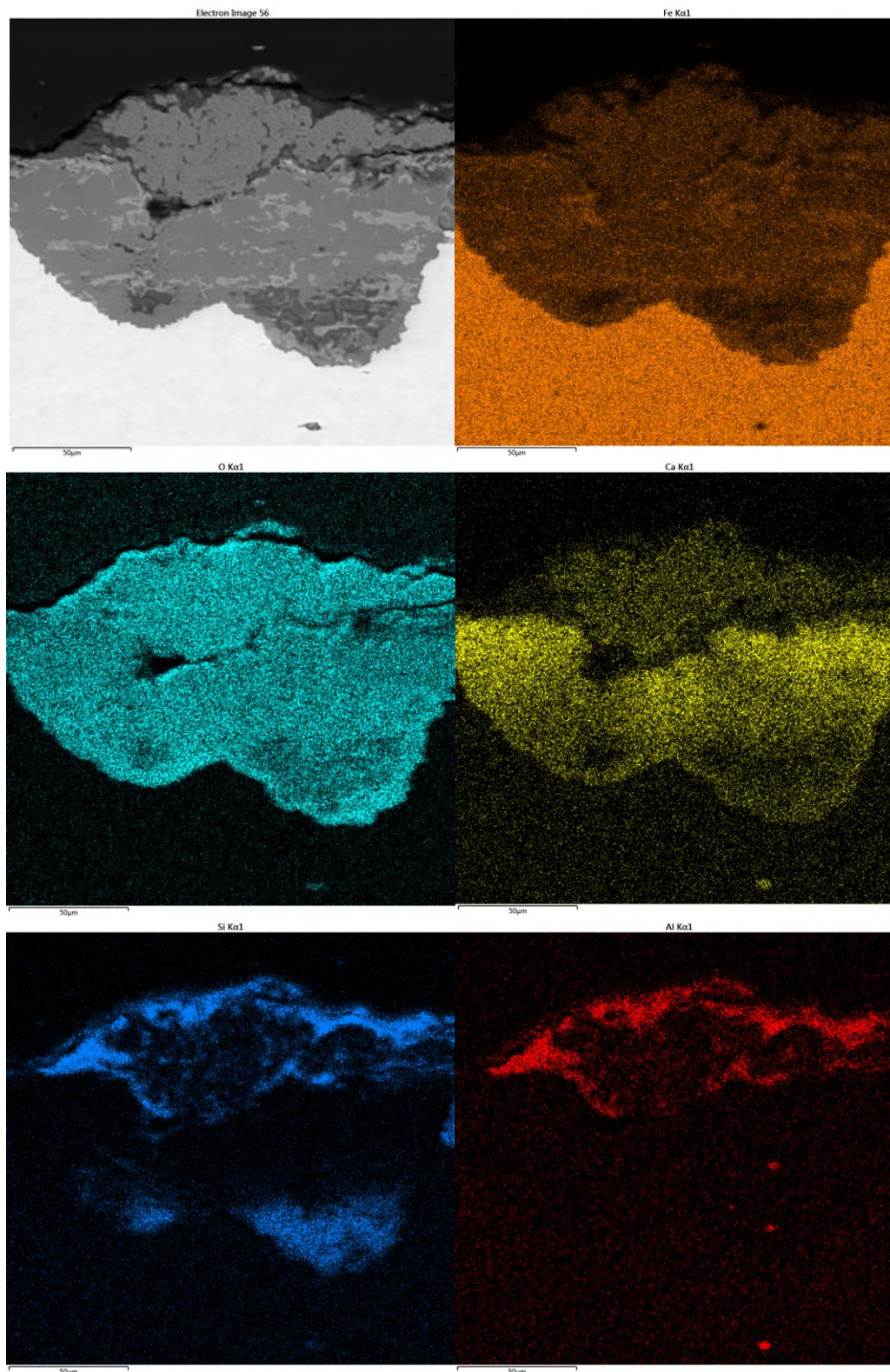
Obr. 8-20 Ilustrační obrázek lokálního napadení uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM nalevo a v prostředí bentonitu MX-80 napravo



Obr. 8-21 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstev na povrchu vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu MX-80 po roce



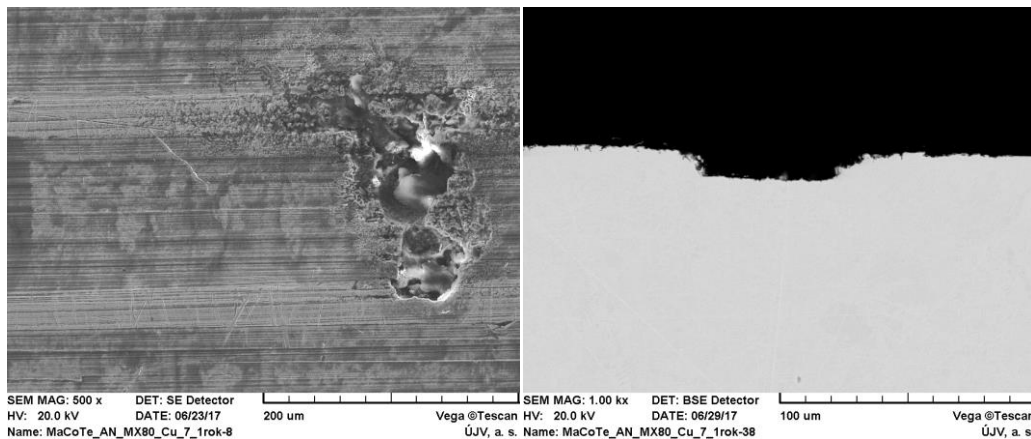
Obr. 8-22 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstev na povrchu vzorku uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM po dvou letech



Obr. 8-23 Ilustrační obrázek prvkového složení vrstvy na povrchu vzoru po třileté korozní zkoušce

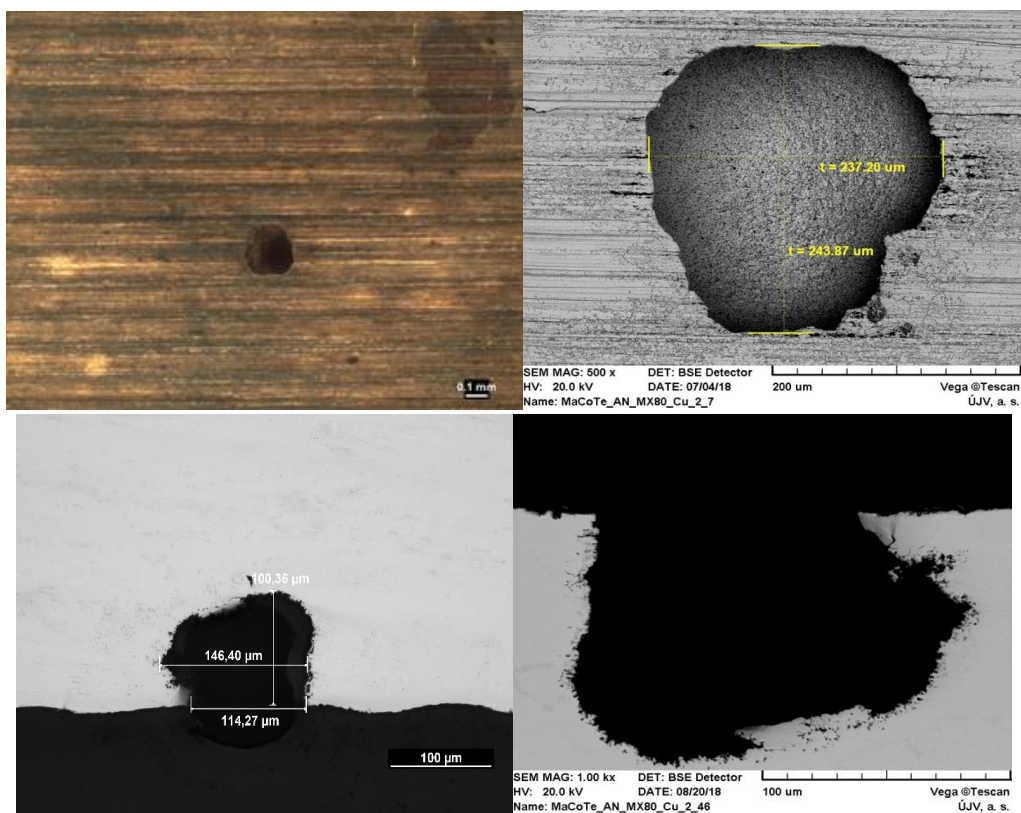
Na vzorku měděného nástřiku po ročním experimentu nebyla pozorována korozní vrstva a původně nalezený důlek byl chybně připočten mechanickému opracování povrchu (Obr. 8-24). Jak se později ukázalo u dvouleté a třileté korozní zkoušky dochází k bodovému napadení měděného vzorku, a proto byl znovu vzorek po roční korozní zkoušce analyzován a bodové

napadení bylo potvrzeno i u něj. Povrchy vzorků byly srovnány s povrchem před experimentem, aby bylo vyloučeno mechanické poškození vzorků.



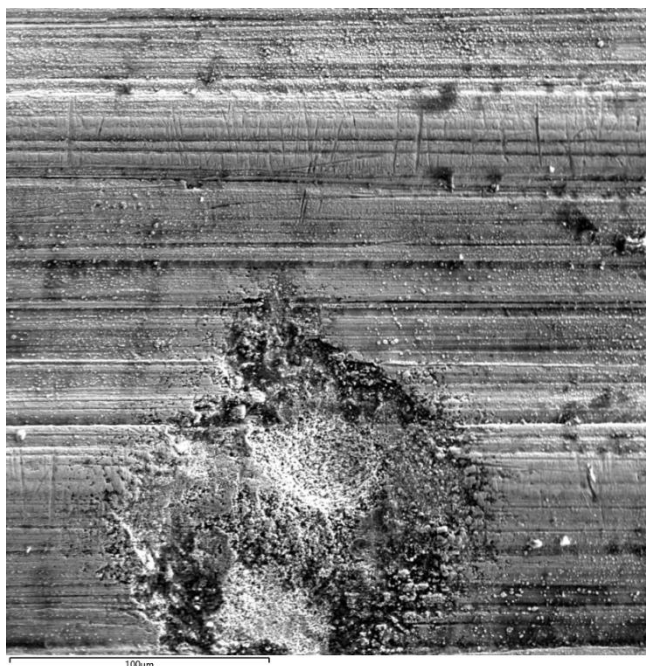
Obr. 8-24 Ilustrační obrázek důlku na povrchu měděného nástřiku po roční korozní zkoušce

Po dvouleté korozní zkoušce je ilustrační obrázek korozního důlku uveden na Obr. 8-25. Velikost důlku se pohybuje ve stovkách mikrometrů a jeho hloubka není stanovena ve středu důlku, jak je patrné ze šířky průřezu, který je cca 110 μm oproti šířce důlků, která je cca 230 μm. Proto bylo přistoupeno k opětovnému broušení vzorku. Při následném broušení se však ukázalo, že byl důlek přebroušen a skutečnou hloubku ve středu již nebylo možné stanovit.

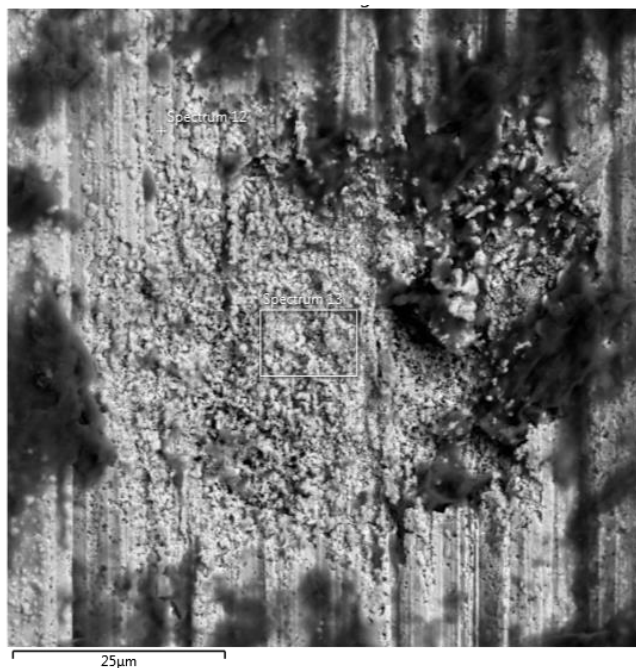


Obr. 8-25 Ilustrační obrázek důlku na povrchu měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce

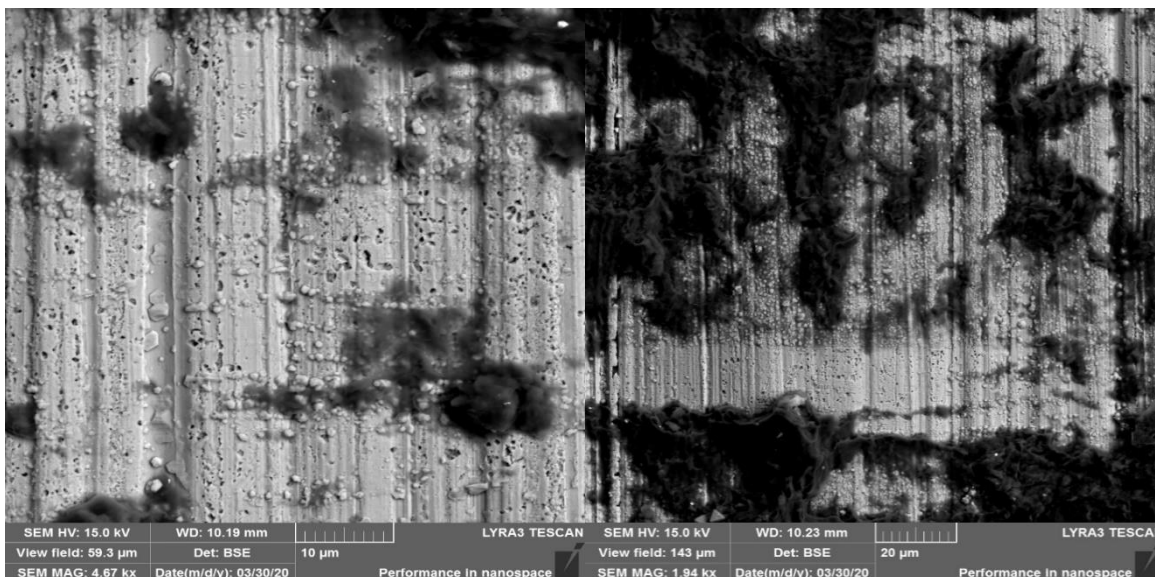
U tříleté korozní zkoušky (Obr. 8-26) bylo pozorováno větší množství „velkých“ důlků oproti roční a dvouleté korozní zkoušce. U čtyřleté korozní zkoušky (Obr. 8-27) byly oproti předcházejícím vzorkům pozorovány oblasti s velkou četností malých důlků (Obr. 8-28).



Obr. 8-26 Ilustrační obrázek bodového napadení vzorku mědi po třech letech experimentu

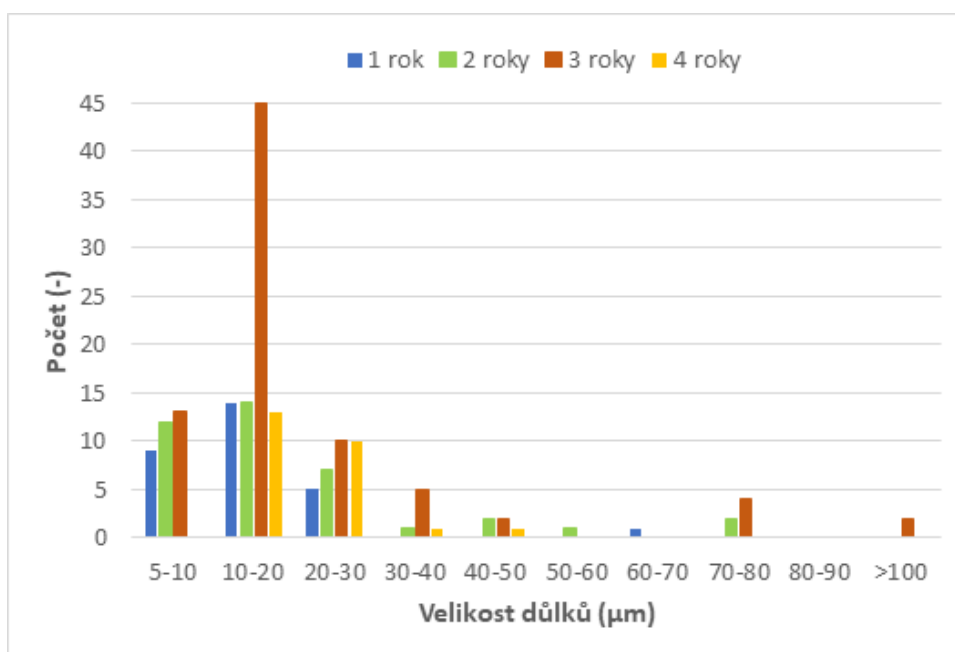


Obr. 8-27 Ilustrační obrázek bodového napadení vzorku mědi po čtyřech letech experimentu

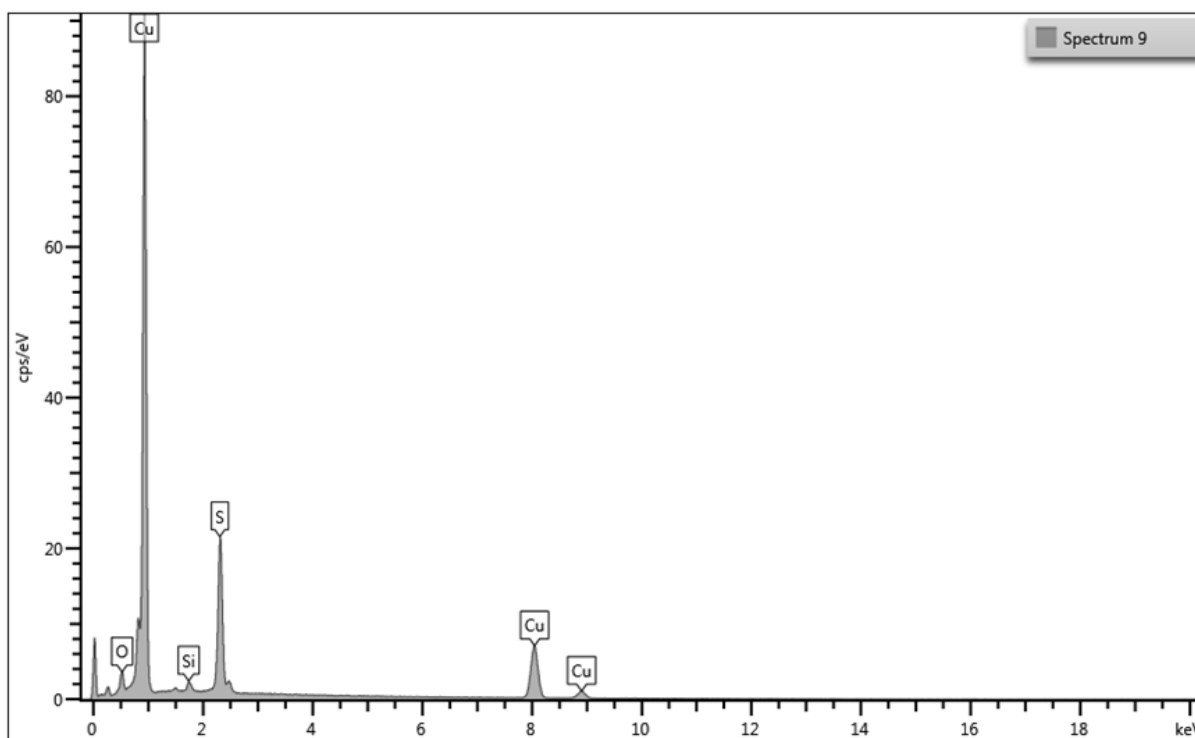
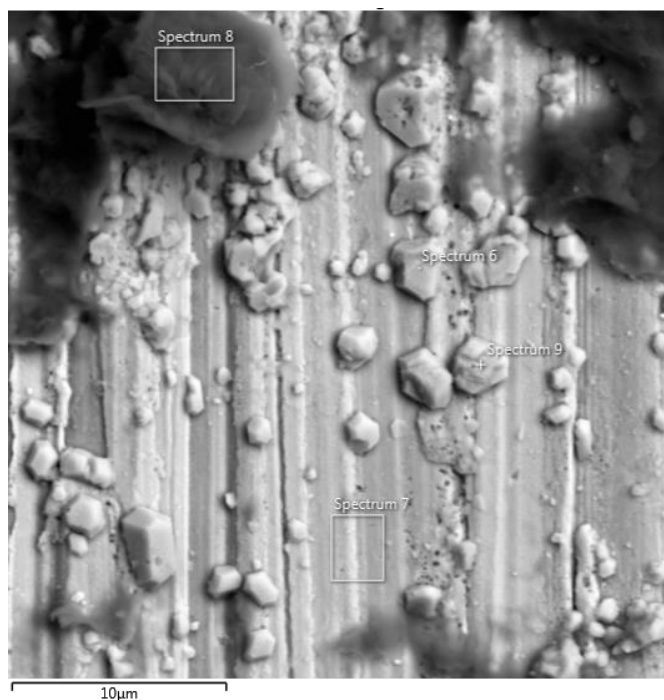


Obr. 8-28 Ilustrační obrázek oblastí na povrchu vzorku mědi s velkou četností malých důlků po čtyřleté expozici.

Pro srovnání četnosti důlků na povrchu jednotlivých vzorků byly na SEM nafoceny náhodně plochy $3 \times 1 \text{ cm}^2$ na kterých byla stanovena četnost důlků v závislosti na velikosti (Obr. 8-29). Jak je z uvedeného srovnání patrné v pozorovaném čase roste četnost důlků a jejich velikost s výjimkou čtyřletého experimentu, kde jsou ovšem větší oblasti s vysokou četností malých důlků (o rozměrech jednotek mikrometrů), které nebyly zahrnuty do vyhodnocení. Z hlediska hodnocení měděného povlaku pozorujeme negativní trend vývoje lokálního korozního napadení. Pravděpodobnou příčinou bodové koroze měděného nástřiku je mikrobiální aktivita v bentonitu MX-80, nicméně pro toto tvrzení zatím není k dispozici žádný experimentální důkaz. Nepřímým potvrzením této skutečnosti by mohlo být: prokázaná mikrobiální aktivita v bentonitu a prvková analýza krystalů nad důlky s převažující sírou, což by mohli být sulfidy (Obr. 8-30). Detailní fotky povrchu vzorků mědi jsou v elektronické příloze *Příloha Cu*.

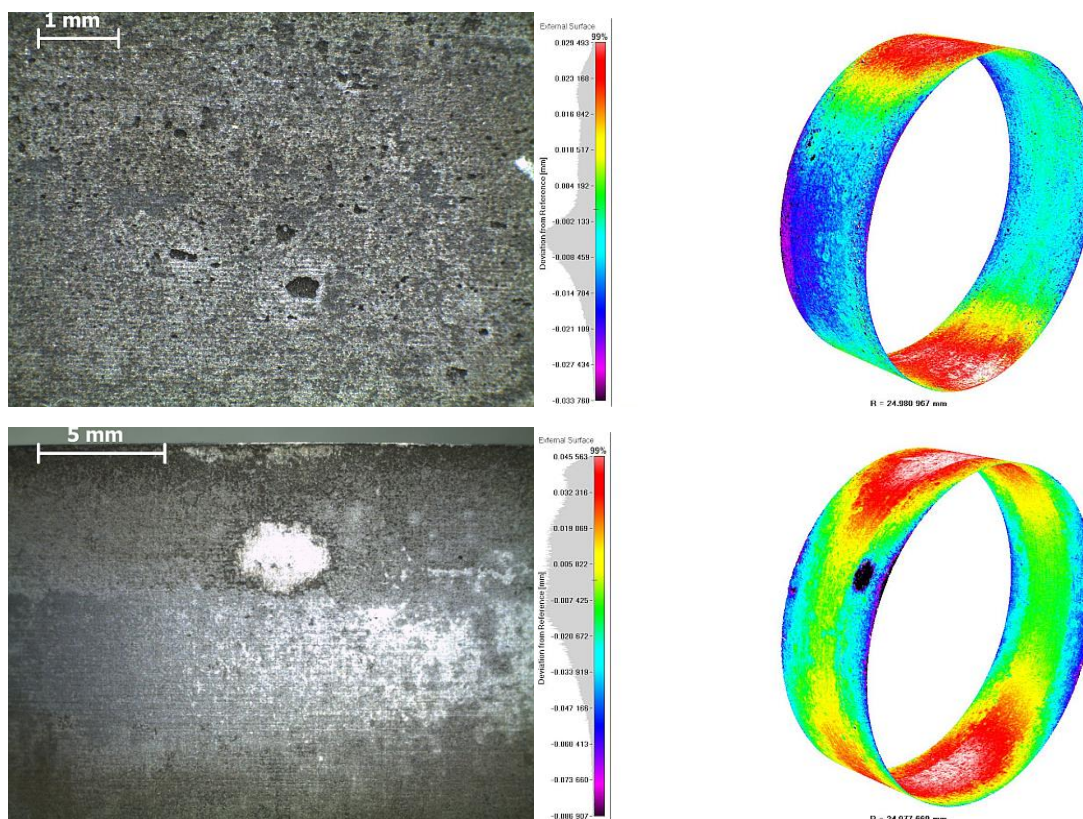


Obr. 8-29 Četnost korozních důlků na povrchu vzorků mědi. Do četnosti nejsou zahrnuty malé důlky ze čtyřletého experimentu.

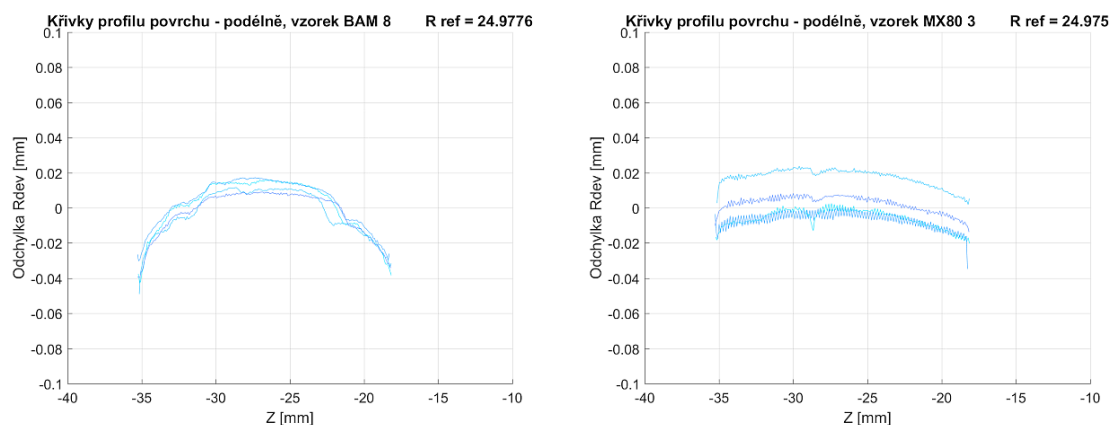

Obr. 8-30 Prvková analýza krystalů nad důlky v mědi

Po odmoření vzorků uhlíkové oceli bylo lokální napadení povrchu dokumentováno stereomikroskopem a optickou profilometrií. U měděného nástřiku byla část povrchu dokumentována stejným způsobem. Výsledky jsou uvedené v příloze 11.32 a 11.36. Na Obr. 8-31 je uveden ilustrační obrázek lokálního napadení uhlíkové oceli v prostředí bentonitu MX-80 a BaM po ročním experimentu. U vzorků uhlíkové oceli v bentonitu BaM bylo pozorovatelné výraznější korozní napadení u okrajů vzorků oproti vzorkům oceli z bentonitu MX-80 po roční korozní zkoušce, kde je korozní napadení relativně rovnoměrnější po ploše. Obdobné chování je pozorovatelné i po dvouletém experimentu, kdy je korozní napadení vzorků uhlíkové oceli

z prostředí bentonitu BaM výraznější u okrajů vzorků oproti středům vzorkům. To je dobře pozorovatelné na výsledcích z optické profilometrie, kdy je stanovována odchylka od ideálního válce po výšce vzorku (Obr. 8-32).



Obr. 8-31 Ilustrační obrázek povrchu uhlíkové oceli v prostředí bentonitu MX-80 nahoře a bentonitu BaM dole. Vlevo fotografie povrchu, vpravo 3D obrázek z optického profilometru



Obr. 8-32 Ilustrační obrázek odchylek vzorků oceli od ideálního válce po výšce vzorku. Vlevo vzorek v prostředí bentonitu BaM, vpravo vzorek v prostředí bentonitu MX-80.

8.6 Mikrobiologické analýzy

8.6.1 Použité metody

Pro studium mikrobiální diverzity ve vzorcích podzemní vody i bentonitu byly využity postupy založené na analýze DNA. Pro extrakci DNA ze vzorků podzemní vody byl využíván kit PowerWater DNA Isolation Kit (MoBio, USA). DNA ze vzorků bentonitu byla izolována dle postupu popsáno v práci Lopez-Fernandez et al. (2015). Před začátkem extrakce DNA byl

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

bentonit za sterilních podmínek zhomogenizován. Koncentrace získané DNA byla posléze změřena fluorimetricky pomocí přístroje Qubit® 2.0 Fluorometer (Invitrogen, Life technologies, USA) dle protokolu výrobce.

Pro studium mikrobiální diverzity byly využity metody sekvenace nové generace (NGS), konkrétně amplikonového sekvenování genu 16S rRNA. Metoda byla podrobněji popsána v průběžné zprávě Černík et al. (2015). Využita byla platforma IonTorrent (Life Technologies, USA). Amplifikována byla variabilní V4 oblast pomocí primerů 530F (Dowd et al. 2008) a 802R (Claesson et al. 2009).

Pro zpracování NGS dat byl využit software Seed verze 2.04 (freeware, původce Laboratoř environmentální mikrobiologie, Mikrobiologický ústav AV ČR; Větrovský a Baldrián 2013). Ze souboru sekvencí byly v tomto programu odstraněny sekvence s nízkou kvalitou. Po alignování sekvencí byly ručně odstraněny ty sekvence, které nebyly dočteny do konce požadovaného úseku. Ponechání takovýchto sekvencí v datasetu by vytvářelo umělou diverzitu OTU (operační taxonomická jednotka). Z ponechaných sekvencí byly vytvořené OTU pomocí nástroje UPARSE v programu Seed, který zároveň eliminuje chimérické sekvence. Pro jednotlivé OTU byla zvolena standardně užívaná hranice podobnosti 97 %. K OTU byly v tomtéž programu vytvořeny reprezentativní sekvence, které slouží ke srovnávání jednotlivých OTU s veřejnými databázemi. Pro taxonomické zařazení byla použita veřejně dostupná databáze GenBank. Při interpretaci výsledků nebyly zohledňovány sekvence, které se v datasetu vyskytly pouze jednou, protože s relativně vysokou pravděpodobností mohou reprezentovat chybu sekvenační metody. Při zpracování dat byla využita nepřímá ordinační analýza (PCA, principal component analysis) v programu CANOCO 5 (Microcomputer Power, USA; Lepš a Šmilauer, 2014).

Při zpracování sekvenačních dat byly do analýzy pro srovnání doplněny výsledky sekvenace ze vzorku suchého zhomogenizovaného (tedy nekompaktovaného) bentonitu BaM.

Pro stanovení výskytu SRB ve vzorcích byly použity molekulární markery specifické pro SRB, konkrétně geny kódující expresi respirační hydrogensulfát reduktázy (dissimilatory (bi)sulfite reductase; DSR) a adenosin 5' fosfosulfát (APS) reduktázy. Tyto geny byly amplifikovány pomocí primerů RH1-aps-F, RH2-aps-R, RH1-dsr-F a RH3-dsr-R (Ben-Dov et al. 2007). Analýzy byly provedeny na přístroji LightCycler® 480 Instrument (Roche Biochemicals, USA).

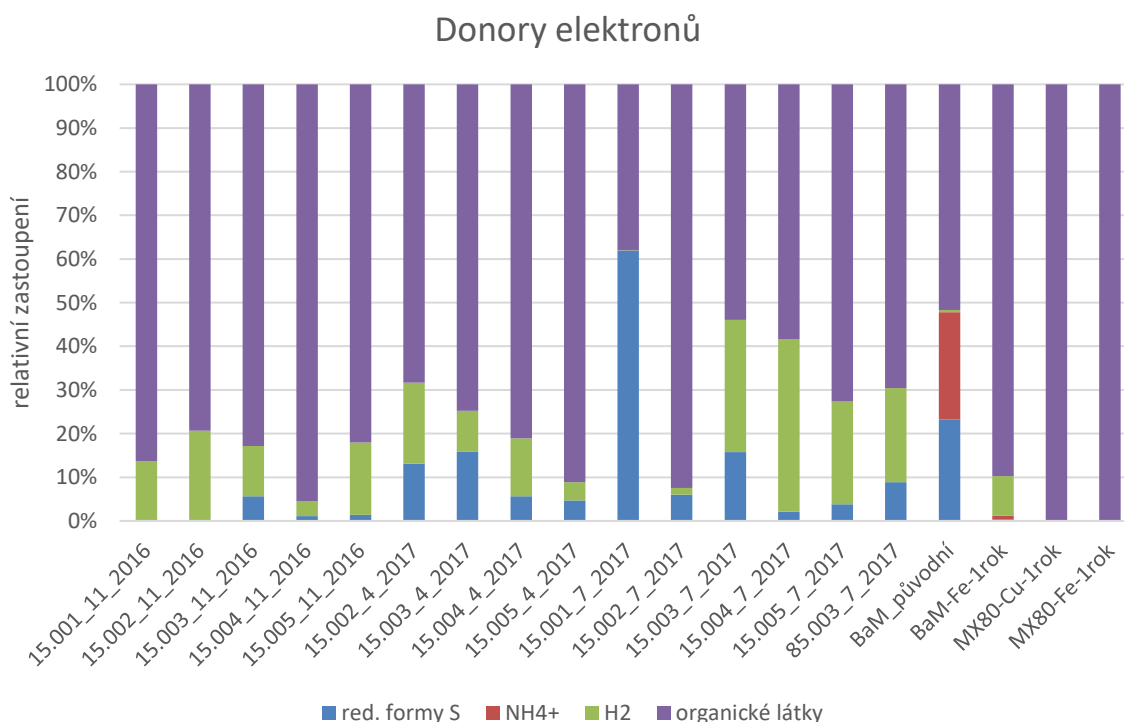
V roce 2020 byly pro zhodnocení dosavadních dat využity další markery, konkrétně gen nosZ pro denitrifikační bakterie (primery nosZ-F a nosZ 1622R; Geets et al. 2007), gen 16S rRNA specifický pro Geobacteraceae (primery Geo494F a Geo825R; Anderson et al. 1998, Holmes et al. 2002). Dále byl analyzován univerzální marker pro 16S rRNA (primery 16SqPCR-F a 16SqPCR-R; Nadkarni et al. 2002).

8.6.2 Výsledky rok 2017

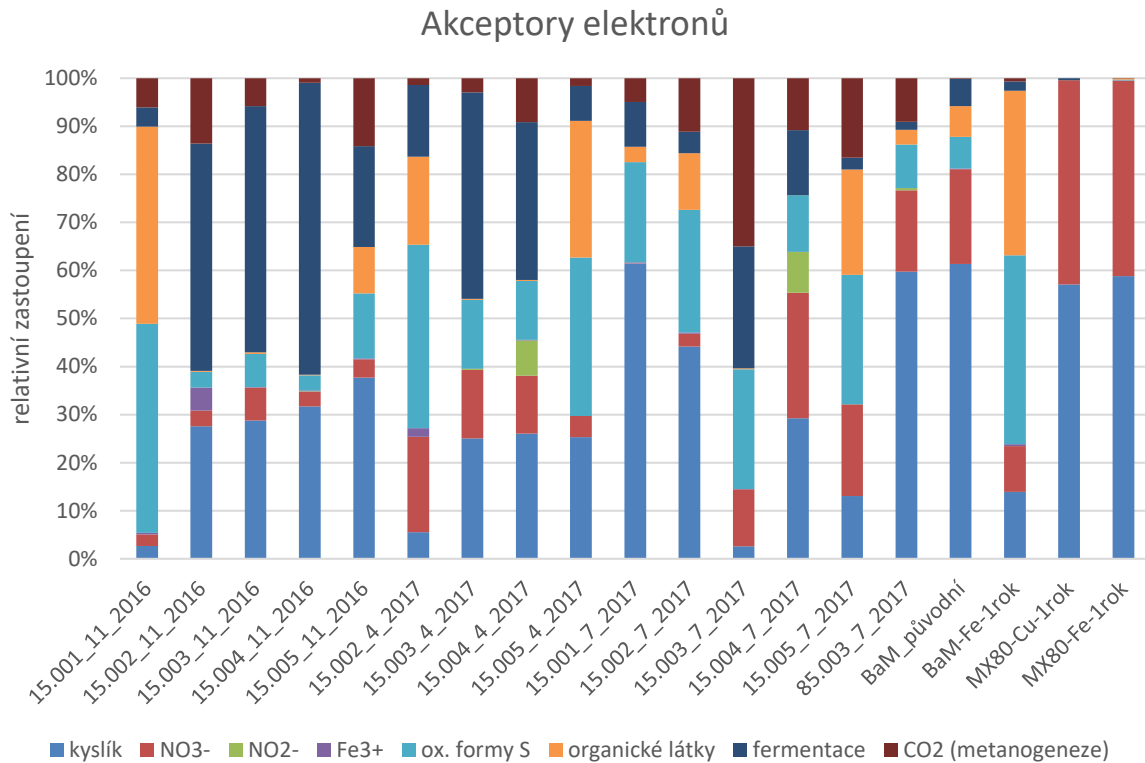
Z 19 studovaných vzorků bylo získáno celkem 465 001 sekvencí, které byly přiřazeny k 4968 OTU. Pro charakteristiky mikrobiálních společenstev byly použity ty OTU, které reprezentovaly minimálně 4 % z alespoň jednoho vzorku. Zároveň bylo vždy zahrnuto alespoň prvních pět nejhojnějších OTU z každého vzorku. Seznam nejhojnějších mikroorganismů použitých pro analýzu s počty sekvencí v jednotlivých vzorcích je v elektronické příloze 10. Vyřazení málo hojných mikroorganismů z analýzy má své opodstatnění. Mikroorganismy, které jsou v mikrobiální komunitě zastoupeny hojně, nejlépe charakterizují prostředí, ze kterého byly odebrány, jelikož se v daných podmínkách prostředí dokáží množit (tj. tyto organismy se

nachází ve svém ekologickém optimu). Vzácné mikroorganismy jsou naopak pravděpodobně metabolicky neaktivní nebo se nacházejí v dormantních stádiích a jejich vazba s okolním prostředím je tedy volnější. Naprostá většina získaných sekvencí navíc spadá do několika desítek nejhojnějších OTU. Taxonomicky zařazené OTU (podle hitu s alespoň 96 % podobností sekvence) byly metabolicky charakterizovány podle literatury a zároveň bylo posuzováno prostředí, ve kterém byly detekovány jejich fylogeneticky nejbližší příbuzní (hity s nejvyšší podobností sekvence v databázi GenBank, byť taxonomicky nepojmenované). Podle charakteru prostředí, ve kterém žijí nejbližší příbuzní lze poměrně dobře odhadnout i charakter prostředí analyzovaných mikroorganismů. Na základě těchto charakteristik a jejich rovnoměrné distribuce ve všech vzorcích, byly z analýzy odstraněny 3 OTU (*Hydrogenophaga* sp., *Pseudomonas stutzeri*, *Acidovorax* sp.), které bývají častými kontaminanty v laboratořích. Celkem bylo metabolicky charakterizováno 43 OTU tvořených 333 313 sekvencemi (viz elektronická příloha 1).

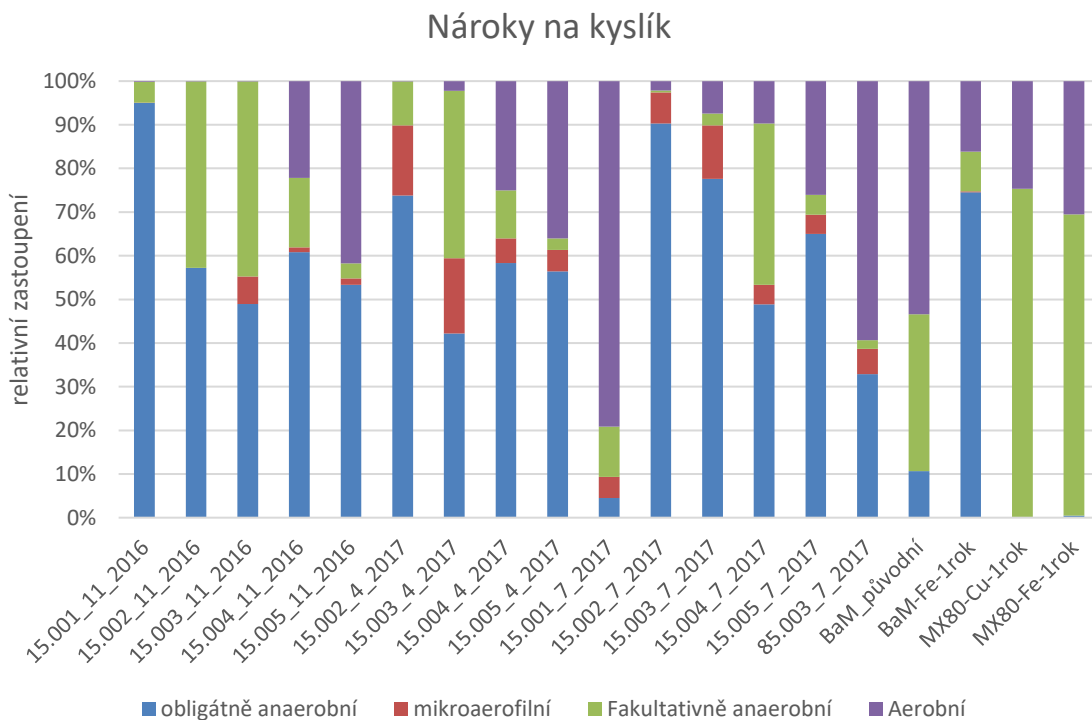
Mikrobiální společenstva byla hodnocena z hlediska energetického metabolismu podle toho, jaké donory a akceptory elektronů využívají jejich zástupci při získávání energie chemotrofním způsobem (Obr. 8-33, Obr. 8-34). Nároky mikroorganismů na energeticky nejvýhodnější akceptor elektronů (kyslík) jsou zobrazeny ve zvláštním grafu (Obr. 8-35). Průnik i poměrně malých koncentrací kyslíku (přístrojem nedetekovatelných) do systému může mít za následek významný posun ve složení mikrobiálních komunit. Může jít například o nárůst mikroorganismů schopných oxidovat anorganické látky (např. redukované formy síry či železa).



Obr. 8-33 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na dominantních donorech elektronů (zkratka „red. formy S“ odpovídá „redukované formy síry“)



Obr. 8-34 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na dominantních akceptorech elektronů (zkratka „ox. formy S“ odpovídá „oxidované formy síry“)



Obr. 8-35 Funkční klasifikace mikrobiálních komunit ve studovaných vzorcích založená na nárocích zjištěných mikroorganismů na kyslík

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Obecné zhodnocení mikrobiálních společenstev ve vrtech z hlediska jejich nároků na kyslík a dalších akceptorů elektronů

Podzemní vody ve vrtech 15.001 až 15.005 jsou charakterizovány obligátně anaerobními mikroorganismy, které ve většině vrtů tvoří více než 50 % analyzovaných mikroorganismů. Výjimkou je vrt 15.003, kde podíl obligátních anaerobů dosahuje necelých 50 % (viz Obr. 8-35). Typickými hojnými zástupci obligátních anaerobů jsou např. metanogenní archeum *Methanobacterium flexile*, bakterie *Alkaliphilus* sp. schopná redukovat sírany, síru a fumarát nebo *Desulfotomaculum* sp. se schopností redukovat sírany, siřičitany a dusičnany. V období od prvního k poslednímu analyzovanému odběru (tj. listopad 2016 až červenec 2017) dochází ve vrtech 15.002-15.005 k lehkému posunu k obligátně anaerobním zástupcům a dále narůstá podíl mikroaerofilních mikroorganismů reprezentovaných např. bakterií *Magnetobacterium* sp. pravděpodobně v důsledku stratifikace vody ve vrtu. Zajímavá (avšak vzhledem k nízkému počtu odběrů těžko interpretovatelná) změna byla pozorována ve vrtu 15.001 mezi odběry v listopadu 2016 a červenci 2017. Mikrobiální komunita se zde proměnila z obligátně anaerobní na téměř zcela aerobní (dvěma nejhojnějšími mikroorganismy byly aerobové *Silanimonas lenta* a *Roseococcus* sp.).

Mikroorganismy zjištěné ve studovaných vrtech indikují prostředí charakterizované extrémním nedostatkem kyslíku ale i dalších akceptorů elektronů. Hlavními probíhajícími metabolickými procesy jsou fermentace, metanogeneze a respirace oxidovaných forem síry (viz Obr. 8-34), což odpovídá i zaznamenanému sirovodíkovému zápachu. Síran-redukující bakterie byly potvrzeny i metodou kvantitativní PCR ve všech vzorcích podzemní vody a bentonitu. Fylogeneticky nejpříbuznější mikroorganismy pocházejí z hlubokých podzemních prostředí, jakými jsou ropné rezervoáry, mořské sedimenty, hluboké geotermální vody nebo zahříváné anaerobní fermentační reaktory s degradací organické hmoty. Tato prostředí lze charakterizovat jako anoxická či suboxická, se zvýšenou teplotou a recyklací obtížně degradovatelné organické hmoty či kvasných produktů. Mikrobiální komunita pozadového vrtu 85.001 se od vrtů MaCoTe liší vyšším podílem aerobních mikroorganismů.

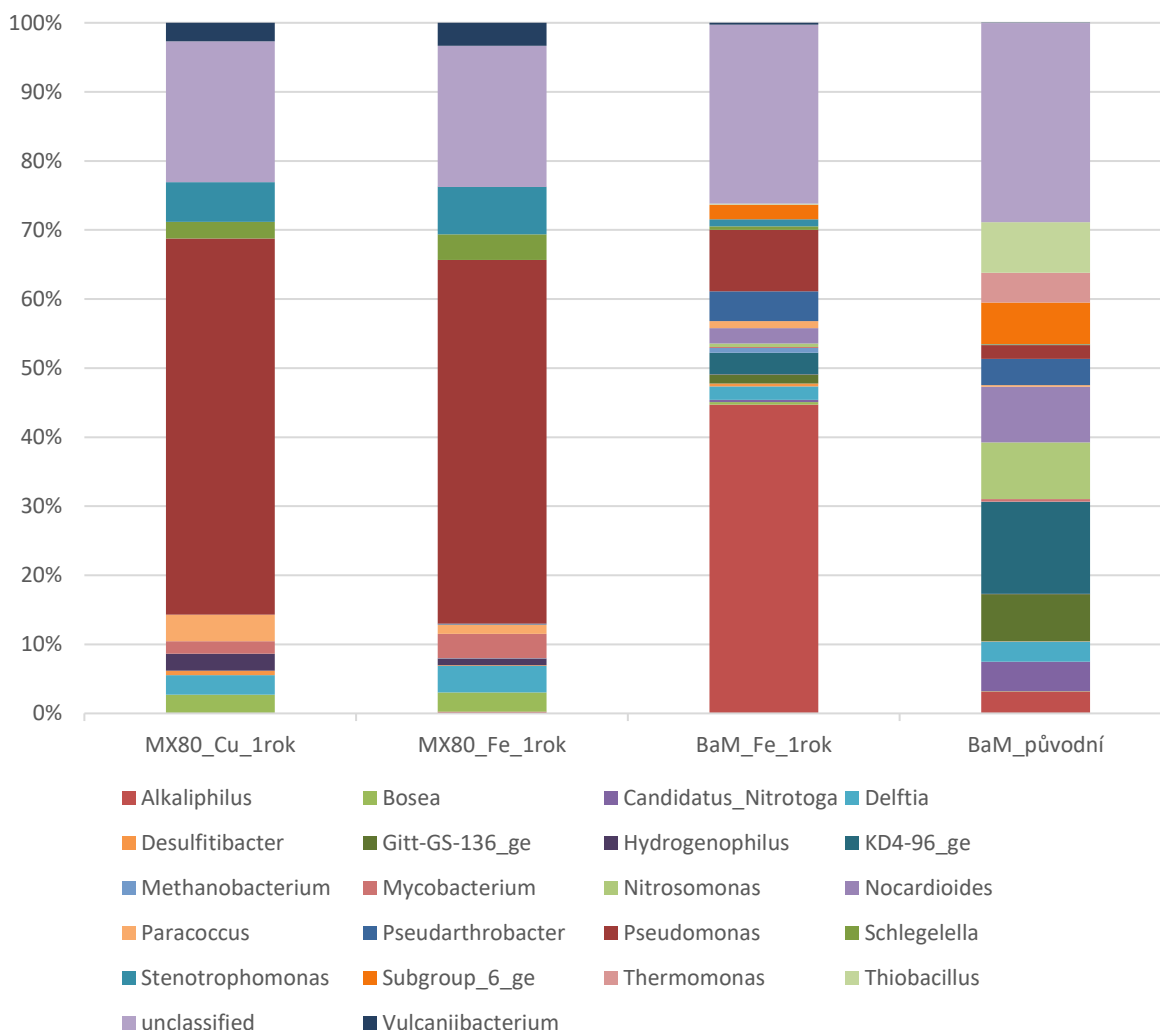
Zhodnocení z hlediska zdrojů elektronů pro energetický metabolismus zjištěných mikrobiálních společenstev

Zdroje elektronů pro energetický metabolismus jsou ve vodách z vrtů 15.001-15.005 poměrně uniformní – jedná se především o organickou hmotu nebo vodík (viz Obr. 8-33). Vodík využívají např. mikroorganismy *Methanobacterium flexile* a *Acetobacterium submarinus* při metanogenezi a *Desulfotomaculum* sp. při respiraci síranů. Dalším významným zdrojem energie jsou redukované formy síry, které mají ve vrtech pravděpodobně biologický původ (viz schopnost komunit – respirace oxidovaných forem síry na Obr. 8-34). Mezi odběry v listopadu 2016 a červenci 2017 byl pozorován nárůst mikroorganismů schopných oxidovat redukované formy síry. V průběhu času tedy dochází k ustavování rovnováhy redoxního cyklu síry a k zefektivňování recyklace tohoto prvku v jeho různých redoxních stavech. Oxidaci redukovaných forem síry ve vrtech může provádět bakterie *Methanobacterium* sp. (která má ovšem i schopnost oxidace organických látek) a *Roseococcus* sp., který ovšem vyžaduje pro respiraci kyslík. V žádném z vrtů nebyly u nejhojnějších členů mikrobiální komunity zaznamenány schopnosti oxidovat železo nebo jiné kovy (Obr. 8-33).

Srovnání mikrobiální diverzity ve vzorcích bentonitu a podzemní vody

Vzorky bentonitu MX80 a BaM se svým mikrobiálním složením výrazně lišily (Obr. 8-36).

Nejhojnější mikroorganismy zjištěné ve vzorcích bentonitu (abundance přes 2%)



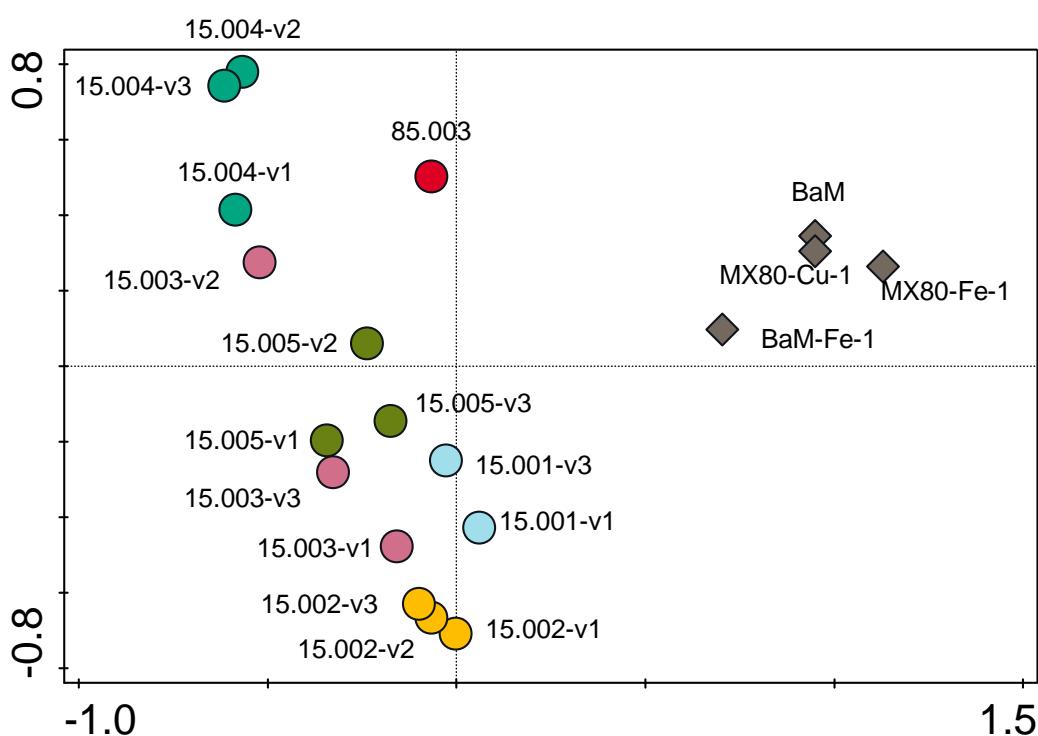
Obr. 8-36 Relativní zastoupení mikroorganismů s abundancí přesahující 2 % ve vzorcích bentonitu

V případě bentonitu MX80 neměl druh použitého kovu v podstatě žádný vliv na složení mikrobiálního společenstva. V modulech s tímto bentonitem byly detekovány mikroorganismy, které podle zjištěných metabolických vlastností i analýzy nejbližších příbuzných nemohou v podmínkách vrtů 15.001-15.005 prosperovat. Jedná se o aerobní nebo fakultativně anaerobní půdní nebo ubikvitní mikroorganismy, které mají schopnost respirovat především nitráty nebo kyslík (viz Obr. 8-34). Nejhojnější OTU zjištěné v těchto vzorcích neumí využívat jiný zdroj energie než organickou hmotu (Obr. 8-33). *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas geniculata* jsou bakterie, které bývají detekovány na různorodých stanovištích, často však ve splašcích nebo vnitřnostech zvířat. *Sphingomonas melonis* a *Bradyrhizobium yuanmingense* jsou typické pro vodní a půdní prostředí na zemském povrchu. Pravděpodobně se tedy jedná buď o metabolicky neaktivní mikroorganismy či případně jejich DNA, která byla zachycena a zachována mezi vrstvami jílových minerálů v bentonitu. V příštím roce budou výsledky doplněny o analýzu surového práškového bentonitu MX80, která pomůže stanovit, zda zjištěné mikroorganismy opravdu představují neaktivní či mrtvou biomasu.

V případě vzorku bentonitu BaM vyjmutém po jednom roce z vrtu 15.001 byl ve srovnání s původním homogenizovaným bentonitem BaM pozorován rozvoj bakterie *Alkaliphilus* sp. a dalších mikroorganismů, což znamená, že mikrobiální aktivita v bentonitu nebyla utlumena. Lze předpokládat, že kompaktizace bentonitu na hodnotu 1500 kg/m³ není pro inhibici mikroorganismů dostatečná, což odpovídá i dostupným údajům v literatuře (Pedersen 2017).

Složení mikrobiálních komunit zjištěných ve vzorcích bentonitů bylo porovnáno s mikrobiálními společenstvy z podzemních vod pomocí mnohorozměrné analýzy. Rozdílnosti (respektive podobnosti) ve složení komunit zobrazuje Obr. 8-37, Z grafu lze vyčíst tři základní trendy:

- 1) Vzorky bentonitů se výrazně odlišují od vzorků podzemních vod.
- 2) V rámci skupiny vzorků vod (kolečka) se spolu seskupují vzorky z různých odběrů z jednoho vrtu. Vzorky z jednoho vrtu jsou si podobnější nežli vzorky z různých vrtů odebraných ve stejném čase.
- 3) Vzorek BaM-Fe-1 se v rámci vzorků bentonitů nejvíce podobá vzorkům vody



Obr. 8-37 Mnohorozměrná analýza mikrobiální diverzity. Symboly představují jednotlivé vzorky (kosočtverce – bentonit, kolečka – voda z vrtů). Osy x a y jsou osami ordinačního prostoru a hodnoty na nich odpovídají relativní vzdálenosti (podobnosti) vzorků. Označení za číslem vrtu značí datum odběru: „v1“ odpovídá listopadu 2016, „v2“ dubnu 2017 a „v3“ červenci 2017

Mnohorozměrná analýza dále ukazuje, že vzorek BaM (původní homogenizovaný bentonit BaM, který nikdy nebyl ve vrtu) je složením mikrobiální komunity podobnější vzorkům bentonitu MX80 než vzorku bentonitu BaM (BaM-Fe-1), který byl umístěn ve vrtu. Tato podobnost je také patrná z obrázků Obr. 8-34 a Obr. 8-35. Vzorek BaM-Fe-1 má řadu shodných mikroorganismů s vodou ve vrtu 15.001, ze kterého byl vyjmut (na rozdíl od vzorků bentonitu MX-80 vyjmutých ze stejného vrtu). Jedná se především o bakterii *Alkaliphilus* sp., která ve vzorku BaM-Fe dominuje (tvoří 60 % analyzovaných mikroorganismů podobně jako ve vodě z vrtu 15.001 – 58 %). Jak již bylo uvedeno, *Alkaliphilus* sp. má schopnost oxidovat organické látky pomocí síranů či síry. Dále se voda z vrtu 15.001 shoduje se vzorkem BaM-Fe-1 v obsahu bakterií

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Desulfotomaculum sp. (bakterie oxidující vodík nebo organické látky pomocí síranů, siřičitanů nebo dusičnanů) a bakterie *Anaerovirgula* sp. Z uspořádání pokusu nelze po prvním roce jednoznačně stanovit, zda tyto mikroorganismy pronikly do modulu z podzemní vody, anebo zda byly přítomny už v původním bentonitu BaM a po nastolení pro ně optimálních podmínek se začaly množit. Většina mikroorganismů, které byly detekovány ve vzorku vody 15.001-v1 i v bentonitu BaM-Fe-1 byla totiž v malém množství detekována i v pozadovém vzorku BaM.

8.6.3 Výsledky rok 2018

Obsah nejhojnějších mikroorganismů v každém vzorku je uveden v tabulce [elektronika příloha 1.xlsx](#). Čísla v tabulce představují počty sekvencí získané sekvenací amplikonů 16S rDNA a je možné z nich usuzovat relativní proporce jednotlivých taxonů v rámci jednoho vzorku. Nejedná se o absolutní počty mikroorganismů ve vzorku. U každé OTU je uvedeno nejbližší možné taxonomické zařazení (ideálně druhové jméno), kód k sekvenci v databázi GenBank, překryv a podobnost s danou sekvencí v procentech a zařazení do kmene (phylum).

Zhodnocení výskytu mikroorganismů z hlediska jejich nároků na kyslík (příloha 11.38)

Ve vodě z vrtů 15.001 – 15.005 je patrná dominance obligátně anaerobních mikroorganismů. Pro tyto mikroorganismy je přítomnost kyslíku toxická. Čím více jich tedy v prostředí je, tím menší je přísun kyslíku do vrtu. Zajímavým se jeví zvrát, který nastává v mikrobiální komunitě po vyjmutí modulů spojeným s otevřením vrtu a průnikem kyslíku do vody. V grafu pro vrt 15.001 je tato výrazná změna patrná po podzimu 2016 a ve vrtu 15.002 po podzimu 2017. Po této události je v obou dvou vrtech vidět opět pozvolný nárůst obligátně anaerobních mikroorganismů. V ostatních, dosud neotevřených vrtech, není patrný takto drastický úbytek obligátních anaerobů (viz grafy v příloze B).

Ve vodě z pozadového vrtu 85.003 kolísá množství obligátních anaerobů mezi 30 a 60 %. Oproti tomu ve vrtu 13.001 tvoří obligátní anaerobové téměř 90 % mikroorganismů. Nutné je ale vzít v úvahu, že z tohoto vrtu je k dispozici pouze jeden odběr z jara 2018, který se nachází v blízkosti nevytápěné varianty korozního experimentu

Co se týče bentonitů má nejvyšší podíl obligátních anaerobů bentonit BaM, který byl uložený ve vrtu 15.001 po dobu jednoho roku. Zde pravděpodobně došlo k průniku vody z vrtu do bentonitu, které zde umožnilo růst podobným mikroorganismům jako rostou v okolní vodě. V bentonitech je jinak poměrně vysoký podíl aerobních mikroorganismů, ačkoli zde nelze předpokládat dostačující obsah kyslíku pro jejich růst. Lze to vysvětlit tím, že použitá metoda (detekce mikroorganismů pomocí amplikonů úseku 16S rDNA) není schopná rozlišit mezi metabolicky aktivními a neaktivními buňkami nebo fosilní DNA zachycenou ve struktuře bentonitu. Metabolicky neaktivních forem může být v bentonitu velké množství. Dobrým dokladem tohoto jevu je například přítomnost chloroplastů rostlin (fotosynteticky aktivních organel bakteriálního původu) ve všech bentonitech BaM i MX80.

Zhodnocení výskytu mikroorganismů z hlediska jejich nároků na organický uhlík (příloha 11.39)

Ve všech vrtech 15.001 – 15.005 převládají jednoznačně heterotrofní mikroorganismy, tedy takové, které potřebují jako zdroj uhlíku organické látky. S autotrofními mikroorganismy se zde téměř nesetkáme. Pokud zde mikroorganismy mají schopnost využívat CO₂ jako zdroj uhlíku, umí také zároveň využívat organické látky a patří tedy mezi mixotrofní mikroorganismy. Ve vrtu 85.003 je podíl autotrofů vyšší než ve vrtech s moduly – mezi jednotlivými odběry zde

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

kolísá mezi 1 a 30 %. Vrt 13.001 obsahuje téměř výhradně heterotrofní mikroorganismy. V bentonitech rovněž převládají heterotrofové. Podíl autotrofů je nejvyšší v pozadovém BaM bentonitu a v bentonitu MX80 uloženém dva roky s mědí (viz příloha C).

Zhodnocení výskytu mikroorganismů z hlediska využívaného zdroje elektronů (příloha 11.40)

Ve vodě z vrtů 15.001 – 15.005 dominují mikroorganismy využívající organické látky jako zdroj elektronů. Zbytek mikroorganismů pak čerpá energii oxidací vodíku – je pravděpodobné, že tento vodík má původ právě v mikrobiální degradaci organické hmoty. Ve vrtu 85.003 jsou kromě vodíku a organických látek také oxidovány redukované formy síry (sulfidy, elementární síra atd.) – 1 až 25 % mikroorganismů v závislosti na době odběru. Ve vodě z vrtu 13.001 převládají mikroorganismy využívající jako zdroj elektronů organické látky. V pozadovém bentonitu BaM mají mikroorganismy schopnost kromě organických látek využívat pro energetické účely i redukované formy síry, amoniak a dusitany. U mikrobiálních komunit z bentonitů BaM, které byly ve vrtech 1 až 2 roky, klesá oproti pozadovému BaM podíl schopnosti využívání těchto zdrojů elektronů a narůstá schopnost využívat vodík a organické látky. V tomto ohledu se tedy blíží vlastnostem mikrobiálních komunit ve vodě z vrtů 15.001 – 15.005. Oproti tomu v bentonitech typu MX80 tento trend není patrný. Mikroorganismy v pozadovém MX80 mohou využívat organické látky nebo vodík jako zdroj elektronů. Pokud jsou tyto bentonity uloženy ve vrtech 1 až 2 roky, je podíl mikroorganismů se schopností oxidovat amoniak a redukované formy síry větší oproti pozadovému MX80 a podíl oxidátorů vodíku je naopak menší.

Zhodnocení výskytu mikroorganismů z hlediska využívaných akceptorů elektronů (příloha 11.41)

Využívání různých akceptorů elektronů úzce souvisí s nároky jednotlivých mikroorganismů na kyslík (viz výše). Ve vrtech 15.001 – 15.005 je patrná změna, která nastala po otevření vrtů 15.001 na podzim 2016 a 15.002 na podzim 2017. Ve vrtu po otevření vrtu dochází k výraznému nárůstu schopnosti dýchat kyslík, dusičnany, trojmocné železo nebo mangan. Oproti tomu fermentující a sírany respirující mikroorganismy jsou po této události méně hojné. Podobně je tomu i ve vrtu 15.002 s tím rozdílem, že zde po otevření zcela chybí nárůst mikroorganismů redukujících železo a mangan. V ostatních vrtech, které zůstávají zavřeny, není viditelná takto dramatická změna. Můžeme pozorovat fluktuace v jednotlivých schopnostech, které se liší vrt od vrtu. Ve vrtu 15.003 je například ze začátku přítomno poměrně velké množství mikroorganismů se schopností redukovat železo a mangan, ty postupem času ubývají a jsou nahrazovány fermentujícími a metanogenními (CO₂ redukujícími) mikroorganismy. Podíl mikroorganismů respirujících oxidované formy síry (sířany, siřičitany atd.) se zde po celou dobu udržuje poměrně stabilní (okolo 15 %). Ve vrtu 15.004 oproti tomu dochází k úplnému vyčerpání schopnosti respirovat oxidované formy síry v průběhu 2 let. Ve vrtu 15.005 podíl mikroorganismů s touto schopností nejprve klesá a poté od podzimu 2017 opět roste. Podíl mikroorganismů respirujících kyslík a dusičnany se v uzavřených vrtech pohybuje mezi 50 a 10 % a v čase má tendenci spíše klesat. Ve vrtu 85.003 převládá respirace kyslíku a fermentace. Přítomny jsou rovněž mikroorganismy respirující dusičnany, oxidované formy síry a železa nebo metanogenní mikroorganismy, jejichž četnost kolísá v závislosti na době odběru. Ve vrtu 13.001 dominuje fermentace a asi 10 % mikroorganismů má schopnost respirovat oxidované formy síry a dalších 10 % kyslík.

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

V bentonitech jednoznačně dominují mikroorganismy se schopností respirovat kyslík a dusičnany (pravděpodobně se jedná o metabolicky neaktivní mikroorganismy). Výjimku tvoří bentonit BaM uložený ve vrtu 15.001 po jeden rok (50% fermentujících mikroorganismů) a pozadřový bentonit MX80 (cca 20% mikroorganismů má schopnost fermentovat a stejný podíl respirovat oxidované formy síry).

8.6.4 Výsledky rok 2020

Pro zhodnocení v roce 2020 metodou sekvenačních analýz byly použity odběry, které proběhly do srpna 2019 včetně. Později provedené odběry budou zhodnoceny v letošním roce a výsledky budou zahrnuty do příští zprávy.

Celkem bylo dosud metodou amplikonového sekvenování analyzováno 77 vzorků, ze kterých bylo získáno celkem 2284077 sekvencí. Odstraněny byly sekvence s příliš nízkou kvalitou, sekvence příliš dlouhé či krátké a chiméry. Pro další zpracování dat nakonec bylo použito 1241344 sekvencí.

Oproti předchozím letům proběhlo ve zpracování vzorků několik změn: Jednak byly vzorky bentonitů odebrané v roce 2018 rozděleny na 1) vnější část (v nejužším kontaktu s okolním prostředím; v přímém kontaktu s nerezovou sítkou), 2) jádrovou část, 3) část, která byla v přímém kontaktu s kovem. Důvodem bylo zjistit zde je mikrobiální diverzita ve vzorcích bentonitu prostorově stratifikována. Dále proběhla u těchto vzorků validace sekvenační metody opakovaným sekvenováním stejných vzorků (ve výsledcích na Obr. 11-319 označeny čísly „1“ a „2“).

U vzorků vod byla dále nově využita metoda qPCR pro stanovení přítomnosti některých významných funkčních skupin mikroorganismů. Konkrétně se jednalo o síran-redukující bakterie, denitrifikační bakterie, dále zástupce Geobacteraceae (v nichž jsou hojně zastoupeny železo-redukující bakterie) a celkovou bakteriální biomasa (pomocí markeru 16S rRNA).

Výsledky sekvenační analýzy vzorků podzemní vody jsou zobrazeny na Obr. 11-318. Z obrázku je patrné, že poměry ve vrtech, pokud nedochází k jejich otevření, jsou v průběhu času poměrně stabilní. Dále je patrné, že vyjmutí modulu ve všech případech zásadně ovlivnilo strukturu mikrobiálních komunit v jednotlivých vrtech.

I nadále platí, že zjištěná mikrobiální společenstva lze obecně charakterizovat jako výrazně anaerobní. To platí především pro dosud neotevřené vrty, avšak pozvolný nárůst obligátních anaerobů lze pozorovat i u vrtů, ze kterých byly vyjmuty moduly. Čerstvě po otevření vrtu je vždy patrný nárůst aerobních organismů, avšak kyslík je postupem času spotřebován a aerobní organismy jsou postupně nahrazovány anaeroby.

Ve všech vrtech i nadále převládají heterotrofní organismy, což znamená, že je zde stále dostatečné množství organických látek. Ve vrtech, ze kterých byly již vyjmuty moduly, došlo ke změně preferovaných akceptorů elektronů: sírné sloučeniny redukující mikroorganismy a fermentující mikroorganismy ve vzorcích v podstatě vymizely a byly nahrazeny mikroorganismy respirujícími kyslík, dusičnany či sloučeniny železa a manganu. Ve vrtech, ze kterých byly moduly vyjmuty již před delší dobou (15.001 a 15.002) dochází k opětovnému postupnému rozvoji fermentujících mikroorganismů.

Mikrobiologické poměry, které panují ve vrtech po vyjmutí modulů, jsou sice charakterizovány pozvolnými změnami, avšak nikterak dramatickými. V zásadě platí, že ty mikroorganismy, které jsou hojně detekovány hned v prvním odběru po vyjmutí modulu, zůstávají běžné i

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

v dalších odběrech (např. *Silanomonas* či *Roseococcus* v případě vrtu 15.001, či *Hydrogenophaga* a *Roseococcus* ve vrtu 15.002). Mikroorganismy, které byly hojné před vyjmutím modulu, jsou jen zřídka hojné i v odběrech po jeho vyjmutí. Zjištění stabilních mikrobiologických poměrů ve vrtech odpovídá výsledkům v práci Engel et al. (2019b), kde byla také zjištěna překvapivá mikrobiologická stabilita.

Výsledky sekvenační analýzy bentonitů jsou zobrazeny na Obr. 11-319. Výsledky sekvenačních analýz bentonitů jsou z hlediska interpretace ve srovnání s vzorky podzemní vody výrazně problematičtější. Důvodem jsou extrémně nízké výtěžky DNA při její extrakci ze vzorků bentonitů. Hodnoty koncentrace DNA jsou obvykle pod detekčním limitem měření. Nízké koncentrace vstupní DNA vedou obecně ke zvýšenému zastoupení kontaminací. Kontaminace bývají často přítomny v reagentech, které se používají pro extrakci DNA (Salter et al. 2014), což bylo zjištěno i u vzorků bentonitů (Engel et al. 2019a). Některé zjištěné mikroorganismy je třeba tedy považovat za kontaminace, kterým není možné zabránit. Z tohoto hlediska se jeví problematickým především rod *Delftia*, který je uváděn Sandersem et al. (2014) coby kontaminant. Někteří zástupci tohoto rodu se však mohou vyskytovat i v půdě.

Z výsledků je patrné, že ve všech třech studovaných zónách bentonitu je velmi podobná mikroflóra a liší se především procentuálním zastoupením jednotlivých OTU. Zároveň i mikrobiální struktura všech třech studovaných bentonitů si je vzájemně velmi podobná. Vliv kovu v případě bentonitu MX80 nebyl prozatím pozorován. Stejně tak nebyly zjištěny zásadní rozdíly v mikrobiální diverzitě mezi jednotlivými vrstvami bentonitů vzorků odebraných v roce 2018 (vnější vrstva, jádro a část v kontaktu s kovem).

Pro poslední odběr jsou charakteristické nárůsty rodů *Paracoccus* a *Geobacillus* (oba v omezené míře zastoupeny v některých předchozích odběrech). Obě tyto bakterie jsou schopné respirovat kyslík či dusičnany. Rod *Geobacillus* má teplotní optimum pro svůj růst 55-65°C, což odpovídá podmínkám ve vyhřívaných vrtech. Pozorován byl rozvoj i dalších termofilních mikroorganismů, např. rodu *Thermicanus* s optimem růstu také kolem 55°C. Ve vzorcích BAM je oproti vzorkům MX80 hojnější zástupce síran-redukujících bakterií *Desulfofundulus*. Zajímavé je srovnání našich výsledků s prací Engel et al. (2019b), kde byly studovány mikrobiální komunity vzorků nevyhřívaných bentonitů MX80 v Grimselu. V tomto případě dominují mikrobiálních společenstvům zástupci rodu *Streptomyces*, kteří v našich výsledcích chybí, což je pravděpodobně dáno vysokou teplotou, kterou zástupci tohoto rodu netolerují. V souladu s našimi výsledky byla i v této práci zjištěná mikroflóra velmi chudá.

Na obrázku Obr. 11-320 jsou znázorněny výsledky mnohorozměrné analýzy, která zobrazuje podobnost mezi jednotlivými vzorky. Je patrné, že vzorky bentonitu (označené červeně) si jsou vzájemně velmi podobné. Jedinou hodnotu vychýlenou z tohoto trendu představuje vzorek bentonitu BAM odebraný v roce 2016. Tento vzorek byl však analyzován v duplikátu a druhý vzorek ze stejného odběru již spadá do bentonitového shluku.

Vzorky bentonitů se shlukují společně se vzorky pozadového vrtu 85.003 a také s dvěma odběry (červen a srpen 2019) z vrtu 15.004. Jedná se o odběry, které proběhly po vyjmutí modulu z vrtu. Toto zjištění může být částečně vysvětleno faktem, že je na grafu vysvětlena pouze relativně malá část pozorované variability.

Samostatný klastr utváří všechny odběry z vrtu 15.001 v období po vyjmutí modulu. Vzorek odebraný před odběrem se vyskytuje v centru obrázku.

	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Vzorky z vrtu 15.002 se shlukují v levé horní části obrázku společně se vzorky z vrtu 15.005. Podobnost mezi těmito vrty je dána především hojným zastoupením rodu *Alkaliphilus*, dále také bakteriemi *Erysipelothrix* a *Paracoccus*.

Na opačné straně obrázku jsou zobrazeny vzorky z různých odběrů z vrtů 15.003 a 15.004 (s výjimkou odběrů po vyjmutí modulu v případě vrtu 15.004). Jejich podobnost je dána hojným zastoupením rodů *Acetobacterium*, *Erysipelothrix*, *Methanobacterium*, *Pseudomonas* a dalších, avšak liší se tím, že ve vrtu 15.003 jsou hojně zastoupeny také SRB (konkrétně *Desulfitibacter* a *Desulfofunfulus*), zatímco ve vrtu 15.004 je hojná acetogenní bakterie *Syntrophaceticus*.

Paradoxně si jsou z mikrobiologického hlediska mezi vodami vzájemně nejméně podobné vrty 15.004 a 15.005, které jsou umístěny hned vedle sebe.

V Tab. 8-4 jsou zobrazeny výsledky qPCR analýzy. Vzorky byly srovnávány mezi sebou, tzn. že označení, že byla daná skupina zjištěna v hojném množství, platí relativně. Celková bakteriální biomasa byla zjištěna ve všech analyzovaných vzorcích. Ve vzorku 15.004 při odběru 18. 6. 2019 bylo zjištěno výrazně nižší množství mikroorganismů ve srovnání s ostatními vzorky, což je pravděpodobně dáno tím, že je to odběr, který následoval po vyjmutí modulu. Obecně z výsledků vyplývá, že otevření vrtu a vyjmutí modulu vedlo k dočasnému snížení oživení. Dále z těchto výsledků vyplývá, že vrty s bentonitem jsou obecně více oživené než pozadový vrt 85.003.

Překvapivé je zjištění, že výskyt SRB byl potvrzen pouze v některých odběrech, ačkoliv podzemní vody v monitorovaných vrtech poměrně silně zapáchají sulfanem. Přítomnost SRB byla navíc zjištěna sekvenačně. a bude tedy nezbytné ověřit funkčnost použitého markeru DsrA u všech skupin SRB a nadále v jejich detekci je třeba spoléhat především na sekvenční data.

Množství denitrifikačních bakterií v čase klesá a tento trend byl pozorován i u vrtů, které dosud nebyly otevřeny. Zástupci čeledi Geobacteraceae byly potvrzeny ve většině vzorků a jejich množství bylo vyšší v odběrech z vrtů po jejich otevření. To odpovídá výsledkům zjištěným sekvenačními analýzami.

Tab. 8-4 Výsledky qPCR analýzy: „-“: nedetekováno, „+“: zjištěno v malém množství, „++“: zjištěno v středně velkém množství, „+++“ zjištěno ve vyšším množství. Vzorky byly srovnávány mezi sebou.

vrt	Datum odběru	Vyjmutí modulu	celková bakteriální biomasa (univerzální 16S)	síran-redukující bakterie (dsrA)	denitrifikační bakterie (nosZ)	Geobacteraceae (především železo-redukující bakterie)
15.001	01.11.2016	před	+++	+	++	+++
	01.11.2017	po	+++	-	+++	+++
	07.11.2018	po	+++	-	++	+++
	18.06.2019	po	+++	+++	++	++
	05.08.2019	po	+++	++	++	+++
	19.11.2019	po	+++	-	++	+++
	28.01.2020	po	+++	-	++	+++
15.002	01.11.2016	před	+++	+	+++	+
	07.04.2017	před	+++	+++	+++	+
	01.11.2017	před	+++	-	++	++

	07.11.2018	po	++	-	-	++
	18.06.2019	po	++	+	+	++
	05.08.2019	po	+++	++	+	+++
	19.11.2019	po	++	-	+	+
	28.01.2020	po	++	-	+	++
15.003	01.11.2016	před	+++	+	++	+
	07.04.2017	před	+++	++	+++	++
	01.11.2017	před	+++	-	++	++
	07.11.2018	před	++	-	-	-
	18.06.2019	před	+++	+	-	+
	05.08.2019	před	+++	-	+	+
	19.11.2019	před	+++	-	+	+
	28.01.2020	před	+++	-	+	+
15.004	01.11.2016	před	+++	+	+	+
	07.04.2017	před	+++	+++	+++	++
	01.11.2017	před	+++	-	++	++
	07.11.2018	před	+++	-	++	++
	18.06.2019	po	+	-	-	-
	05.08.2019	po	+++	+	+	+++
	19.11.2019	po	+++	++	+	+++
	28.01.2020	po	+++	+	+	++
15.005	01.11.2016	před	+++	++	++	+
	07.04.2017	před	+++	+++	+++	++
	01.11.2017	před	+++	++	++	+++
	07.11.2018	před	+++	-	+	+
	18.06.2019	před	+++	+	+	+
	05.08.2019	před	+++	+	+	++
	19.11.2019	před	+++	-	+	+
	28.01.2020	před	+++	-	+	+
85.003	01.11.2017	-	++	+	+	+
	07.11.2018	-	++	-	-	+
	18.06.2019	-	++	+	-	+
	05.08.2019	-	++	+	-	++
	19.11.2019	-	++	-	+	++
	28.01.2020	-	++	-	+	++

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

9 Závěr

Doposud získané výsledky z korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí v podzemní laboratoři Grimsel Test Site potvrzují nutnost dlouhodobých experimentů, aby bylo možné predikovat vývoj chování materiálů v HÚ. Stanovené korozní rychlosti uhlíkové oceli v čase dle očekávání klesají. Po třech letech experimentu jsou hmotnostní úbytky relativně malé a pravděpodobně je již koroze výrazněji brzděna transportem korozních produktů v systému. V rámci chyby měření není pozorovatelný významný rozdíl ve stanovených průměrných hodnotách korozní rychlosti uhlíkové oceli z prostředí bentonitu BaM oproti bentonitu MX-80. Povrch vzorků uhlíkové oceli je napaden nerovnoměrně i s výskytem důlků jak v případě prostředí bentonitu BaM tak i v prostředí bentonitu MX-80. U vzorků měděného nástřiku bylo pozorováno bodové korozní napadení, jehož četnost jeví zvyšující se charakter v čase. Z hlediska hodnocení aplikace tenkých měděných nástřiků jako vnější vrstvy UOS je to negativní zjištění. Důvod vzniku důlků na povrchu měděného povlaku není zcela potvrzen, ale pravděpodobně je to v důsledku mikrobiální aktivity, která je v bentonitu potvrzena a nepřímo to potvrzují i prvkové analýzy, které ukazují výraznější nárůst síry v oblasti důlků což by potvrzovalo pravděpodobnou přítomnost sulfidů.

Na vzorcích uhlíkové oceli se podařilo identifikovat z korozních produktů siderit a čukanovit. Pokud jsou na vzorcích i jiné korozní produkty, tak nejsou identifikovatelné použitými metodami (množství pod detekčními limity, amorfní fáze apod.). Na povrchu vzorků měděného nástřiku nebyly zatím použitými metodami identifikovány žádné korozní produkty.

Vývoj chemického složení podzemní vody dobře koresponduje s přítomností/nepřítomností bentonitu v systému z hlediska koncentrací uhličitánů a sodíku. U ostatních kationtů resp. aniontů není pozorovatelný, žádný trend v chování. Dochází k mírnému nárůstu vápníku v některých vrtech. Vysvětlení tohoto nárůstu není zatím zřejmé.

Z výsledků mikrobiologických analýz vyplynulo, že hlavními metabolickými procesy probíhajícími v studovaných podzemních vodách jsou anaerobní respirace, fermentace a metanogeneze. Nejdůležitějším zdrojem energie jsou organické látky a v menší míře také vodík a redukované formy síry, které pravděpodobně vznikají anaerobní respirací síranů. Nejvýraznější změny mikrobiálních poměrů v podzemních vodách ve zkoumaných vrtech způsobují vyjmutí modulů, po kterých dochází k radikálním změnám struktury mikrobiálních společenstev. Po opětovném uzavření modulu je ustanovena nová mikrobiologická rovnováha, která setrvává i v pozdějších odběrech, byť postupně dochází k posunům (především opět směrem k anaerobie). Mikrobiální komunity podzemních vod lze označit jako stabilní.

V případě studovaných bentonitů byla (s výjimkou vzorku BAM z prvního roku) zaznamenána omezená mikrobiální aktivita. Vzorky si jsou složením mikrobiální komunity poměrně podobné. Kov, se kterým je bentonit v kontaktu, složení mikrobiálního společenstva dle současných výsledků neovlivňuje. Stejně tak nebyl zaznamenán významný rozdíl v jednotlivých frakcích bentonitu, což je pravděpodobně dáno tím, že je studovaný kroužek příliš tenký, aby bylo možné obdobnou prostorovou stratifikaci zaznamenat.

Z hlediska predikce a ověření životnosti materiálů použitých v experimentu bude důležitý následující vývoj systému. Zda pokles hmotnostních úbytků bude dále na hranici měřitelnosti a hloubka lokalizace napadení bude bez výraznějších změn či nikoliv.

10 Literatura

- ANDERSON R. T., ROONEY-VARGA J., GAW C. V., LOVLEY. D. R. (1998): Anaerobic benzene oxidation in the Fe(III)-reduction zone of petroleum-contaminated aquifers. – *Environ. Sci. Technol.* 32, 1222–1229.
- BEN-DOV E., BRENNER A., KUSHMARO A. (2007): Quantification of Sulfate-reducing Bacteria in Industrial Wastewater, by Real-time Polymerase Chain Reaction (PCR) Using *dsrA* and *apsA* Genes. – *Microbial Ecology*, 54, 439–451.
- BLAHETA R., BYCZANSKI P., MALÍK J., KOHUT R., KOLCUN A., STARÝ J., HOKR M., KRÁLOVCOVÁ J. FRYDRYCH D. (2012), Tepelná analýza referenčního návrhu úložiště vyhořelého jaderného paliva, Zpráva Ústavu geoniky AV ČR, v. v. i., 39 str.
- CLAESSON M. J., O'SULLIVAN O., WANG Q., NIKKILA J., MARCHESI J. R., SMIDT H., DE VOS W. M., ROSS R. P., O'TOOLE P. W. (2009): Comparative analysis of pyrosequencing and a phylogenetic microarray for exploring microbial community structures in the human distal intestine. – *PLoS One*.
- ČERNÍK M., SHRESTHA R., STEINOVÁ J., STOULIL J., ŠEVČŮ A., ŠPAČEK P., D. (2015): Mikrobiální koroze za podmínek hlubinného úložiště pro koncepci ocelový UOS – zhutněný bentonit – Rešeršní práce a plán experimentů – Průběžná technická zpráva. Zpráva SÚRAO, 31/2015, 73 str.
- ČSN 41 2022. Ocel 12022, Praha: Český normalizační institut, 1985, 8 str.
- ČSN CEN ISO/TS 17892-1 (2005): Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemín - Část 1: Stanovení vlhkosti. Český normalizační institut, 12 str.
- ČSN ISO 8407 (1995) Odstraňování korozních zplodin ze vzorků podrobených korozním zkouškám. Český normalizační institut, 12 str.
- ČSN-ISO 9963-1 (1996) Jakost vod. Stanovení kyselinové neutralizační kapacity (KNK). Část 1: Stanovení KNK4,5 a KNK8,3, Český normalizační institut, 12 str.
- DETZNER K. (2015), MaCoTe Drilling Report, AN 15-392, Nagra, Wettingen, Switzerland.
- DOBREV D. (2014), Návrh aparatury pro korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí, Zpráva ÚJV Řež, a. s., 14396, 26 str.
- DOBREV D., Gondolli J., Kárník D., Kouřil M., Stouli J. (2014) Specifikace procesů působících na ukládací obalový soubor ve všech fázích vývoje HÚ – Výběr materiálů pro ukládací obalový soubor, Zpráva ÚJV Řež, a. s., Z3990, 37 str.
- DOBREV D., ZUNA M. (2015) Příprava korozní zkoušky v přírodním granitoidním prostředí, Zpráva ÚJV Řež, a. s., 14554, 54 str.
- DOWD S. E., CALLAWAY T. R., WOLCOTT R. D., SUN Y., MCKEEHAN T., HAGEVOORT R. G., EDRINGTON T. S. (2008): Evaluation of the bacterial diversity in the feces of cattle using 16S rDNA bacterial tag-encoded FLX amplicon pyrosequencing (bTEFAP). – *BMC Biol.*, 6.
- ENGEL K., COYOTZI S., VACHON M. A., MCKELVIE J. R., NEUFELD J. D. (2019a). Validating DNA extraction protocols for bentonite clay. – *mSphere*, 4(5).
- ENGEL K., FORD S. E., COYOTZI S., MCKELVIE J., DIOMIDIS N., SLATER G., NEUFELD J. D. (2019). stability of microbial community profiles associated with compacted bentonite from the Grimsel underground research laboratory. – *mSphere*, 4(6).
- GEETS J., DE COOMAN M., WITTEBOLLE L., HEYLEN K., VANPARYSUS B., DE VOS P., VERSTAETE W, BOON N. (2007): Real-time PCR assay for the simultaneous quantification of nitrifying and denitrifying bacteria in activated sludge. – *Applied Microbiology and Biotechnology* 75(1), 211–221.
- HO C. Y., CHU T. K. (1977), Electrical resistivity and thermal conductivity of nine selected AISI stainless steels, CINDAS report 45, 51 str.

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

- HOLMES D. E., FINNERAN K. T., O'NEIL R. A., LOVLEY D. R. (2002): Enrichment of members of the family Geobacteraceae associated with stimulation of dissimilatory metal reduction in Uranium-contaminated aquifer sediments. – *Applied and Environmental Microbiology* 68(5), 2300–2306.
- IREMONGER S. (2012), Environmental Publication 2012/06–A review of odour properties of H₂S odour threshold investigation 2012, zpráva Bay of plenty regional council, ISSN: 1175-9372 (Print), ISSN: 1179-9471 (Online), 81 str.
- JCPDS PDF-4 database, International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, PA, U.S.A. release 2016, 2016.
- LOPEZ-FERNANDEZ M., CHERKOUK A., VILCHEZ-VARGAS R., JAUREGUI R., PIEPER D., BOON N., SANCHEZ-CASTRO I., MERROUN M. L. (2015): Bacterial Diversity in Bentonites, Engineered Barrier for Deep Geological Disposal of Radioactive Wastes. – *Microbial Ecology*, 70, 922–935.
- LOVECKÝ M. (2014), Ukládací obalový soubor pro hlubinné úložiště – Výpočet stínění pro palivo Gd-2M, Zpráva Škoda JS, Ae15516/DOK, 30str.
- MARTIN A. J., GIROUD N. (2014), Minutes of the MaCoTe Partner Meeting, 7-8 April 2014, Harwell – UK, AN14-329, Nagra, Wettingen, Switzerland.
- NADKARNI M. A., MARTIN F. E., JACQUES N. A., HUNTER N. (2002): Determination of bacterial load by real-time PCR using a broad-range (universal) probe and primers set. – *Microbiology*, 148, 257–266.
- PEDERSEN K. (2017): Bacterial activity in compacted bentonites. – Deliverable D2.4, project MIND, 27 str.
- RAMIRES M. L. V., NIETO DE CASTRO C. A., NAGASAKA Y., NAGASHIMA A., ASSAEL M. J., WAKEHAM W. A. (1994), Standard reference data for the thermal conductivity of water, American Institute of Physics and American Chemical Society, 5 str.
- ŠMILAUER P., LEPŠ J. (2003): *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5*. University Press, Cambridge, 376 str.
- TANG A. M., CUI Y. J., LE T. T. (2008), A study on the thermal conductivity of compacted bentonites, *Applied Clay Science* 41, 9 str.
- TEFLON PTFE PROPERTIES HANDBOOK (2012), DuPont Handbook, 220313D, 35 str.
- VĚTROVSKÝ T., BALDRIAN P. (2013): Analysis of soil fungal communities by amplicon pyrosequencing: current approaches to data analysis and the introduction of the pipeline SEED. – *Biology and Fertility of Soils* 49, 1027–1037.

11 Přílohy

11.1 Stanovení vlhkosti použitých bentonitů

V následující tabulce Tab. 11-1 jsou uvedeny hodnoty přirozených vlhkostí bentonitu MX-80 a BaM. Stanovené sušením po dobu 24 hodin při teplotě 105 °C.

Tab. 11-1 Stanovené hodnoty přirozené vlhkosti bentonitu MX-80 a BaM

Materiál	Hmotnost vzorku před sušením	Hmotnost vzorku po sušení	Obsah vody ve vzorku	Vlhkost
	m [g]	m [g]	m [g]	[%]
MX-80*	4,4173	4,1563	0,2610	6,28
MX-80*	2,7741	2,6108	0,1633	6,25
MX-80*	4,5311	4,2645	0,2666	6,25
MX-80*	5,1336	4,8300	0,3036	6,29
BaM	1,0019	0,9208	0,0811	8,81
BaM	1,0040	0,9231	0,0809	8,76
BaM	1,0044	0,9229	0,0815	8,83
BaM	1,0000	0,9198	0,0802	8,72
BaM	1,0006	0,9210	0,0796	8,64

* Hodnoty stanovené v rámci projektu TAČR TA04021378 - Vývoj aparatur pro charakterizaci materiálů inženýrských bariér hlubinného úložiště radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva.

11.2 Navážky bentonitů

V následujících tabulkách Tab. 11-2 a Tab. 11-3 jsou uvedeny navážek bentonitů pro přípravu bentonitových okružů o suché objemové hmotnosti $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$.

Tab. 11-2 Navážky bentonitu MX-80

Bentonit	Navážka	Lisovací síla	Hmotnost po lisování	Datum lisování	Modul
Číslo prstence	m [g]	F [kN]	m [g]		Číslo modulu
1	172,00	103	171,42	16.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_7
2	172,21	101	171,83	16.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_7
3	172,10	102	171,66	16.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_5
4	172,11	103	171,74	16.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_5
5	172,10	103	171,59	16.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_3
6	172,13	103	171,66	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_3
7	173,12	103	171,67	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_2
8	172,13	104	171,87	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_2
9	172,11	96	171,81	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_1
10	172,10	99	171,80	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Cu_1
11	172,10	97	171,80	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_7
12	172,10	98	171,70	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_7
13	172,10	102	171,66	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_5
14	172,10	98	171,69	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_5
15	172,10	98	171,26	17.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_3
16	172,10	93	170,03	22.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_3
17	172,10	102	171,43	22.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_2
18	172,10	99	171,66	22.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_2
19	172,10	105	171,56	24.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_1
20	172,10	102	171,74	24.7.2015	MACOTE_AN_MX80_Fe_1

Tab. 11-3 Navážky bentonitu BaM

Bentonit	Navážka	Lisovací síla	Hmotnost po navlhčení	Hmotnost po lisování	Datum lisování	Modul
Číslo prstence	m [g]	F [kN]	m [g]	m [g]		Číslo modulu
1	88,00	195	Nevlhčeno	87,53	24.7.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
2	88,00	200	Nevlhčeno	87,45	25.7.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
3	88,31	215	Nevlhčeno	87,71	31.7.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
4	88,33	215	Nevlhčeno	87,65	31.7.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
5	88,44	215	Nevlhčeno	87,66	31.7.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
6	88,47	220	Nevlhčeno	87,83	4.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
7	88,50	200	Nevlhčeno	88,11	4.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
8	88,43	240	Nevlhčeno	87,97	4.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
9	176,01	160	186,56	184,72	11.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_2
10	175,96	180	185,12	182,74	12.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_2
11	176,04	180	186,33	185,22	12.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_2
12	176,00	210	184,50	182,51 170,10*	28.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_2
13	176,24	200	188,31	185,27 177,24*	31.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_3
14	176,00	200	186,15	184,84	31.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_3
15	176,10	200	186,01	184,39	31.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_3
16	176,40	200	187,54	186,40	31.8.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_3
17	176,70	200	186,05	184,03	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_5
18	176,37	200	186,71	184,69	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_5
19	176,31	200	187,89	185,90	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_5
20	176,69	200	187,88	185,89	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_5
21	176,79	200	186,50	185,23	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_7
22	176,41	200	186,79	185,65	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_7
23	176,93	200	188,50	186,17	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_7
24	176,92	200	189,97	188,36 176,80*	1.9.2015	MACOTE_AN_BaM_Fe_7

* Hmotnost bentonitového prstence po broušení

11.3 Hmotnosti vzorků

V následujících tabulkách Tab. 11-4, Tab. 11-5, Tab. 11-6 a Tab. 11-7 jsou uvedeny hmotnosti kovových vzorků použitých pro experiment v pozemní laboratoři GTS.

Tab. 11-4 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem MX-80

Vzorek	Hmotnost	Umístění
--------	----------	----------

Číslo	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	Číslo modulu	Vrt č.
MACOTE_AN_MX80_Fe_1_01	46,7676	46,7677	46,7676	MACOTE_AN_MX80_Fe_1	15.001
MACOTE_AN_MX80_Fe_1_02	39,4398	39,4398	39,4397		
MACOTE_AN_MX80_Fe_1_03	39,4154	39,4153	39,4152		
MACOTE_AN_MX80_Fe_1_04	39,4656	39,4656	39,4657		
MACOTE_AN_MX80_Fe_1_05	39,5797	39,5798	39,5798		
MACOTE_AN_MX80_Fe_2_01	46,4004	46,4004	46,4004	MACOTE_AN_MX80_Fe_2	15.002
MACOTE_AN_MX80_Fe_2_02	39,9097	39,9097	39,9098		
MACOTE_AN_MX80_Fe_2_03	39,5300	39,5299	39,5299		
MACOTE_AN_MX80_Fe_2_04	39,8718	39,8718	39,8719		
MACOTE_AN_MX80_Fe_2_05	39,4650	39,4649	39,4649		
MACOTE_AN_MX80_Fe_3_01	46,5811	46,5810	46,5810	MACOTE_AN_MX80_Fe_3	15.003
MACOTE_AN_MX80_Fe_3_02	39,3783	39,3781	39,3783		
MACOTE_AN_MX80_Fe_3_03	39,1920	39,1920	39,1920		
MACOTE_AN_MX80_Fe_3_04	39,4812	39,4811	39,4811		
MACOTE_AN_MX80_Fe_3_05	39,6705	39,6706	39,6706		
MACOTE_AN_MX80_Fe_5_01	46,1721	46,1718	46,1718	MACOTE_AN_MX80_Fe_5	15.004
MACOTE_AN_MX80_Fe_5_02	39,5277	39,5276	39,5277		
MACOTE_AN_MX80_Fe_5_03	39,6087	39,6085	39,6085		
MACOTE_AN_MX80_Fe_5_04	39,4249	39,4248	39,4248		
MACOTE_AN_MX80_Fe_5_05	39,3776	39,3775	39,3775		
MACOTE_AN_MX80_Fe_7_01	45,9164	45,9165	45,9165	MACOTE_AN_MX80_Fe_7	15.005
MACOTE_AN_MX80_Fe_7_02	39,9023	39,9022	39,9022		
MACOTE_AN_MX80_Fe_7_03	39,6463	39,6462	39,6461		
MACOTE_AN_MX80_Fe_7_04	39,5454	39,5455	39,5455		
MACOTE_AN_MX80_Fe_7_05	39,7645	39,7646	39,7646		

Tab. 11-5 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem BaM

Vzorek Číslo	Hmotnost			Umístění	
	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	Číslo modulu	Vrt č.
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_01	52,8423	52,8422	52,8422	MACOTE_AN_BaM_Fe_1	15.001
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_02	39,5288	39,5286	39,5287		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_03	39,5042	39,5042	39,5040		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_04	39,5465	39,5464	39,5464		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_05	39,8722	39,8722	39,8723		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_06	39,5623	39,5621	39,5621		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_07	39,5314	39,5313	39,5313		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_08	39,6391	39,6390	39,6390		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_09	39,5897	39,5896	39,5896		
MACOTE_AN_BaM_Fe_1_10	39,5727	39,5726	39,5726		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_01	53,0301	53,0300	53,0299	MACOTE_AN_BaM_Fe_2	15.002
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_02	39,7142	39,7141	39,7140		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_03	39,6738	39,6737	39,6737		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_04	39,5374	39,5372	39,5373		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_05	39,5264	39,5262	39,5262		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_06	39,5815	39,5813	39,5815		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_07	39,7533	39,7533	39,7533		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_08	39,6563	39,6563	39,6562		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_09	39,5344	39,5345	39,5343		
MACOTE_AN_BaM_Fe_2_10	39,4267	39,4267	39,4267		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_01	52,5393	52,5392	52,5392	MACOTE_AN_BaM_Fe_3	15.003
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_02	39,7728	39,7728	39,7728		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_03	39,5338	39,5338	39,5338		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_04	39,5669	39,5667	39,5667		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_05	39,4201	39,4200	39,4201		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_06	39,9429	39,9428	39,9428		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_07	39,4689	39,4689	39,4688		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_08	39,4916	39,4915	39,4915		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_09	39,6260	39,6260	39,6259		
MACOTE_AN_BaM_Fe_3_10	39,4996	39,4995	39,4994		

Tab. 11-6 Hmotnosti vzorků z uhlíkové oceli ČSN 12022 pro experiment s bentonitem BaM

Vzorek Číslo	Hmotnost			Umístění	
	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	Číslo modulu	Vrt č.
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_01	52,3138	52,3137	52,3136	MACOTE_AN_BaM_Fe_5	15.004
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_02	39,4417	39,4418	39,4419		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_03	39,9327	39,9328	39,9326		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_04	39,5056	39,5057	39,5056		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_05	39,6229	39,6228	39,6228		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_06	39,7605	39,7603	39,7605		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_07	39,7986	39,7986	39,7984		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_08	39,3520	39,3520	39,3520		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_09	39,4802	39,4801	39,4801		
MACOTE_AN_BaM_Fe_5_10	39,5983	39,5982	39,5981		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_01	53,7315	53,7314	53,7313	MACOTE_AN_BaM_Fe_7	15.005
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_02	40,0240	40,0240	40,0241		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_03	39,5122	39,5122	39,5121		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_04	39,5183	39,5181	39,5181		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_05	39,4830	39,4830	39,4829		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_06	39,5022	39,5022	39,5020		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_07	39,4339	39,4338	39,4338		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_08	39,6100	39,6099	39,6100		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_09	39,6056	39,6055	39,6057		
MACOTE_AN_BaM_Fe_7_10	39,4755	39,4755	39,4755		

Tab. 11-7 Hmotnosti vzorků měděného nástřiku pro experiment s bentonitem MX-80

Vzorek	Hmotnost			Umístění		
	Číslo	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	Číslo modulu	Vrt č.
MACOTE_AN_MX80_Cu_1_01		256,621	256,620	256,621	MACOTE_AN_MX80_Cu_1	15.005
MACOTE_AN_MX80_Cu_2_01		257,396	257,396	257,396	MACOTE_AN_MX80_Cu_2	15.002
MACOTE_AN_MX80_Cu_3_01		257,968	257,968	257,965	MACOTE_AN_MX80_Cu_3	15.003
MACOTE_AN_MX80_Cu_5_01		259,025	259,025	259,025	MACOTE_AN_MX80_Cu_5	15.004
MACOTE_AN_MX80_Cu_7_01		257,237	257,237	257,237	MACOTE_AN_MX80_Cu_7	15.001

11.4 Umístění modulů v jednotlivých vrtech

V následující tabulce Tab. 11-8 je uvedeno umístění modulů ve vrtech v podzemní laboratoři GTS.

Tab. 11-8 umístění modulů v jednotlivých vrtech

Vrt	Moduly
15.001	MACOTE_AN_MX80_Cu_7
	MACOTE_AN_MX80_Fe_1
	MACOTE_AN_BaM_Fe_1
15.002	MACOTE_AN_MX80_Cu_2
	MACOTE_AN_MX80_Fe_2
	MACOTE_AN_BaM_Fe_2
15.003	MACOTE_AN_MX80_Cu_3
	MACOTE_AN_MX80_Fe_3
	MACOTE_AN_BaM_Fe_3
15.004	MACOTE_AN_MX80_Cu_5
	MACOTE_AN_MX80_Fe_5
	MACOTE_AN_BaM_Fe_5
15.005	MACOTE_AN_MX80_Cu_1
	MACOTE_AN_MX80_Fe_7
	MACOTE_AN_BaM_Fe_7

11.5 Vnější povrch bentonitů po experimentu

Na následujících obrázcích je zobrazen vnější povrch bentonitů po ukončení korozních zkoušek v podzemní laboratoři GTS. Bentonit MX-80 z modulů s měděným nástřikem je na Obr. 11-1, z modulu se vzorky uhlíkové oceli na Obr. 11-2 a bentonit BaM na Obr. 11-3.



Obr. 11-1 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu MX-80 po ročním (nahore vlevo), dvouletém (nahore vpravo), tříletém (dole vlevo) a čtyřletém (dole vpravo) experimentu s měděným nástřikem



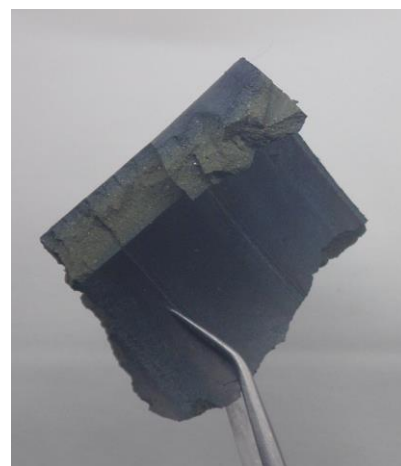
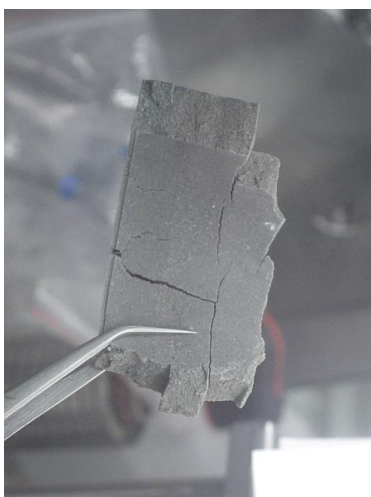
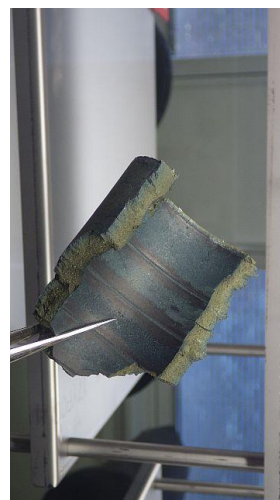
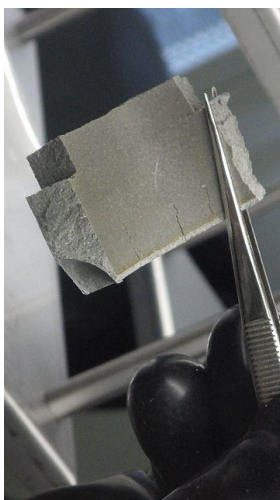
Obr. 11-2 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu MX-80 po ročním (nahore vlevo), dvouletém (nahore vpravo), tříletém (dole vlevo) a čtyřletém (dole vpravo) experimentu s uhlíkovou ocelí

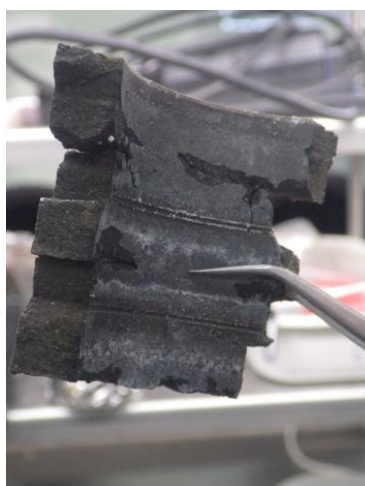


Obr. 11-3 Srovnání vnějšího povrchu bentonitu BaM po ročním, dvouletém, tříletém a čtyřletém (od shora dolů) experimentu s uhlíkovou ocelí

11.6 Srovnání bentonitů po experimentu

Na následujícím obrázku Obr. 11-4 jsou uvedeny fotografie vzorků bentonitů po experimentu.





Obr. 11-4 Srovnání bentonitů po experimentu. Zleva MX-80 s měděným nástřikem, MX-80 s uhlíkovou ocelí a BaM s uhlíkovou ocelí. Shora dolů roční zkouška, dvouletá zkouška, tříletá zkouška

11.7 Vzorky kovových materiálů po experimentu

Na obrázku Obr. 11-5 jsou zobrazeny vzorky kovových materiálů po korozní zkoušce.

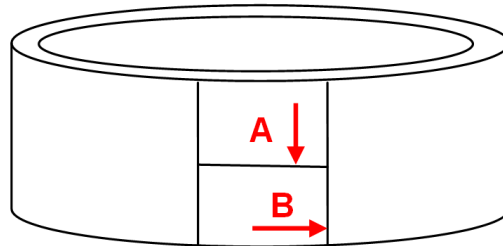




Obr. 11-5 Srovnání kovových vzorků po experimentu. Zleva měděný nástřik, uhlíková ocel v bentonitu MX-80 a uhlíková ocel v bentonitu BaM. Shora dolů roční zkouška, dvouletá zkouška, tříletá zkouška, čtyřletá zkouška

11.8 Mikrostruktura uhlíkové oceli

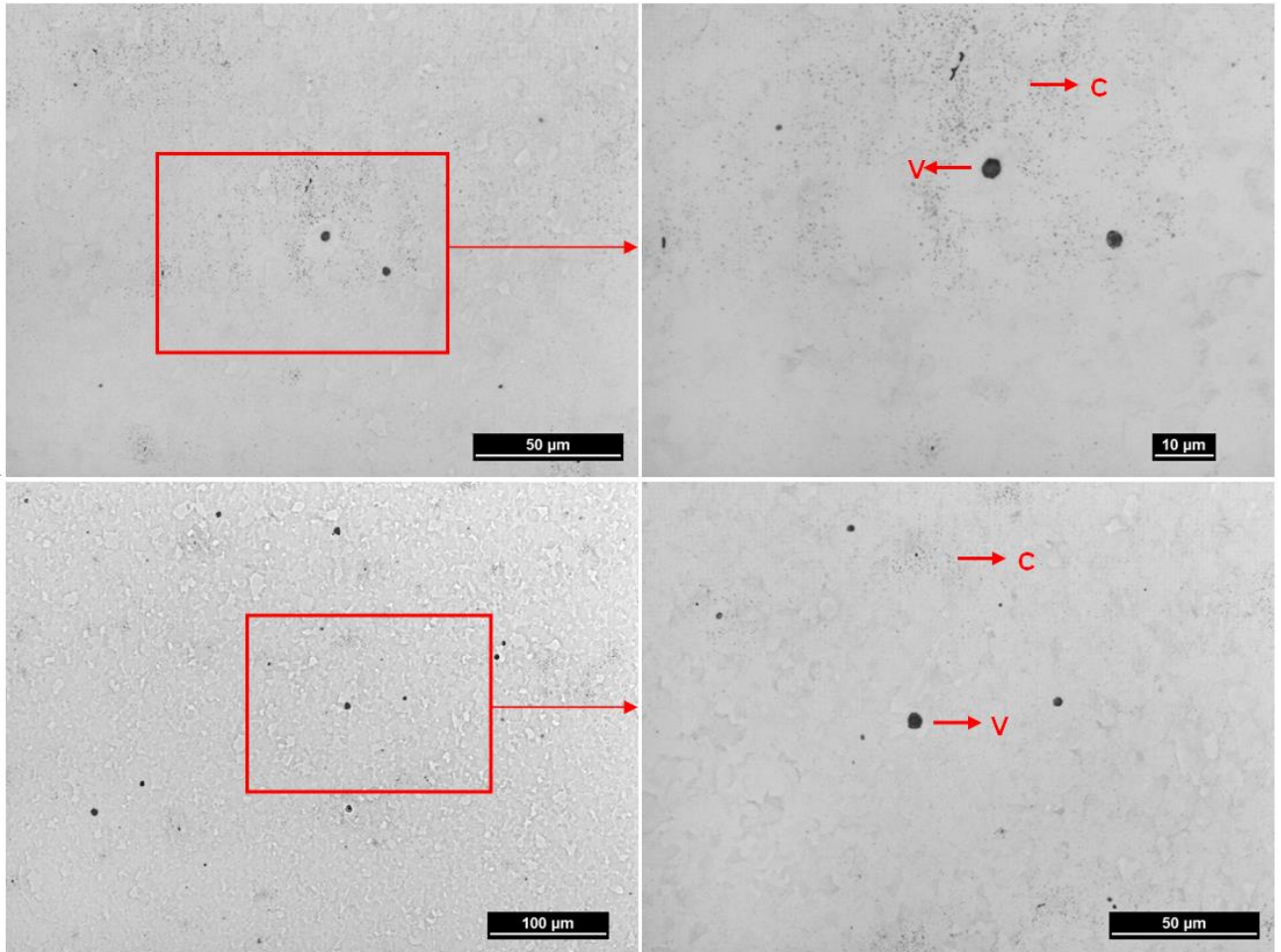
Analýza mikrostruktury byla prováděna v příčném (A) a podélném (B) směru vzorku, viz Obr. 11-6. Připravené řezy vzorku byly zality do epoxidové pryskyřice pro přípravu výbrusů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



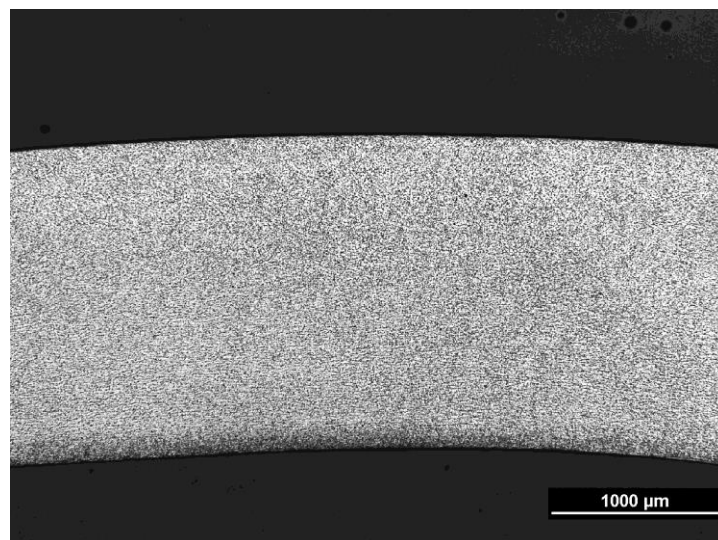
Obr. 11-6 Zobrazení řezu vzorku v příčném (A) a podélném (B) směru

Mikrostruktura oceli v řezu A v neleptaném stavu je zobrazena na Obr. 11-7. Na tomto obrázku jsou vidět dva typy vměstků a to jemné karbidy (označené v obrázku písmenem C), které se nejčastěji nachází v blízkosti větších vměstků (označené v obrázku písmenem V).

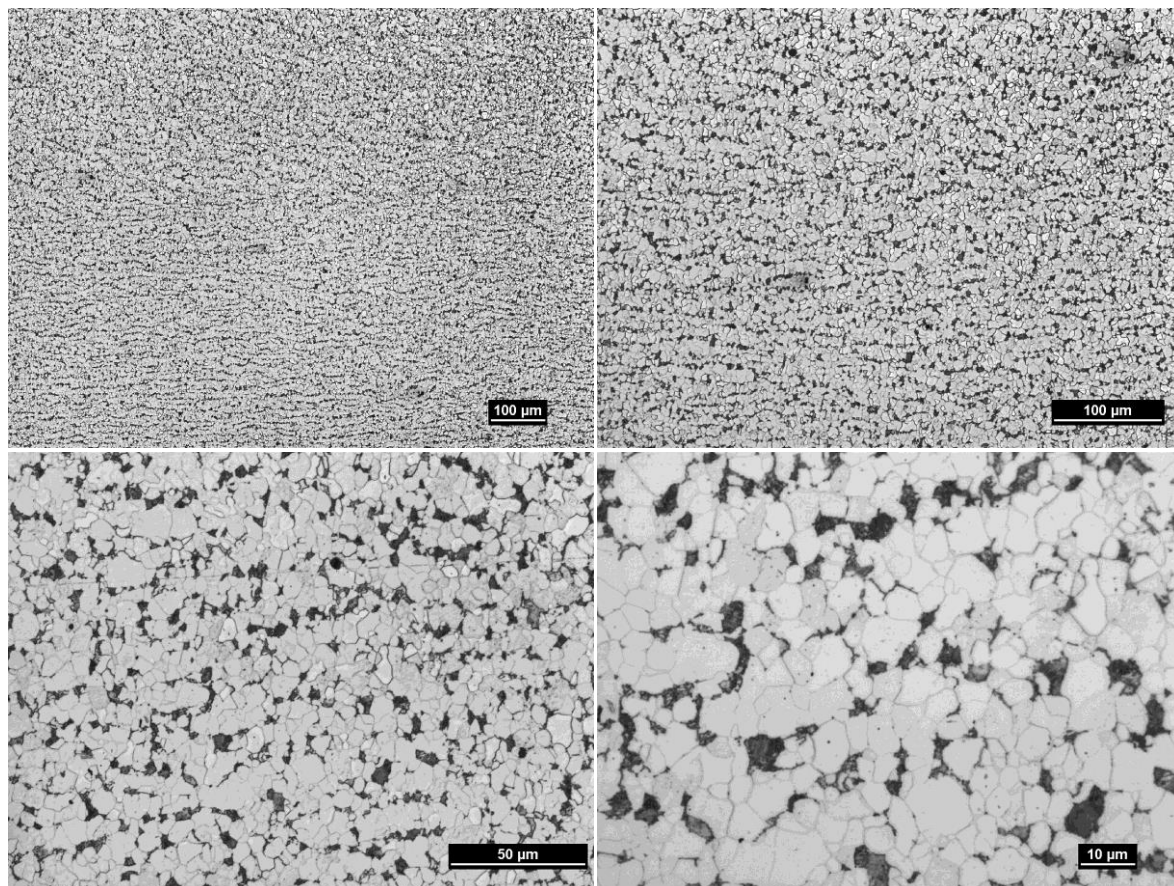
Mikrostruktura oceli po leptání v Nitalu je zobrazena na Obr. 11-8. Mikrostruktura je feriticko–perlitická a je v celém vzorku homogenní. Částečně sferoidizovaný perlit se vyskytuje ve formě drobných lamel (na Obr. 11-9 je zobrazen střed vzorku, na Obr. 11-10 jsou okraje vzorku).



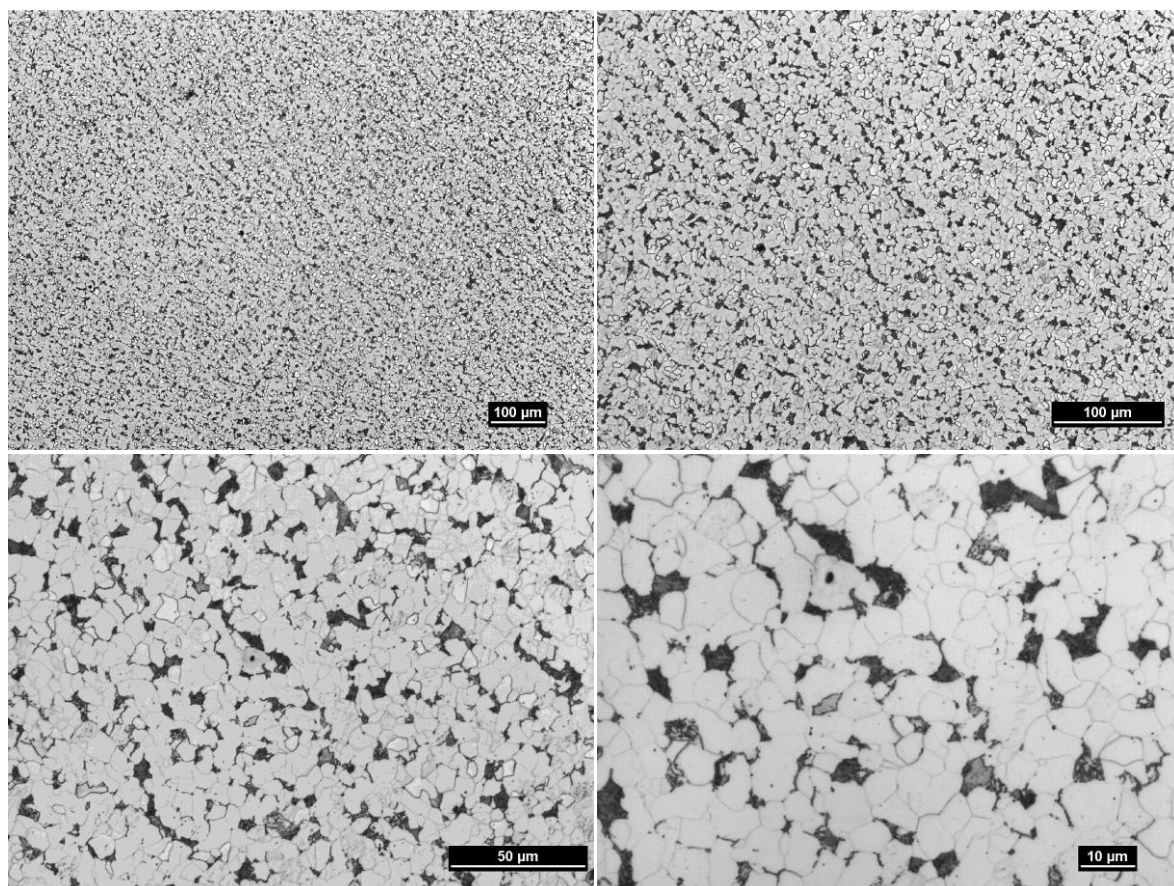
Obr. 11-7 Vměstky ve vzorku uhlíkové oceli, příčný řez, neleptáno. Jemné karbidy označené písmenem C a větší vměstky označené písmenem V



Obr. 11-8 Mikrostruktura, příčný řez, leptáno 2% Nitalem

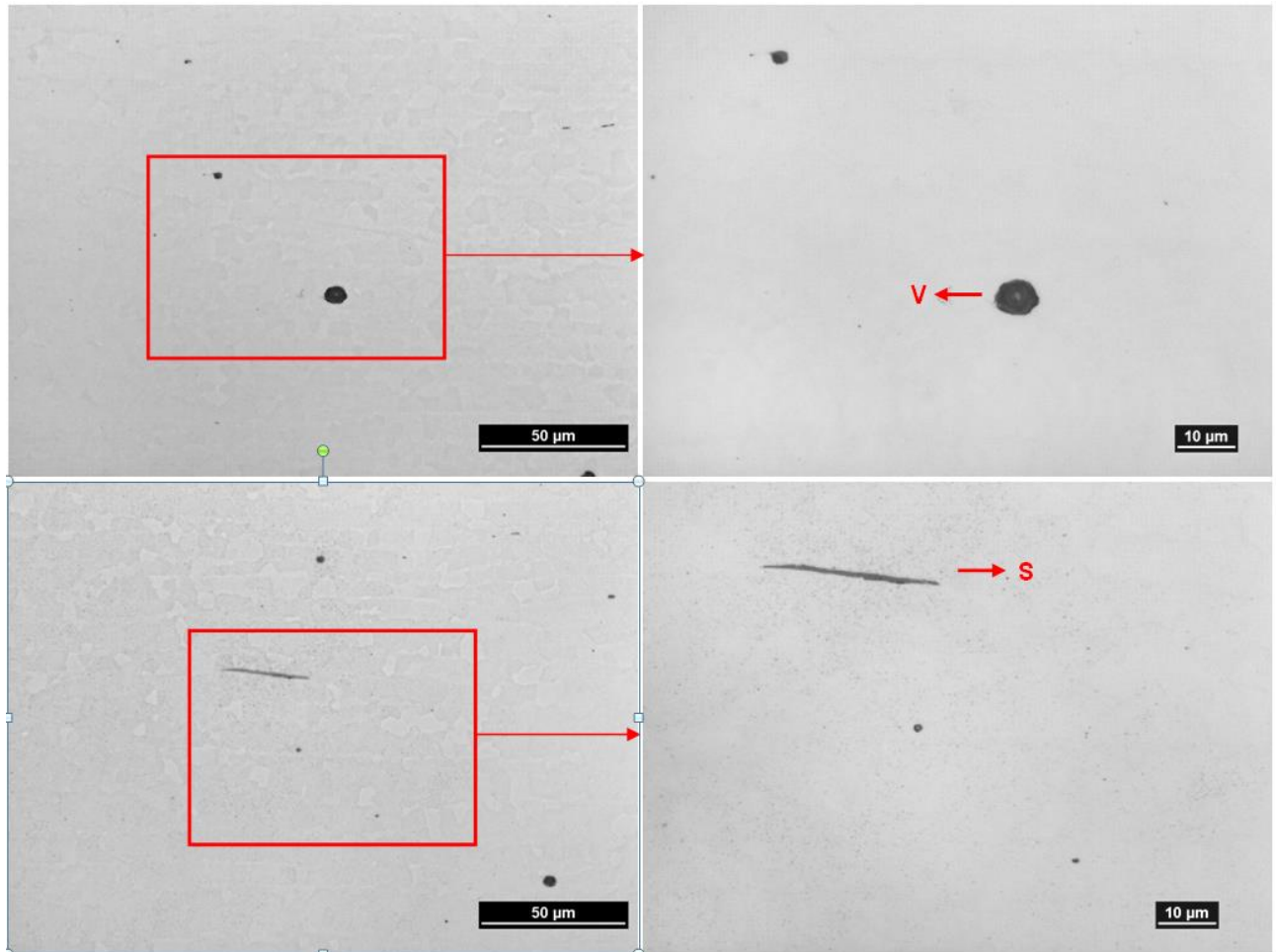


Obr. 11-9 Mikrostruktura uprostřed vzorku, příčný řez, leptáno 2% Nitalem

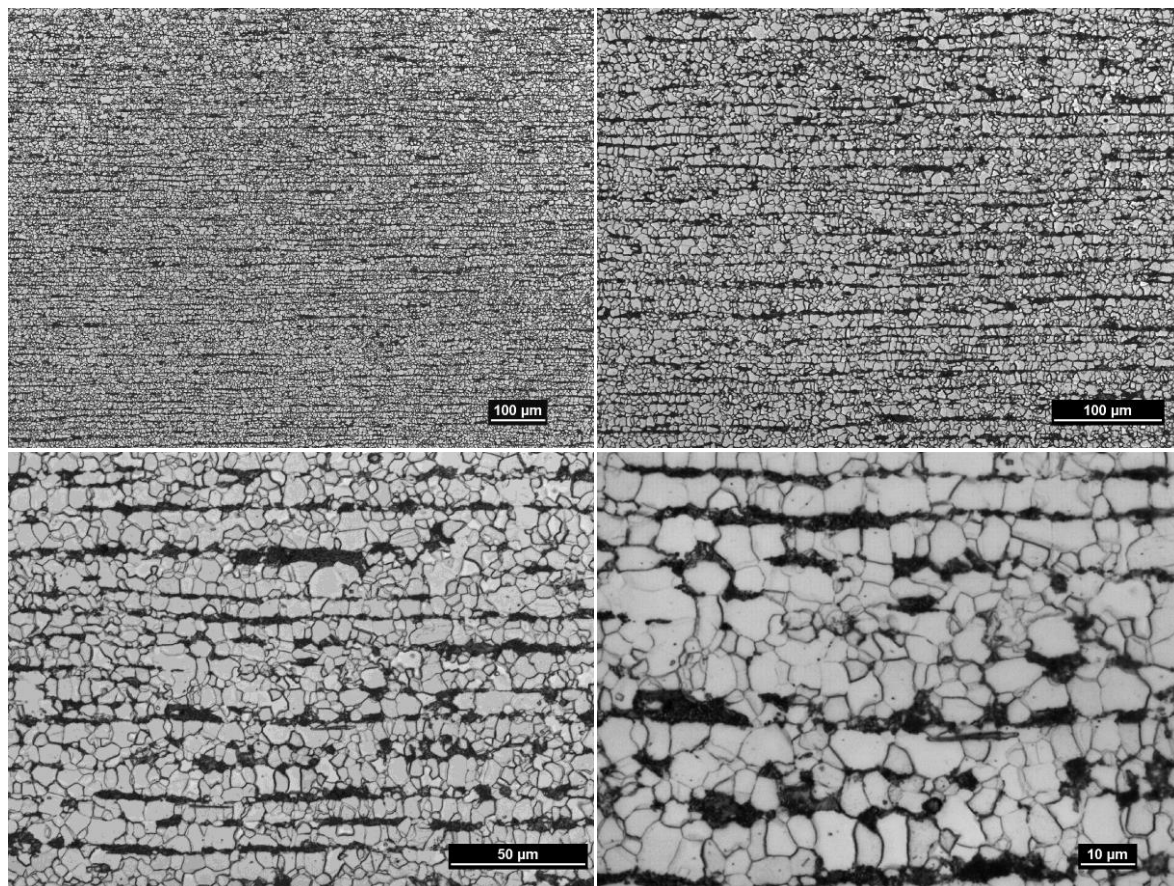


Obr. 11-10 Mikrostruktura na okraji vzorku, příčný řez, leptáno 2% Nitalem

Mikrostruktura neleptaného vzorku v podélném směru je zobrazena na Obr. 11-11 a po leptání v Nitalu na Obr. 11-12. V podélném řezu se navíc (kromě vměstků V a C) oproti příčnému řezu vyskytují podlouhlé vměstky typu MnS (ozn. S), jež jsou protažené ve směru tváření. Po naleptání je na podélném řezu zřejmá řádkovitá feriticko–perlitická mikrostruktura. Perlit je částečně sferoidizovaný.



Obr. 11-11 Vměstky ve vzorku uhlíkové oceli, podélný řez, neleptáno. Jemné karbidy označené písmenem C, větší vměstky označené písmenem V, vměstky typu MnS označené písmenem S

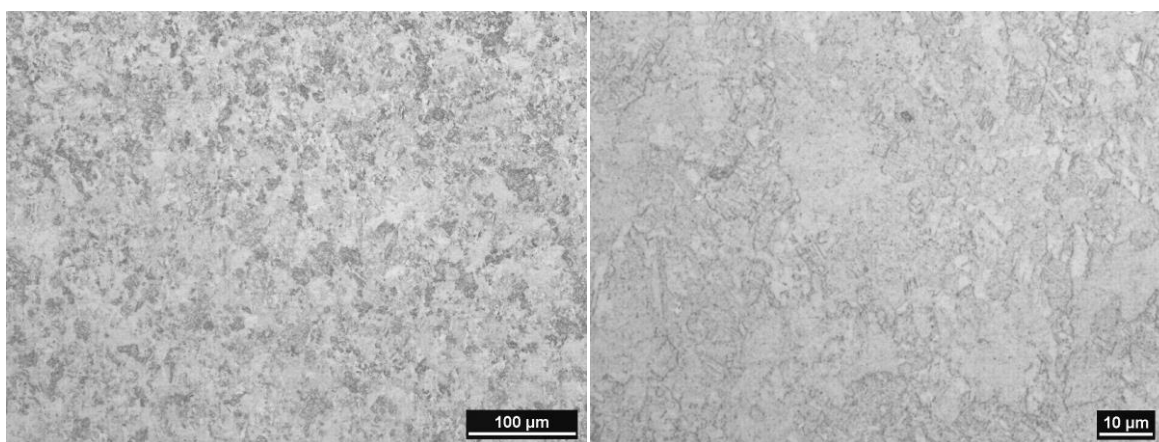


Obr. 11-12 Mikrostruktura vzorku, podélný řez, leptáno 2% Nital

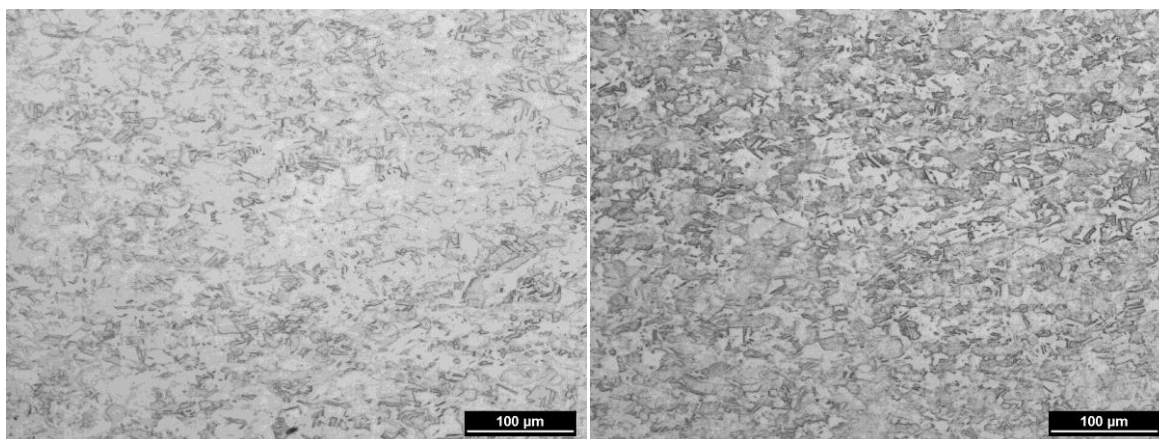
11.9 Mikrostruktura měděného nástřiku

Mikrostruktura měděného nástřiku je uvedena na Obr. 11-13. V mikrostruktuře nejsou patrné žádné dutiny nebo póry, které mohly vzniknout během výroby měděného nástřiku. Mikrostruktura není porovnatelná s mikrostrukturou vzorku mědi (Cu OF, EN1652/1997). U něhož je po naleptání patrná deformovaná austenitická mikrostruktura s dvojčatovými hranicemi zrn (Obr. 11-14).

Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v leptadle 1 (2 g dichromanu draselného, 8 ml kyseliny sírové, 4 ml chloridu sodného, 100 ml destilované vody).



Obr. 11-13 Mikrostruktura měděného nástřiku



Obr. 11-14 Mikrostruktura mědi Cu OF

11.10 Měření pH, E_h, vodivosti a koncentrace kyslíku v GTS

V následujících tabulkách jsou uvedeny stanovené hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h, vodivosti G a koncentrace kyslíku C_{O2} v podzemní laboratoři GTS (Tab. 11-9 až Tab. 11-20). Dále jsou v tabulkách uvedeny orientační hodnoty teploty měřeného roztoku pomocí čidla teploty inkorporovaného v pH elektrodě. Měření koncentrace kyslíku mohlo být ovlivněno přítomností koloidních částic v systému a jejich sorpce na membránu elektrody.

Tab. 11-9 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h, vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 1 roce

Vrt	pH	E _h [mV]	C _{O2} [mg.l ⁻¹]	G [μS.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	7,68	neměřeno	< DL	1201	21,6
15.002	8,24	neměřeno	< DL	1161	23,5
15.003	8,15	-126	< DL	1109	25,7
15.004	7,89	-113	< DL	1266	27,2
15.005	8,09	-46	< DL	1099	22,8

DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,1 mg.l⁻¹

Tab. 11-10 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h, vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 2 letech (přístroje značky Gryf)

Vrt	pH	E _h [mV]	C _{O2} [mg.l ⁻¹]	G [μS.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,69	-90,3	< DL	313	16,4
15.002	8,03	-61,5	< DL	815	28,5
15.003	8,10	-79,0	< DL	906	30,0
15.004	7,63	-55,4	< DL	1035	25,4
15.005	7,72	-36,5	< DL	886	23,5

DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,1 mg.l⁻¹

Tab. 11-11 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h, vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 2 letech (přístroj Portavo 907 Multi)

Vrt	pH	E _h [mV]	C _{O2} [mg.l ⁻¹]	G [μS.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,62	-5,31	< DL	272	16,4
15.002	7,87	-5,54	0,07	760	28,5
15.003	7,97	-55,1	0,07	815	30,0
15.004	7,54	-46,4	0,08	968	25,4
15.005	7,58	-41,5	0,07	817	23,5

DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,01 mg.l⁻¹

Tab. 11-12 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h, vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 3 letech (přístroje značky WTW)

Vrt	pH	E _h [mV]	C _{O2} [mg.l ⁻¹]	G [μS.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,16	33,7	0,037	274	17,9
15.002	8,92	-4,3	0,039	244	23,3
15.003	7,57	-9,1	0,070	763	31,3
15.004	7,07	-81,2	0,047	976	24,0
15.005	7,10	47,6	0,070	935	26,9

DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,02 mg.l⁻¹

Tab. 11-13 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 3 letech (přístroj Portavo 907 Multi)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,08	-125,9	0,02	224	17,0
15.002	8,93	-126,8	0,06	228	23,8
15.003	7,65	-135,3	0,13	764	33,2
15.004	7,12	-87,6	0,06	874	23,6
15.005	7,09	-81,4	0,12	964	27,4

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,01 mg.l⁻¹
Tab. 11-14 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 ze srpna 2019 (přístroje značky WTW)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,36	-159	0,005	284	17,4
15.002	8,58	-141	0,03	240	25,6
15.003	7,18	-94,0	0,21	1098	29,0
15.004	7,74	-56,6	0,07	396	18,7
15.005	7,03	-66,1	0,07	1013	22,1

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,02 mg.l⁻¹
Tab. 11-15 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 4 letech (přístroje značky WTW)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,59	-63,6	0,012	286	15,7
15.002	8,94	-79,3	0,06	248	25,3
15.003	7,28	-37,6	0,07	1112	22,6
15.004	7,98	-32,0	0,02	341	18,1
15.005	7,11	-4,5	0,04	943	18,6

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,02 mg.l⁻¹
Tab. 11-16 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 po 4 letech (přístroj Portavo 907 Multi)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,22	0,1	0,02	248	15,0
15.002	8,64	25,4	< DL	233	21,6
15.003	7,14	-49,1	0,04	970	21,1
15.004	7,71	-14,7	0,02	346	17,8
15.005	7,05	50,3	0,04	827	17,8

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,01 mg.l⁻¹

Tab. 11-1711-18 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020 (přístroje značky WTW)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,41	-50,2	0,007	324	16,3
15.002	8,63	-75,2	0,06	220	22,2
15.003	7,05	-78,1	0,08	1058	24,1
15.004	7,87	-24,7	0,01	360	16,8
15.005	7,65	-28,5	0,01	607	15,6

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,02 mg.l⁻¹
Tab. 11-19 Hodnoty pH, oxidačně redukčního potenciálu E_h , vodivosti G, koncentrace kyslíku C_{O_2} a teploty t ve vrtech 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020 (přístroj Portavo 907 Multi)

Vrt	pH	E_h [mV]	C_{O_2} [mg.l ⁻¹]	G [μ S.cm ⁻¹]	t [°C]
15.001	9,25	-4,6	nem	202	15,7
15.002	8,43	-39,6	nem	170	20,6
15.003	6,96	12,2	nem	790	22,8
15.004	7,74	-6,5	nem	260	16,6
15.005	7,53	14,6	nem	426	15,5

 DL – detekční limit kyslíkové sondy 0,01 mg.l⁻¹, nem – neměřeno z důvodu nefunkčnosti kyslíkové elektrody

U roční korozní zkoušky byly pro kontrolu hodnoty pH a vodivosti G byly znovu změřeny při laboratorní teplotě v laboratoři ÚJV Řež, a. s. Pro měření v laboratoři byla použita pH elektroda HC153 (Theta 90, Česká republika) na přístroji TIM800 (Radiometer Analytical, Francie). Oproti měření v podzemní laboratoři GTS se navíc provedlo měření podzemní vody filtrované přes filtr 0,2 μ m a nefiltrované. V laboratoři byla tedy provedená následující měření: po filtraci na filtru 0,45 μ m (takto měřeno i v GTS), po filtraci na filtrech 0,45 μ m a 0,2 μ m a na nefiltrované vodě. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 11-20. Jak je z naměřených dat patrné, jsou hodnoty obdobné změřeným hodnotám v GTS.

Tab. 11-20 Hodnoty pH a vodivosti G měřené v laboratoři

Vrt	Filtrace	pH	G [μ S.cm ⁻¹]
15.001	0,45 μ m	7,82	1149
	0,2 μ m	7,95	999
	nefiltrováno	7,76	1189
15.002	0,45 μ m	7,99	1083
	0,2 μ m	8,02	1081
	nefiltrováno	8,15	1098
15.003	0,45 μ m	8,11	1055
	0,2 μ m	8,07	1058
	nefiltrováno	8,10	1072
15.004	0,45 μ m	7,87	1237
	0,2 μ m	7,91	1231
	nefiltrováno	7,88	1278
15.005	0,45 μ m	8,03	1078
	0,2 μ m	8,01	1088
	nefiltrováno	7,98	1096

11.11 Stanovení kationtů v podzemní vodě

V Tab. 11-21 až Tab. 11-27 jsou uvedeny stanovené průměrné hodnoty kationtů v podzemních vodách z jednotlivých vrtů pomocí atomové absorpční spektroskopie (AAS) na přístroji SavantAA (GBC, Austrálie).

Tab. 11-21 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po roční korozní zkoušce

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	304	12,4	3,21	6,91	2,97
15.002	286	10,1	2,14	5,54	0,24
15.003	280	8,64	2,27	4,95	0,65
15.004	313	9,36	2,17	4,86	0,27
15.005	276	8,74	2,36	5,19	0,44

Tab. 11-22 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po dvouleté korozní zkoušce

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	73,7	6,19	0,18	2,13	0,53
15.002	233	10,2	1,36	7,88	0,17
15.003	230	11,6	0,75	2,90	0,34
15.004	257	10,7	1,31	4,34	0,27
15.005	229	10,6	1,12	4,47	0,45

Tab. 11-23 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po tříleté korozní zkoušce

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	60,9	7,99	0,16	3,30	0,16
15.002	51,5	6,39	0,14	2,88	0,69
15.003	179	10,0	0,67	3,15	0,14
15.004	248	11,6	0,41	6,90	0,39
15.005	232	8,53	0,39	6,48	0,50

Tab. 11-24 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 ze srpna 2019

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	61,6	5,83	0,28	4,33	0,26
15.002	49,6	6,29	0,29	4,08	0,97
15.003	281	10,09	3,32	10,87	0,44
15.004	66,2	5,46	1,19	24,09	0,10
15.005	253	9,99	4,45	16,09	0,81

Tab. 11-25 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po čtyřech letech experimentu

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	49,75	14,49	0,09	6,65	0,06
15.002	45,62	5,64	0,59	5,34	1,33
15.003	274,00	13,19	0,39	12,61	1,03
15.004	63,38	11,79	1,02	22,46	0,13
15.005	211	16,73	0,45	16,59	1,52

Tab. 11-26 Stanované průměrné koncentrace kationtů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 při odběru modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020

Vrt	C [mg.l ⁻¹]				
	Na	K	Mg	Ca	Fe
15.001	48,5	16,9	0,1	3,2	0,03
15.002	41,6	7,3	0,1	4,1	0,05
15.003	251	13,9	4,1	13,4	1,30
15.004	53,5	6,8	0,8	22,4	0,09
15.005	130	9,9	2,5	9,8	0,65

Tab. 11-27 Stanovené koncentrace kationtů v podzemní vodě použité pro předsycení modulů

C [mg.l ⁻¹]				
Na	K	Mg	Ca	Fe
8,3	0,2	0,009	7,5	< 0,1

11.12 Stanovení aniontů v podzemní vodě

V Tab. 11-28 až Tab. 11-34 jsou uvedeny stanovené koncentrace vybraných aniontů v podzemní vodě odebrané z jednotlivých vrtů a v Tab. 11-34 jsou uvedené stanovené koncentrace v podzemní vodě použité pro předsycení modulů.

Pozn. mezi rokem 2016 a 2017 došlo ke změně standardu na iontovém chromatografu ICS 3000 (Dionex, USA) a proto došlo ke změně mezí stanovitelnosti.

Tab. 11-28 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po roční korozní zkoušce

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	2,65	4,75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	754
15.002	3,49	3,50	< 2	n.d.	n.d.	< 1,5	< 4	772
15.003	3,10	3,38	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 4	748
15.004	2,81	3,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	< 4	884
15.005	3,22	3,68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	760

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti

Tab. 11-29 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po dvouleté korozní zkoušce

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	6,44	7,11	n.d.	< 2	< 2	3,21	< 4	175
15.002	10,6	9,32	< 2	< 2	< 2	3,26	< 4	497
15.003	10,8	5,81	n.d.	< 2	< 2	< 1	< 4	555
15.004	9,62	5,11	< 2	< 2	< 2	< 1	< 4	566
15.005	10,0	5,31	< 2	< 2	< 2	< 1	n.d.	545

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti

Tab. 11-30 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po tříleté korozní zkoušce

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	6,93	4,17	n.d.	n.d.	< 2	3,04	n.d.	89,8
15.002	7,66	3,65	n.d.	< 2	< 2	< 1	n.d.	88,2
15.003	9,88	4,03	n.d.	n.d.	n.d.	2,45	n.d.	371
15.004	7,87	4,64	n.d.	n.d.	n.d.	< 1	n.d.	391
15.005	8,01	3,53	n.d.	n.d.	< 2	< 1	n.d.	351

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti

Tab. 11-31 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 ze srpna 2019

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	8,05	5,39	n.d.	n.d.	<1	6,59	n.d.	nes.
15.002	8,17	6,47	n.d.	n.d.	<1	2,23	n.d.	nes.
15.003	9,83	5,56	n.d.	n.d.	<1	1,13	n.d.	nes.
15.004	6,57	3,36	n.d.	n.d.	<1	2,44	n.d.	nes.
15.005	8,75	3,5	n.d.	n.d.	n.d.	0,93	n.d.	nes.

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti, nes. – nestanovováno z důvodu malého množství vzorků

Tab. 11-32 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 po čtyřleté korozní zkoušce

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	8,01	13,5	n.d.	n.d.	<2	8,86	n.d.	112
15.002	8,38	5,61	n.d.	n.d.	<2	16,3	n.d.	96,5
15.003	10,5	6,64	n.d.	n.d.	n.d.	<1	n.d.	96,5
15.004	6,92	7,74	n.d.	n.d.	n.d.	2,58	n.d.	192
15.005	10,9	9,33	n.d.	n.d.	n.d.	<1	n.d.	316

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti

Tab. 11-33 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě z vrtů 15.001 až 15.005 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020

Vrt	c [mg.l ⁻¹]							Celková alkalinita
	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	
15.001	7,56	15,5	n.d.	n.d.	n.d.	6,49	n.d.	101
15.002	8,26	6,97	n.d.	n.d.	n.d.	4,72	n.d.	94,1
15.003	11,9	5,32	n.d.	n.d.	n.d.	1,21	n.d.	391
15.004	6,45	5,64	n.d.	n.d.	n.d.	3,48	n.d.	178
15.005	9,28	7,84	n.d.	n.d.	n.d.	1,46	n.d.	205

Pozn. n.d. – nedetekováno, < X pod mezí stanovitelnosti

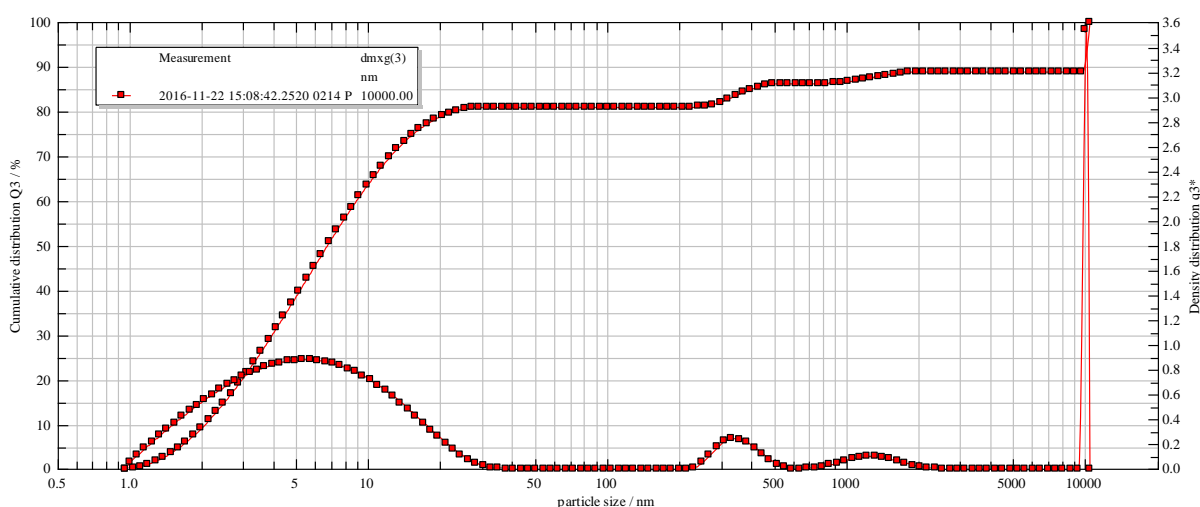
Tab. 11-34 Stanovené koncentrace aniontů v podzemní vodě použité pro předsycení modulů

c [mg.l ⁻¹]				
Fluoridy	Chloridy	Dusičnany	Sírany	Celková alkalinita
3,90	0,43	nedetekováno	5,64	18,1

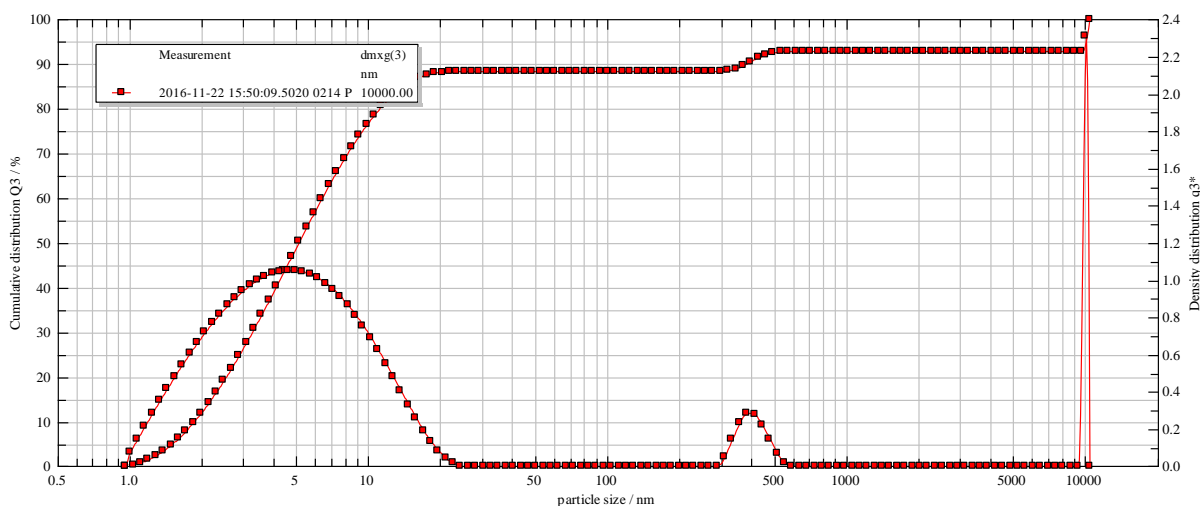
11.13 Stanovení koloidních částic v roztoku

Na následujících grafech Obr. 11-15 až Obr. 11-26 jsou zobrazeny distribuční křivky koloidních částic ve vrtech, kde bylo množství koloidních částic dostatečné velké, aby bylo možné provést vyhodnocení. Ve vrtech, které nejsou uvedeny, byly koloidní částice detekovány, ale jejich množství nebylo dostatečné pro vyhodnocení měření. U vrtu 15.002 bylo po vyjmutí modulů po dvou letech, odebrán také vzorek vody nad dnem vrtu, jehož výsledky jsou uvedeny na Obr. 11-18. Difrakční záznam koloidních částic zachycených na filtru je uveden na Obr. 11-27. Jak je z výsledku difrakčního záznamu patrné, jsou v systému bentonitové koloidní částice.

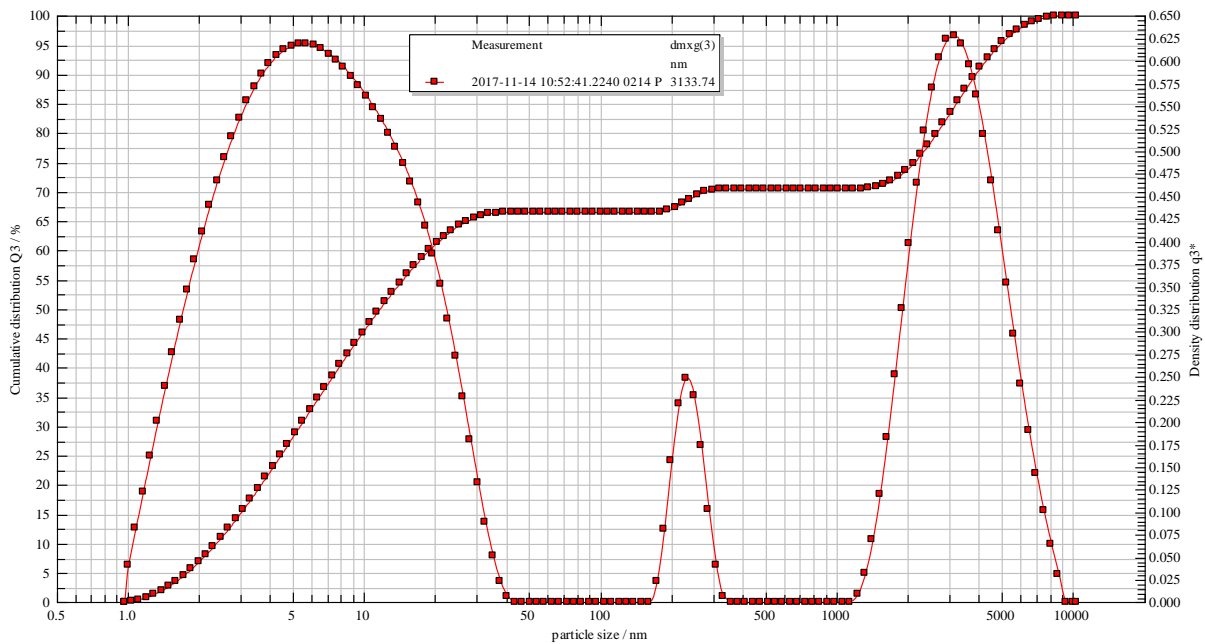
Celkově je nutné brát výsledky distribuce koloidních částic pouze jako potvrzení přítomnosti bentonitových koloidních částic v roztoku z důvodu změn podmínek v systému (např. teplota) po odebrání vzorků podzemních vod, neboť změna podmínek může vést např. ke koagulaci koloidních částic.



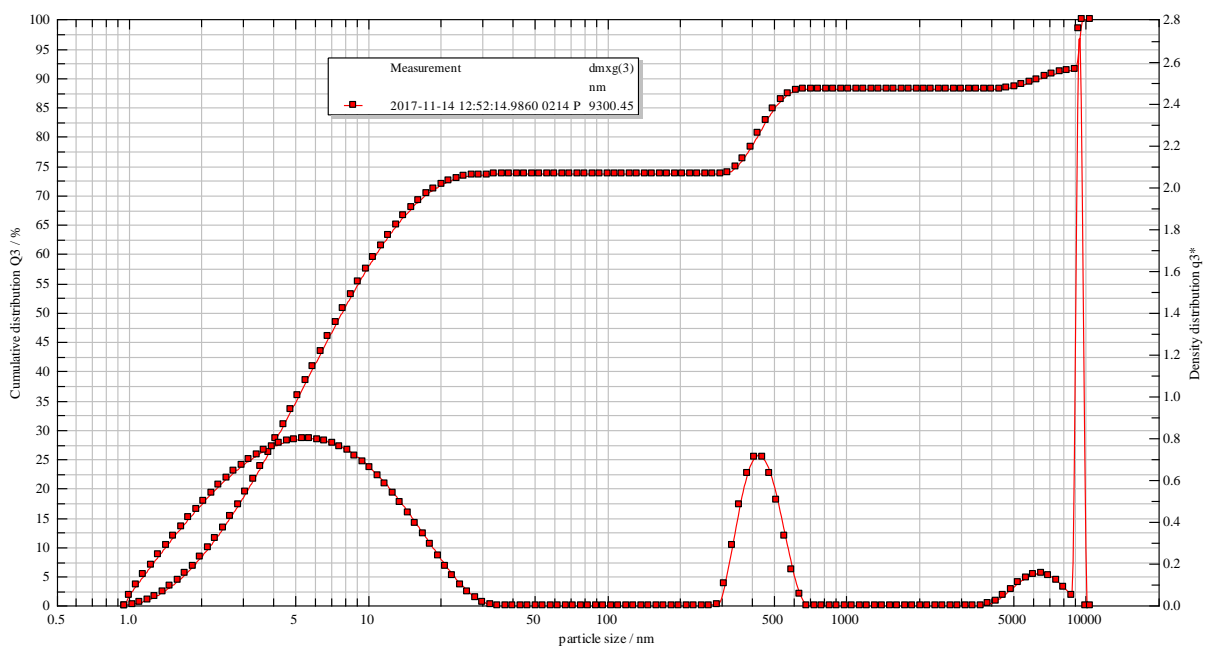
Obr. 11-15 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 1 roce



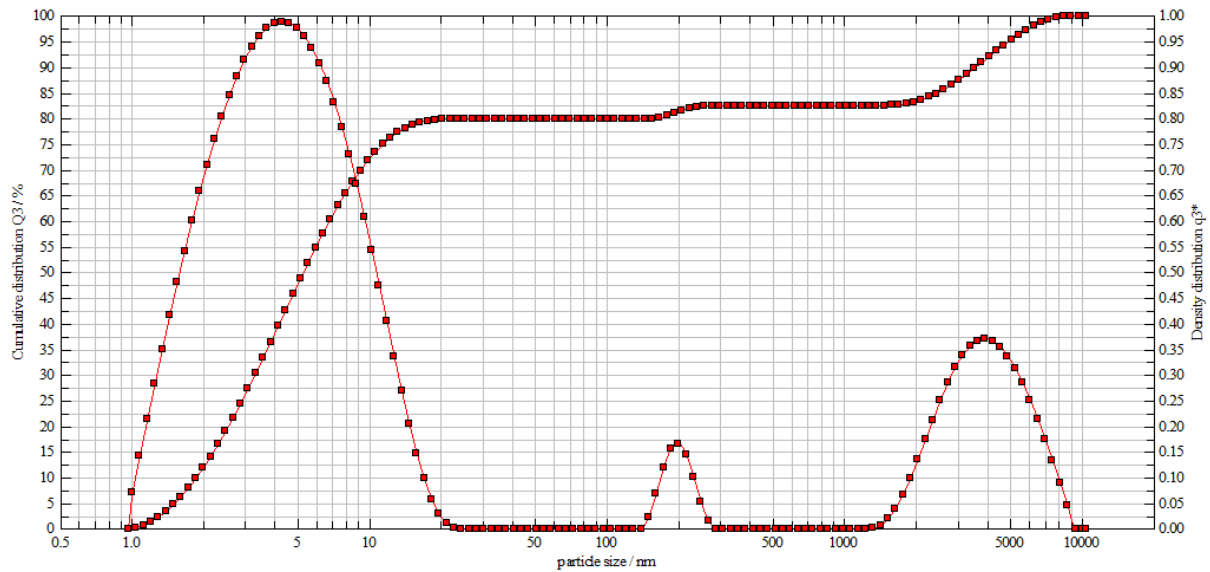
Obr. 11-16 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 po 1 roce



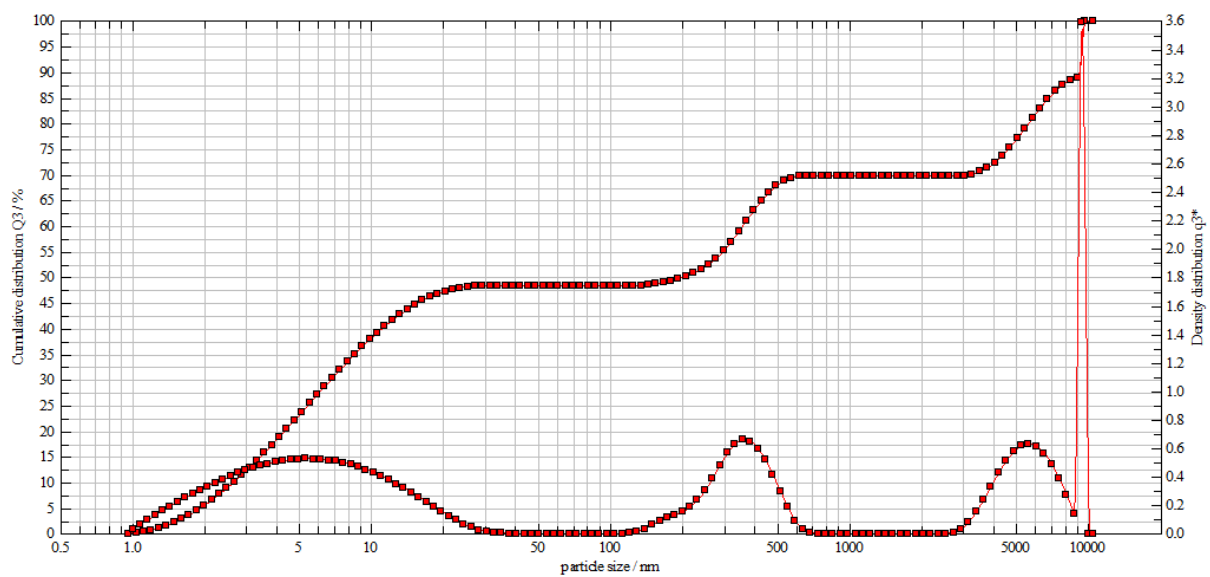
Obr. 11-17 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 2 letech



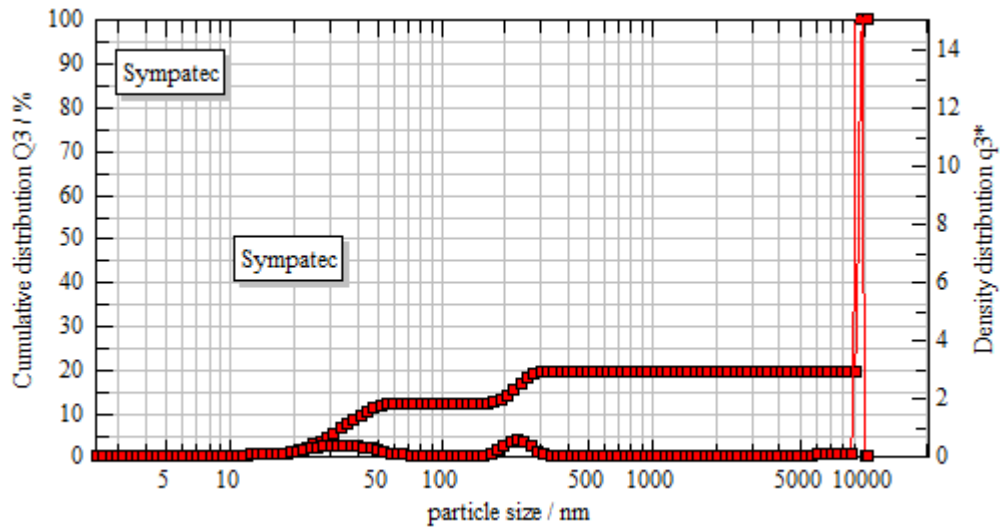
Obr. 11-18 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 2 letech ze vzorku vody odebraného po vyjmutí modulů u dna vrtu



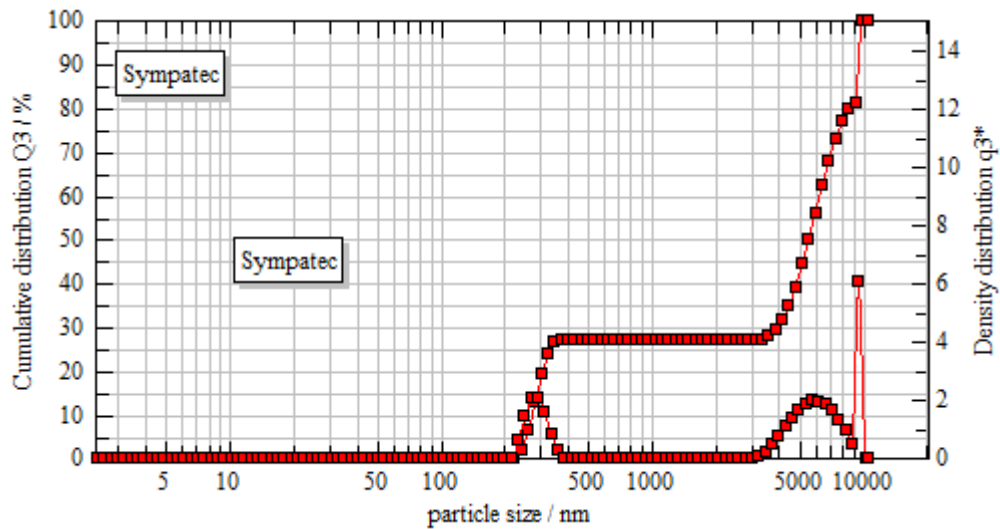
Obr. 11-19 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 3 letech



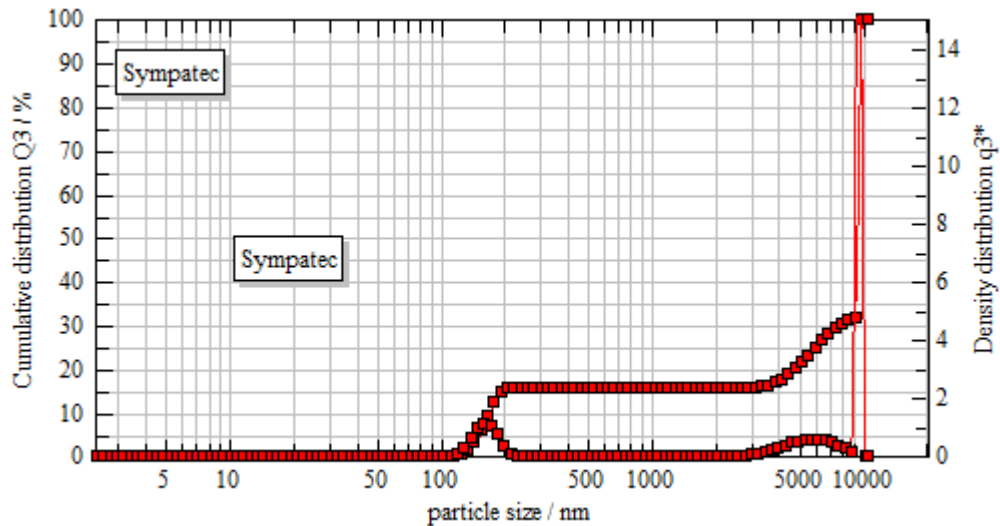
Obr. 11-20 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 3 letech



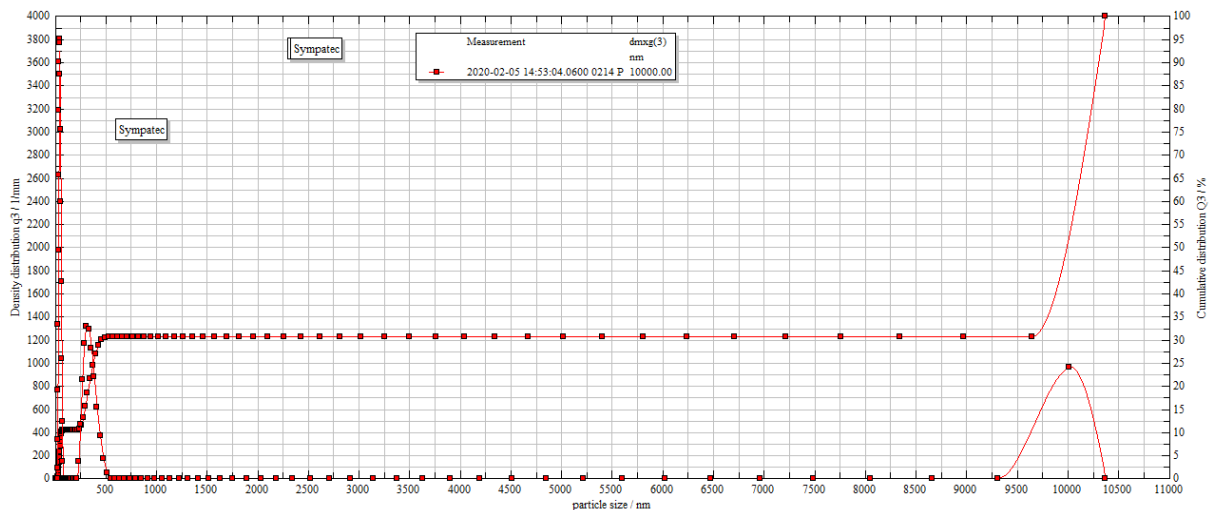
Obr. 11-21 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.001 po 4 letech



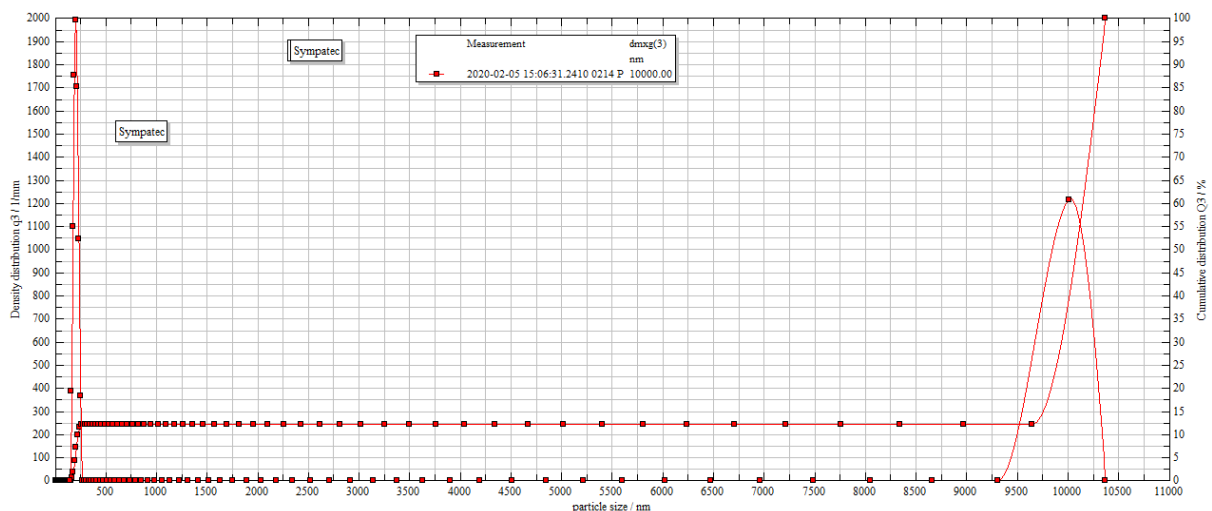
Obr. 11-22 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 po 4 letech



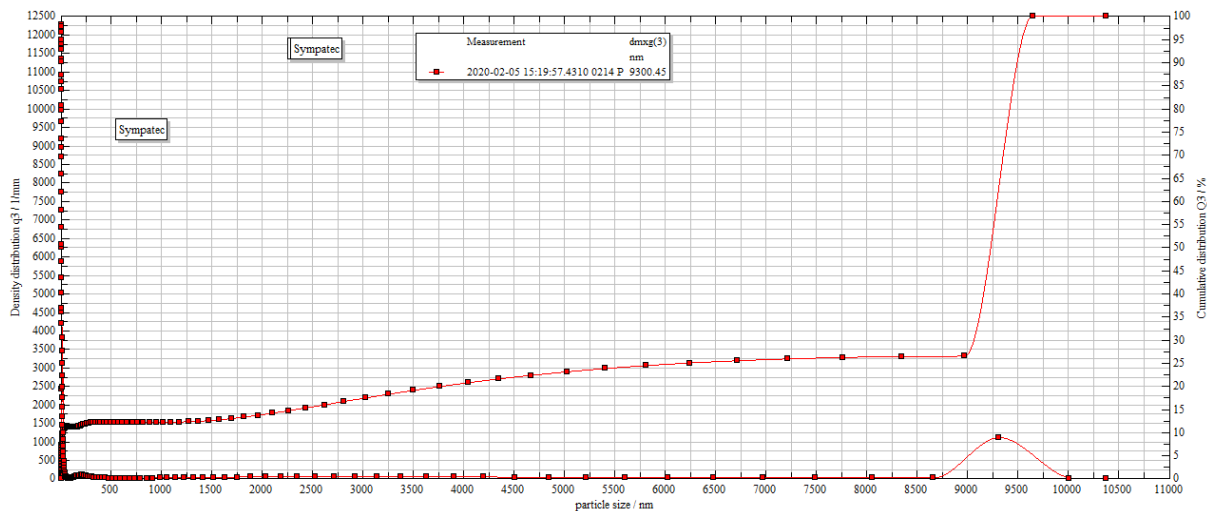
Obr. 11-23 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 po 4 letech



Obr. 11-24 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.002 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020



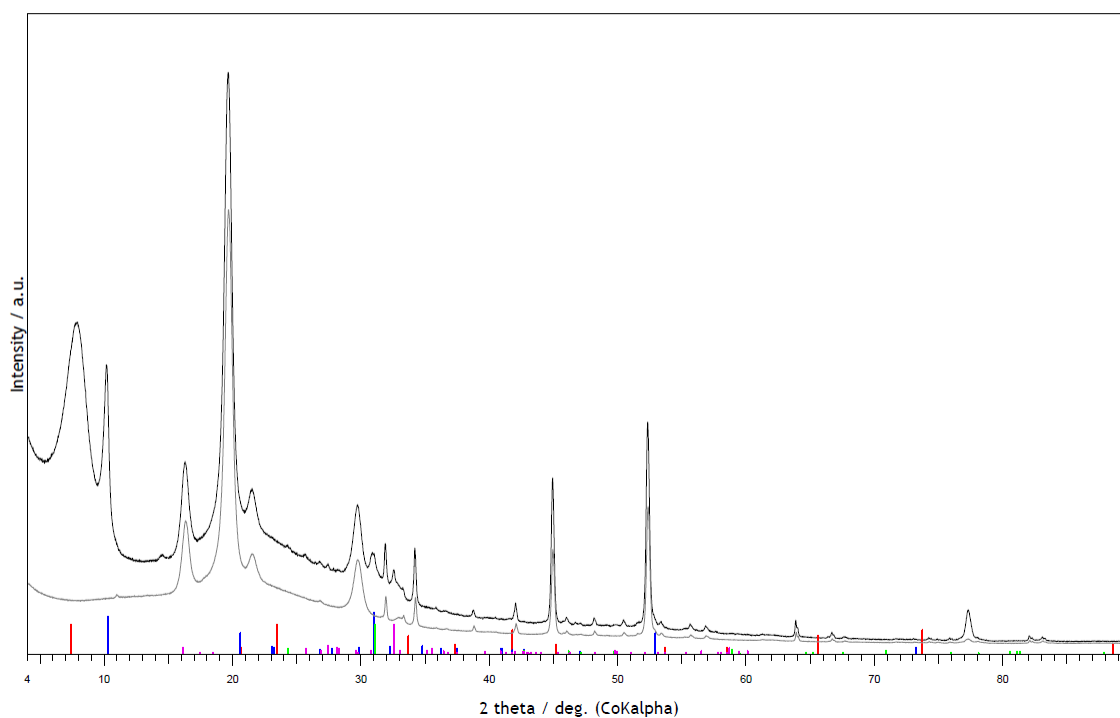
Obr. 11-25 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.003 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020



Obr. 11-26 Distribuční křivka objemu částic q3 a integrální rozdělovací funkce objemu koloidních částic Q3 ve vrtu 15.004 při vyjmutí modulů z vrtu 15.005 v lednu 2020

UJV Dobrev filtr Millipore s usadou
 UJV Dobrev filtr Millipore čistý
 03-0016 (D) - Montmorillonite, syn - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
 09-0466 (*) - Albite, ordered - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$



Obr. 11-27 Difrakční záznam zachycených koloidních částic na filtru

11.14 Stanovení vlhkosti bentonitu po korozní zkoušce

Stanovené hodnoty vlhkosti bentonitů z jednotlivých modulů jsou uvedeny v tabulce Tab. 11-35, až v Tab. 11-38. Stanovení vlhkosti bentonitových vzorků je provedeno modifikovanou zkouškou podle ČSN ISO/TS 17892-1. Jak je z uvedené tabulky patrné, liší se stanovené hodnoty vlhkosti u ročního experimentu dle místa odběru. To je dáno rozdílnou dobou vzorkování bentonitů v rukavicovém boxu. Vzhledem k vneseným nejistotám do stanovených vlhkostí (přechod přes vakuovou komoru rukavicového boxu, osychání vzorků v rukavicovém boxu) lze předpokládat, že je skutečná hodnota vlhkosti nepatrně vyšší. Doposud stanovené hodnoty vlhkostí jsou obdobné u všech modulů, které byly vyjmuty z vrtů.

Tab. 11-35 Stanovené hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po roční korozní zkoušce

Modul	Místo odběru vzorků bentonitu	Vlhkost [%]
MaCoTe_AN_MX80_Cu_7	Oblast pod horním víkem	37,2
MaCoTe_AN_MX80_Fe_1	Oblast pod horním víkem	33,9
MaCoTe_AN_BaM_Fe_1	Oblast pod horním víkem	31,9
MaCoTe_AN_MX80_Cu_7	Oblast pod spodním víkem	35,8
MaCoTe_AN_MX80_Fe_1	Oblast pod spodním víkem	36,3
MaCoTe_AN_BaM_Fe_1	Oblast pod spodním víkem	34,4

Tab. 11-36 Stanovené hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po dvouleté korozní zkoušce

Modul	Místo odběru vzorků bentonitu	Vlhkost [%]
MaCoTe_AN_MX80_Cu_2	Oblast pod horním víkem	36,4
MaCoTe_AN_MX80_Fe_2	Oblast pod horním víkem	35,8
MaCoTe_AN_BaM_Fe_2	Oblast pod horním víkem	31,7
MaCoTe_AN_MX80_Cu_2	Oblast pod spodním víkem	35,9
MaCoTe_AN_MX80_Fe_2	Oblast pod spodním víkem	36,9
MaCoTe_AN_BaM_Fe_2	Oblast pod spodním víkem	36,5

Tab. 11-37 Stanovené hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po tříleté korozní zkoušce

Modul	Místo odběru vzorků bentonitu	Vlhkost [%]
MaCoTe_AN_MX80_Cu_5	Oblast pod horním víkem	36,9
MaCoTe_AN_MX80_Fe_5	Oblast pod horním víkem	35,0
MaCoTe_AN_BaM_Fe_5	Oblast pod horním víkem	36,9
MaCoTe_AN_MX80_Cu_5	Oblast pod spodním víkem	37,7
MaCoTe_AN_MX80_Fe_5	Oblast pod spodním víkem	35,9
MaCoTe_AN_BaM_Fe_5	Oblast pod spodním víkem	38,2

Tab. 11-38 Stanovené hodnoty vlhkosti odebraných vzorků bentonitů po čtyřleté korozní zkoušce

Modul	Místo odběru vzorků bentonitu	Vlhkost [%]
MaCoTe_AN_BaM_Fe_7	Oblast pod horním víkem	35,4
MaCoTe_AN_BaM_Fe_7	Oblast pod spodním víkem	35,6

POZN: Ostatní moduly nešli z technických důvodů rozebrat při vlhkém bentonitu a proto nejsou hodnoty stanoveny

11.15 Stanovení korozní rychlosti kovových vzorků

V následujících tabulkách Tab. 11-39 až Tab. 11-48 jsou uvedeny průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v prostředí bentonitu BaM a MX-80 stanovené přes hmotnostní úbytky za jednotlivé roky a průměrné korozní rychlosti za celou dobu experimentu.

Tab. 11-39 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 1 roce

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.rok ⁻¹]	[$\mu\text{m.rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-02	429	19,3
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-03	415	18,7
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-04	448	20,2
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-05	402	18,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-06	431	19,4
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-07	443	20,0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-08	464	20,9
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-09	580	26,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-10	653	29,4
Průměrná korozní rychlost $21 \pm 3 \mu\text{m.rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,2$)

Tab. 11-40 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 1 roce

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.rok ⁻¹]	[$\mu\text{m.rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-02	390	17,6
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-03	399	18,0
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-04	415	18,7
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-05	445	20,0
Průměrná korozní rychlost $18,6 \pm 1,8 \mu\text{m.rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,7$)

Tab. 11-41 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 2 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.rok ⁻¹]	[$\mu\text{m.rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-02	155	7,0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-03	51,6	2,3
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-04	82,4	3,7
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-05	113	5,1

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-06	16,3	0,74
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-07	123	5,5
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-08	179	8,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-09	215	9,7
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-10	420	19
Průměrná korozní rychlost $6,8 \pm 4,3 \mu\text{m.rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,2$)

Tab. 11-42 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 2 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.rok^{-1}]	[$\mu\text{m.rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-02	4,9	9,1
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-03	4,8	8,9
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-04	20	27,7
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-05	0	0
Průměrná korozní rychlost $11,4 \pm 19,8 \mu\text{m.rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,7$)

0 – hmotnostní úbytek mezi počítanými roky je menší než průměrný hmotnostní úbytek z předcházejícího roku

Tab. 11-43 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu BaM po 3 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [$\text{mg.cm}^{-2}.\text{rok}^{-1}$]	[$\mu\text{m.rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-02	0,95	1,2
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-03	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-04	0,61	0,8
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-05	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-06	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-07	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-08	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-09	0	0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-10	7,3	9,3
Průměrná korozní rychlost $1,2 \pm 2,4 \mu\text{m.rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,2$)

0 – hmotnostní úbytek mezi počítanými roky je menší než průměrný hmotnostní úbytek z předcházejícího roku

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

Tab. 11-44 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli v bentonitu MX-80 po 3 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.cm ⁻² .rok ⁻¹]	[$\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-02	1,4	1,7
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-03	0,3	0,4
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-04	0	0
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-05	0	0
Průměrná korozní rychlost $0,5 \pm 1,4 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,7$)

0 – hmotnostní úbytek mezi počítanými roky je menší než průměrný hmotnostní úbytek z předcházejícího roku

Tab. 11-45 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu BaM po 2 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.cm ⁻² .rok ⁻¹]	[$\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-02	11,2	14,2
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-03	9,32	11,9
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-04	9,9	12,6
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-05	10,4	13,3
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-06	8,7	11,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-07	10,6	13,5
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-08	11,6	14,7
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-09	12,2	15,6
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-10	15,8	20,1
Průměrná korozní rychlost $14,1 \pm 2,1 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,2$)

Tab. 11-46 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu MX-80 po 2 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.cm ⁻² .rok ⁻¹]	[$\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-02	10,9	13,8
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-03	10,8	13,8
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-04	18,1	23,1
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-05	2,7	3,4
Průměrná korozní rychlost $13,5 \pm 13,6 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$		

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,7$)

Tab. 11-47 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu BaM po 3 letech

Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.cm ⁻² .rok ⁻¹]	[$\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-02	7,7	9,8
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-03	6,9	8,8
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-04	7,6	9,6
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-05	6,8	8,6
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-06	6,5	8,2
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-07	7,1	9,0
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-08	7,2	9,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-09	7,1	9,1
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-10	9,8	12,5
Průměrná korozní rychlost $9,4 \pm 1,0 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,2$)

Tab. 11-48 Stanovené průměrné korozní rychlosti uhlíkové oceli za celou dobu experimentu v bentonitu MX-80 po 3 letech

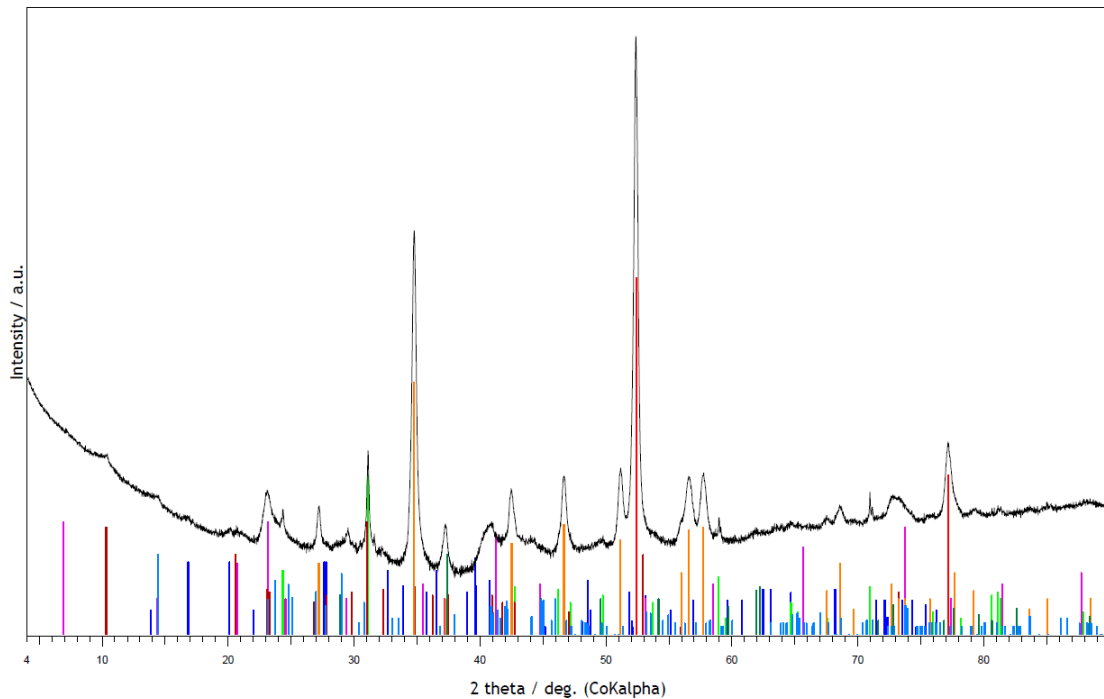
Vzorek	Hmotnostní úbytek	Korozní rychlost
Číslo	Δm [mg.cm ⁻² .rok ⁻¹]	[$\mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$]
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-02	7,5	9,5737
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-03	7,1	9,1066
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-04	6,7	8,5952
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-05	7,0	8,9530
Průměrná korozní rychlost $9,1 \pm 0,7 \mu\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$		

V tabulce je uvedena hodnota ve tvaru $x \pm 2k\sigma$ (σ - směrodatná odchylka aritmetického průměru, $k = 1,7$)

11.16 Rentgenová difrakční analýza po 1 roce

Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí rentgenové difrakční analýzy přístrojem PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, B. V., Almelo, The Netherlands, Co katoda, 40 kV, 30 mA) po jednom roce jsou uvedeny na Obr. 11-28 až Obr. 11-43.

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)CO₃
 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃
 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄

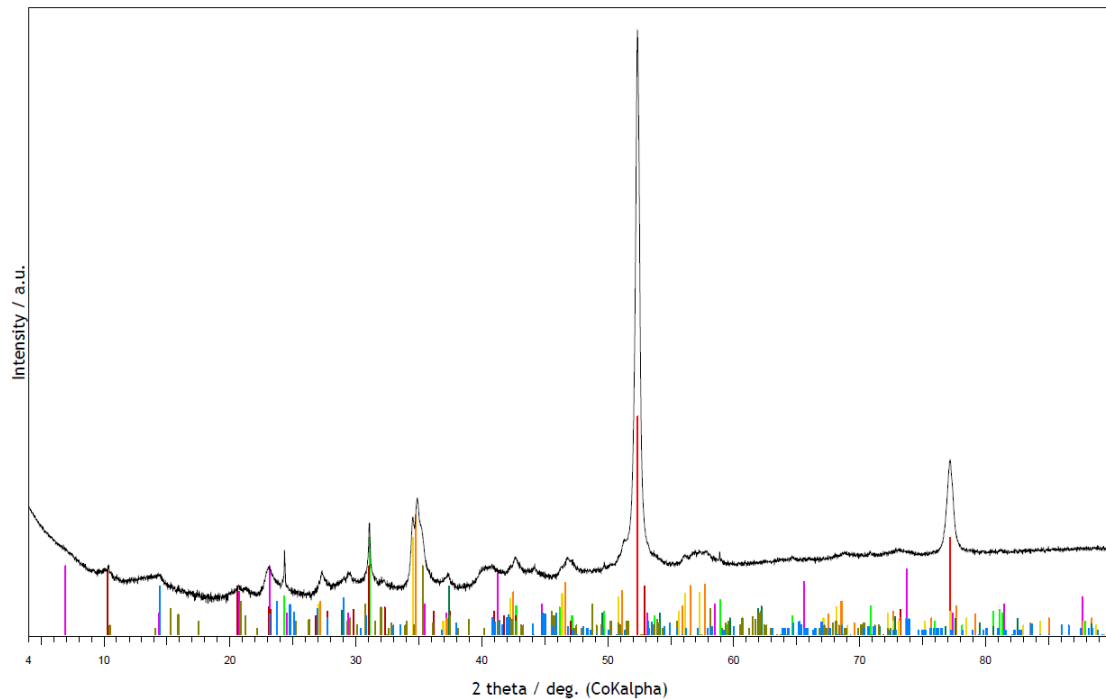


Obr. 11-28 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H3O)Al2Si3AlO
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg.129Ca.871)(CO
 29-0696 (*) - Siderite - FeCO3
 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg0.06Ca0.94

74-0360 (C) - Foshagite - Ca4(Si3O9)(OH)2
 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al2(Si2O5)(OH)4

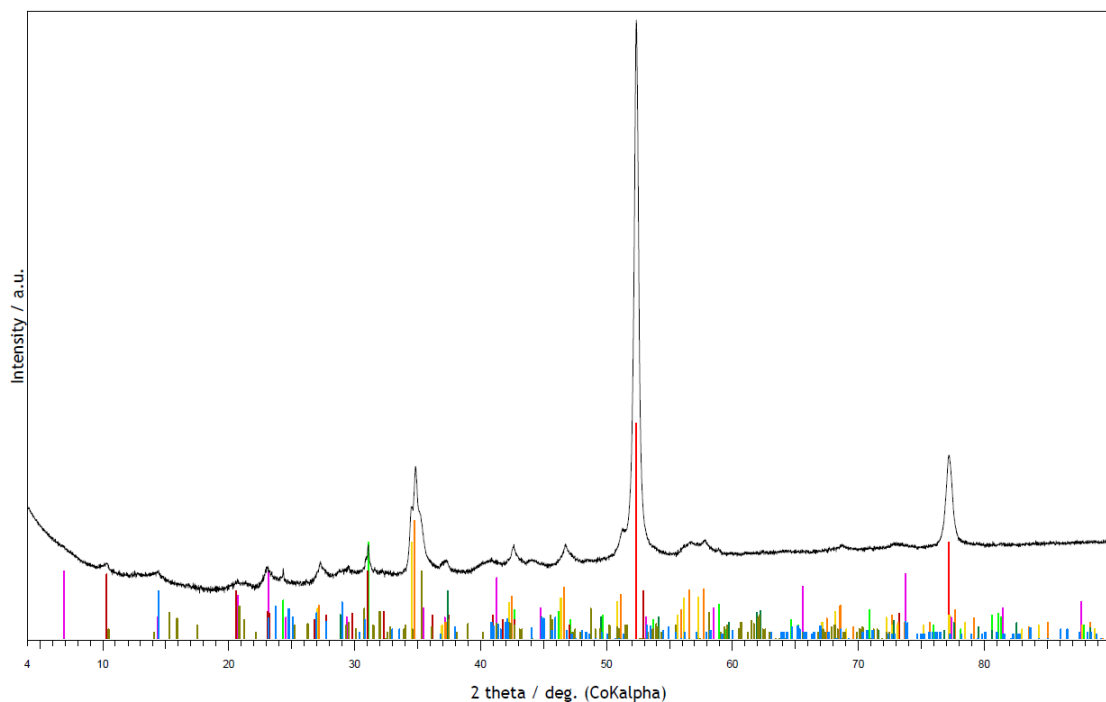


Obr. 11-29 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H3O)Al2Si3AlO
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg.129Ca.871)(CO
 29-0696 (*) - Siderite - FeCO3
 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg0.06Ca0.94

74-0360 (C) - Foshagite - Ca4(Si3O9)(OH)2
 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al2(Si2O5)(OH)4



Obr. 11-30 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04

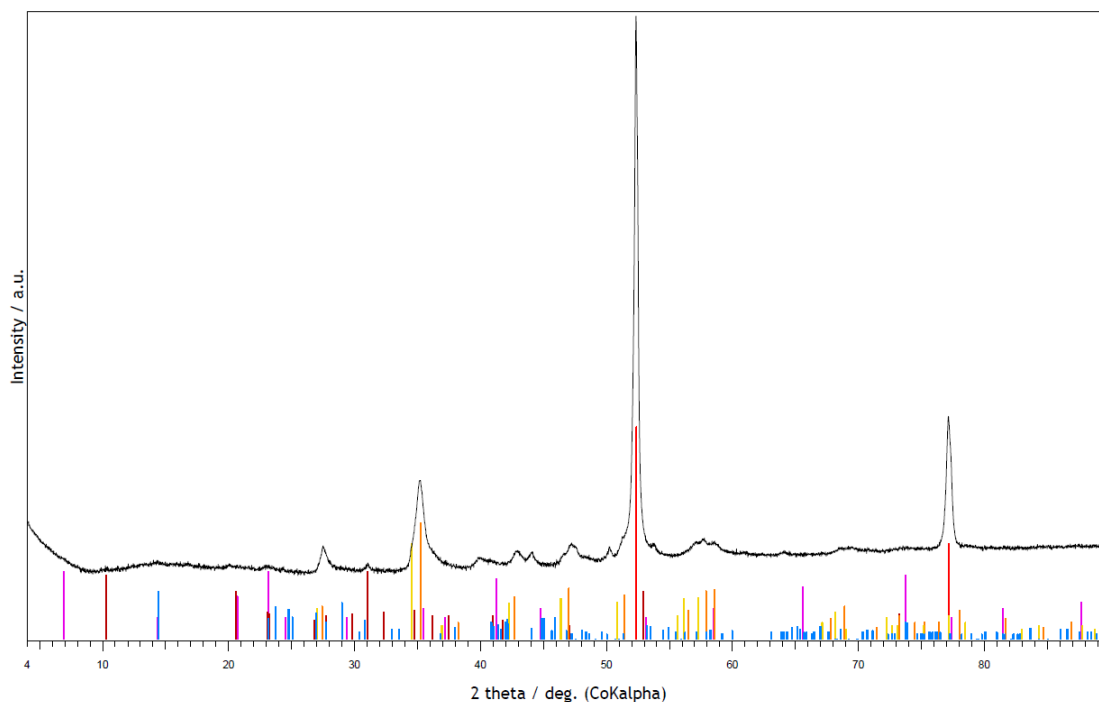
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie? - (Mg_{0.129}Ca_{0.871})(CO₃)

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})(CO₃)

 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄


Obr. 11-31 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO

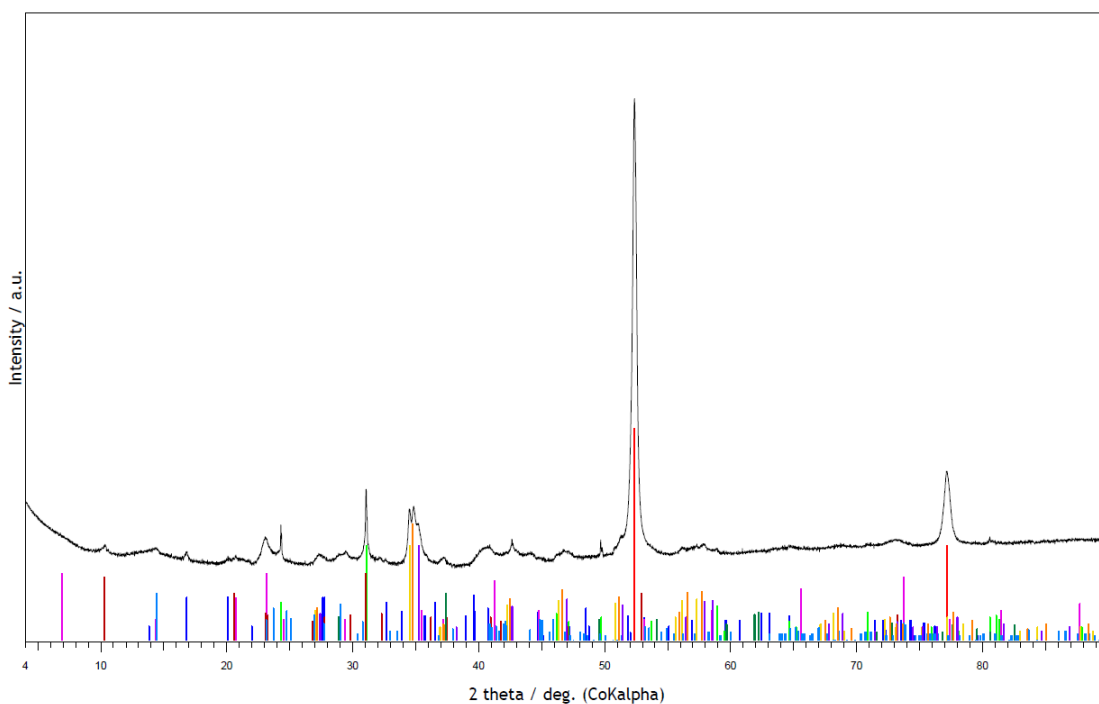
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg_{0.129}Ca_{0.871})(CO

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94}

 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?



Obr. 11-32 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀

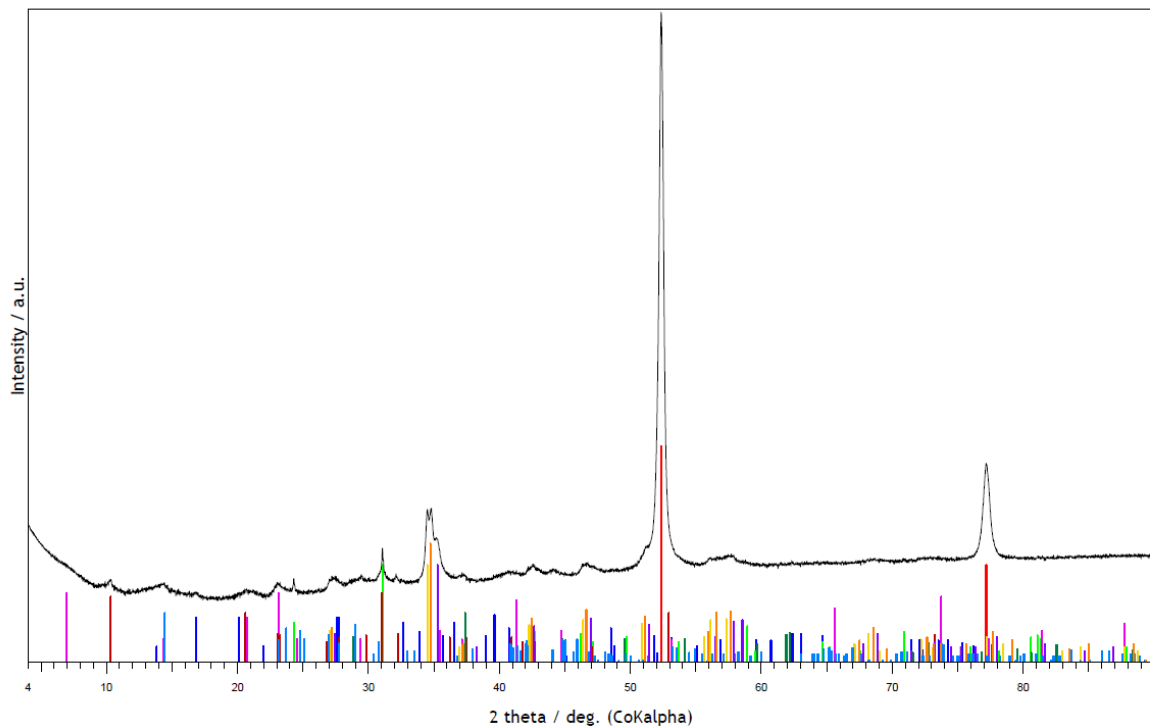
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)₁₀₀₀

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})CO₃

 80-0885 (C) - Kaolinite 1 ITA RG - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stochiometrie ?



Obr. 11-33 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

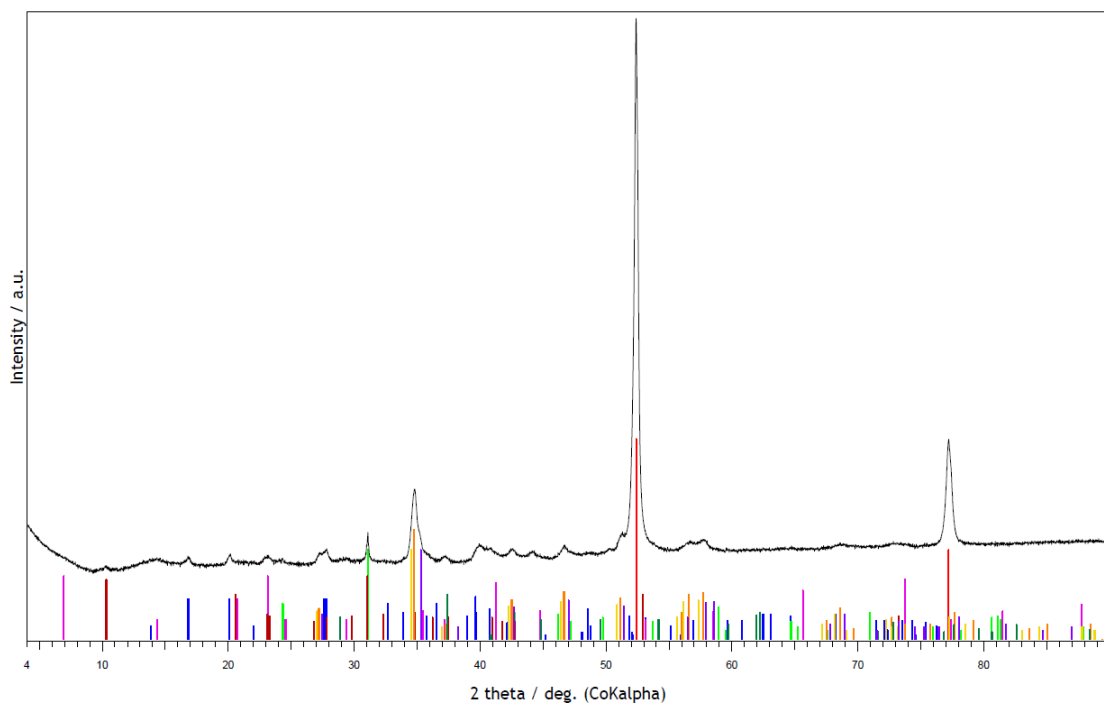
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)₁₀₀₀

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})CO₃

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stochiometrie ?



Obr. 11-34 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

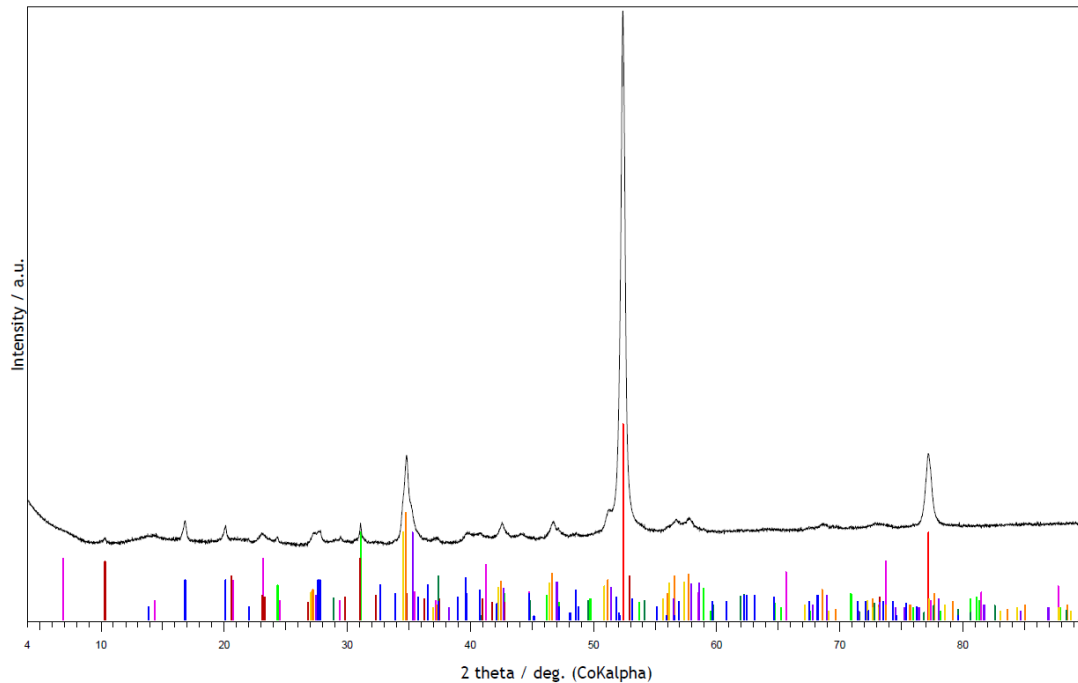
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg_{0.129}Ca_{0.871})CO₃

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})CO₃

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?



Obr. 11-35 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

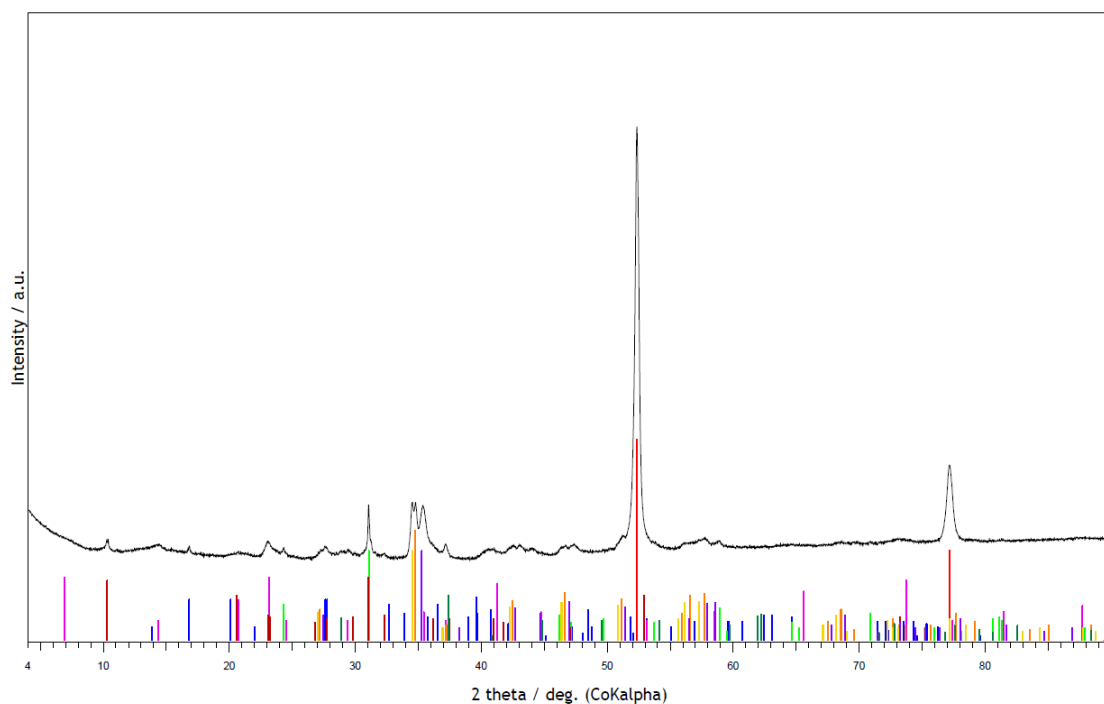
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg_{0.129}Ca_{0.871})CO₃

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 89-1305 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})CO₃

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?

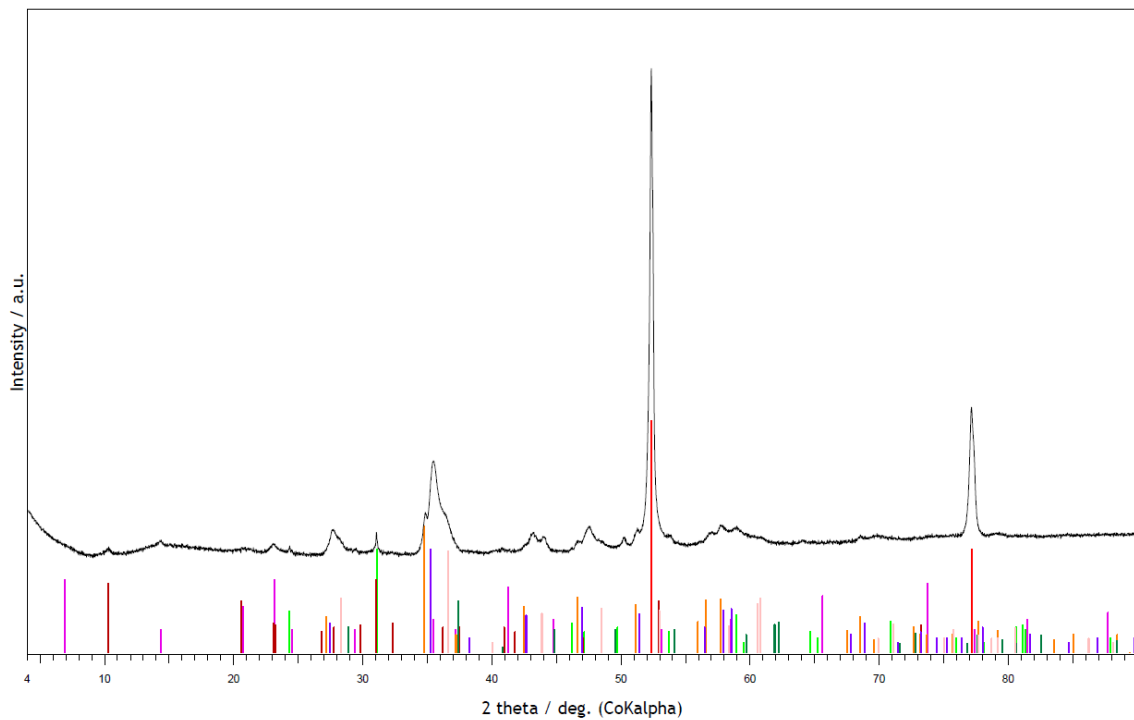


Obr. 11-36 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)CO
 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃
 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?

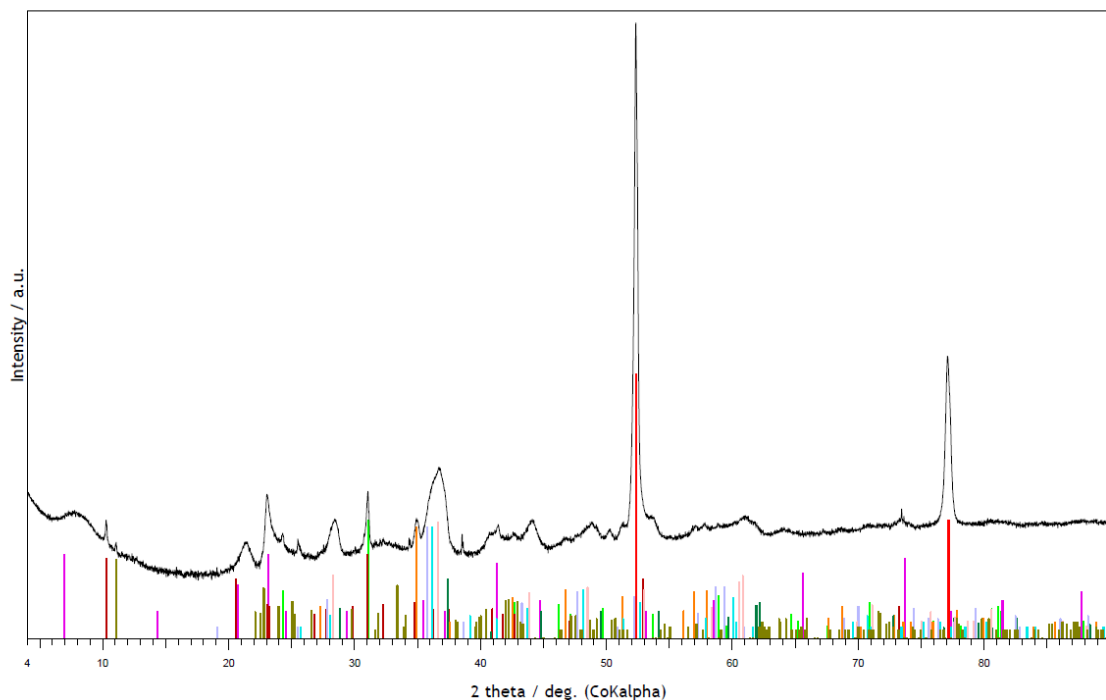


Obr. 11-37 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO
 86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?
 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃
 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)CO
 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃
 83-1768 (C) - Talc - Mg₃(OH)₂Si₄O₁₀



Obr. 11-38 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H3O)Al2Si3AlO

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?

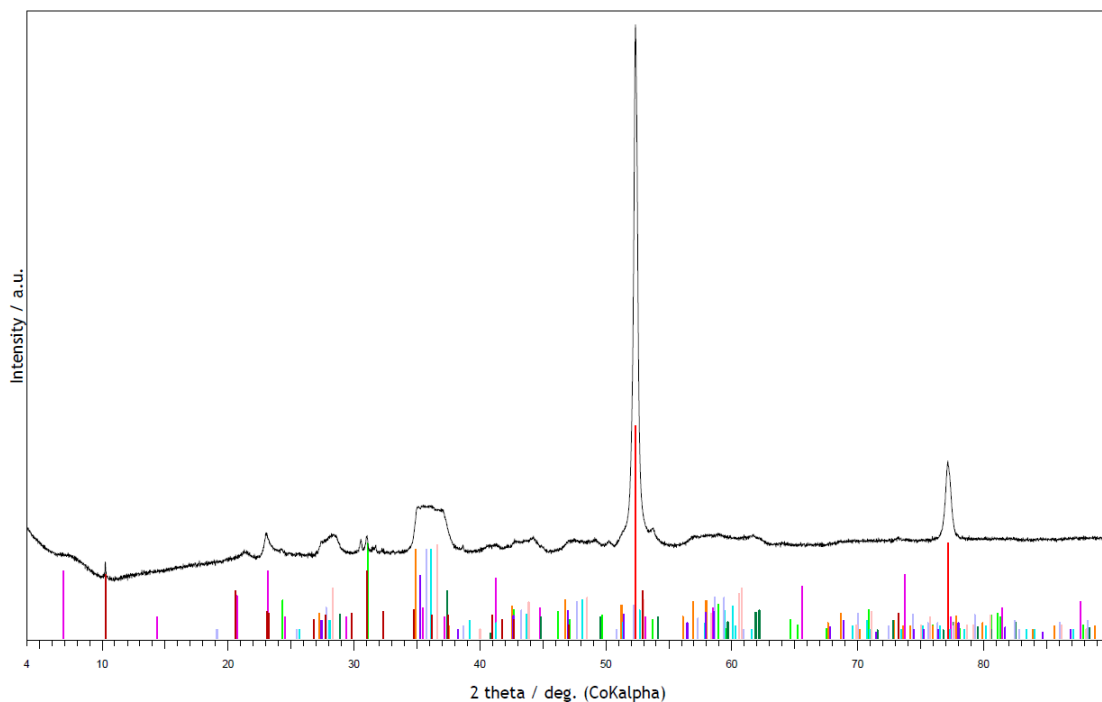
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)CO

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ?



Obr. 11-39 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

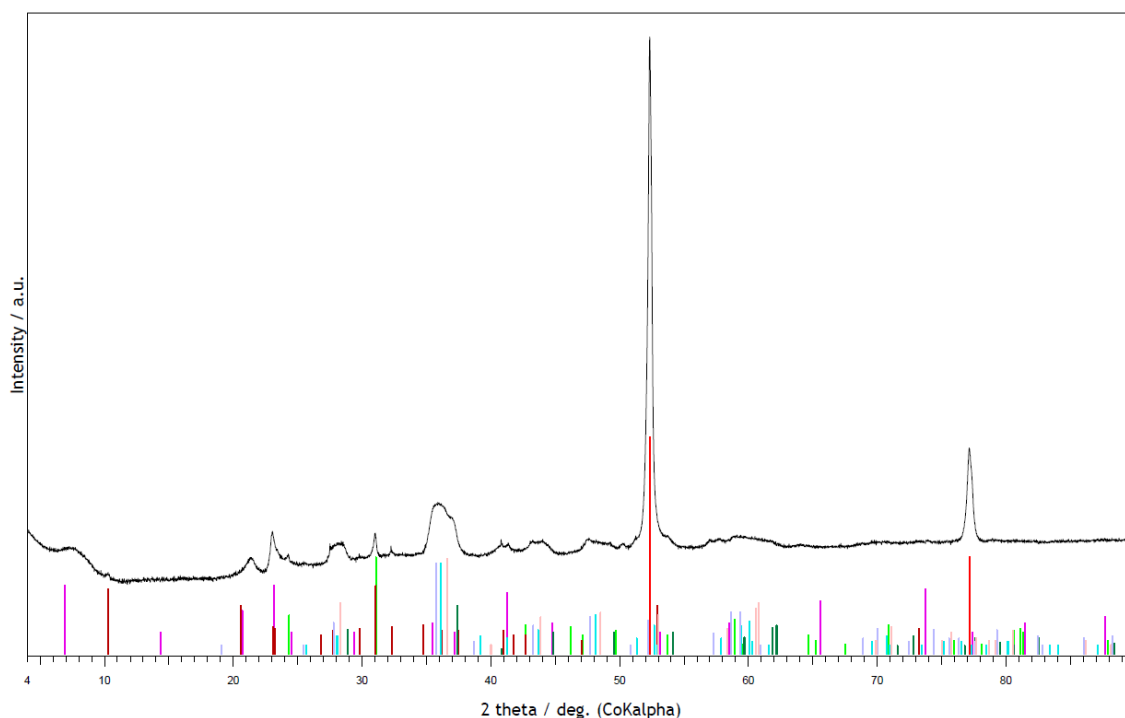
26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H3O)Al2Si3AlO

29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)CO

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3



Obr. 11-40 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

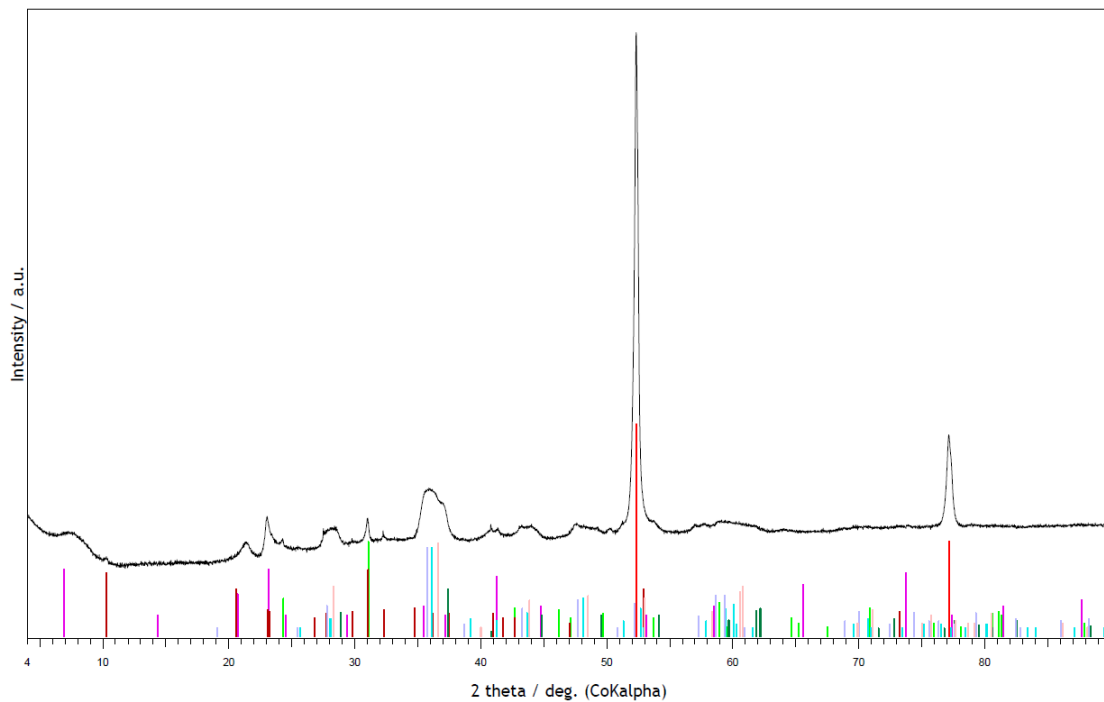
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂

 43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)CO₃

 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃


Obr. 11-41 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

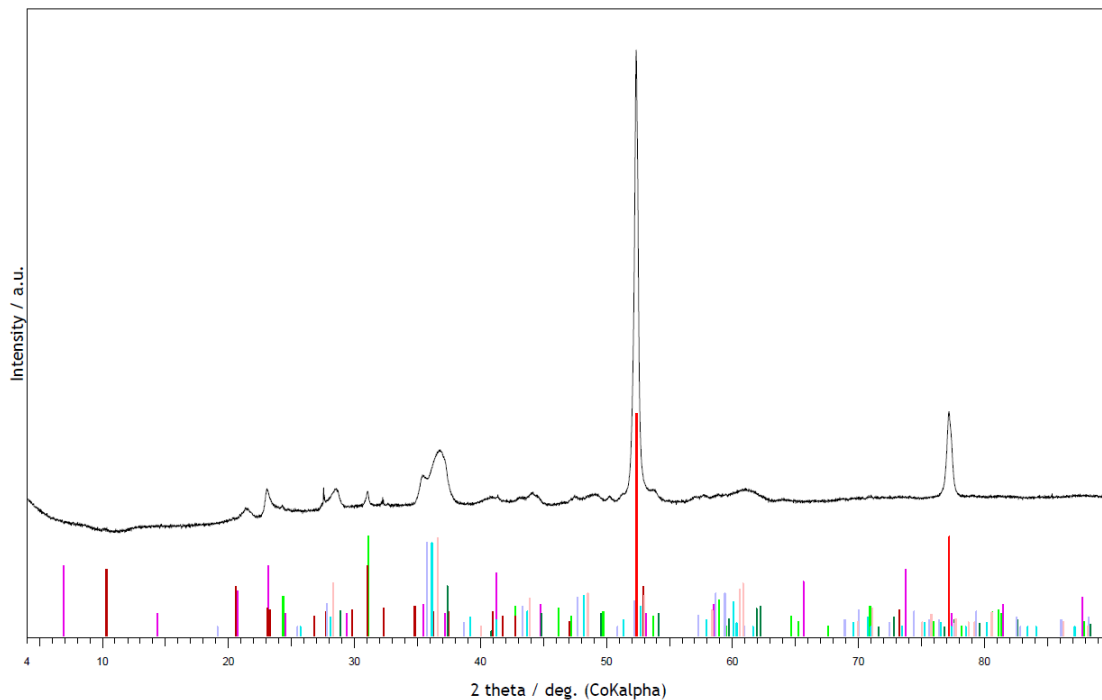
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

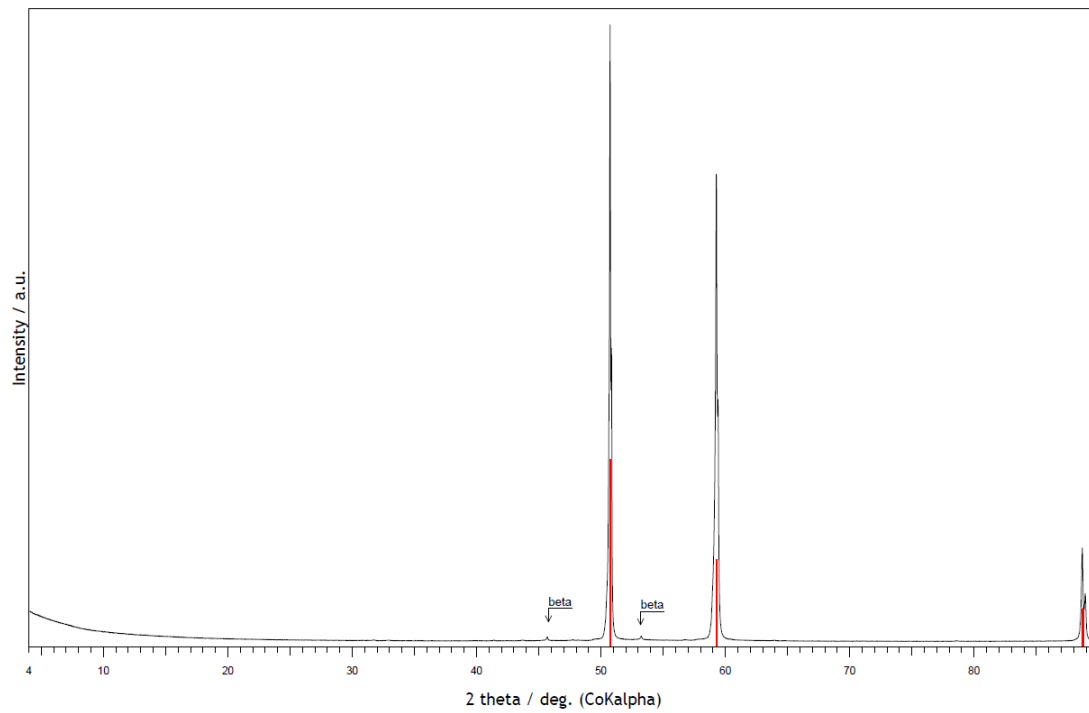
 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂

 43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)CO₃

 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃


Obr. 11-42 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

UJV-Dobrev, MaCoTe_AN_MX80_Cu_1rok
 04-0836 (*) - Copper, syn - Cu



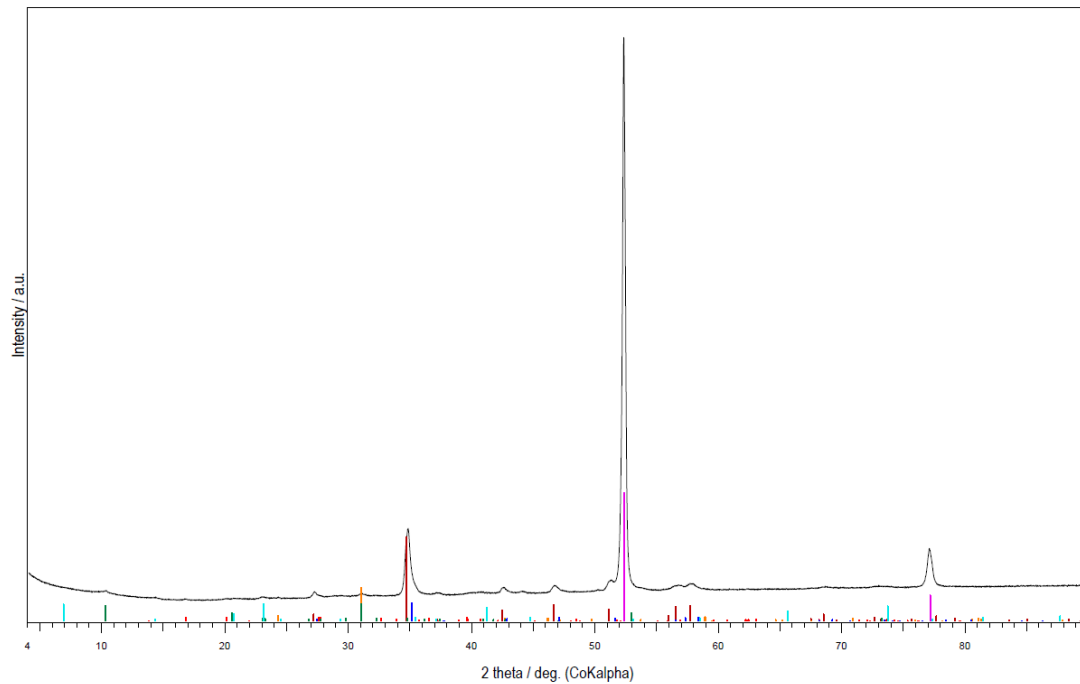
Obr. 11-43 Difrakční záznam pro vzorek měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

11.17 Rentgenová difrakční analýza po 2 letech

Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí rentgenové difrakční analýzy přístrojem PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, B. V., Almelo, The Netherlands, Co katoda, 40 kV, 30 mA) po jednom roce jsou uvedeny na Obr. 11-44 až Obr. 11-59.

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_01
 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 26-0911 (J) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)



Obr. 11-44 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02

 60-0353 (I) - Chukanovite - $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

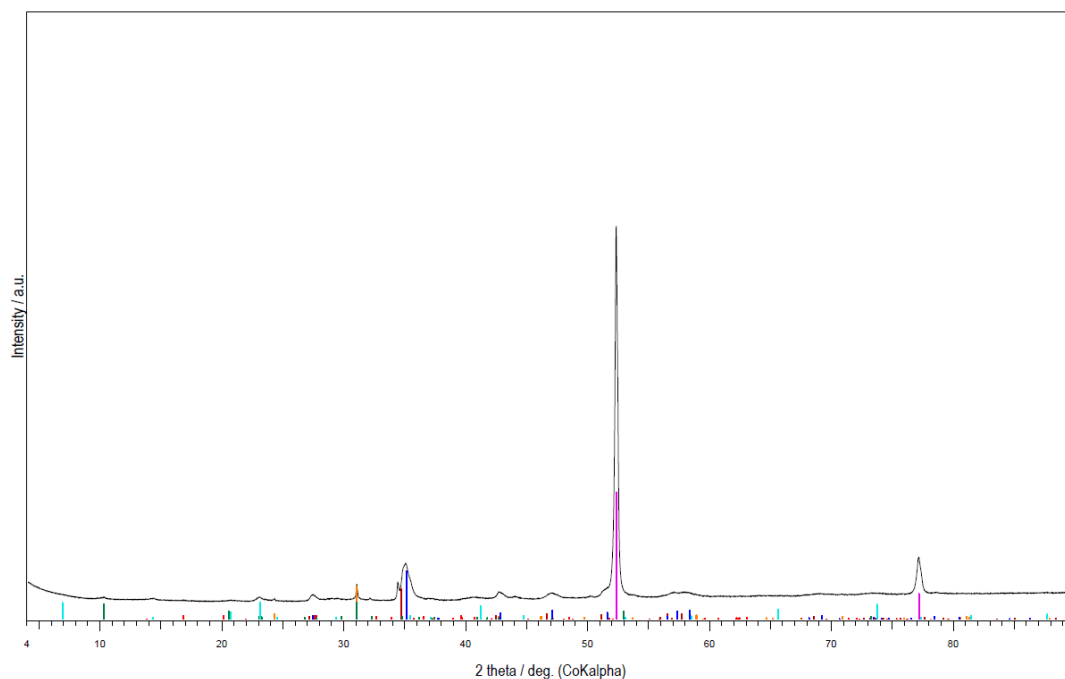
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$

 03-0014 (D) - Montmorillonite - $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$


Obr. 11-45 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03

 60-0353 (I) - Chukanovite - $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

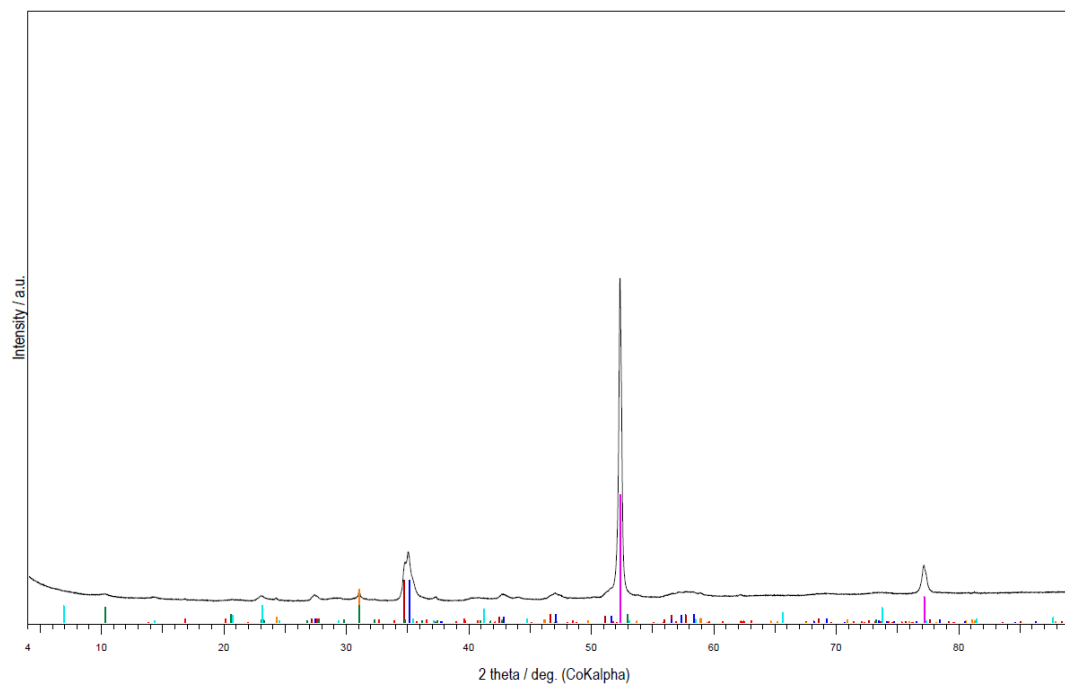
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$

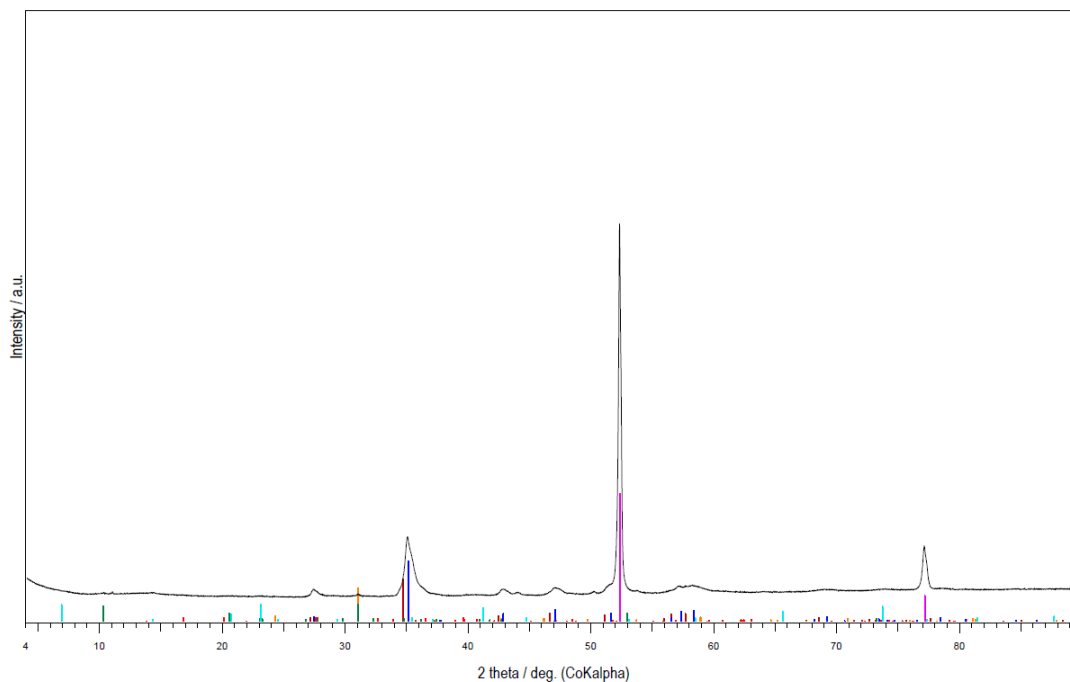
 03-0014 (D) - Montmorillonite - $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$


Obr. 11-46 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04
 60-0353 (I) - Chukanovite - $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{.129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$

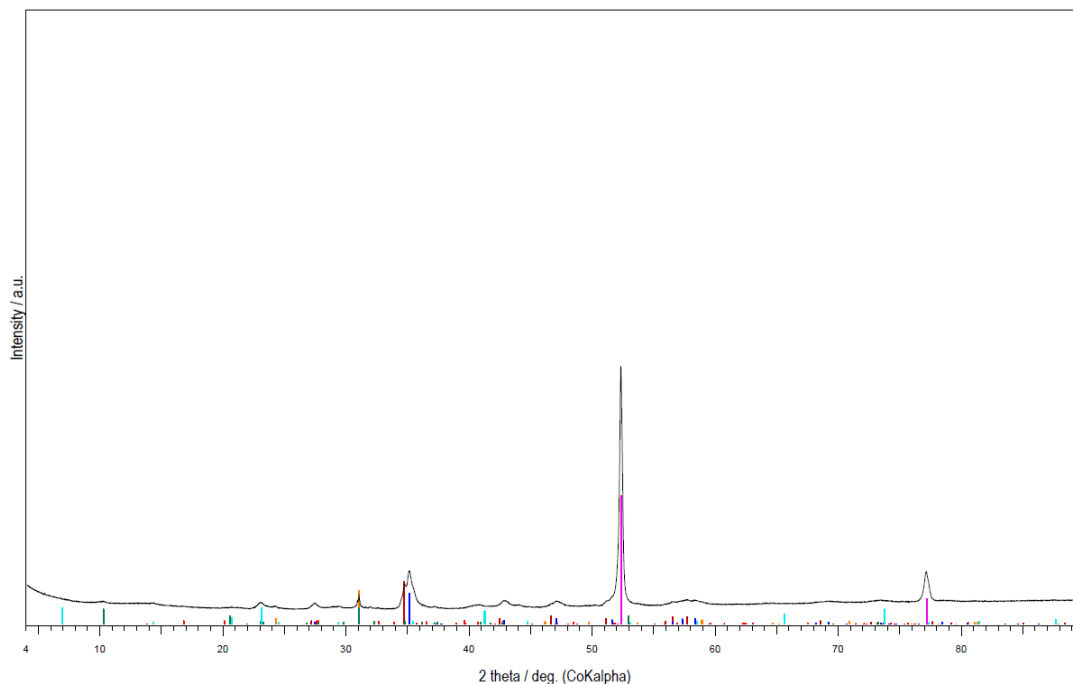
46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
 03-0014 (D) - Montmorillonite - $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{.129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$



Obr. 11-47 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05
 60-0353 (I) - Chukanovite - $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
 06-0696 (*) - Iron, syn - Fe
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{.129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
 03-0014 (D) - Montmorillonite - $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2\cdot x\text{H}_2\text{O}$
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - $(\text{Mg}_{.129}\text{Ca}_{.871})(\text{CO}_3)$



Obr. 11-48 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

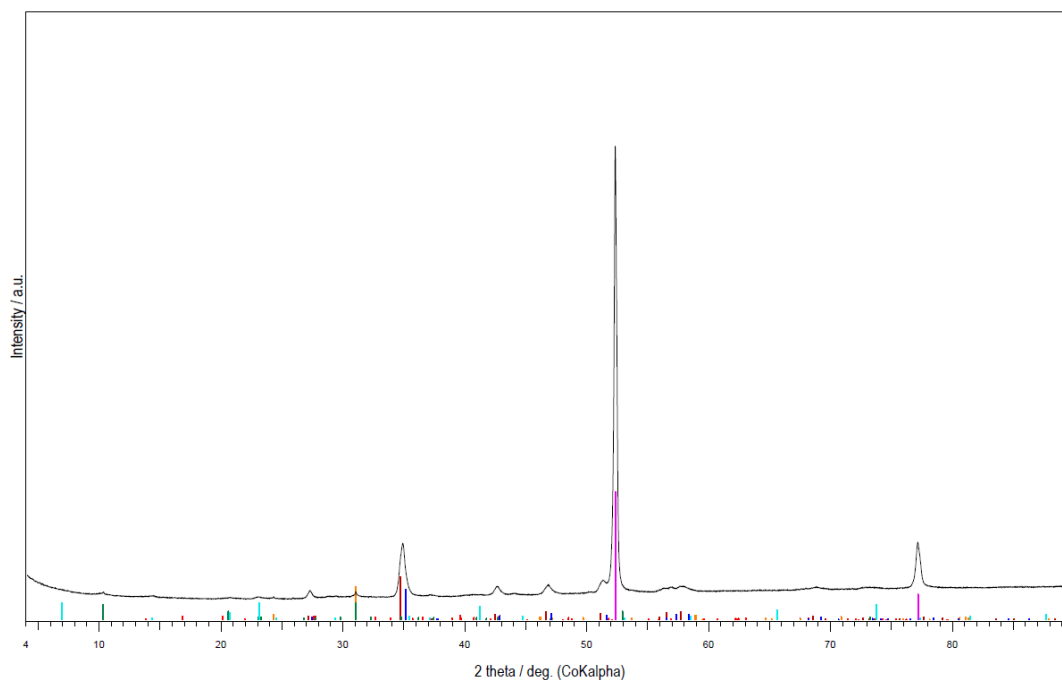
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IIR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-49 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

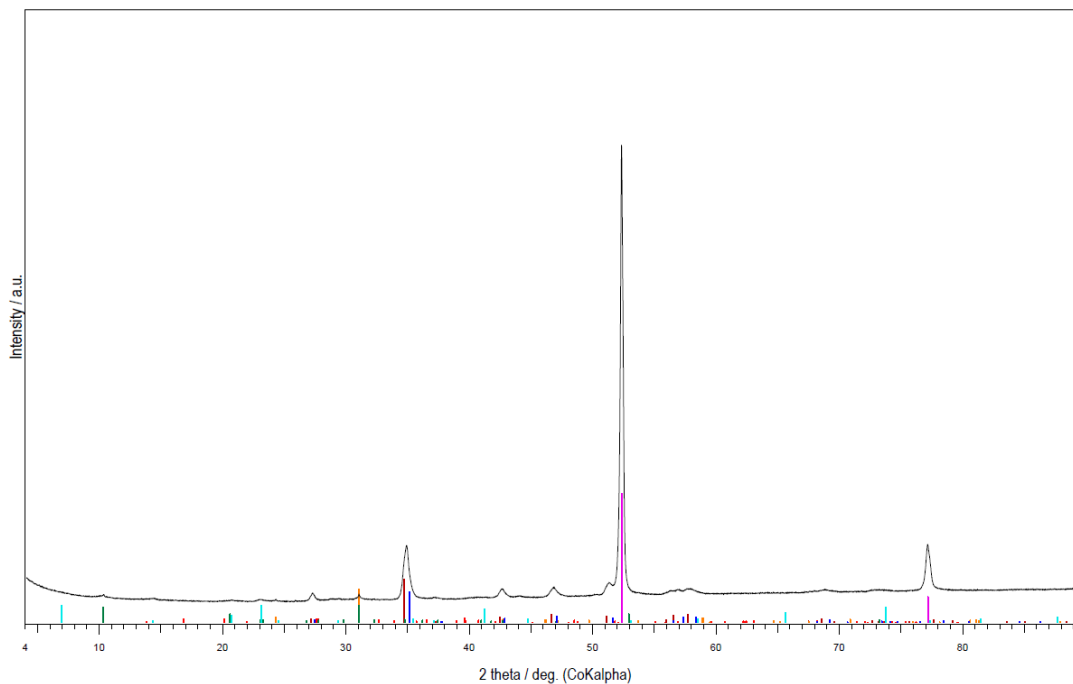
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IIR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-50 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

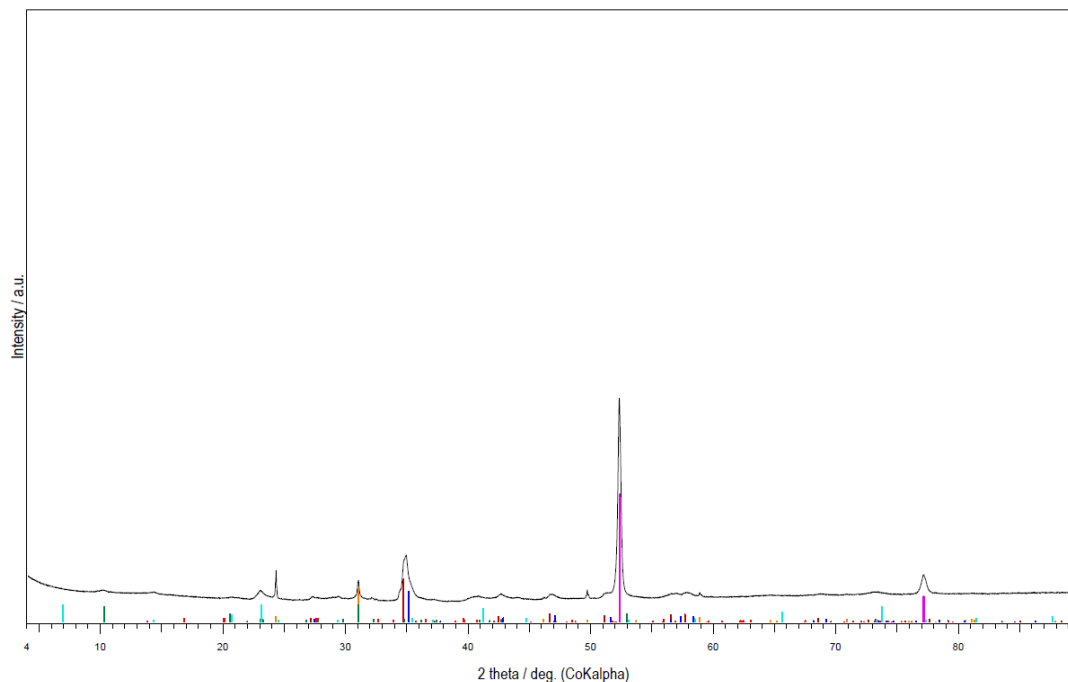
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-51 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

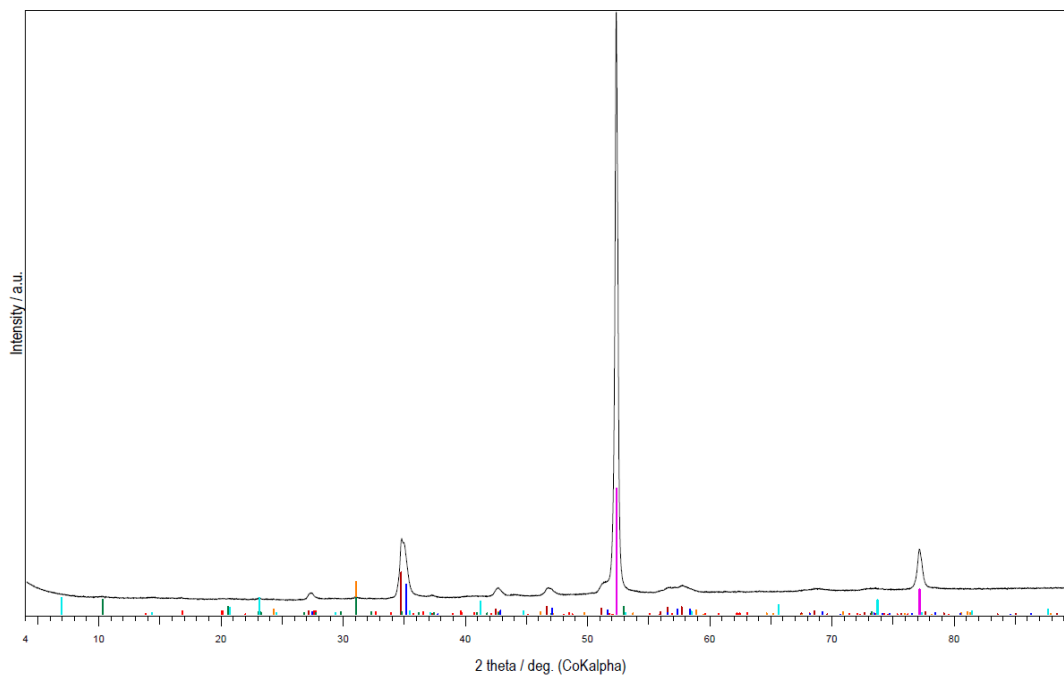
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-52 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10

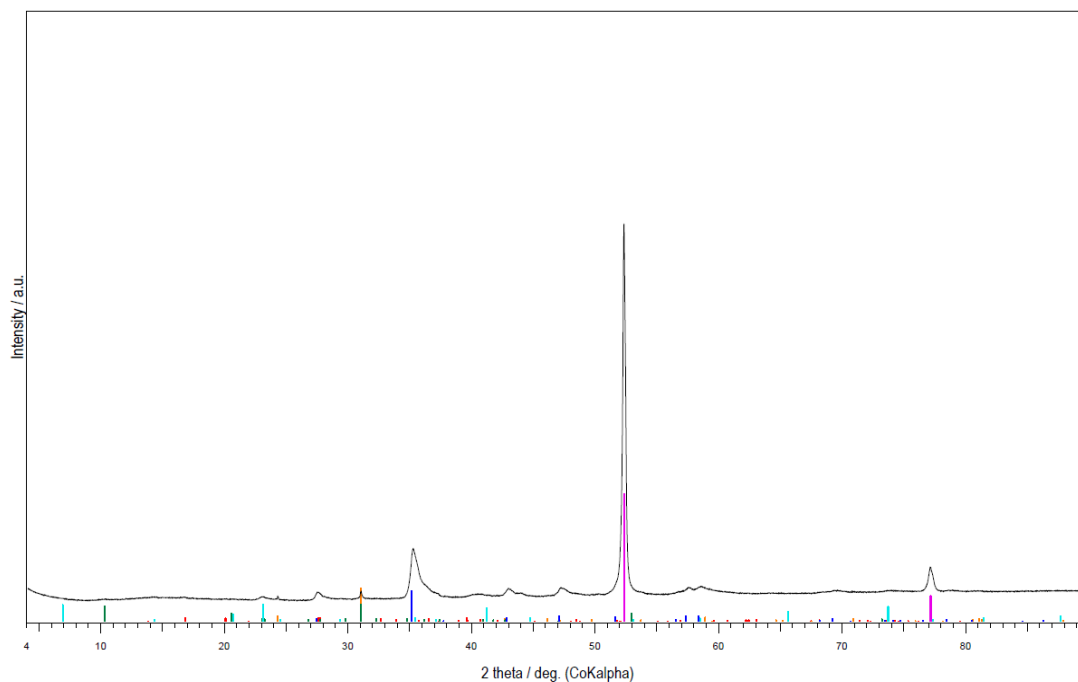
 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-53 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 v prostředí bentonitu BaM po 2 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_01

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

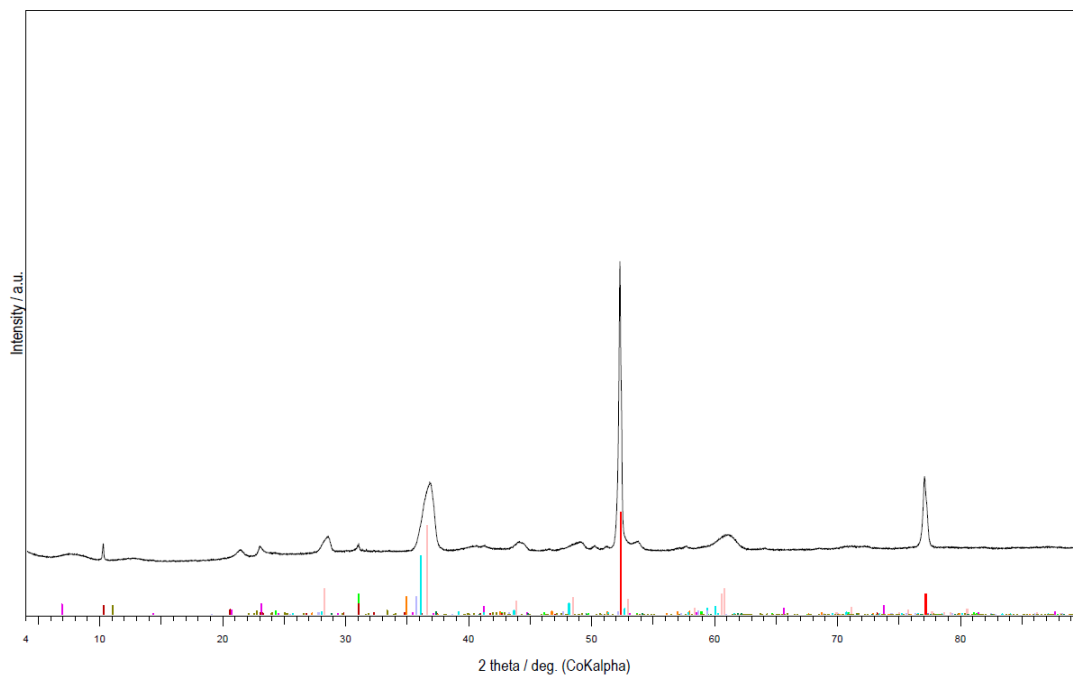
 86-2336 (C) - Calcite magnesian, jiná stechiometrie ? - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂

 43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO₃)₂

 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃

 83-1768 (C) - Talc - Mg₃(OH)Z₅Si₄O₁₀


Obr. 11-54 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ? - (Mg,129Ca)

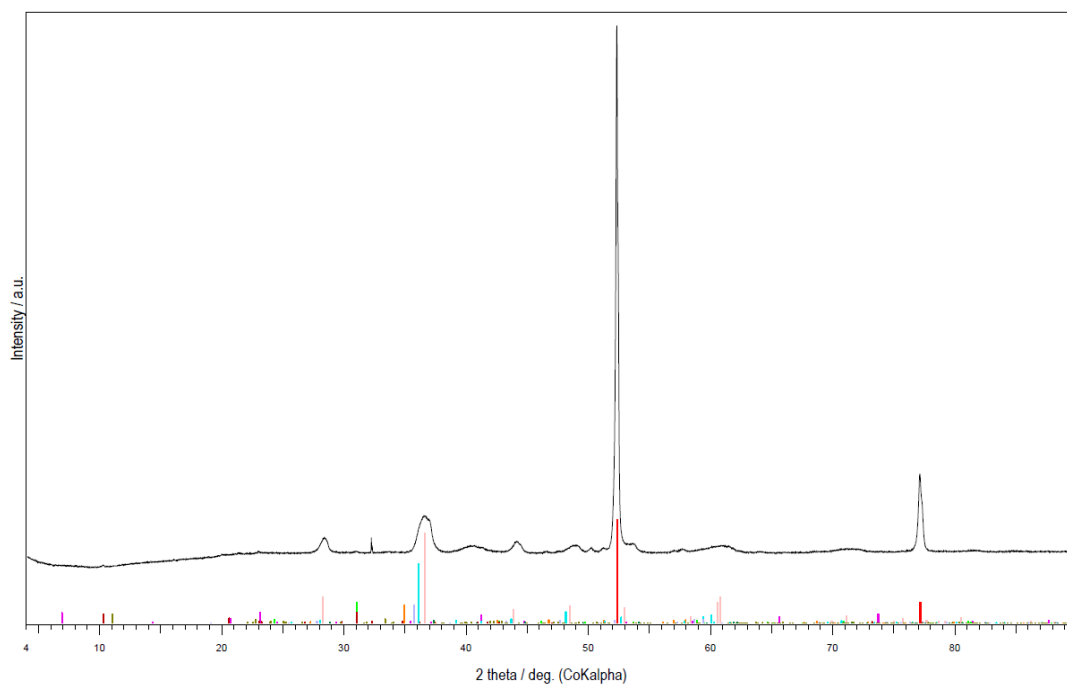
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

83-1768 (C) - Talc - Mg3(OH)2Si4O10



Obr. 11-55 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ? - (Mg,129Ca)

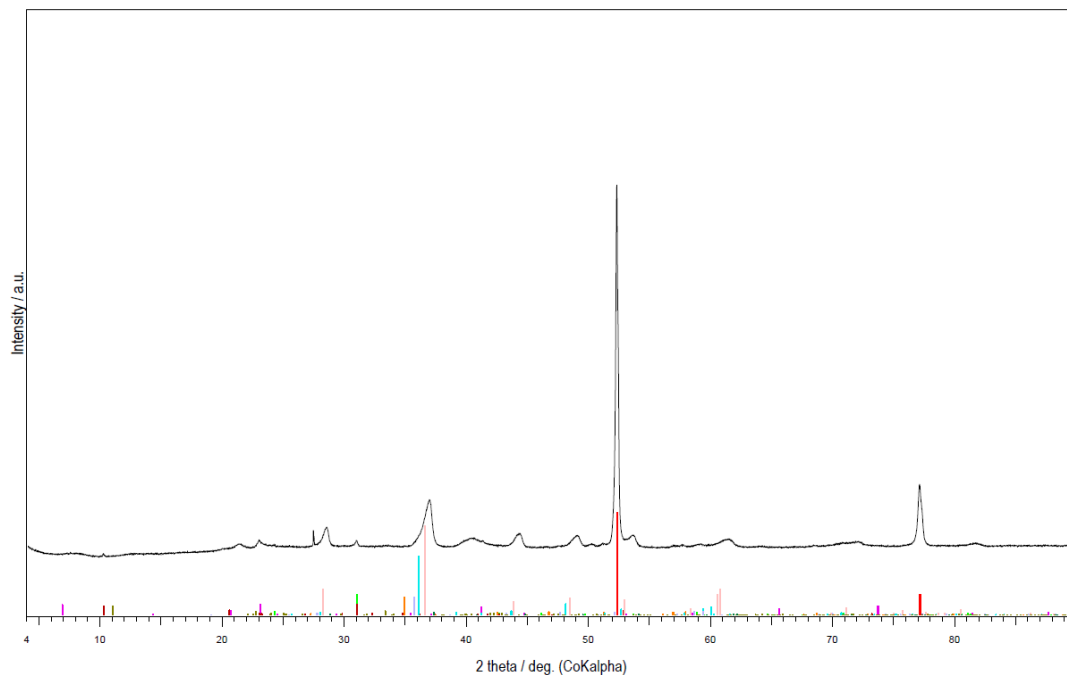
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

83-1768 (C) - Talc - Mg3(OH)2Si4O10



Obr. 11-56 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ? - (Mg,129Ca)

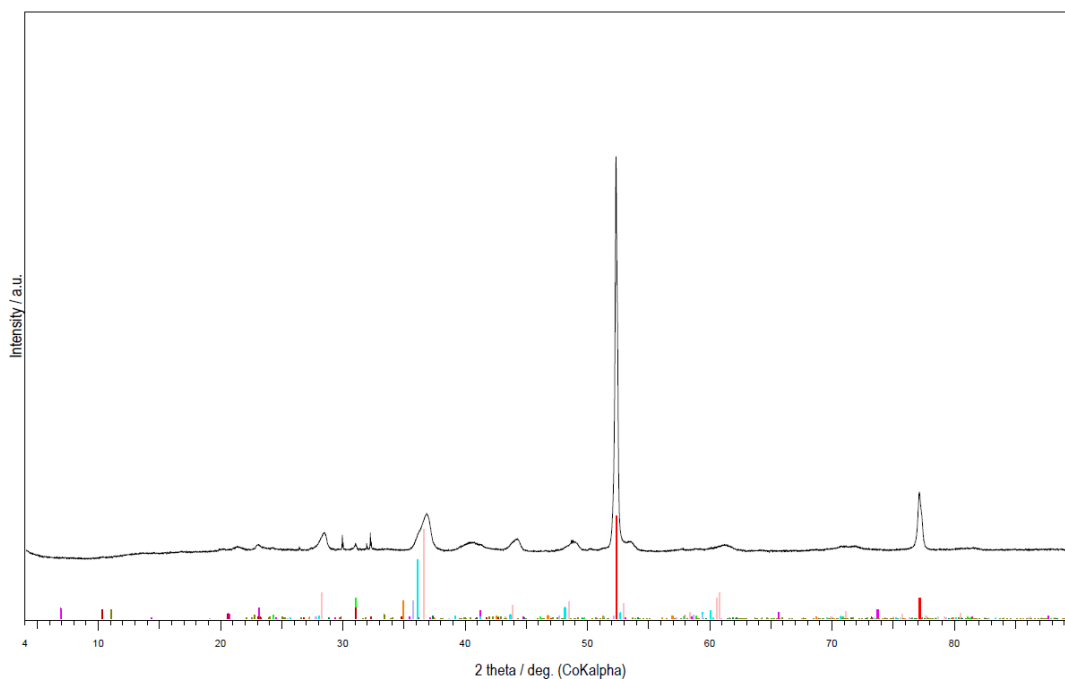
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

83-1768 (C) - Talc - Mg3(OH)2Si4O10



Obr. 11-57 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

86-2336 (C) - Calcite magnesian, jina stechiometrie ? - (Mg,129Ca)

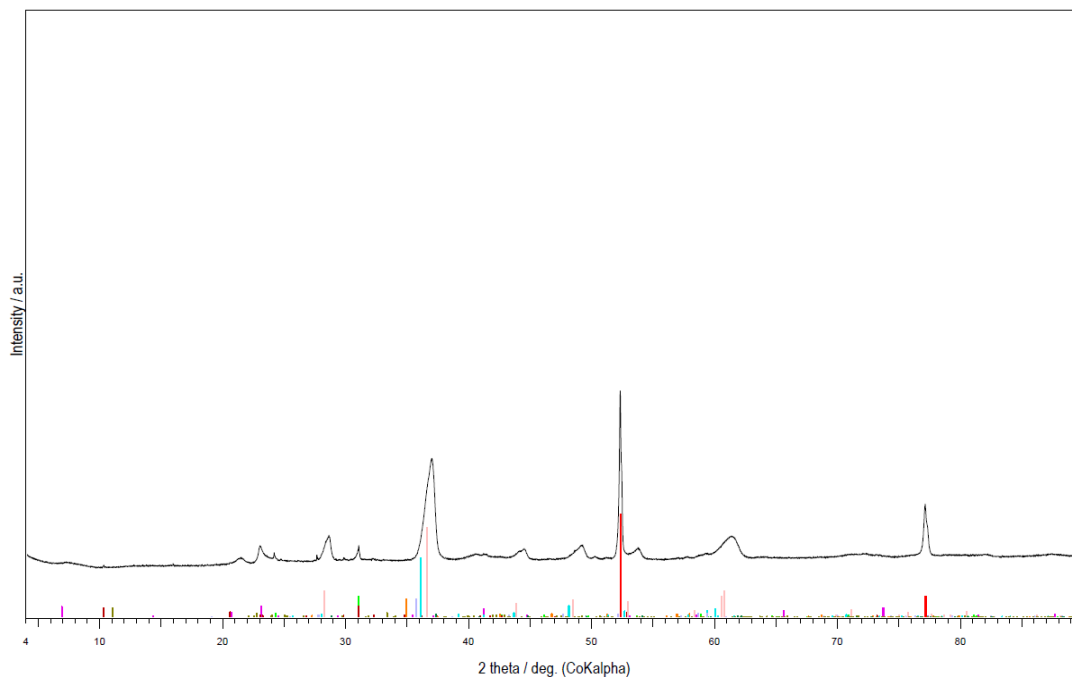
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

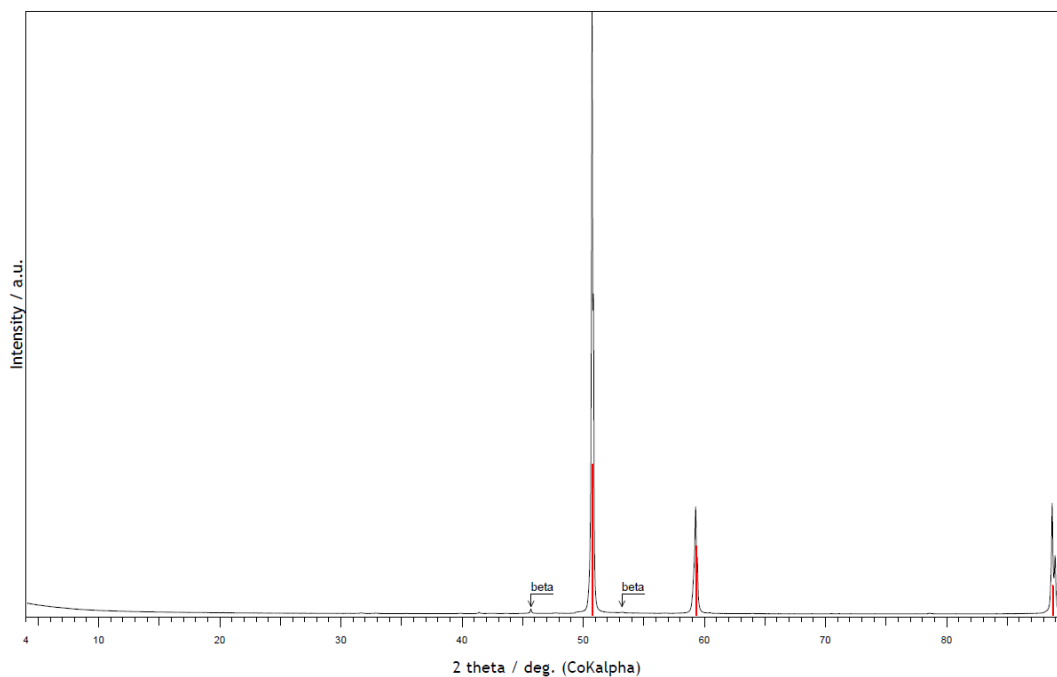
43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

83-1768 (C) - Talc - Mg3(OH)2Si4O10



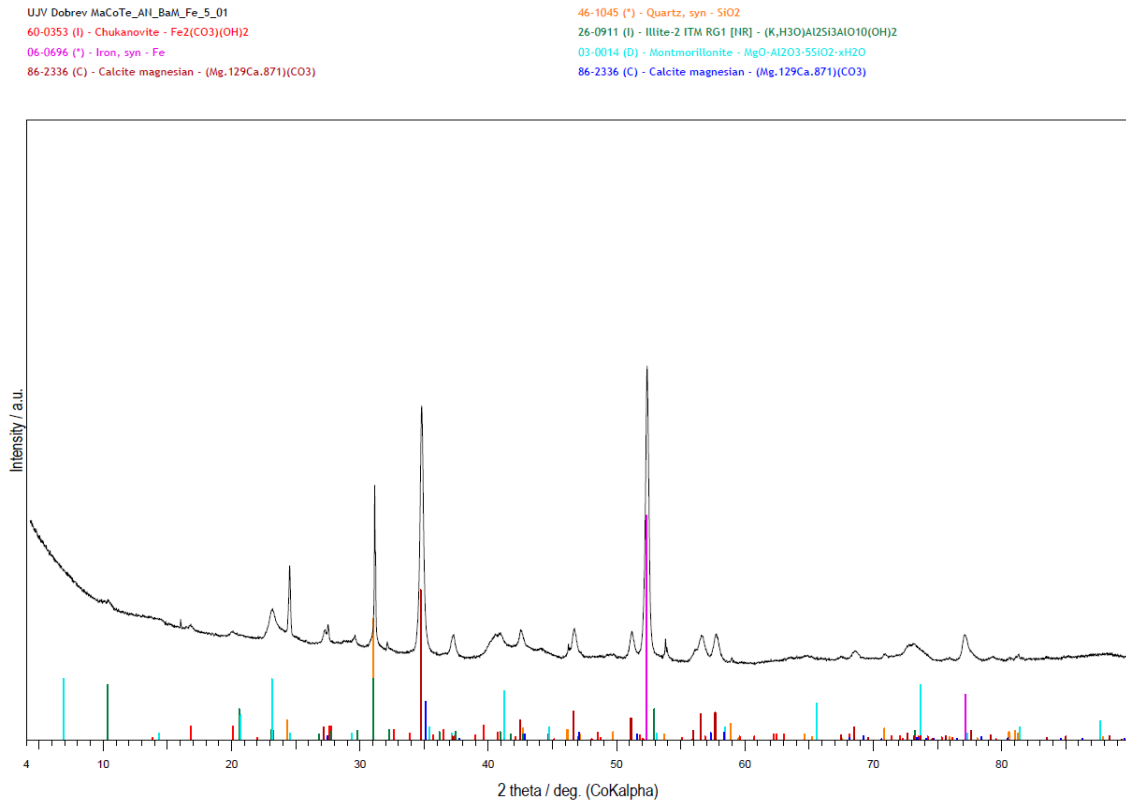
Obr. 11-58 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

UJV-Dobrev, MaCoTe_AN_MX80_Cu_2roky
 04-0836 (*) - Copper, syn - Cu


Obr. 11-59 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Cu_2 v prostředí bentonitu MX-80 po 2 letech experimentu

11.18 Rentgenová difrakční analýza po 3 letech

Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí rentgenové difrakční analýzy přístrojem PANalytical XPertPRO MPD (PANalytical, B. V., Almelo, The Netherlands, Co katoda, 40 kV, 30 mA) po jednom roce jsou uvedeny na Obr. 11-60 až Obr. 11-74.



Obr. 11-60 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_02

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

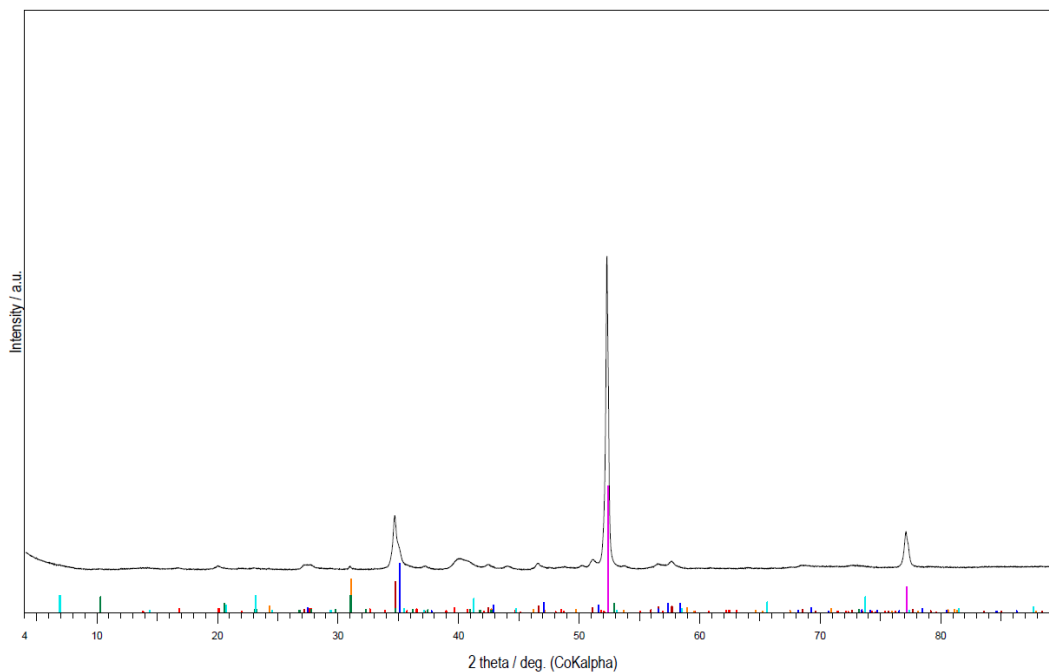
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IIR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-61 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_02 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_03

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

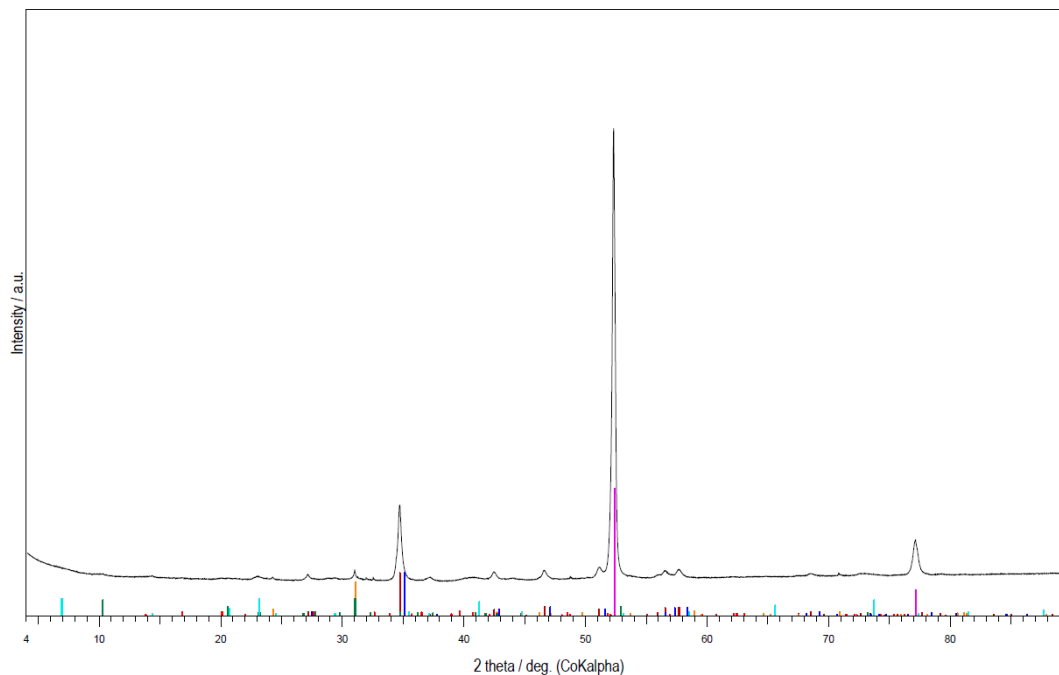
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IIR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-62 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_03 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_04

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

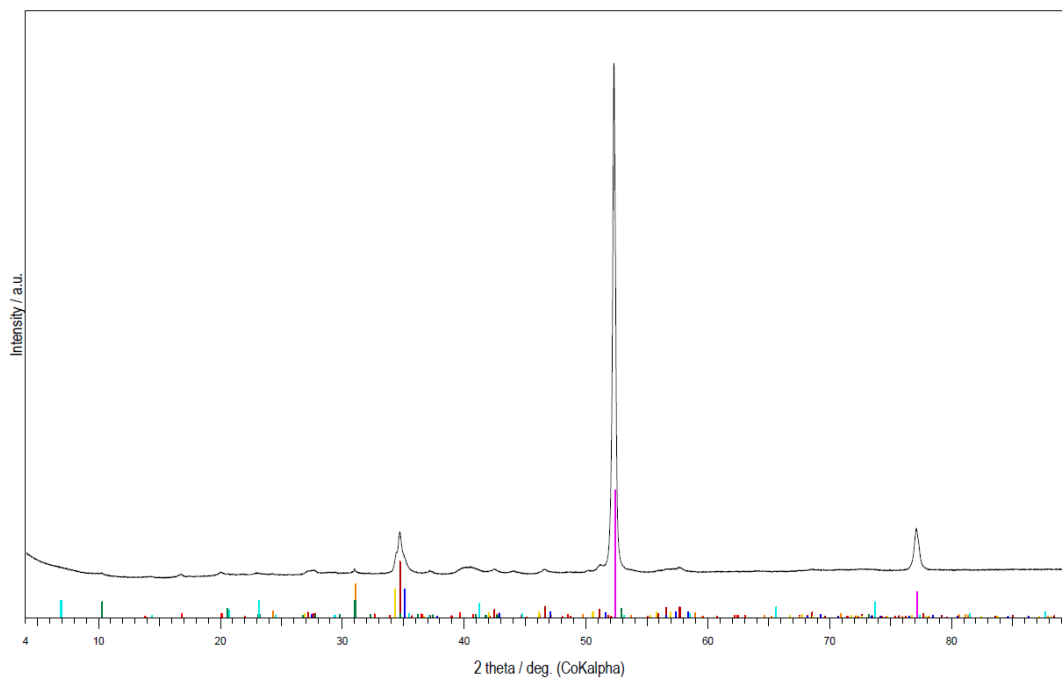
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃


Obr. 11-63 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_04 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_05

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

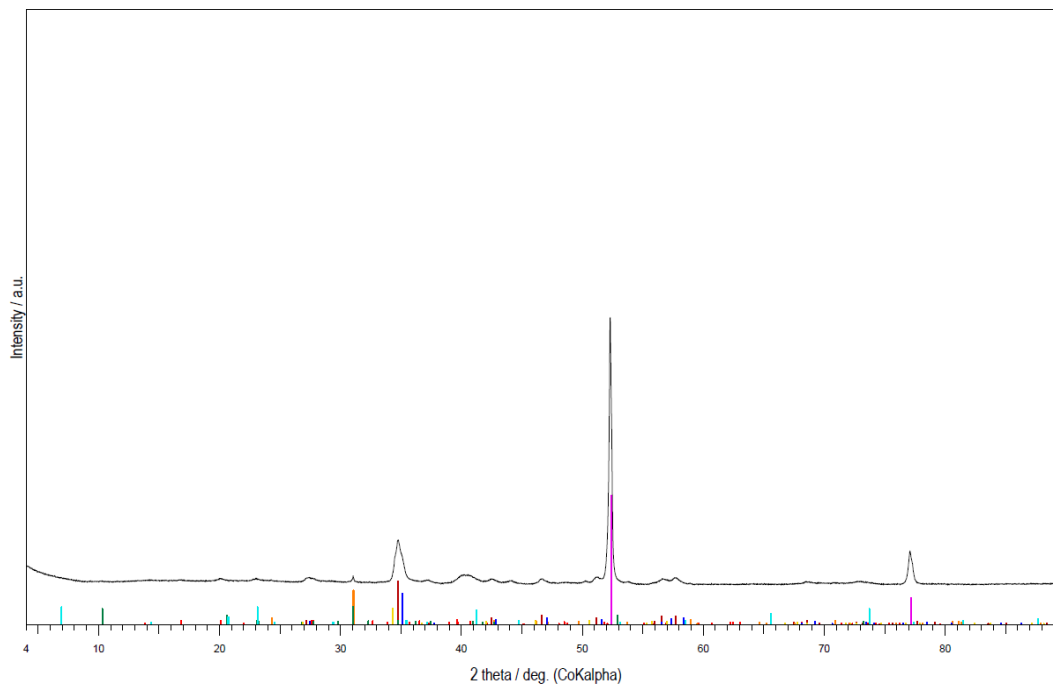
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂S₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃


Obr. 11-64 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_05 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_06

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

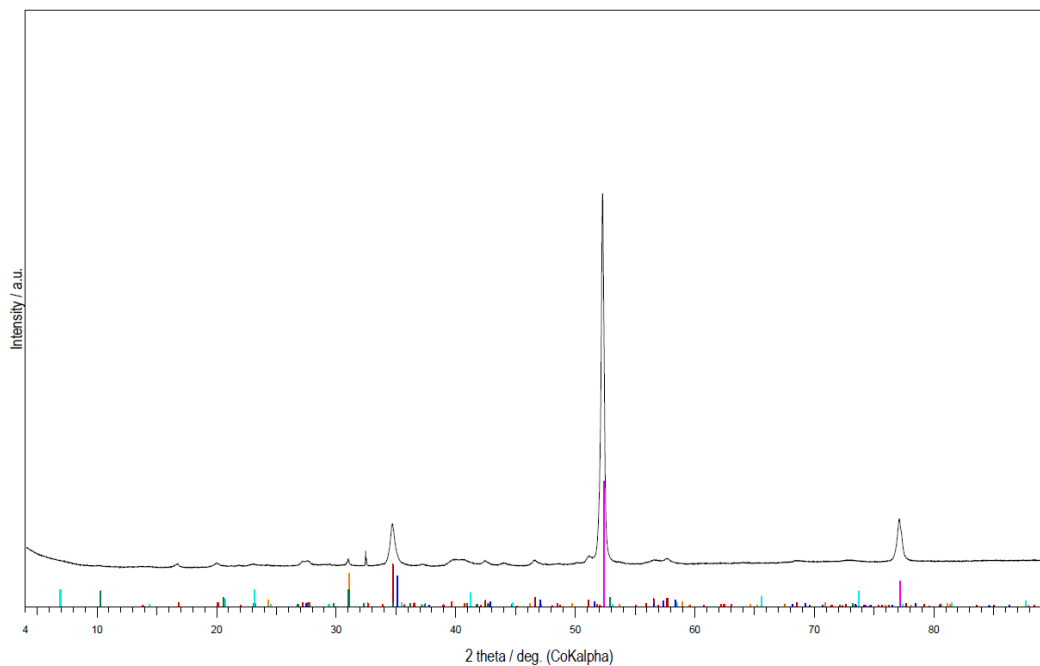
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)


Obr. 11-65 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_06 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_07

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

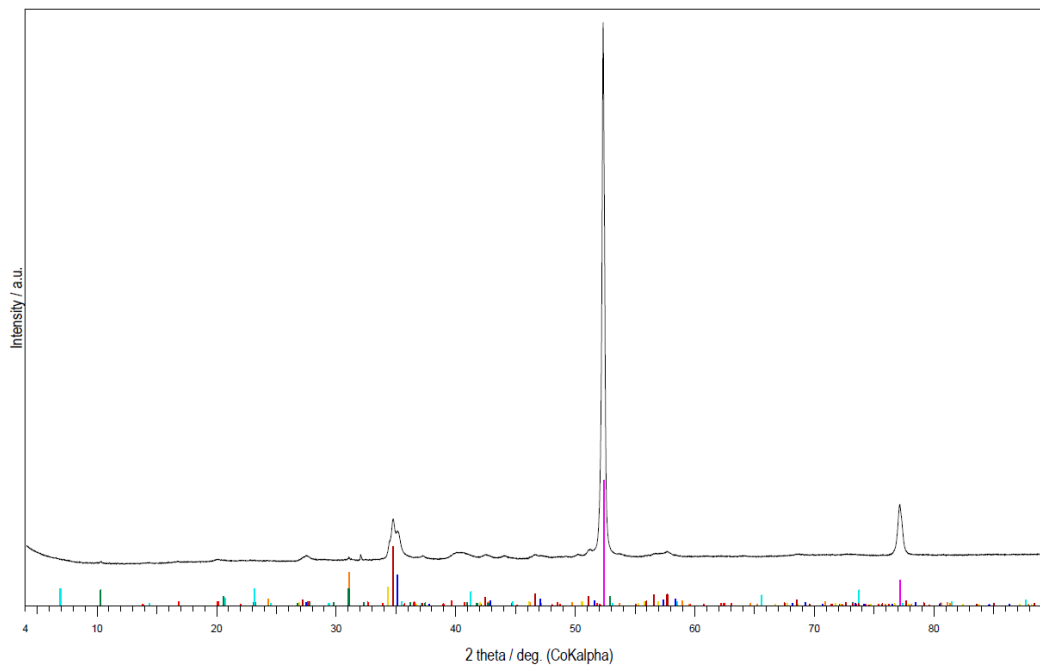
 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃)

 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO₃


Obr. 11-66 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_07 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_08

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

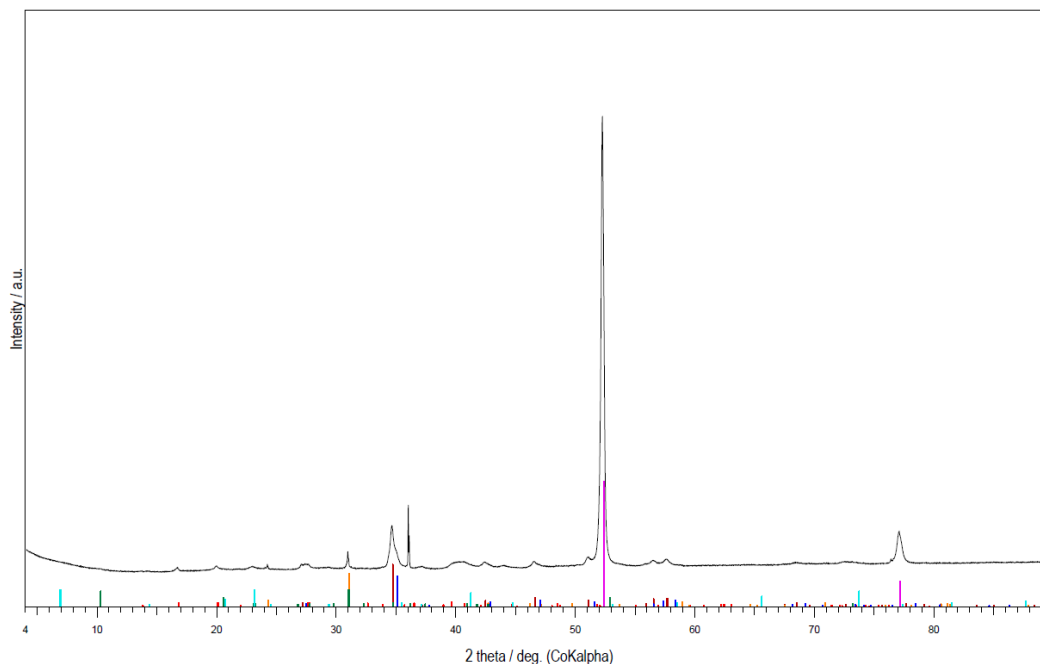
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca.871)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca.871)(CO₃)


Obr. 11-67 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_08 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_09

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

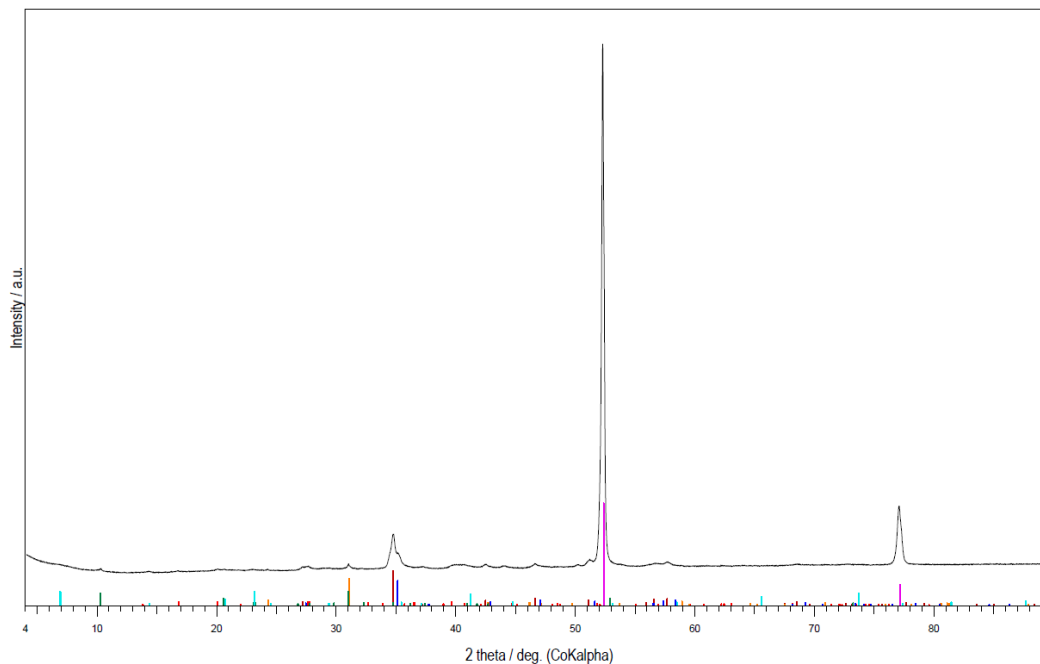
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca.871)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca.871)(CO₃)


Obr. 11-68 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_09 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

UJV Dobrev MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10

 60-0353 (I) - Chukanovite - Fe₂(CO₃)(OH)₂

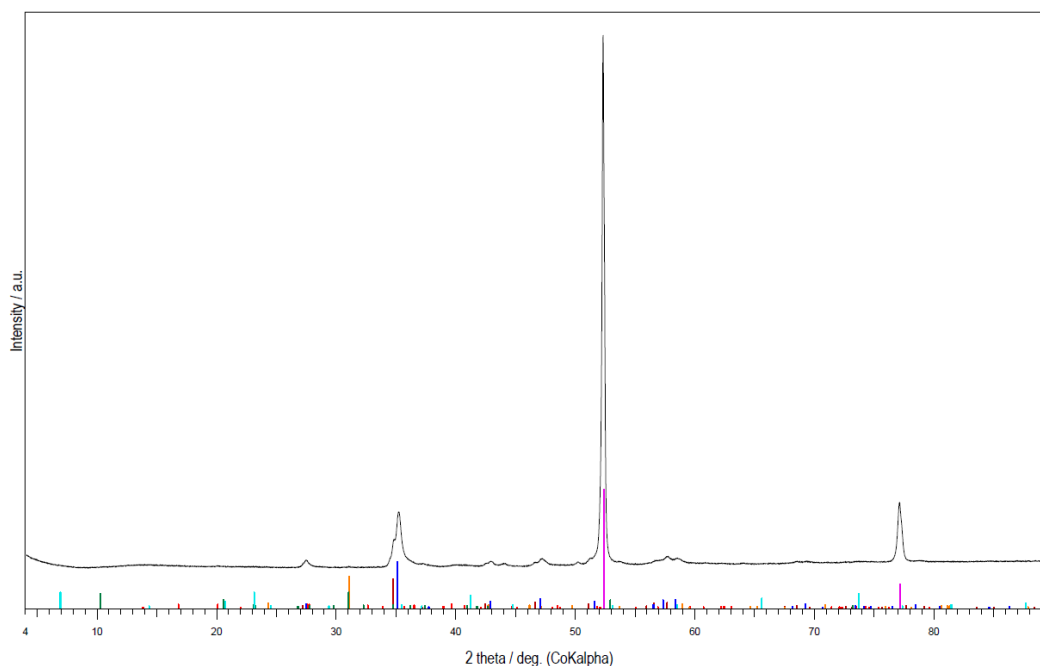
06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)(CO₃)

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 86-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg,129Ca,871)(CO₃)


Obr. 11-69 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 v prostředí bentonitu BaM po 3 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

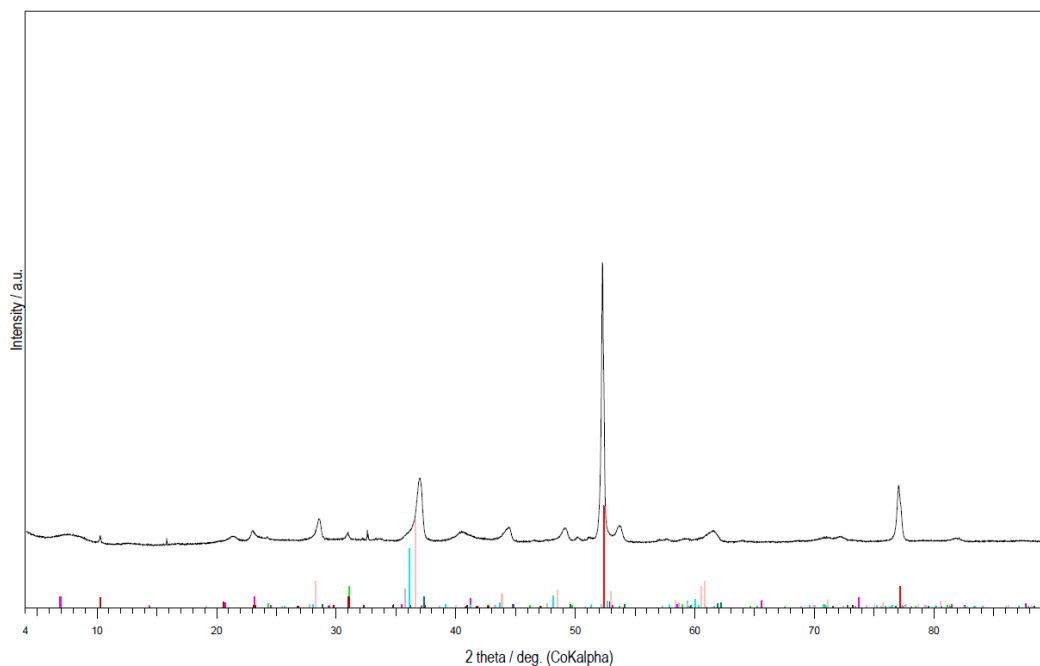
 03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O

 26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂

 29-0696 (*) - Siderite - FeCO₃

 36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂

 43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO₃)₂

 44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO₃


Obr. 11-70 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_02

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

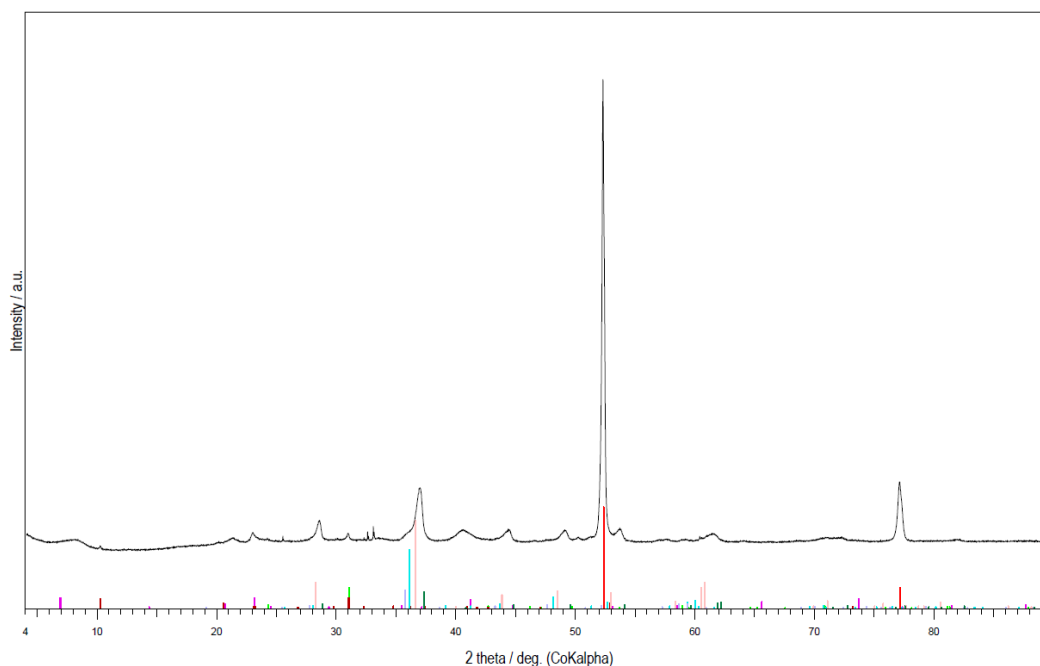
26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3



Obr. 11-71 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_03

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [HR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

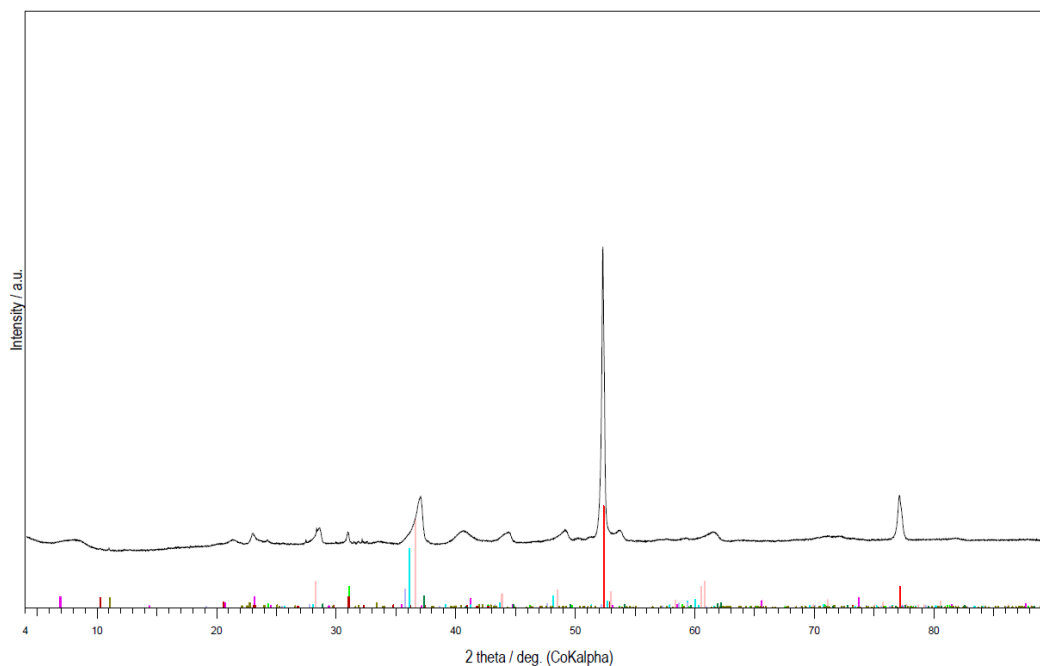
29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

43-0695 (*) - Kutnohorite, magnesian - Ca(Mn,Mg)(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3

83-1768 (C) - Talc - Mg3(OH)2Si4O10



Obr. 11-72 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_04

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

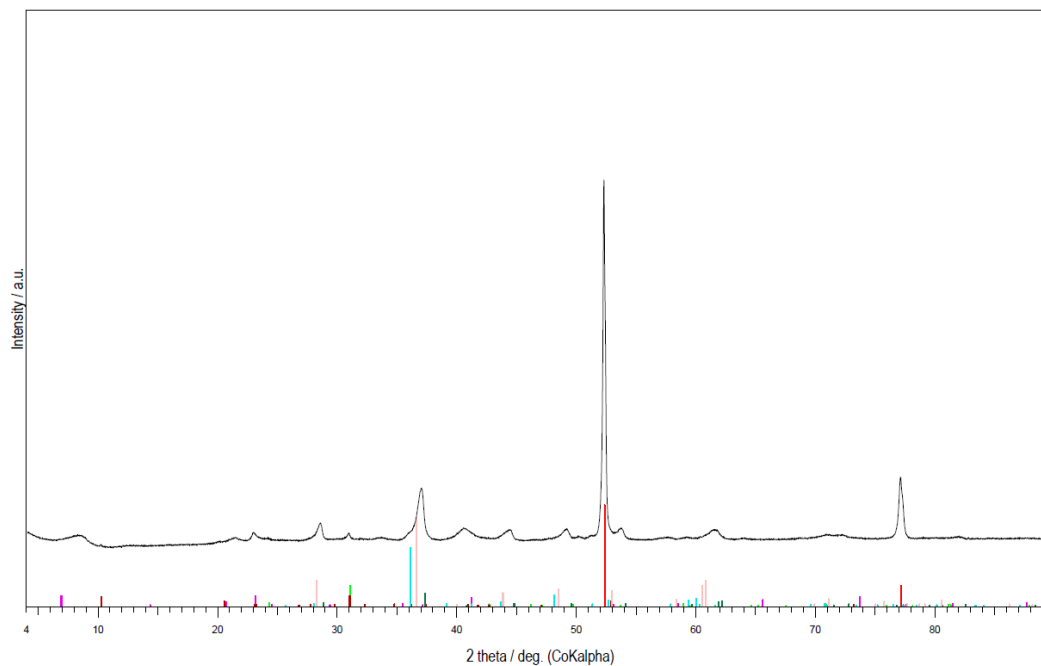
03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3



Obr. 11-73 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu

MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_05

06-0696 (*) - Iron, syn - Fe

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2

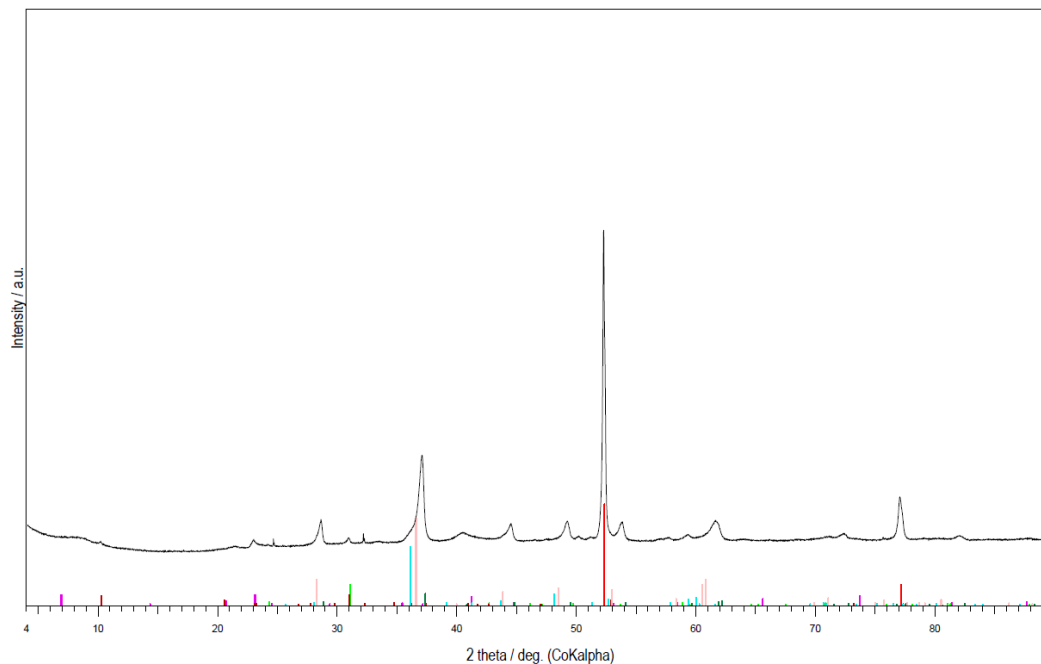
03-0014 (D) - Montmorillonite - MgO·Al2O3·5SiO2·xH2O

26-0911 (I) - Illite-2 ITM RG1 [IR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2

29-0696 (*) - Siderite - FeCO3

36-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2

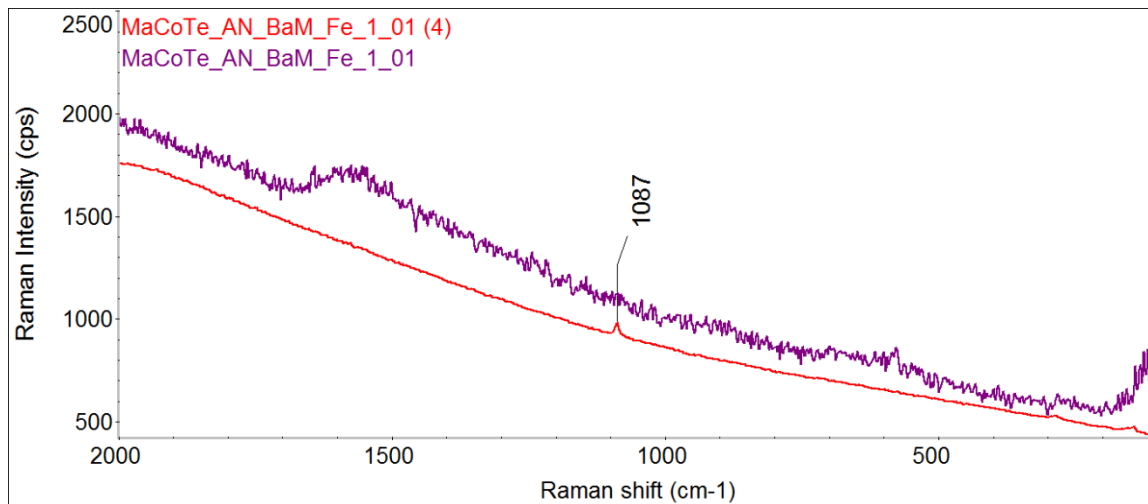
44-1472 (*) - Rhodochrosite, syn - MnCO3



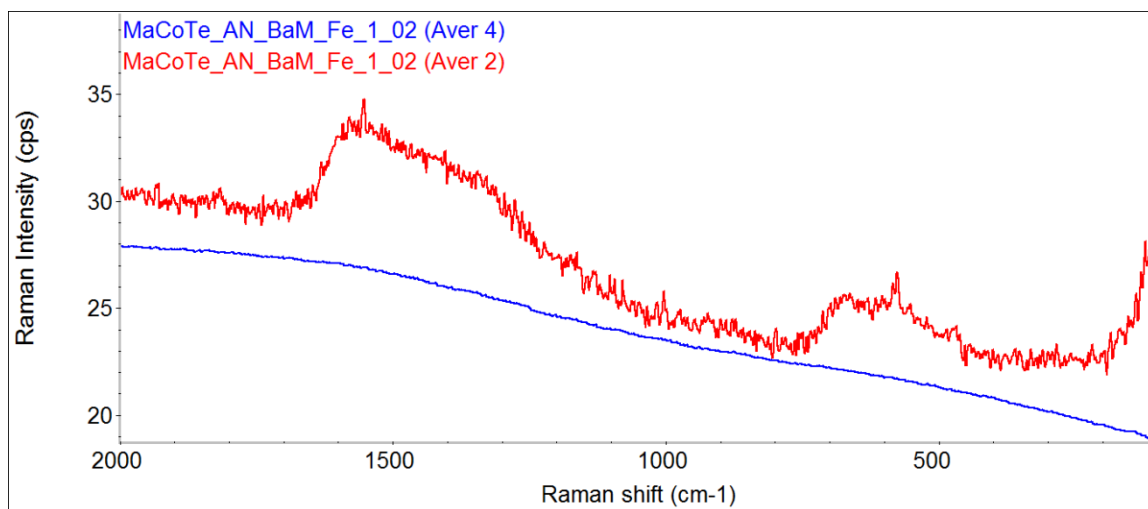
Obr. 11-74 Difrakční záznam pro vzorek uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 3 letech experimentu

11.19 Ramanova spektroskopie po 1 roce

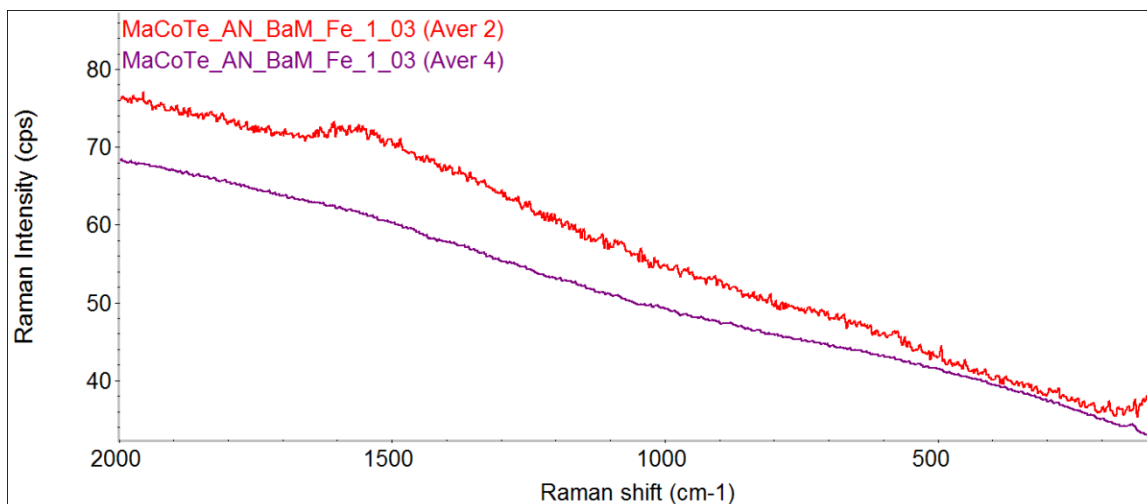
Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí Ramanovy spektroskopie přístrojem DXR Smart Raman (Thermo Scientific, USA) s excitační vlnovou délkou 532 nm a výkonem laseru 5 mW jsou uvedeny na Obr. 11-75 až Obr. 11-90.



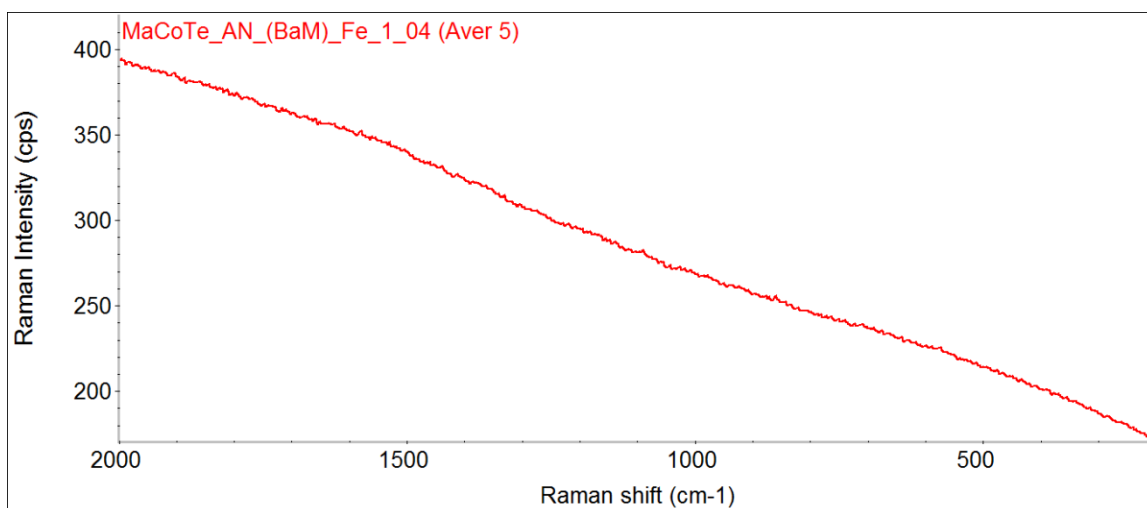
Obr. 11-75 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



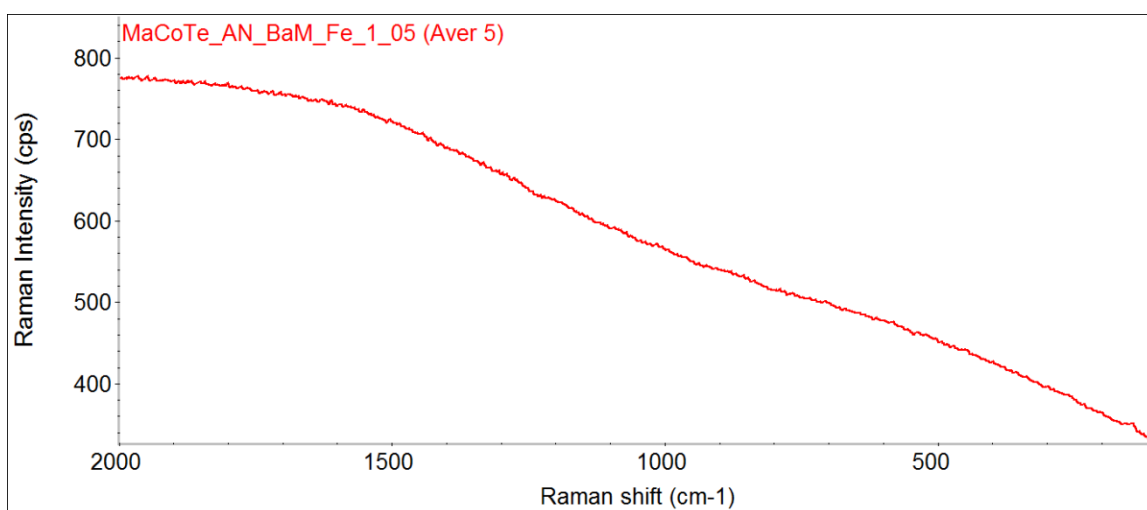
Obr. 11-76 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



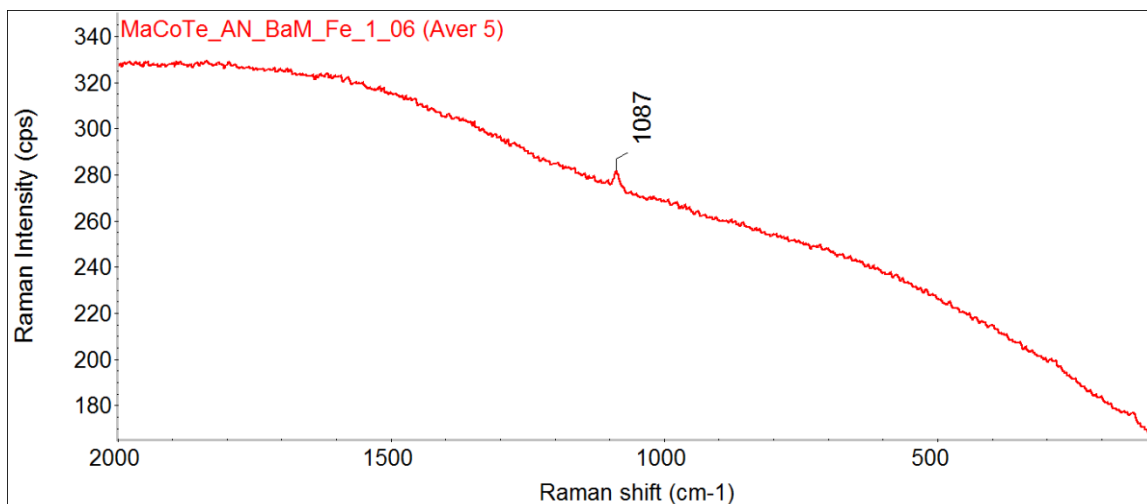
Obr. 11-77 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



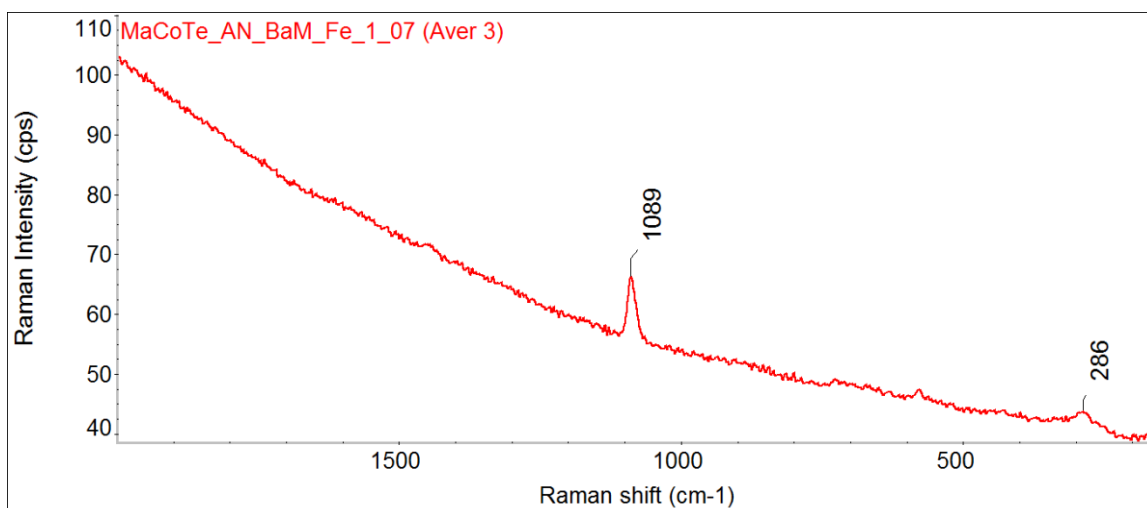
Obr. 11-78 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



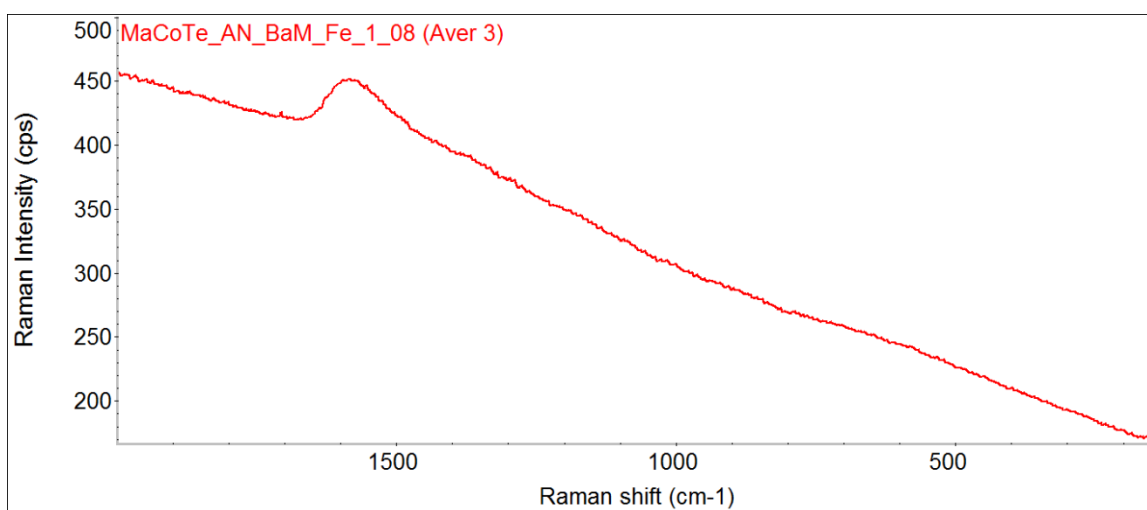
Obr. 11-79 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



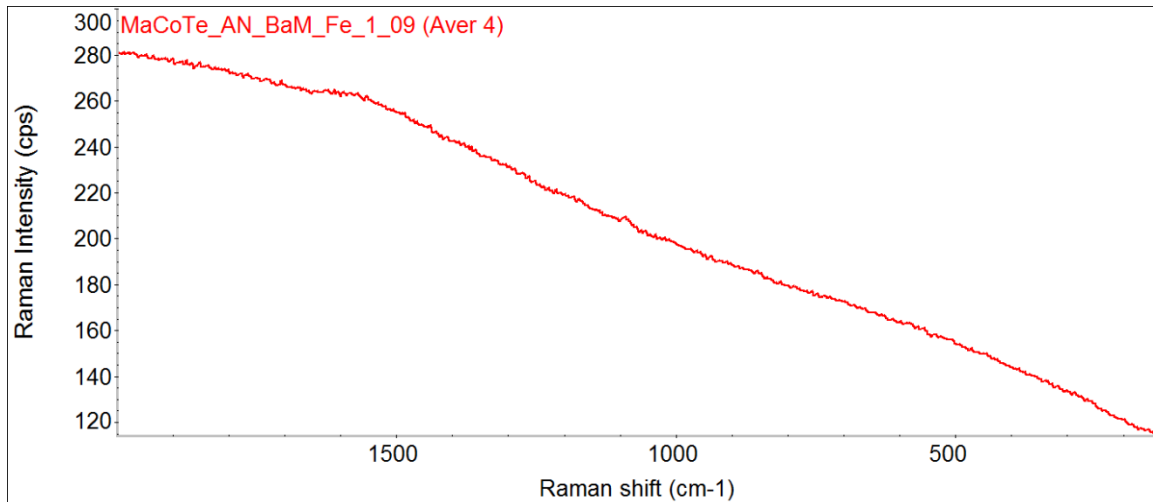
Obr. 11-80 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



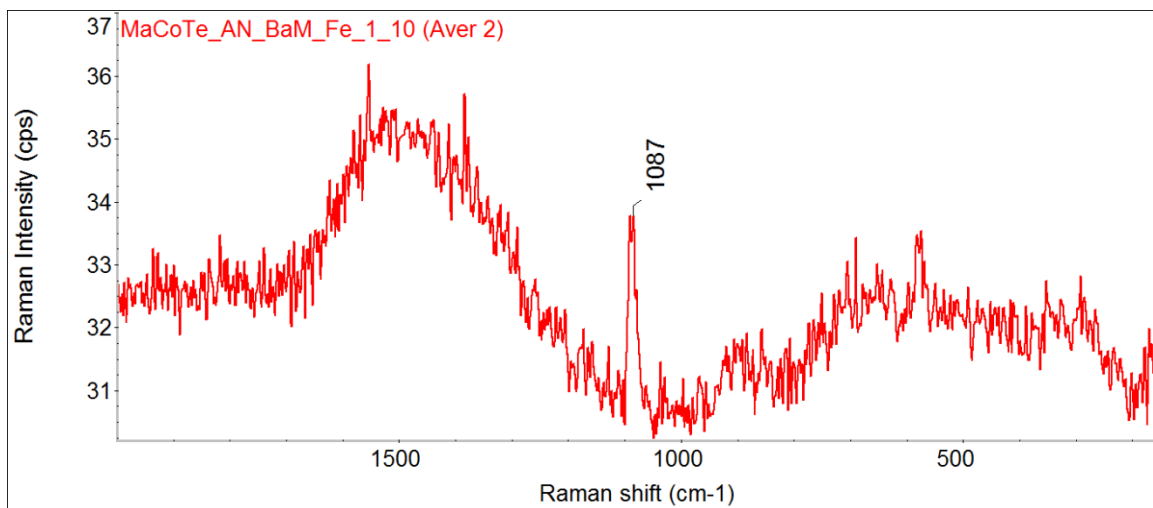
Obr. 11-81 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



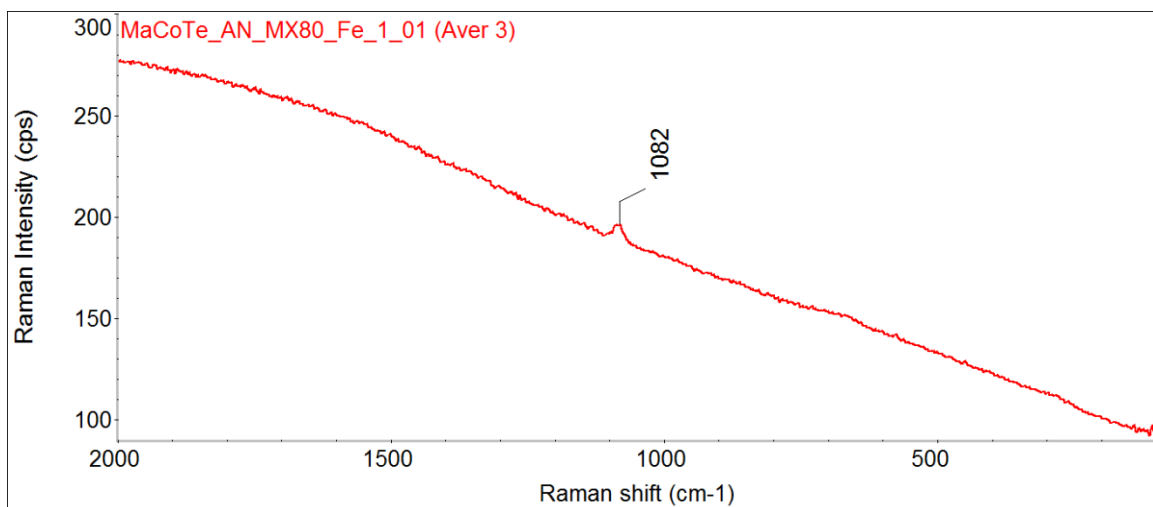
Obr. 11-82 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



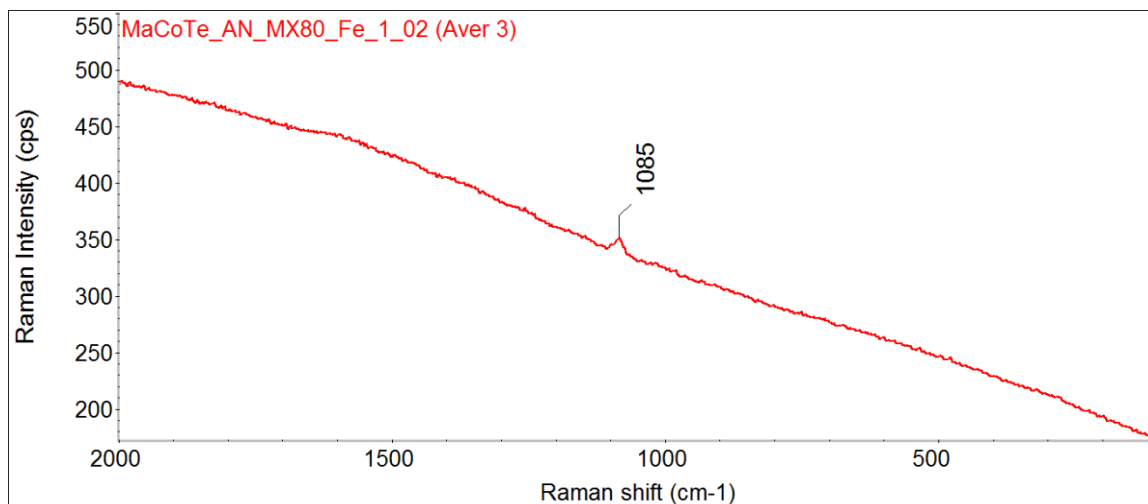
Obr. 11-83 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



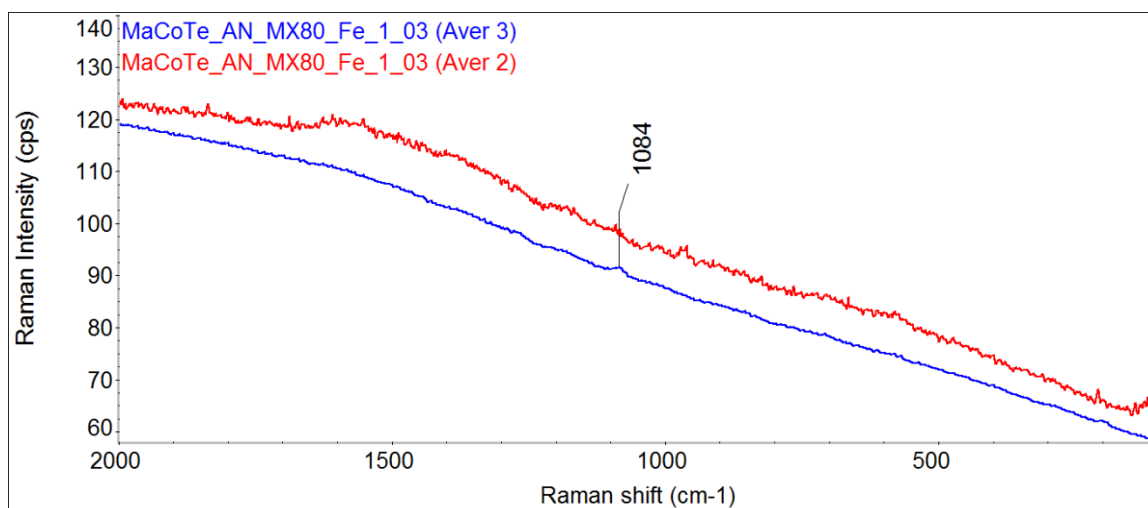
Obr. 11-84 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 v prostředí bentonitu BaM po 1 roce experimentu



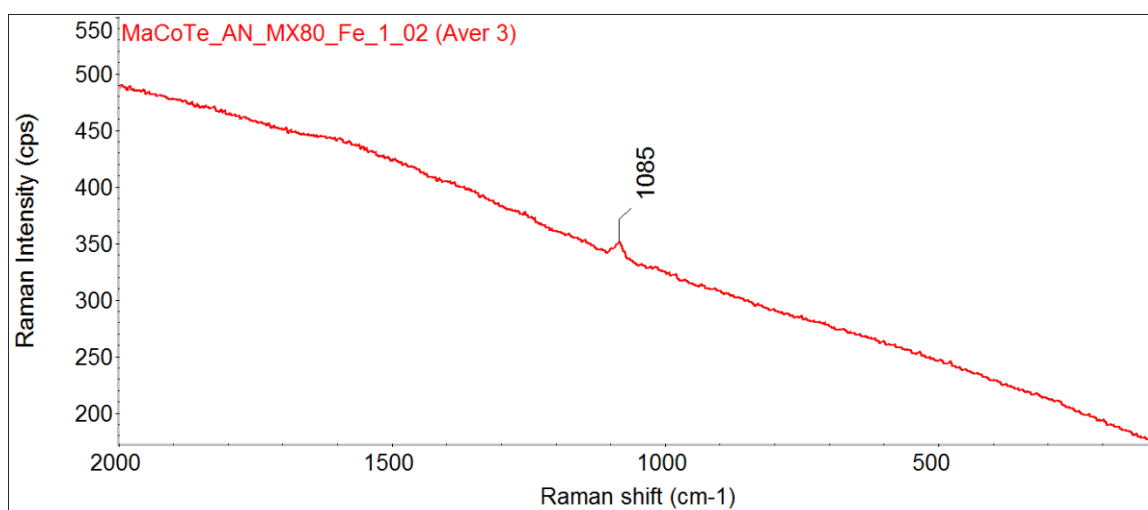
Obr. 11-85 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu



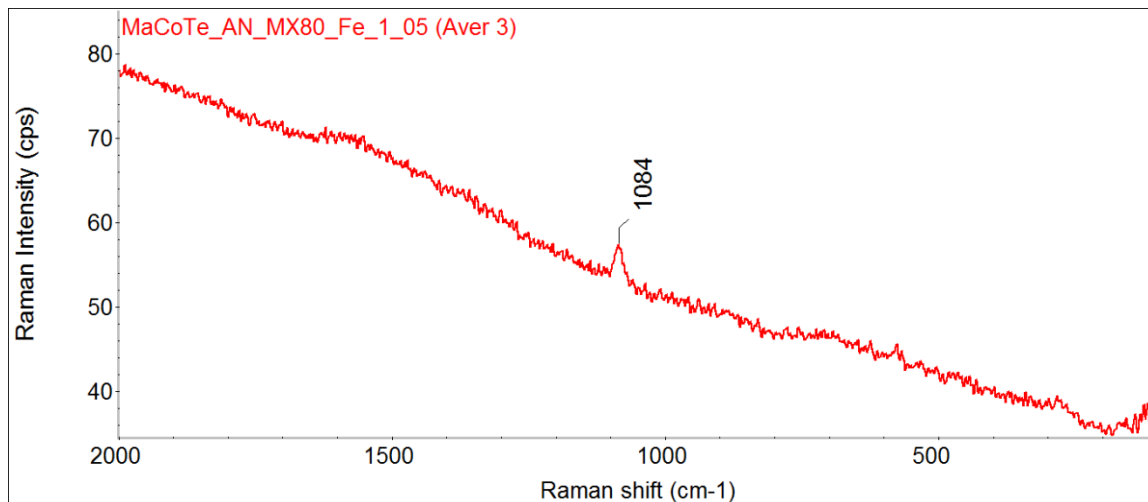
Obr. 11-86 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu



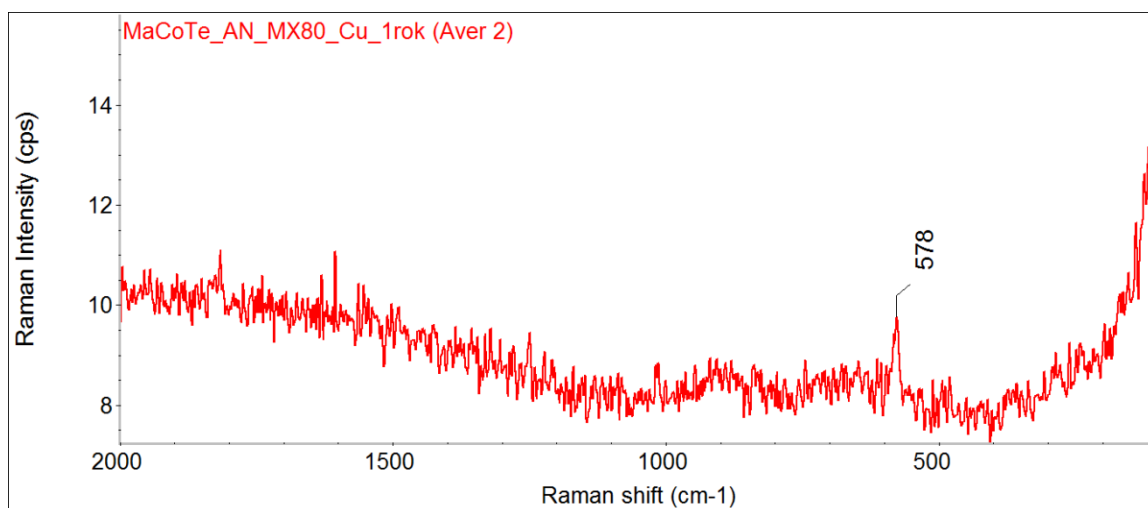
Obr. 11-87 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu



Obr. 11-88 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu



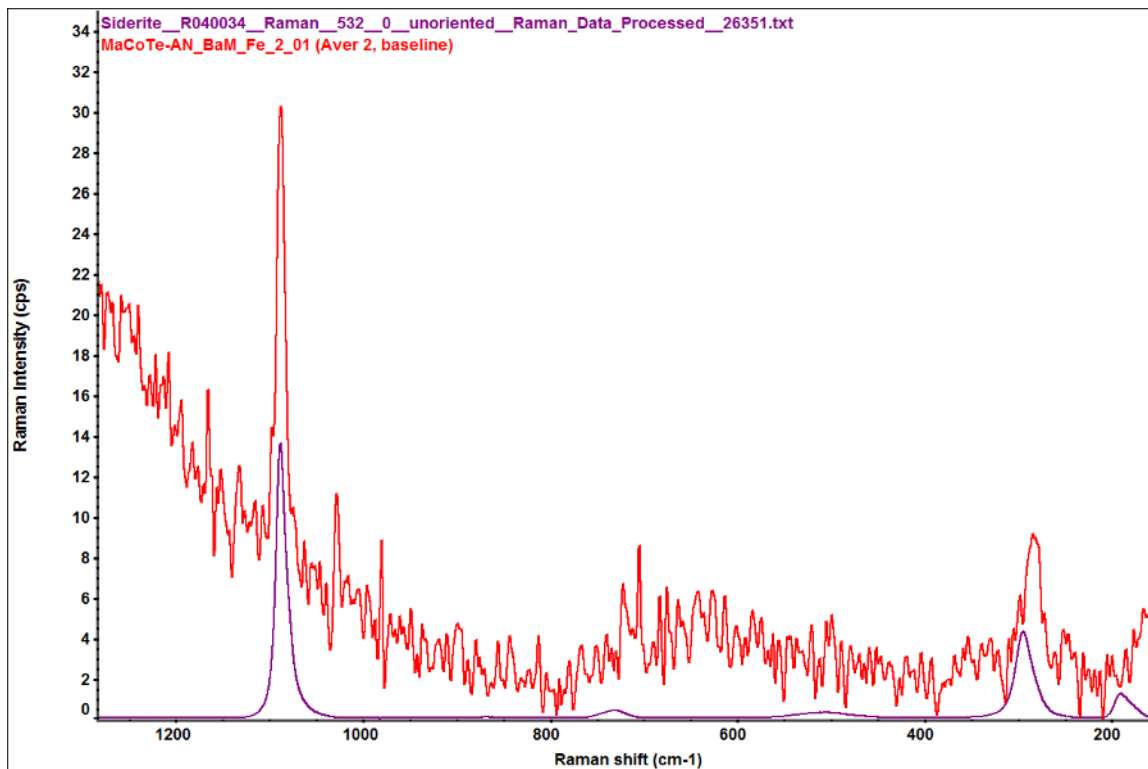
Obr. 11-89 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu



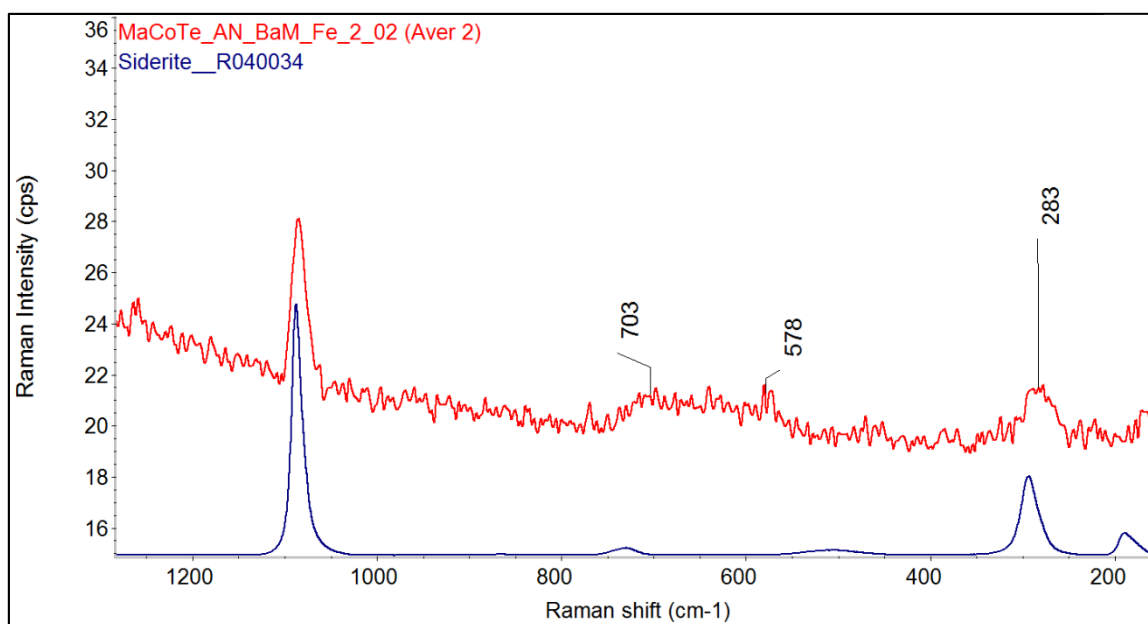
Obr. 11-90 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01 v prostředí bentonitu MX-80 po 1 roce experimentu

11.20 Ramanova spektroskopie po 2 letech

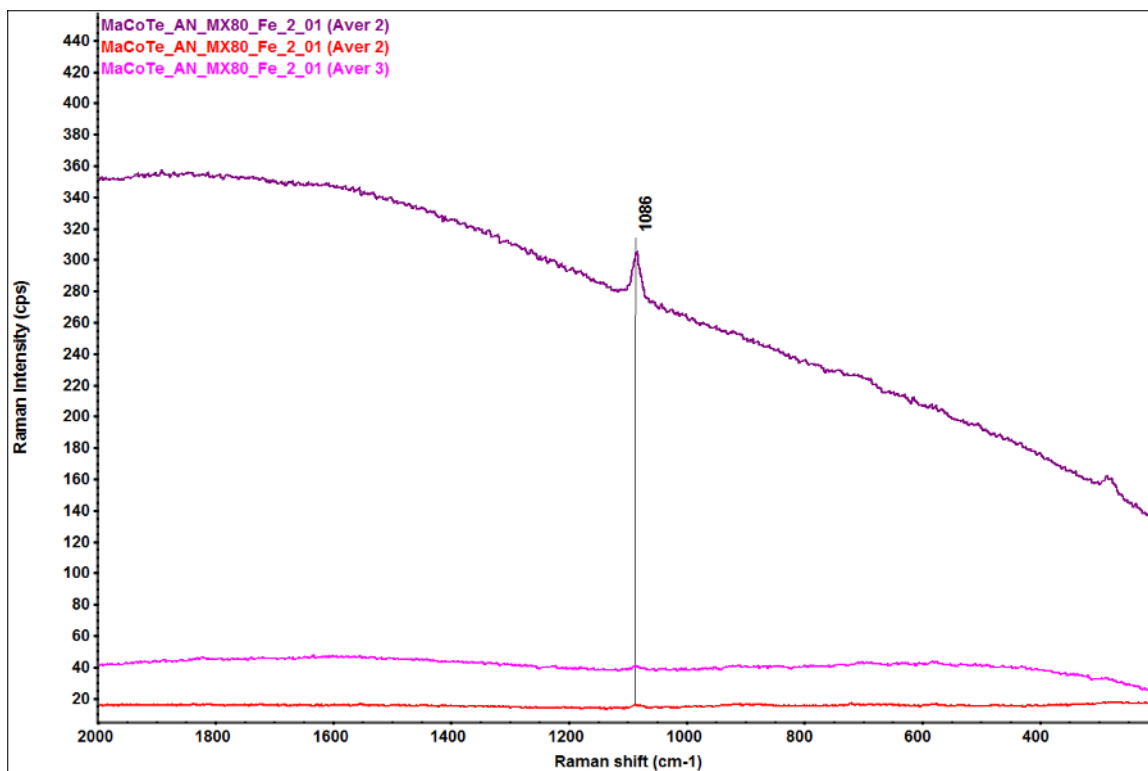
Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí Ramanovy spektroskopie přístrojem DXR Smart Raman (Thermo Scientific, USA) s excitační vlnovou délkou 532 nm a výkonem laseru 5 mW jsou uvedeny na Obr. 11-91 až Obr. 11-106.



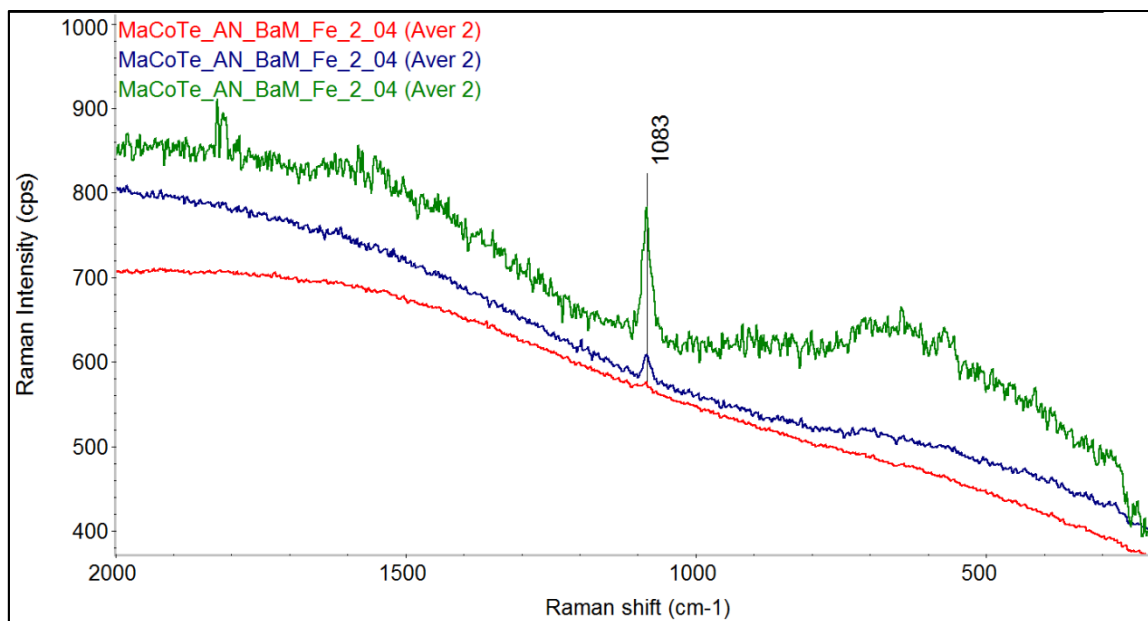
Obr. 11-91 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



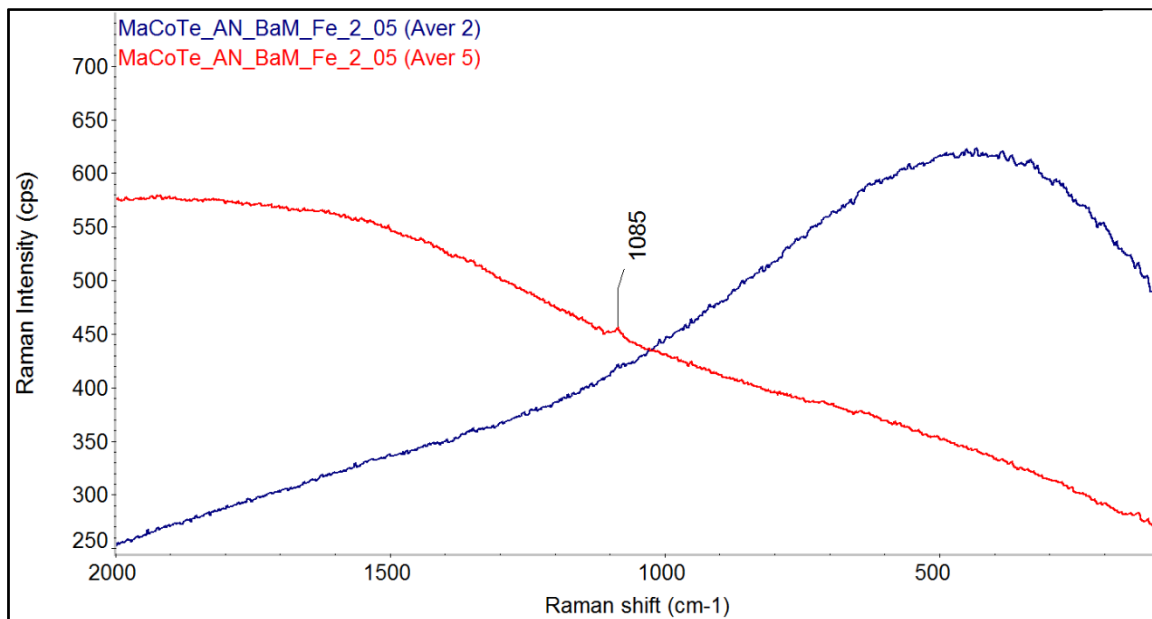
Obr. 11-92 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



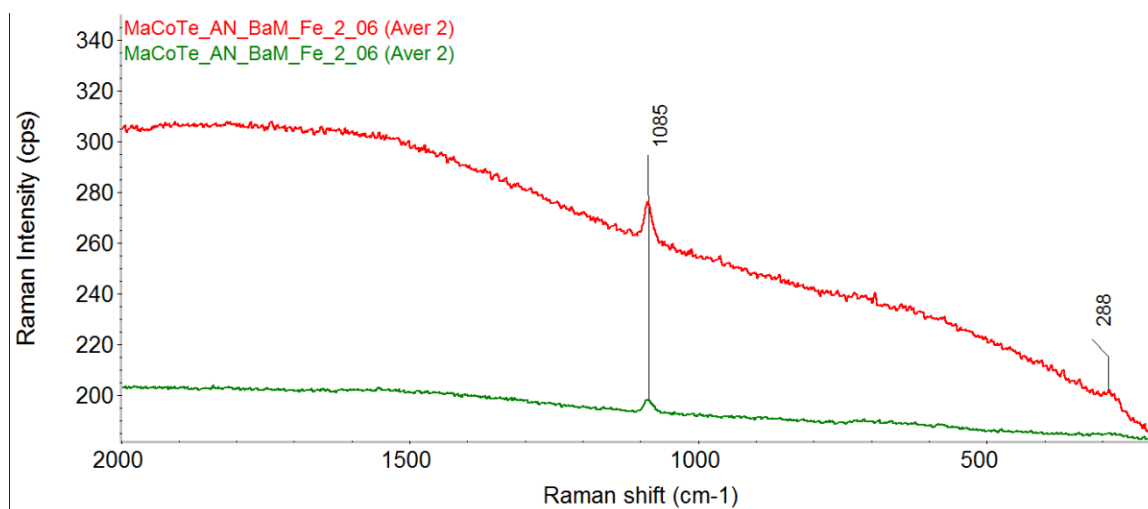
Obr. 11-93 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



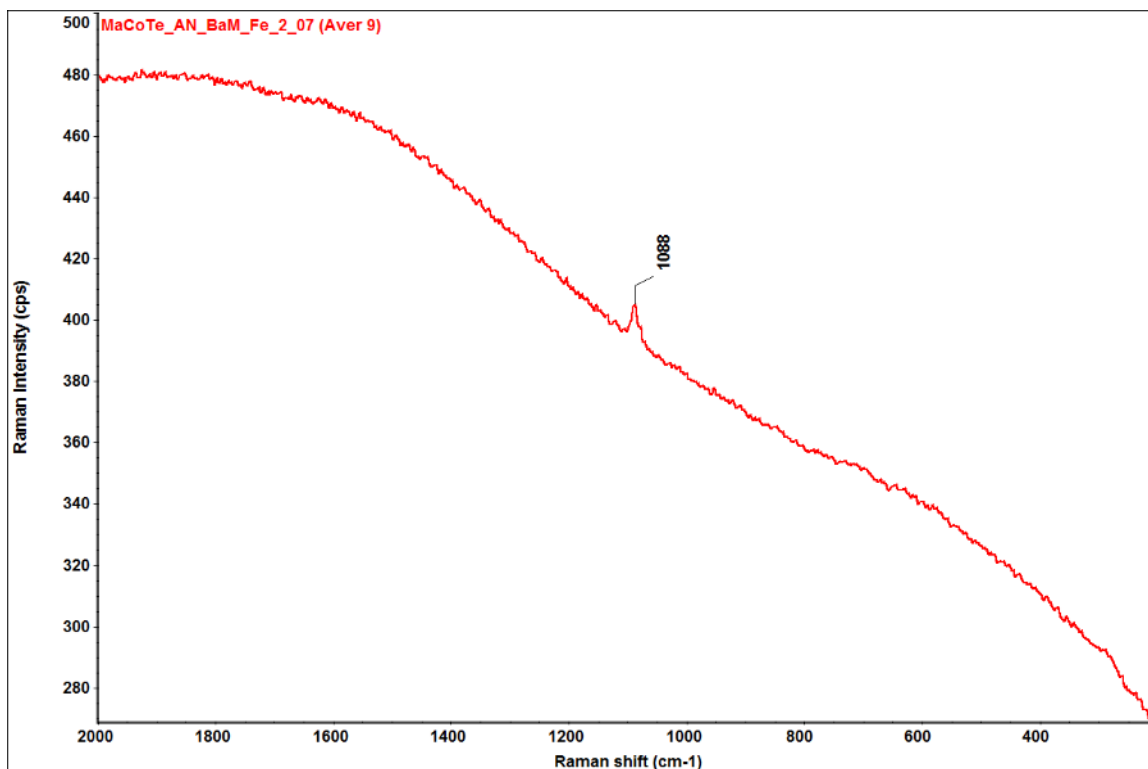
Obr. 11-94 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



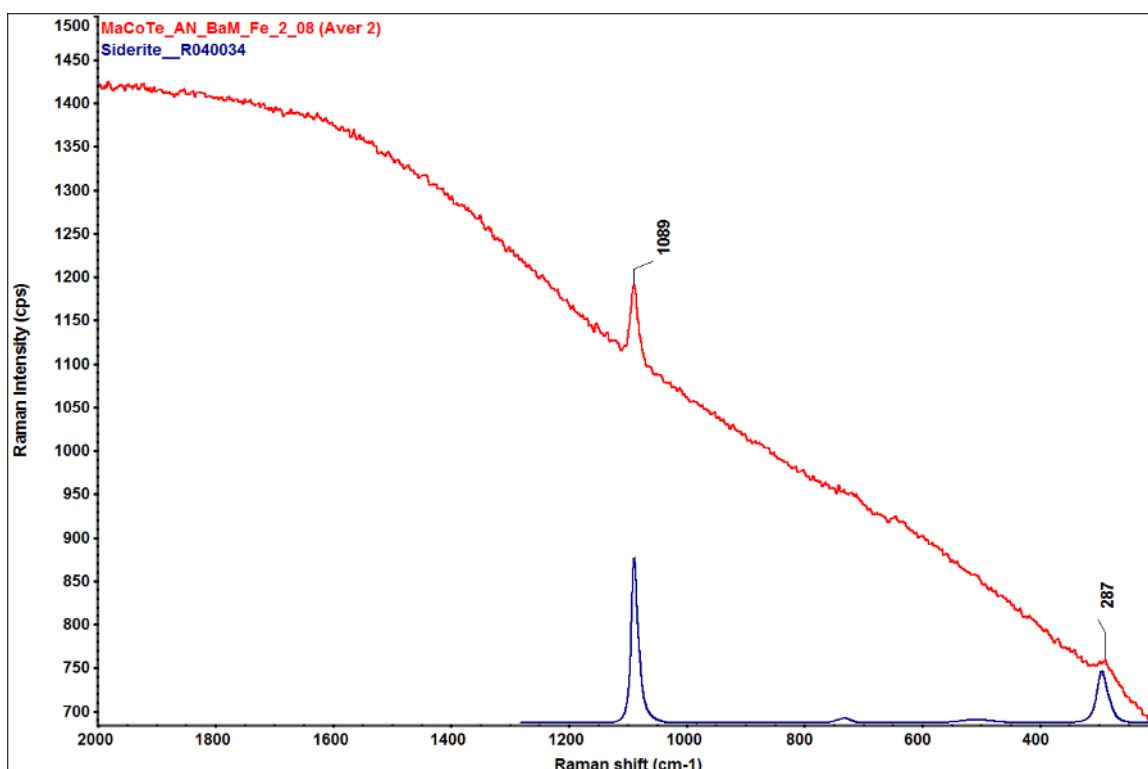
Obr. 11-95 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



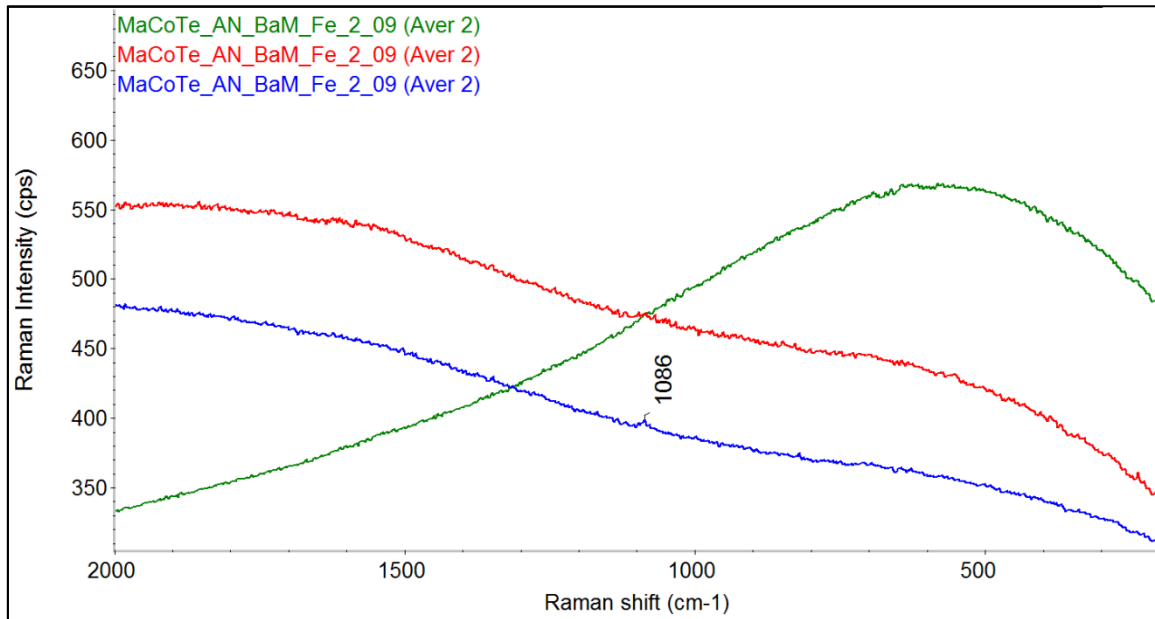
Obr. 11-96 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



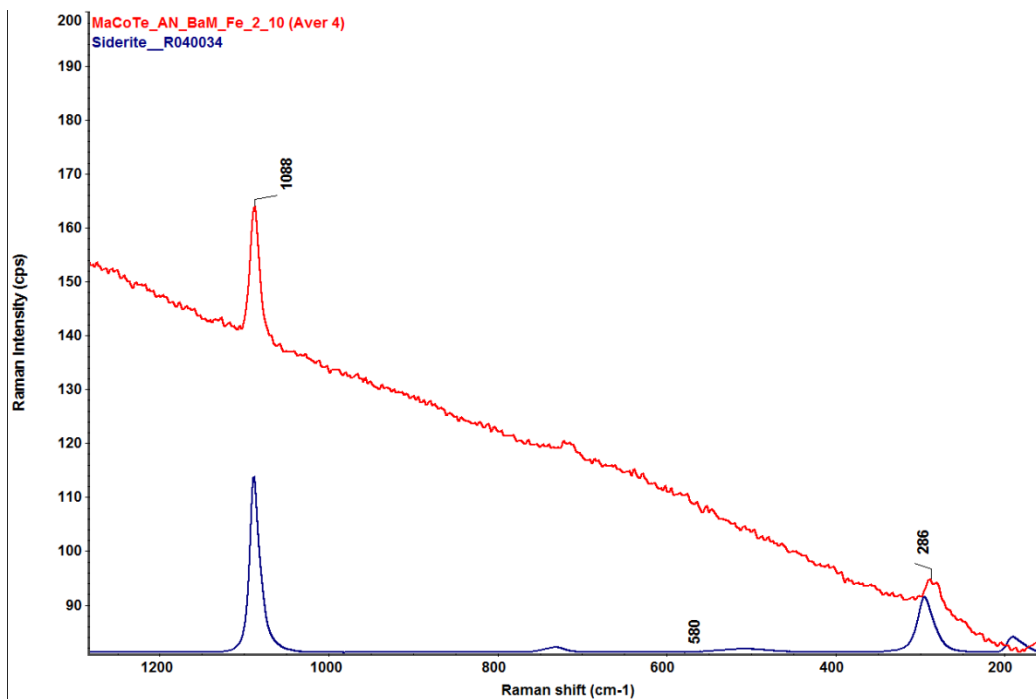
Obr. 11-97 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



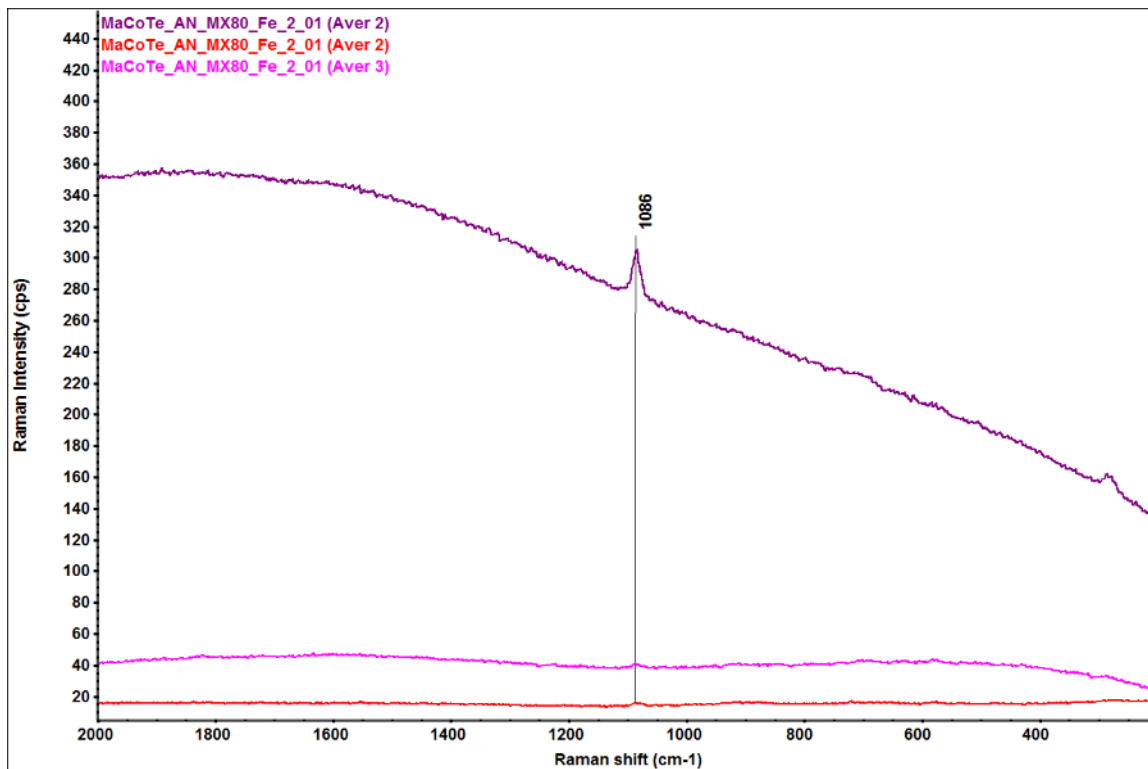
Obr. 11-98 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



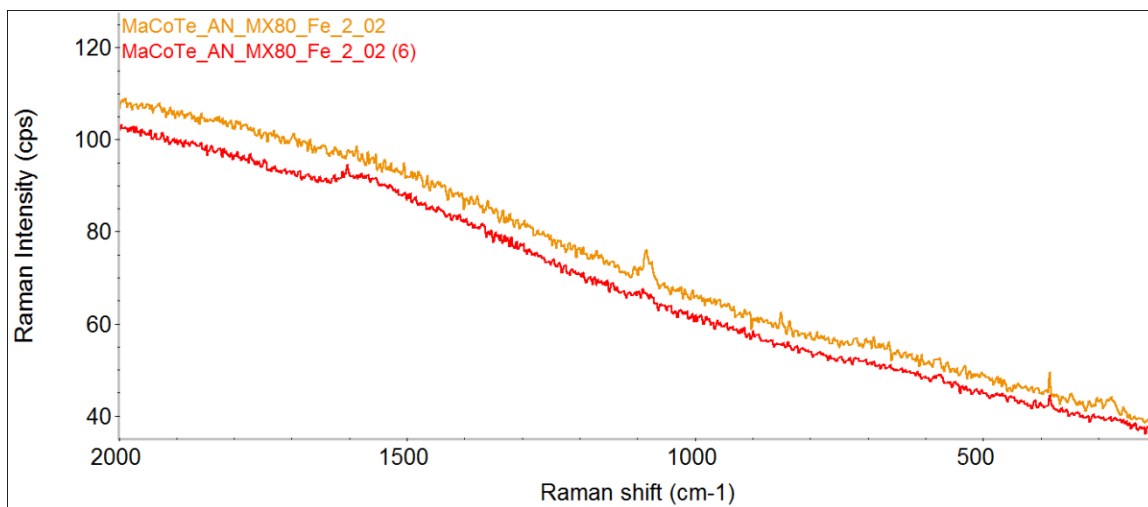
Obr. 11-99 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



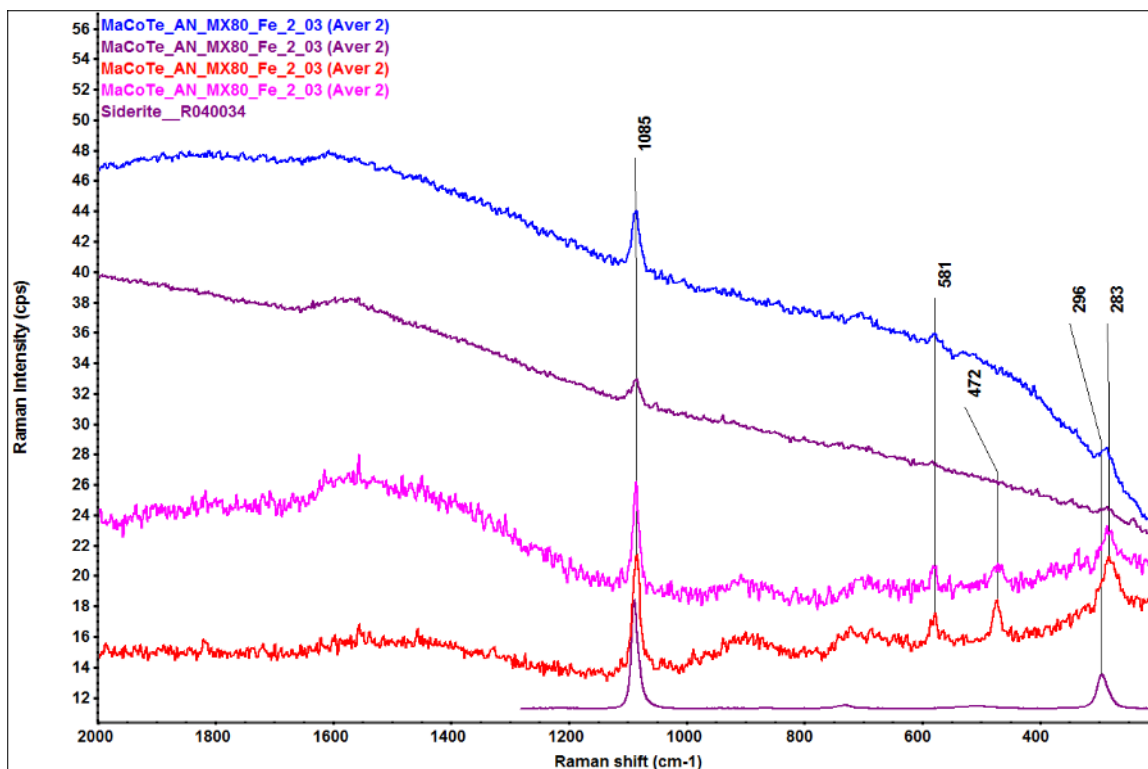
Obr. 11-100 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



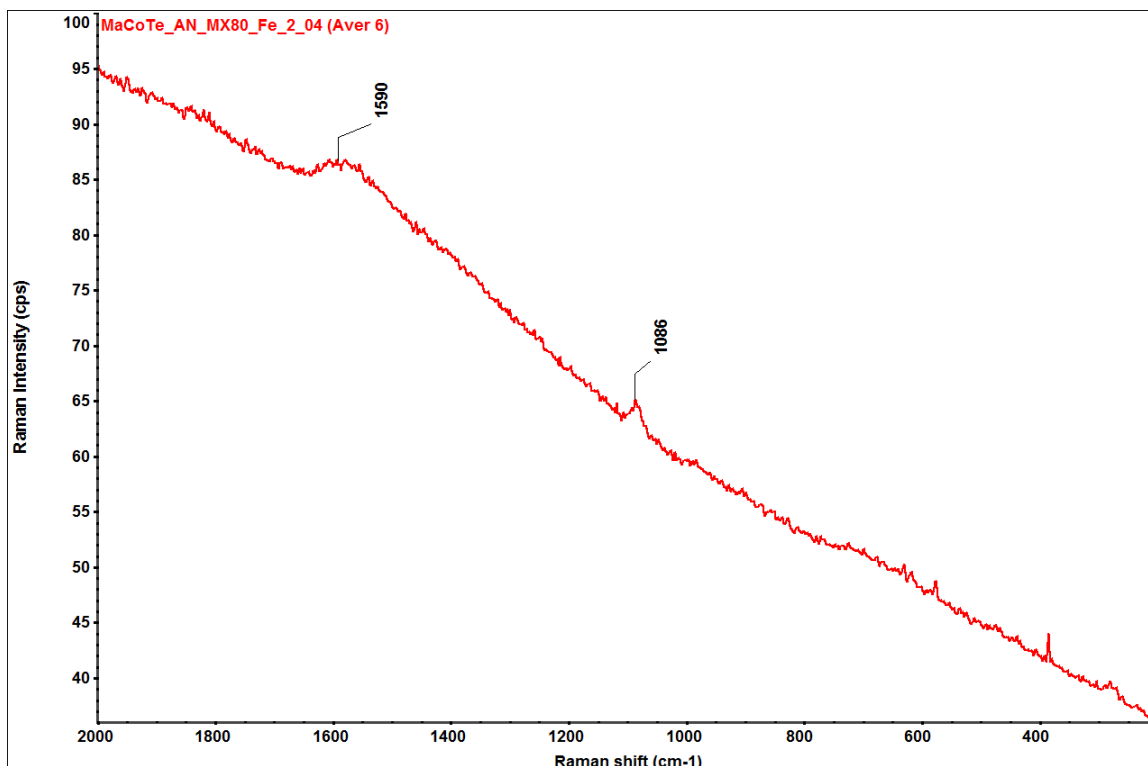
Obr. 11-101 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



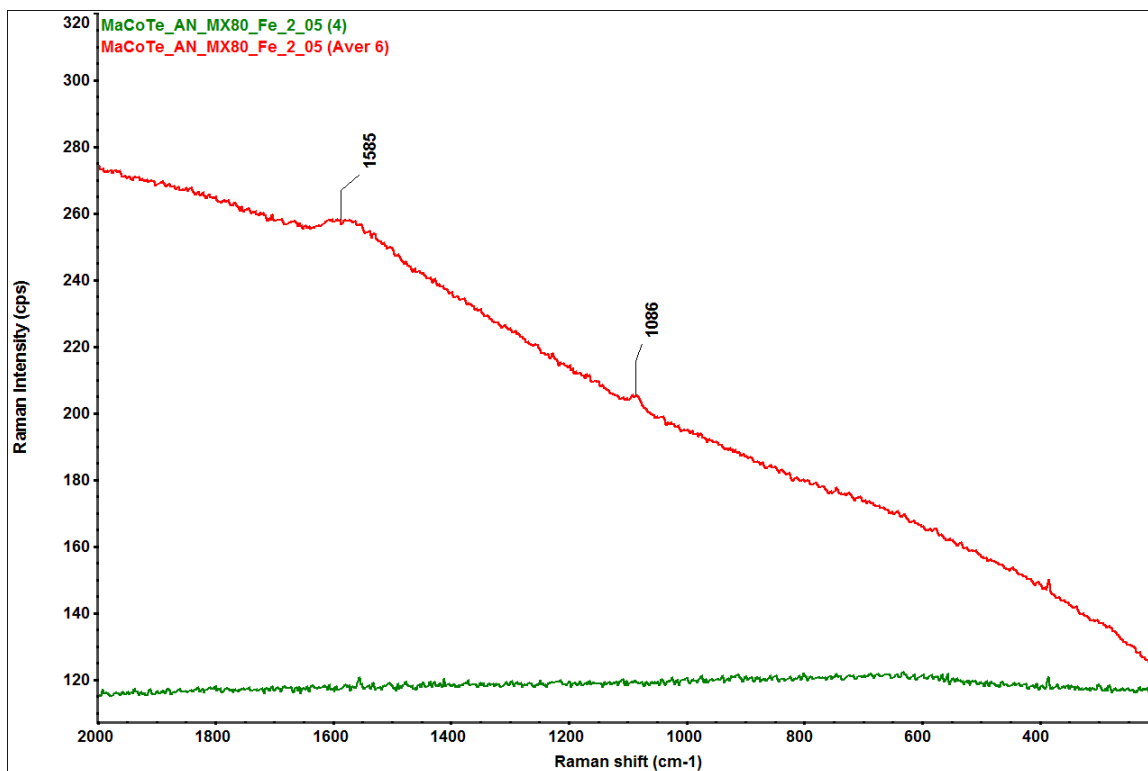
Obr. 11-102 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



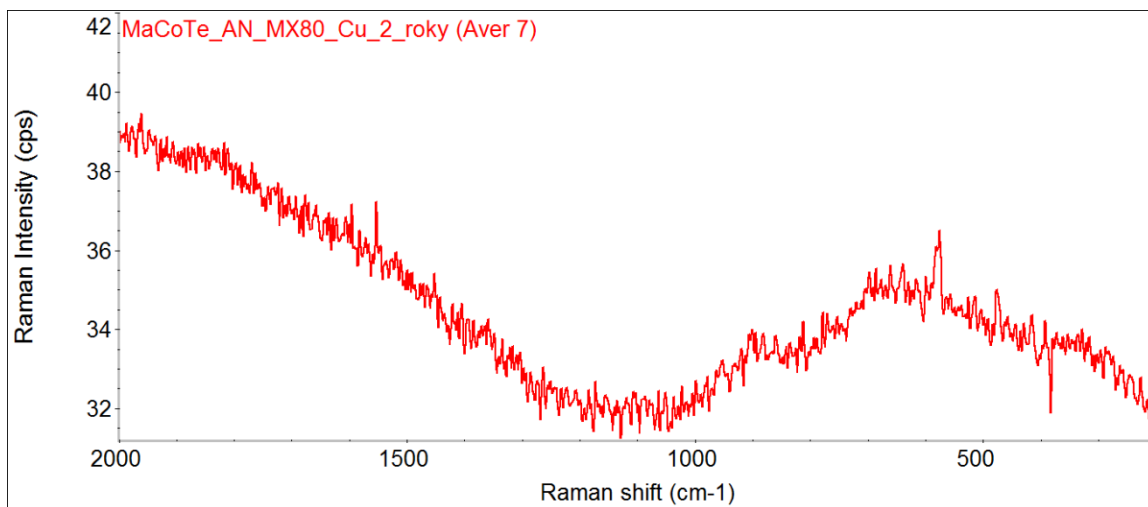
Obr. 11-103 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



Obr. 11-104 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



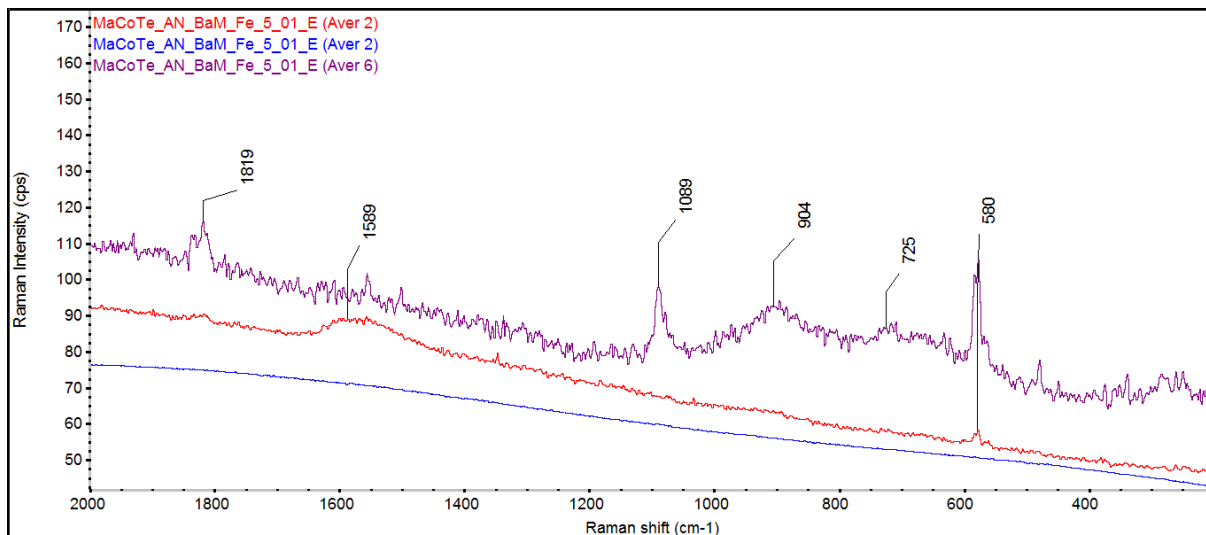
Obr. 11-105 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu



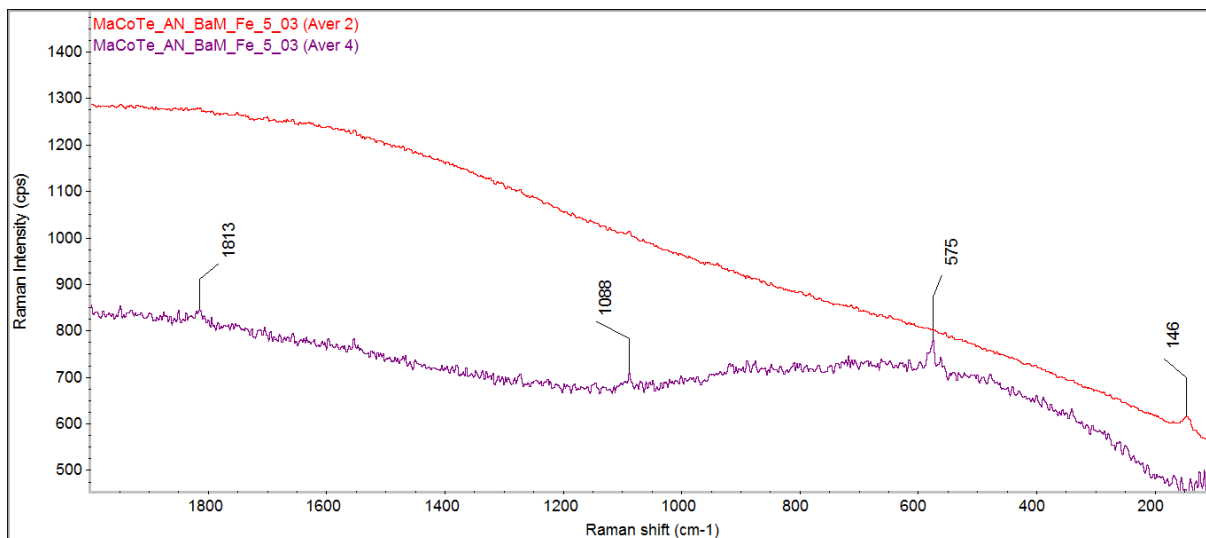
Obr. 11-106 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01 v prostředí bentonitu BaM po 2letém experimentu

11.21 Ramanova spektroskopie po 3 letech

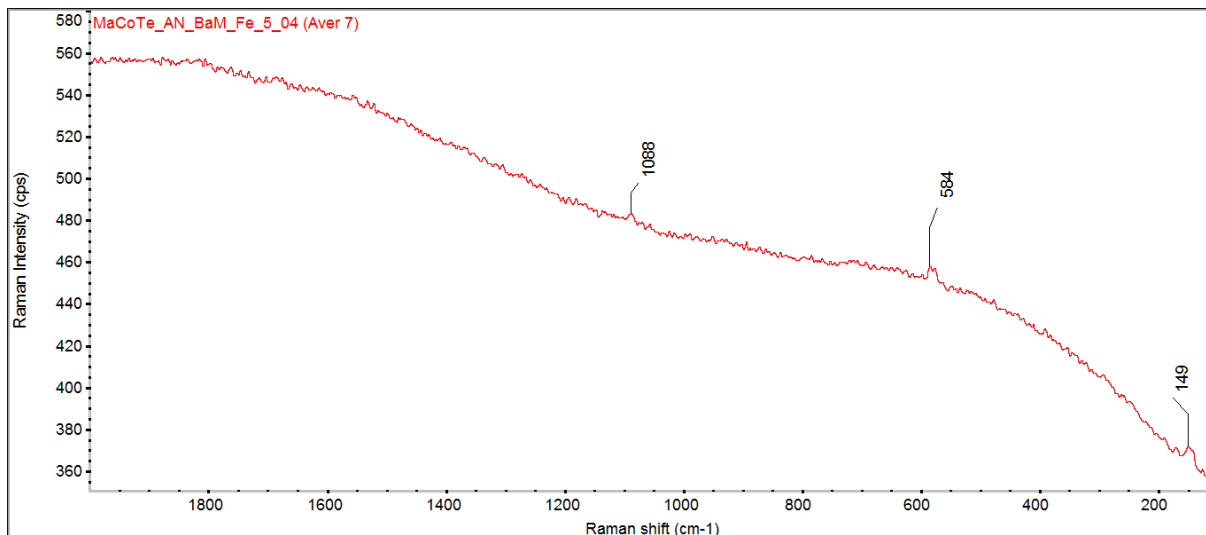
Korozní produkty na kovových vzorcích stanovené pomocí Ramanovy spektroskopie přístrojem DXR Smart Raman (Thermo Scientific, USA) s excitační vlnovou délkou 532 nm a výkonem laseru 5 mW jsou uvedeny na Obr. 11-107 až Obr. 11-119.



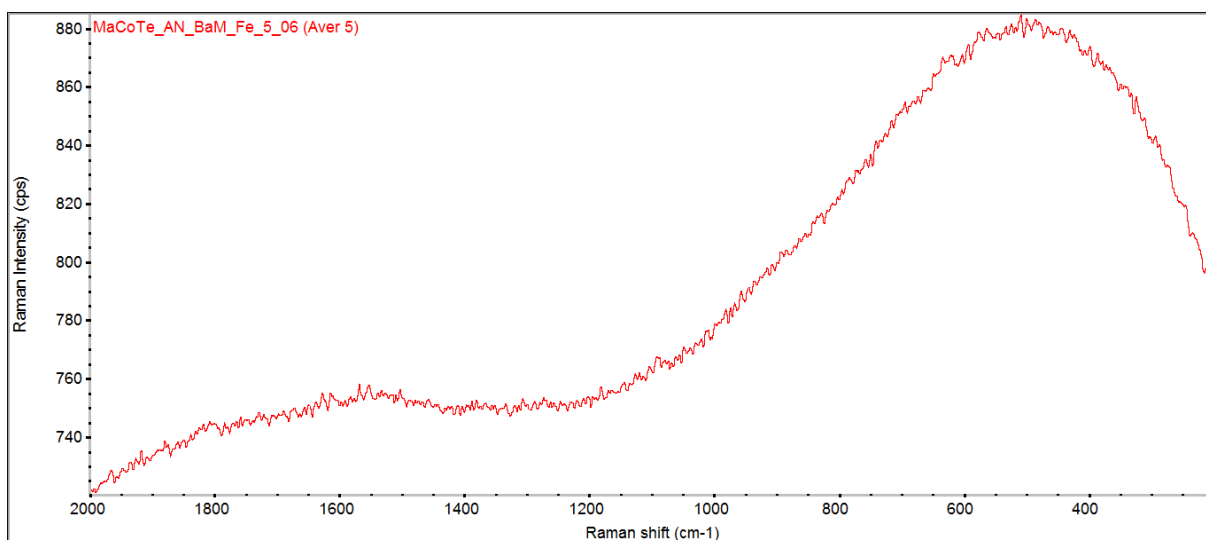
Obr. 11-107 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_1 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



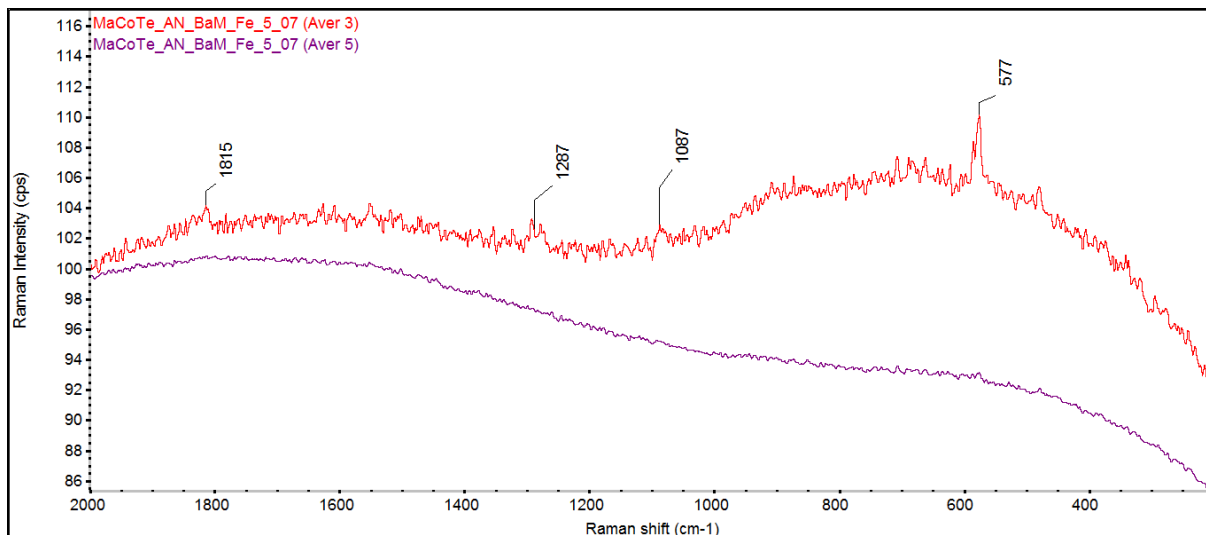
Obr. 11-108 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_3 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



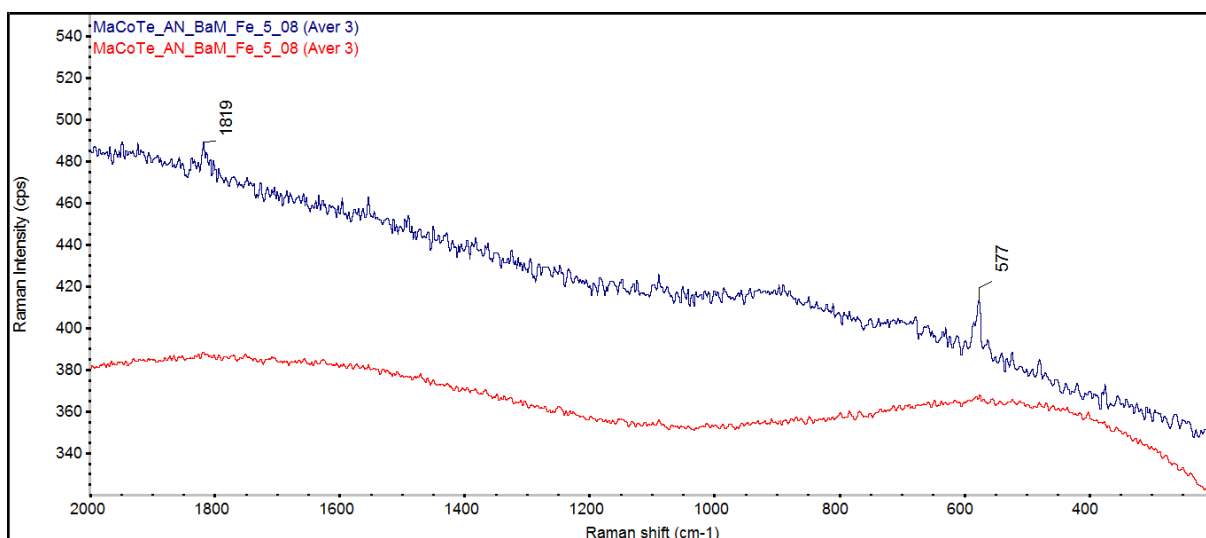
Obr. 11-109 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_4 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



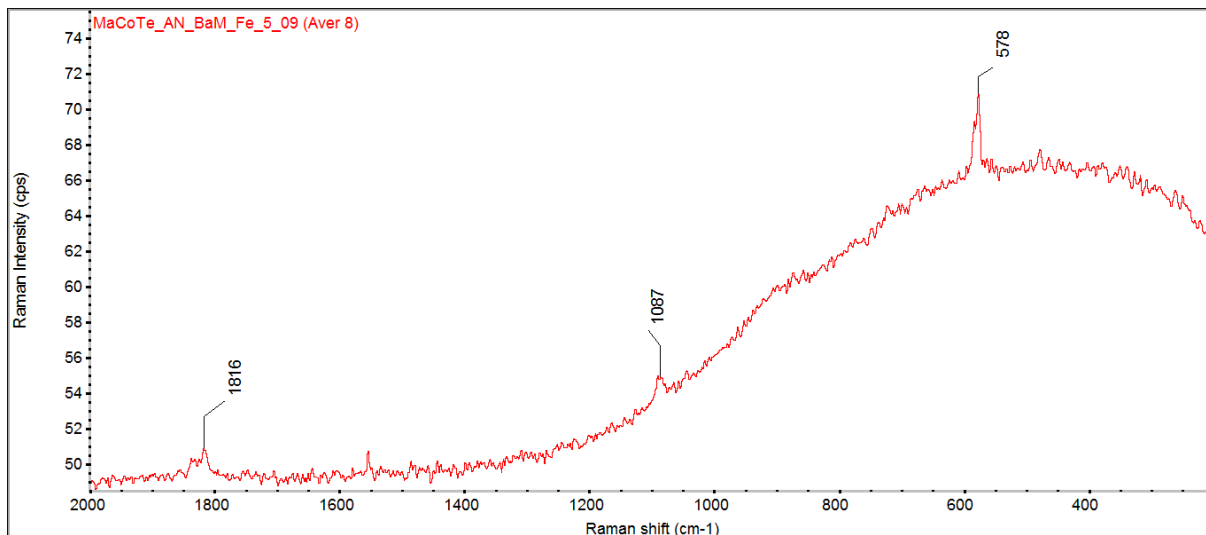
Obr. 11-110 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_6 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



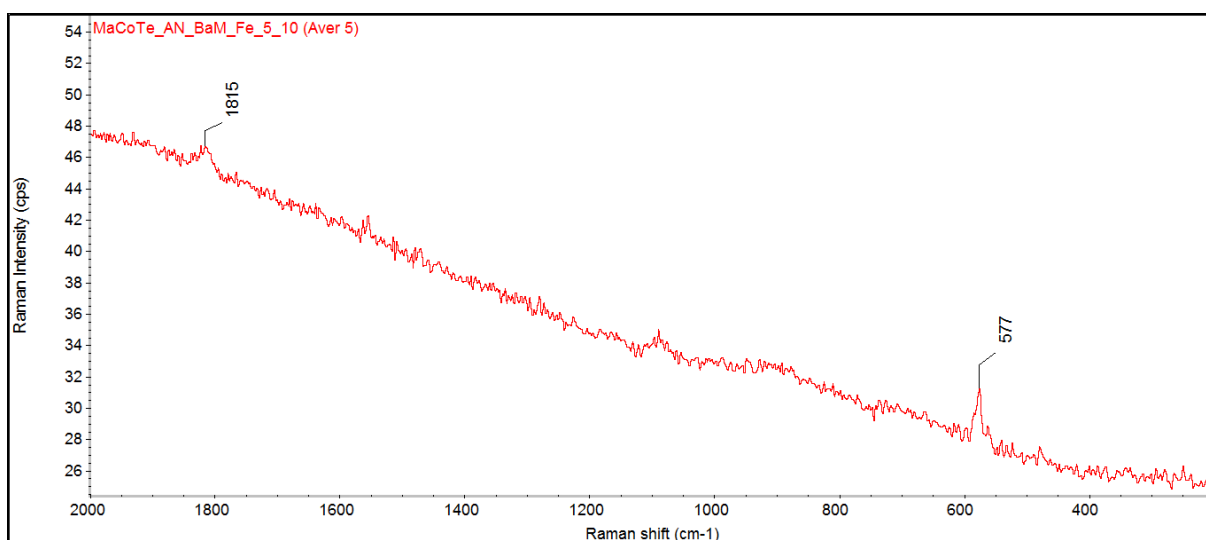
Obr. 11-111 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_7 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



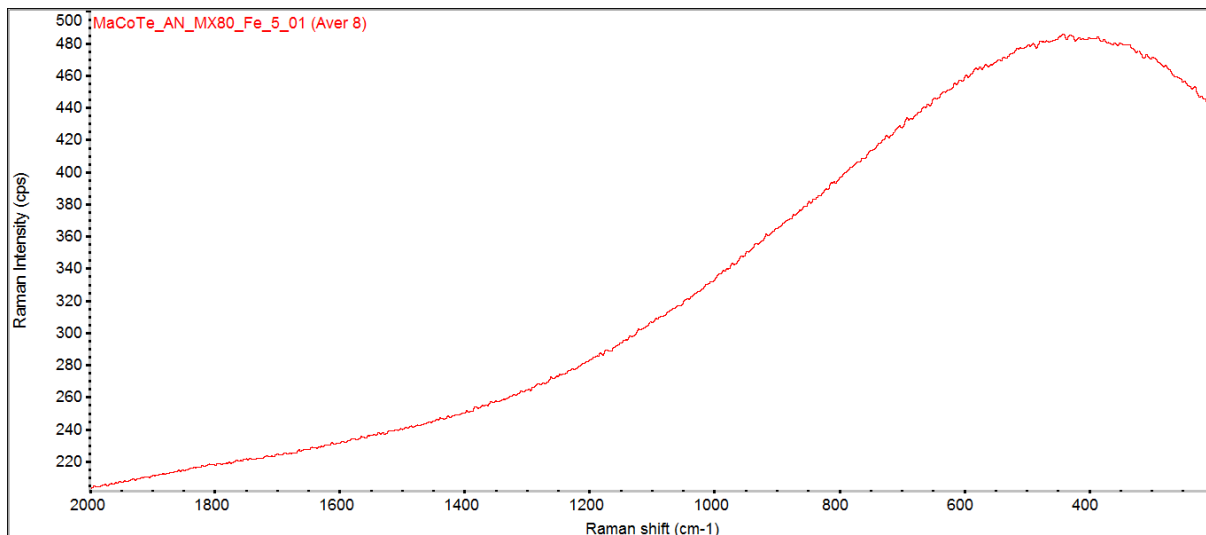
Obr. 11-112 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_8 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



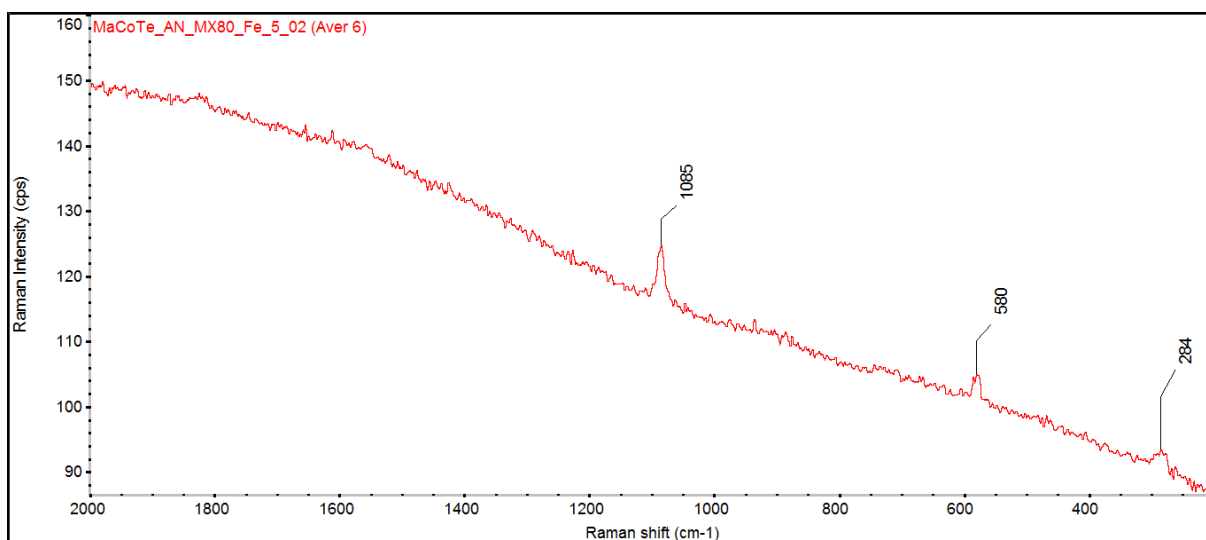
Obr. 11-113 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_9 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



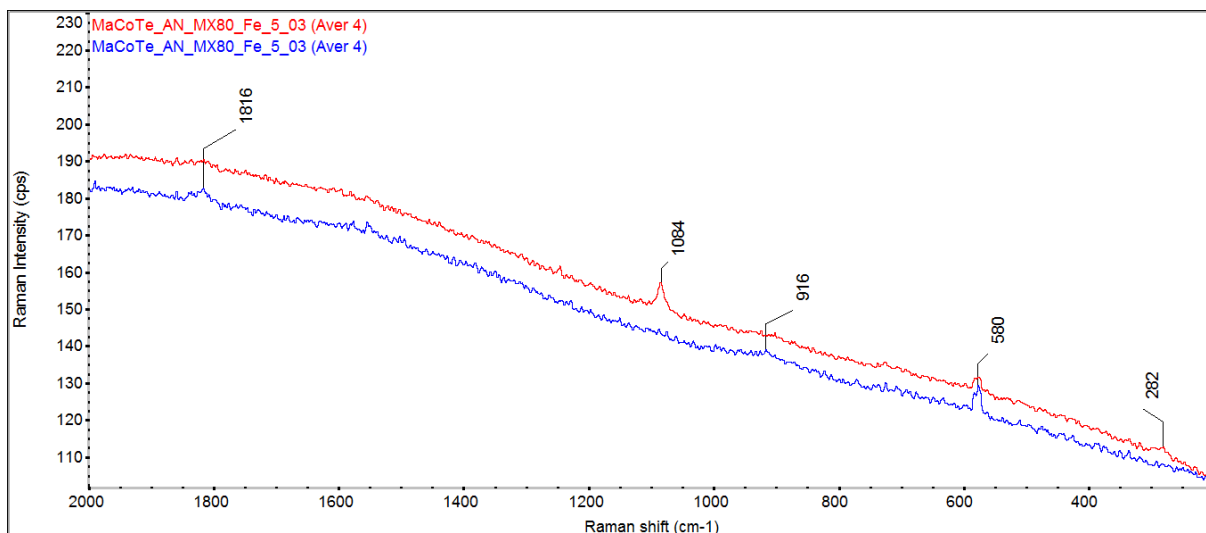
Obr. 11-114 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 v prostředí bentonitu BaM po 3letém experimentu



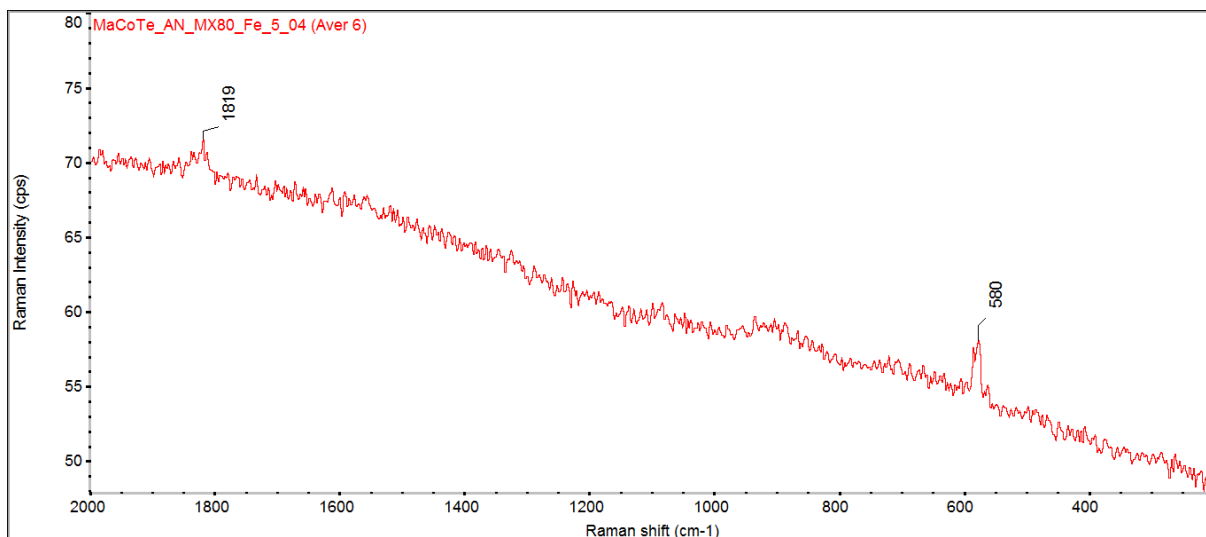
Obr. 11-115 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_1 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu



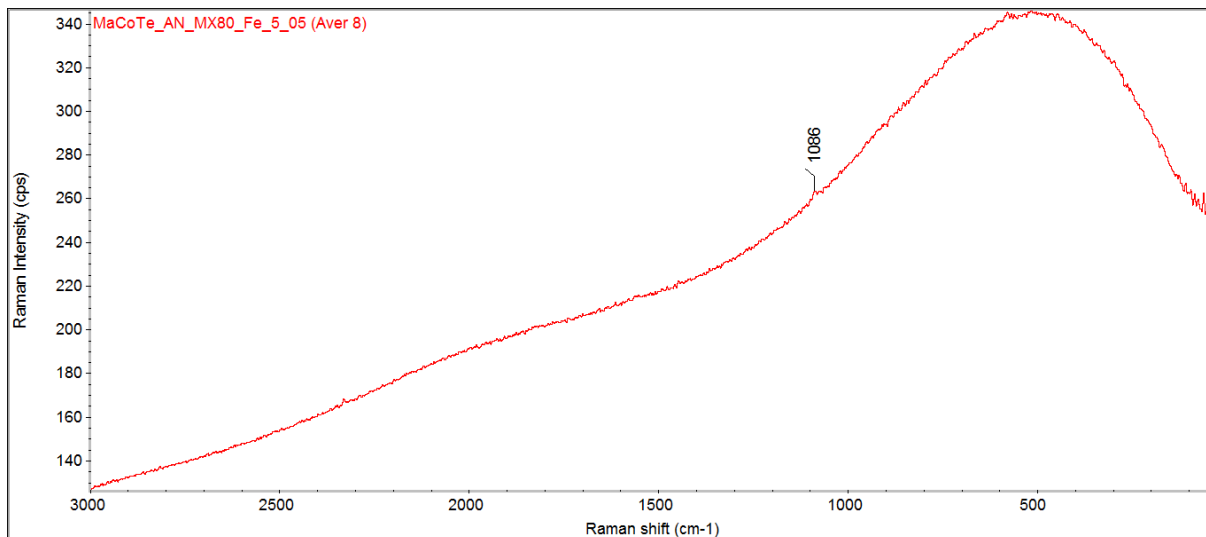
Obr. 11-116 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_2 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu



Obr. 11-117 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_3 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu



Obr. 11-118 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_4 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu



Obr. 11-119 Záznam Ramanovy spektroskopie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_5 v prostředí bentonitu MX-80 po 3letém experimentu

11.22 Stanovené korozní produkty

V následujících tabulkách Tab. 11-49 a Tab. 11-51 je uveden celkový přehled stanovených korozních produktů na kovových vzorcích. Obecně bylo množství korozních produktů nízké pro použité metody. U Ramanovy spektroskopie je uveden výraz uhličitan. V tomto případě byl detekován slabý/velmi slabý signál uhličitanu, který neumožňoval bližší specifikaci, zda se jedná o siderit/čukanovit.

Tab. 11-49 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po roční korozní zkoušce

Vzorek	Doba experimentu	Materiál	Prostředí	Rentgenová difrakční analýzy	Ramanova spektroskopie
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-01	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-02	1 rok	Ocel	BaM	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-03	1 rok	Ocel	BaM	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-04	1 rok	Ocel	BaM	nedetekováno	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-05	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-06	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-07	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-08	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-09	1 rok	Ocel	BaM	Siderit Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_1-10	1 rok	Ocel	BaM	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-01	1 rok	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-02	1 rok	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-03	1 rok	Ocel	MX-80	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-04	1 rok	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_1-05	1 rok	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Cu_7_01	1 rok	Měď	MX-80	nedetekováno	nedetekováno

Tab. 11-50 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po dvouleté korozní zkoušce

Vzorek	Doba experimentu	Materiál	Prostředí	Rentgenová difrakční analýzy	Ramanova spektroskopie
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-01	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-02	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-03	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-04	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan

MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-05	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-06	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-07	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-08	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-09	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_2-10	2 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-01	2 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-02	2 roky	Ocel	MX-80	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-03	2 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-04	2 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_2-05	2 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Cu_2_01	2 roky	Měď	MX-80	nedetekováno	nedetekováno

Tab. 11-51 Přehled stanovených korozních produktů na jednotlivých kovových vzorcích po tříleté korozní zkoušce

Vzorek	Doba experimentu	Materiál	Prostředí	Rentgenová difrakční analýzy	Ramanova spektroskopie
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-01	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-02	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-03	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-04	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-05	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-06	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-07	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-08	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-09	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	uhličitan
MaCoTe_AN_BaM-Fe_5-10	3 roky	Ocel	BaM	Čukanovit	nedetekováno
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-01	3 roky	Ocel	MX-80	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-02	3 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-03	3 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-04	3 roky	Ocel	MX-80	Siderit	nedetekováno
MaCoTe_AN_MX80-Fe_5-05	3 roky	Ocel	MX-80	Siderit	uhličitan
MaCoTe_AN_MX80-Cu_5_01	3 roky	Měď	MX-80	nedetekováno	nedetekováno

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

11.23 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce v bentonitu BaM

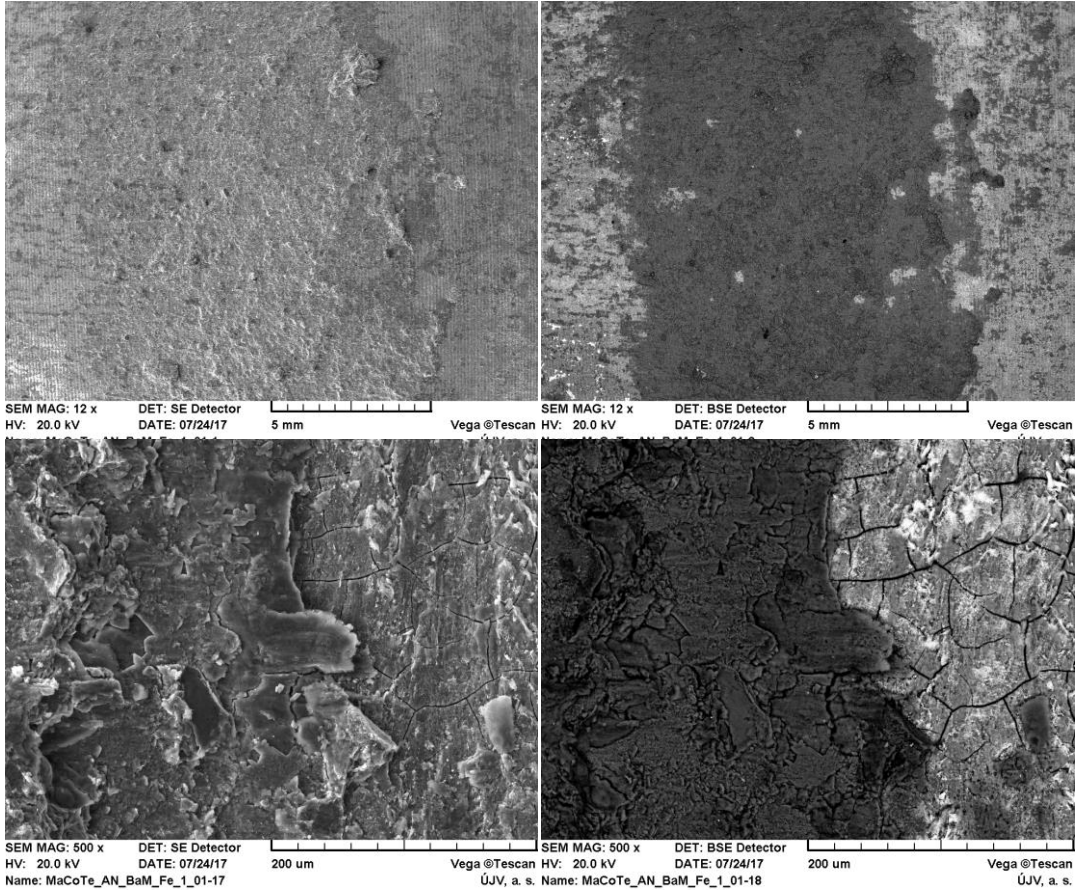
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01, který byl v bentonitu BaM je uvedena na Obr. 11-120 až Obr. 11-131, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).

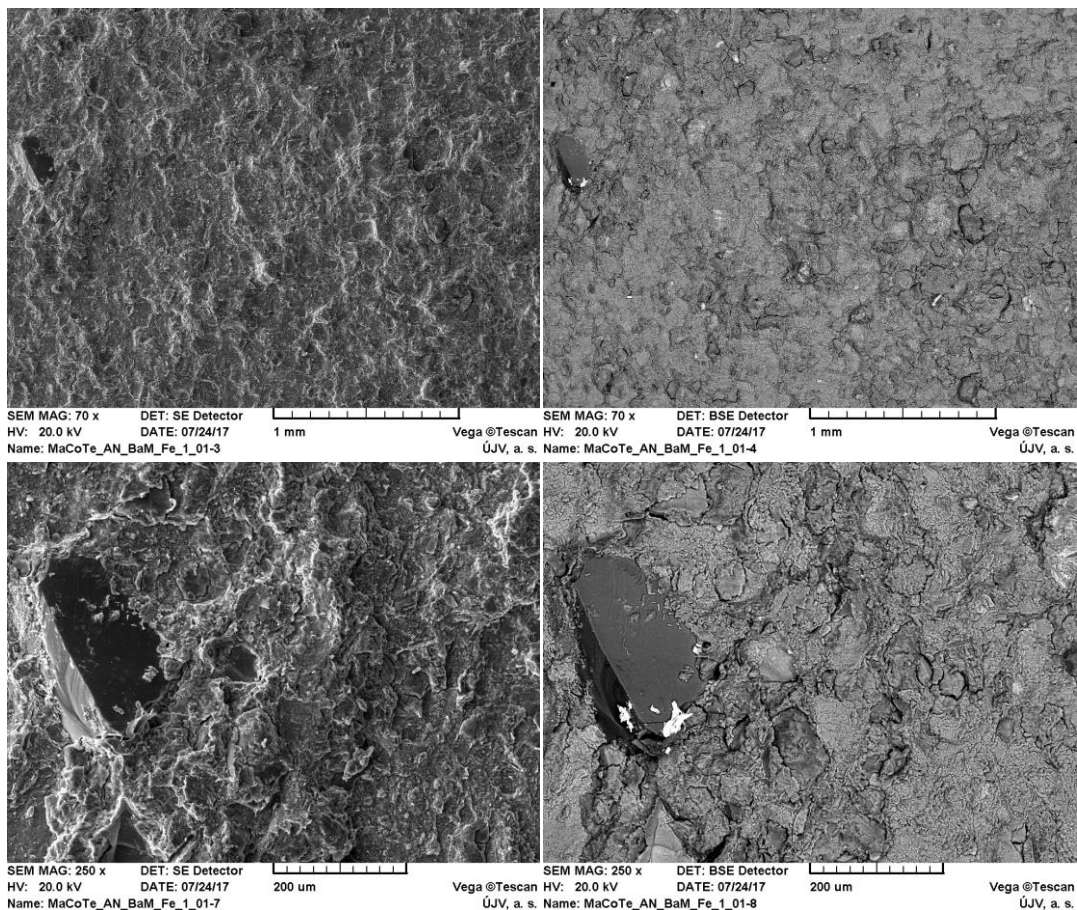


Obr. 11-120 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)

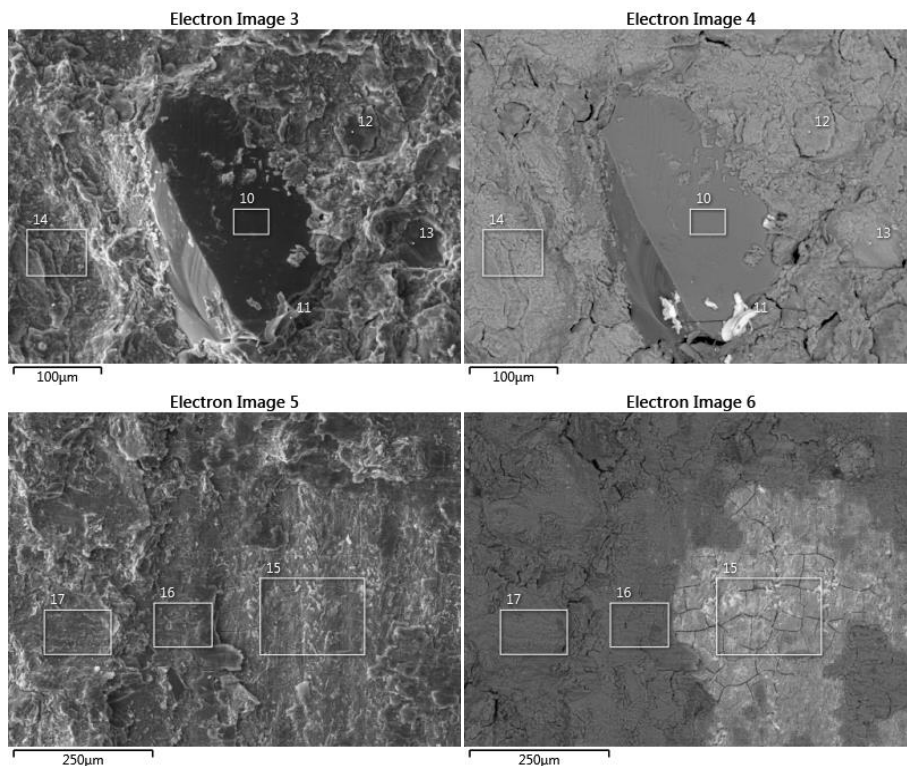


Obr. 11-121 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli





Obr. 11-122 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech



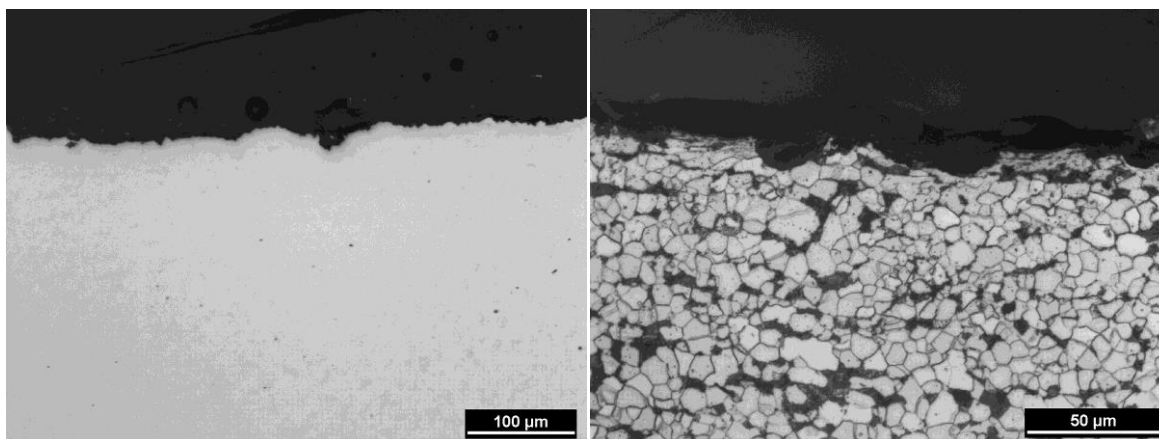
Oblast	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe
10	50,6	0,1	0,1	0,1	48,7	0,0	0,0	0,1		0,0	0,4

11	3,0	2,1	0,1	1,0	0,4	0,1	0,1	0,4		0,7	92,2
12	45,2	0,4	3,4	8,8	26,1	0,1	0,5	1,0	2,2	0,2	12,0
13	59,4	0,1	2,7	3,3	7,2	0,0	1,0	22,2		1,1	3,0
14	51,7	0,1	3,0	3,7	8,8	0,0	1,4	24,7		2,9	3,7
15	32,9	-	1,7	1,4	15,0	0,9		1,5		0,6	46,1
16	50,5	-	2,7	5,3	12,7		1,2	17,8	0,3	1,5	8,0
17	53,7	-	2,8	2,7	5,9		0,6	27,5	0,2	2,9	3,8

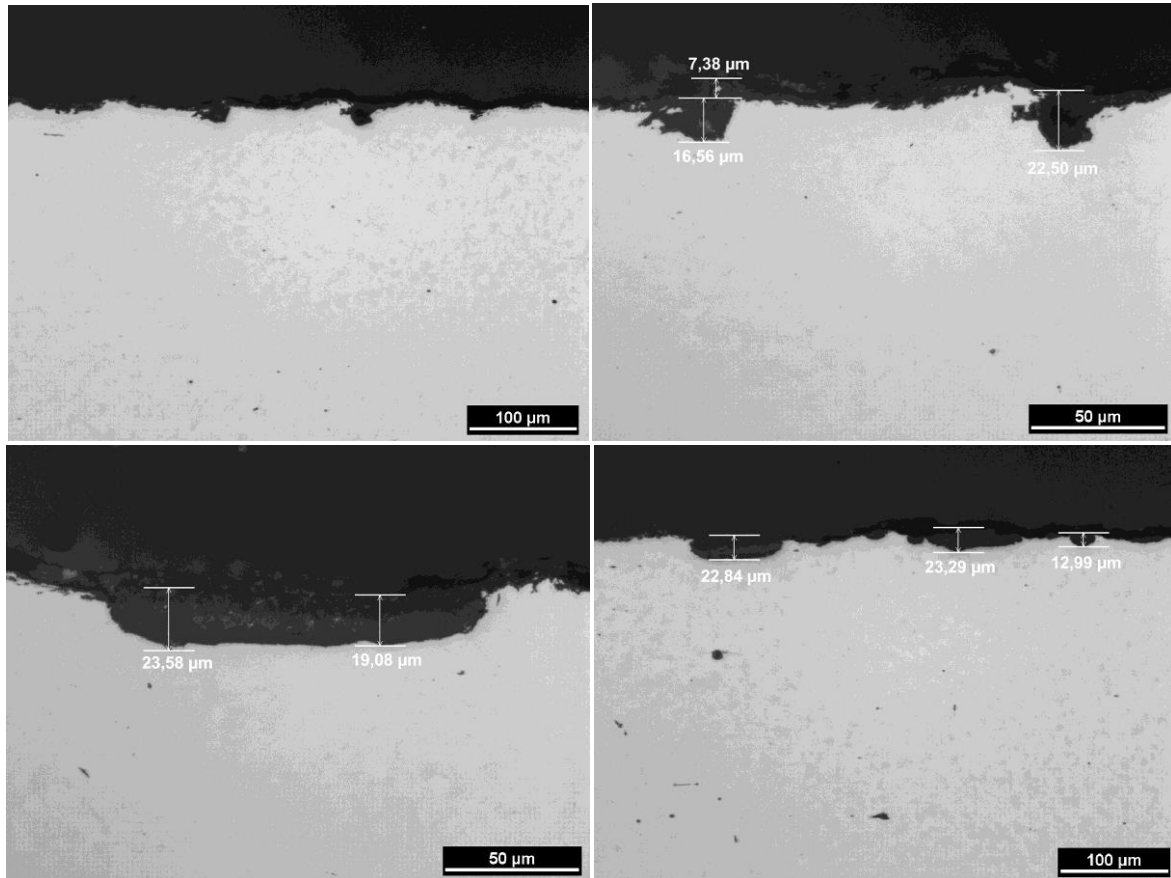
Obr. 11-123 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



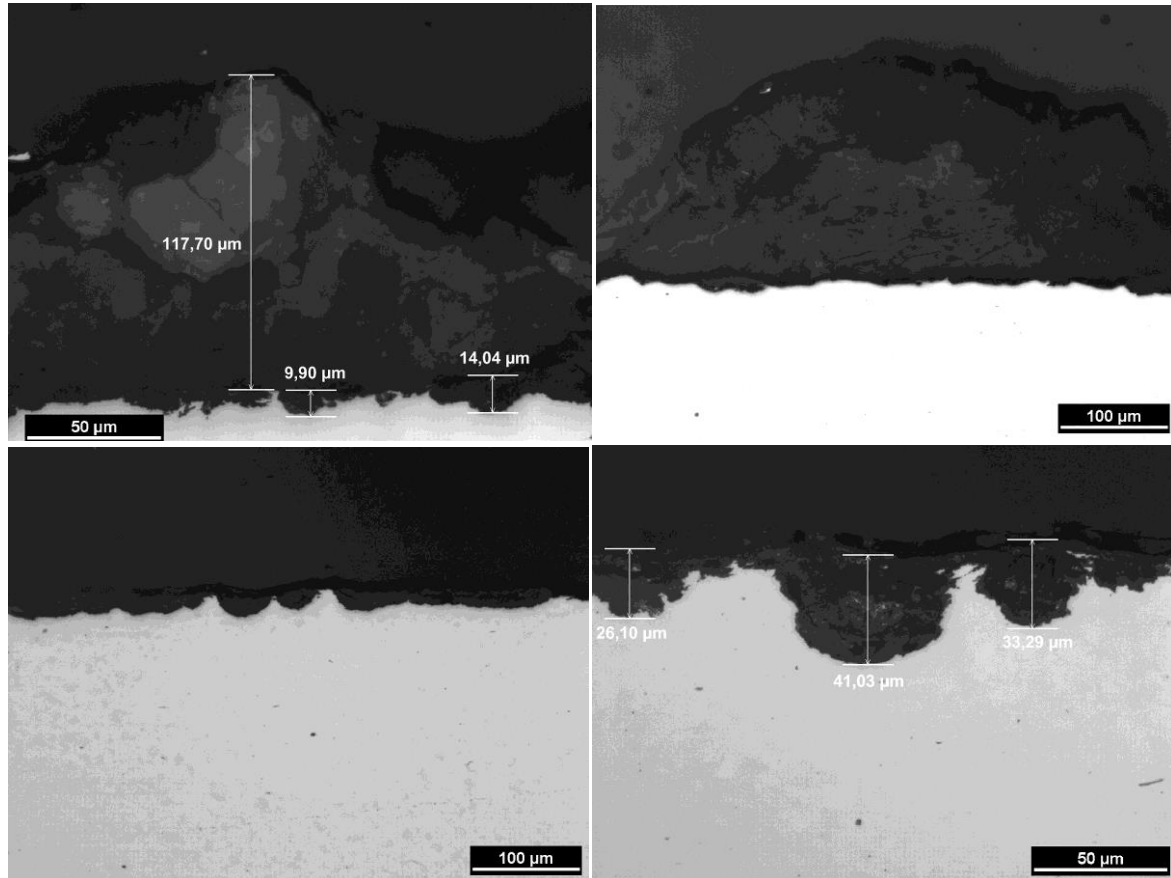
Obr. 11-124 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



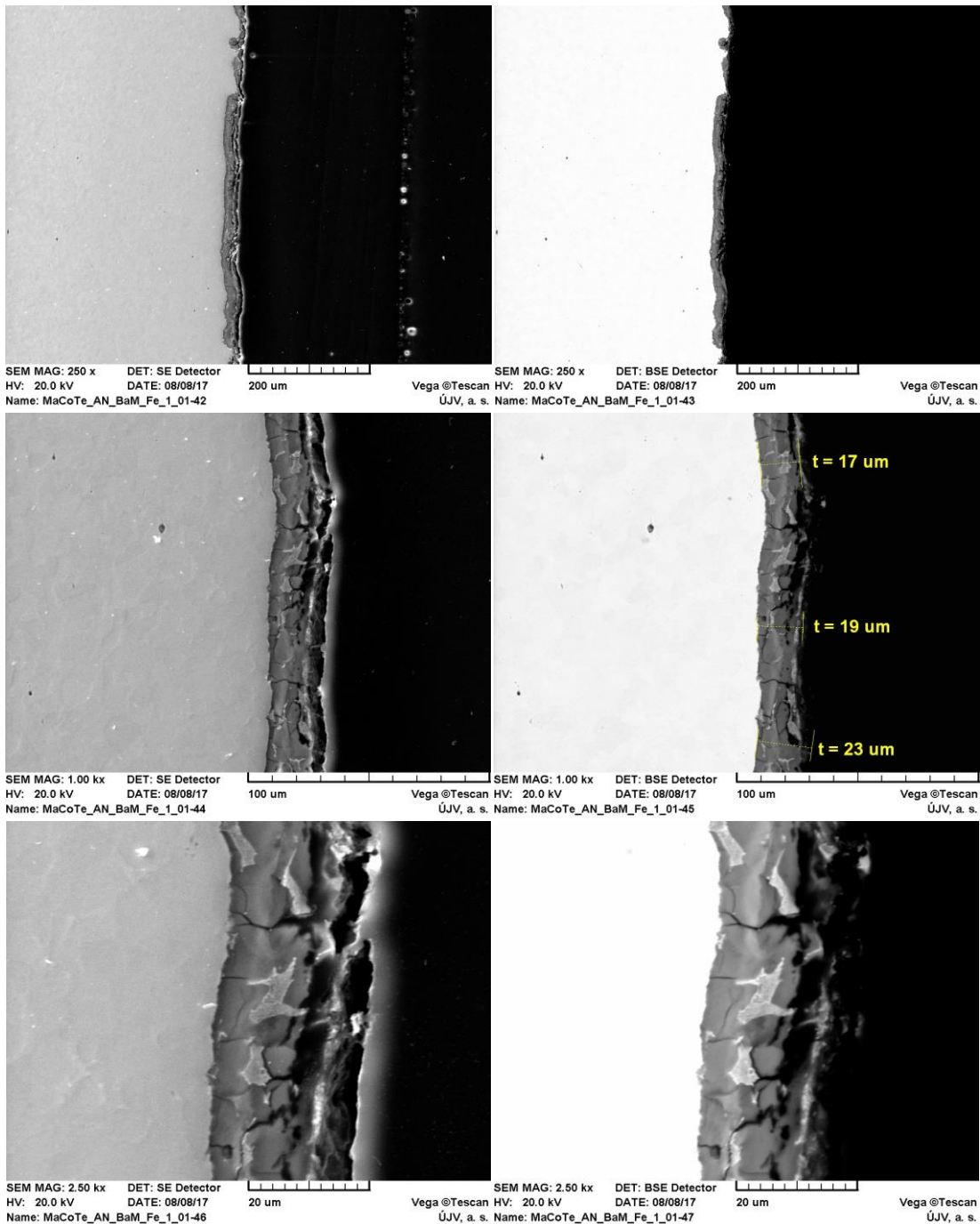
Obr. 11-125 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo neleptáno (pozice a) a napravo leptáno (pozice b)



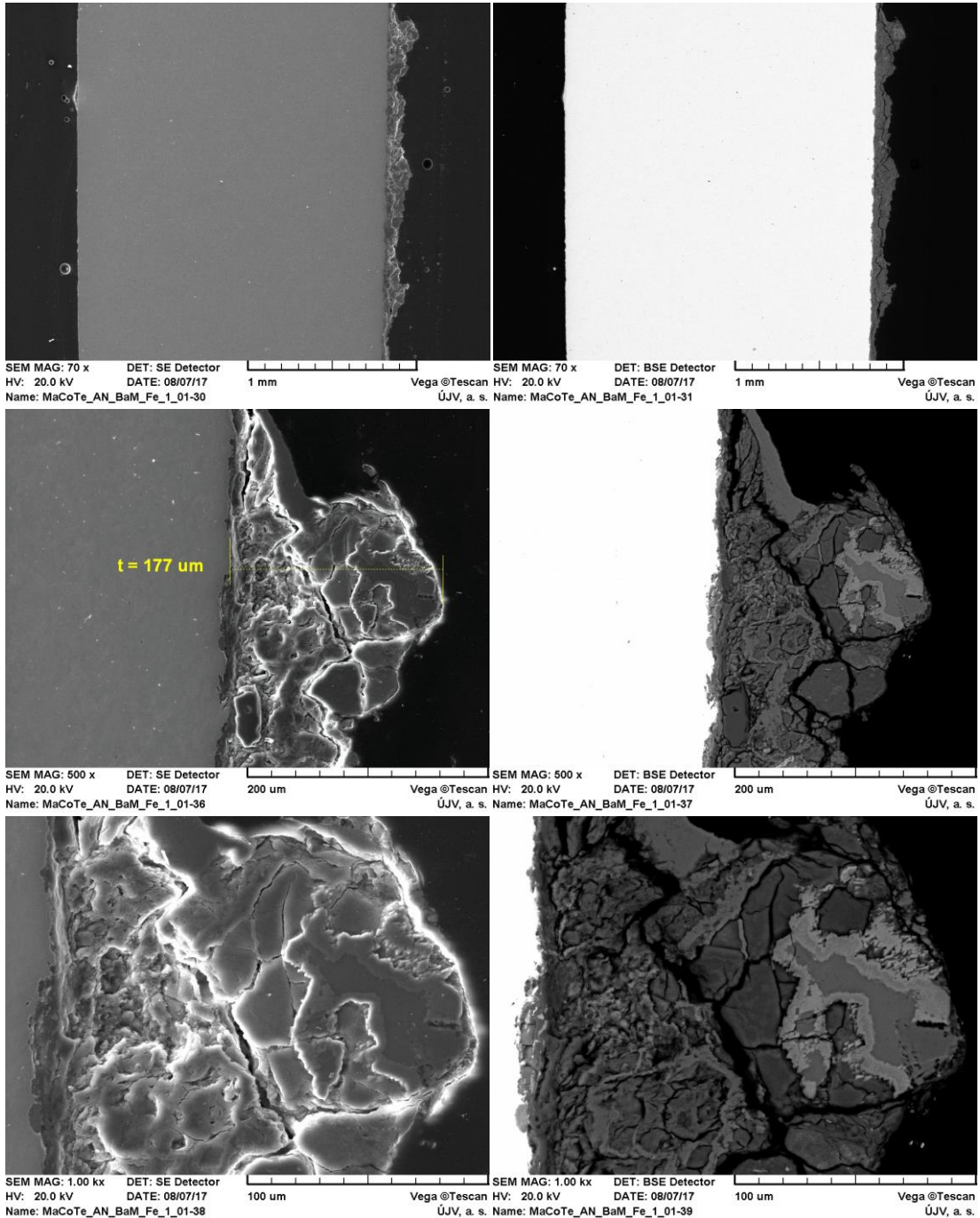
Obr. 11-126 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva c, d. Dole pozice zleva e, f.



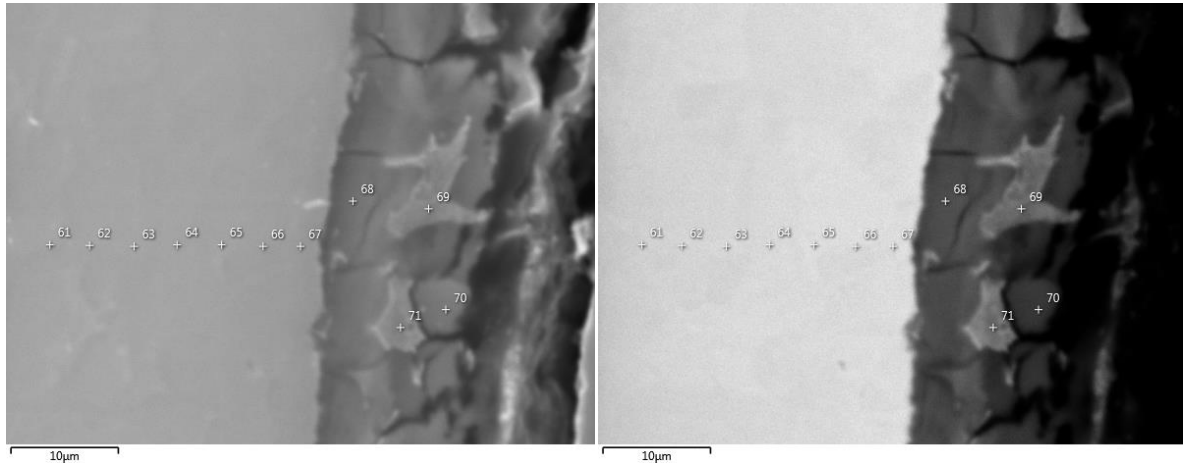
Obr. 11-127 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva g, h. Dole pozice zleva i, j



Obr. 11-128 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



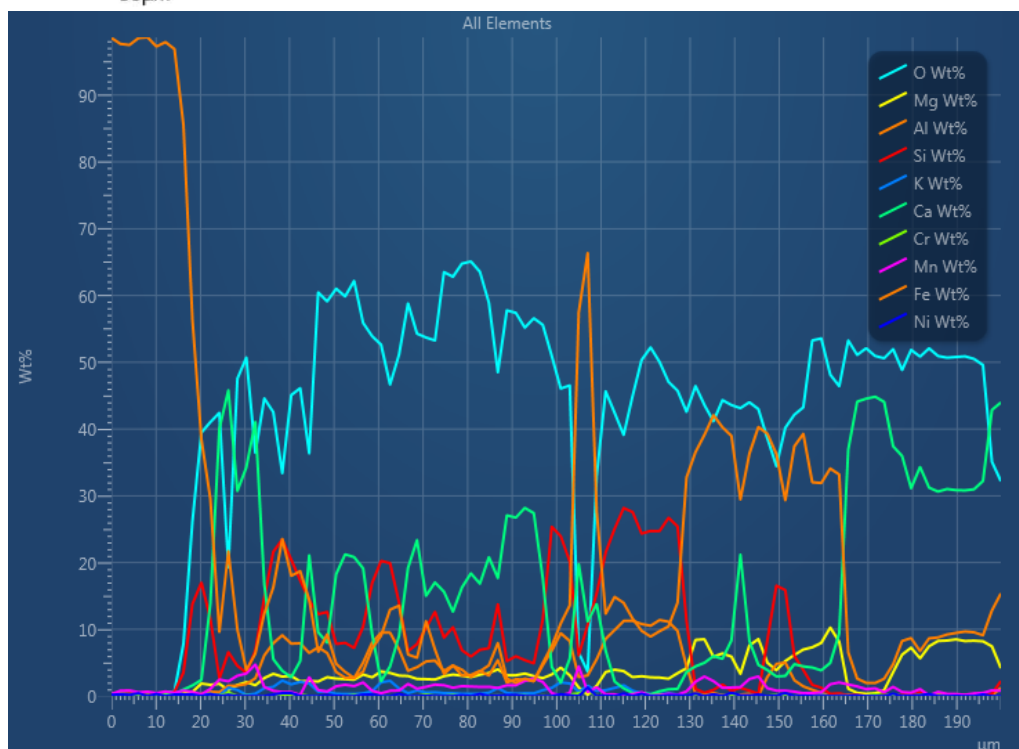
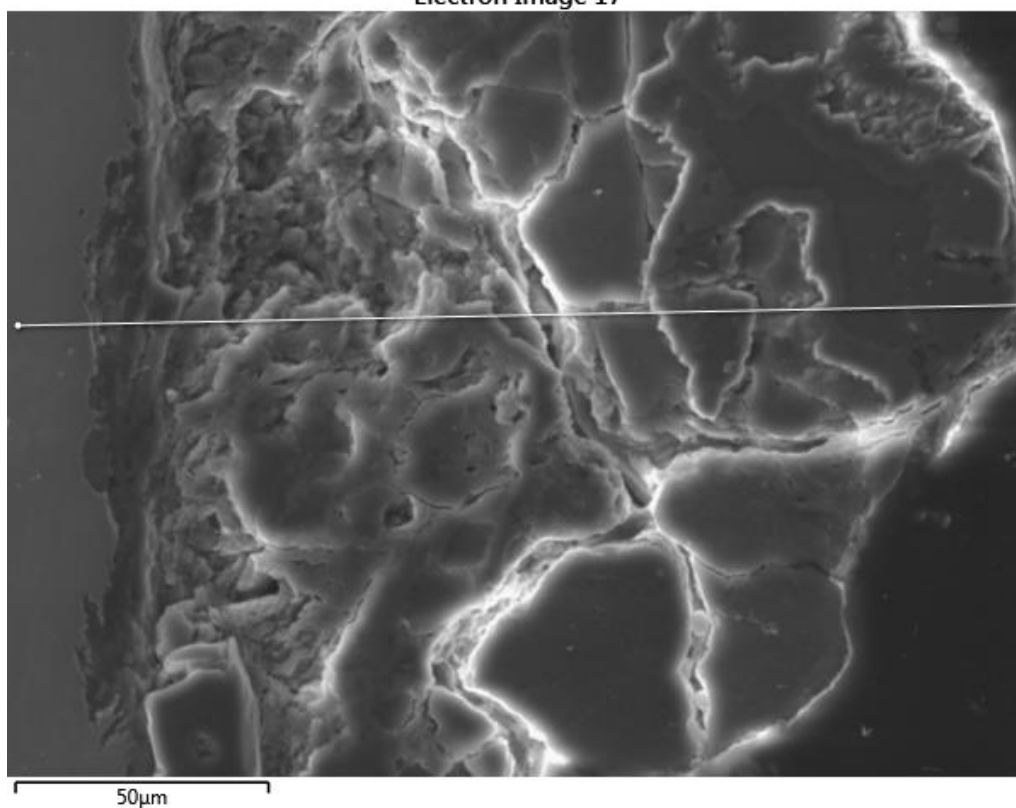
Obr. 11-129 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



Pozice	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
61	0,33	-	0,04	0,23	-	-	-	0,14	0,56	98,47	0,21	-	0,02
62	0,23	-	0,03	0,15	-	-	-	0,01	0,53	99,02	0,00	-	0,03
63	0,12	-	-	0,27	-	-	-	-	0,62	98,96	0,00	-	0,04
64	0,25	-	-	0,19	-	-	-	0,09	0,69	98,69	0,08	-	0,01
65	0,16	-	0,06	0,22	-	-	-	-	0,52	98,90	0,01	-	0,13
66	0,17	-	0,08	0,31	-	-	-	-	0,47	98,70	0,26	-	0,00
67	0,16	-	-	0,25	-	-	-	-	0,61	98,89	0,08	-	0,02
68	30,50	-	0,32	6,17	0,34	0,32	0,26	0,15	0,40	61,26	0,29	-	-
69	21,41	-	0,11	2,09	0,45	-	-	0,11	0,72	74,77	0,11	-	0,23
70	38,70	1,30	1,13	19,90	0,55	-	0,30	0,17	0,34	36,27	0,35	0,78	0,19
71	20,42	-	0,39	8,35	0,36	-	-	0,02	0,71	69,66	0,07	-	0,04

Obr. 11-130 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

Electron Image 17



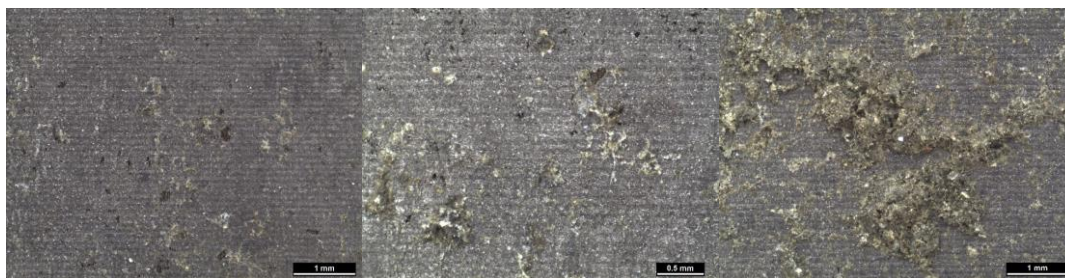
Obr. 11-131 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli

11.24 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu BaM

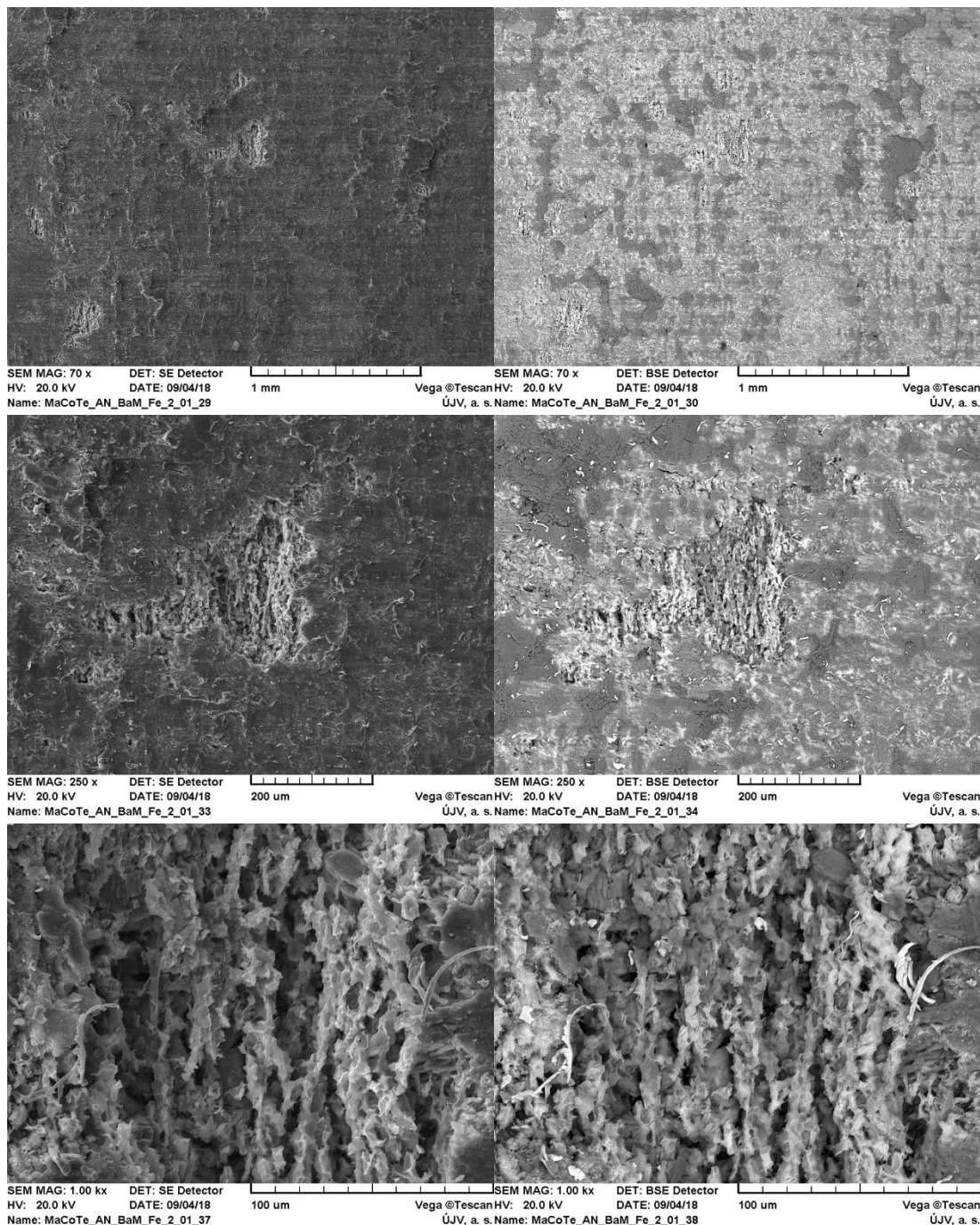
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_01, který byl v bentonitu BaM je uvedena na Obr. 11-132 až Obr. 11-149, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



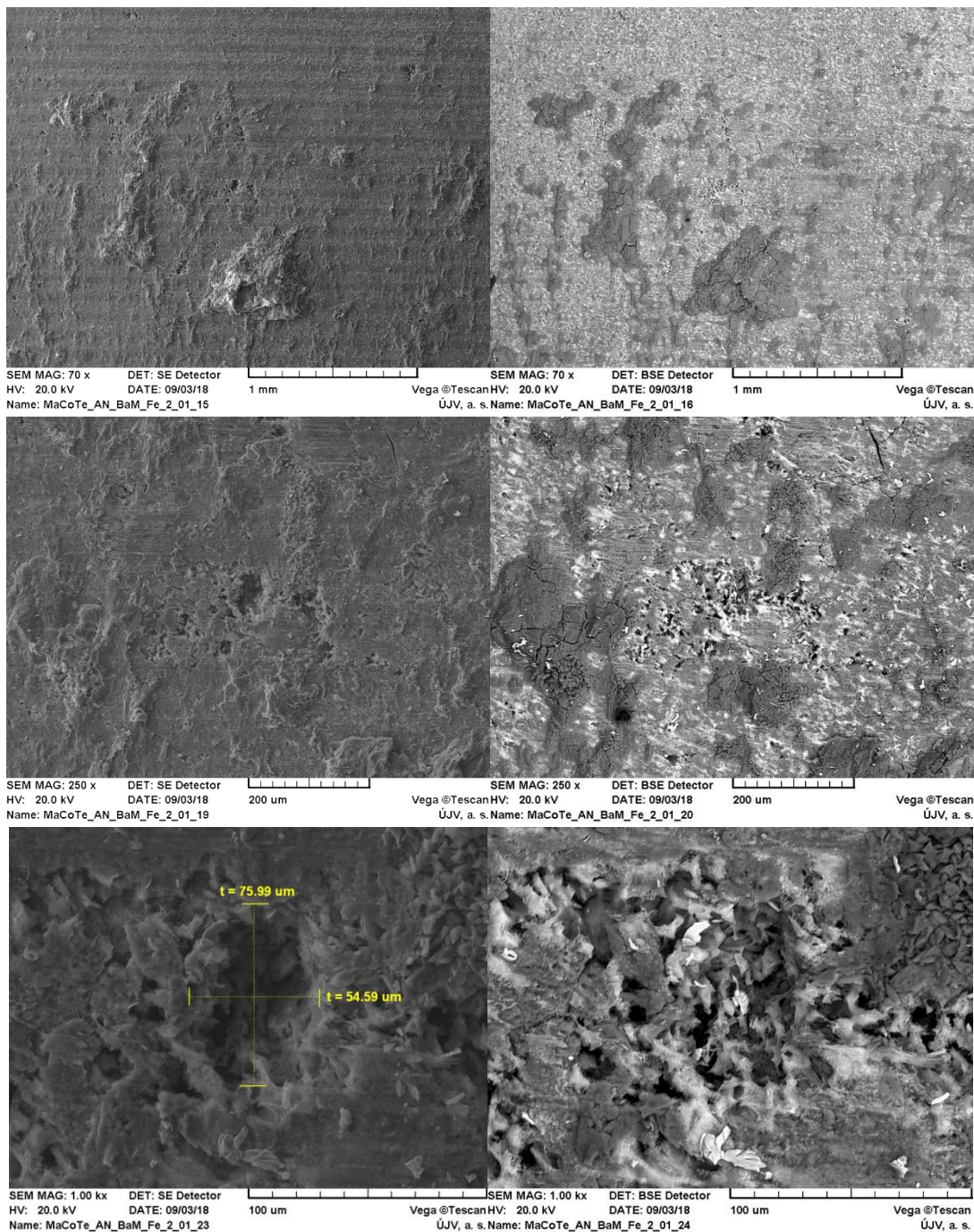
Obr. 11-132 Povrch vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce (složený obrázek z několika částí)



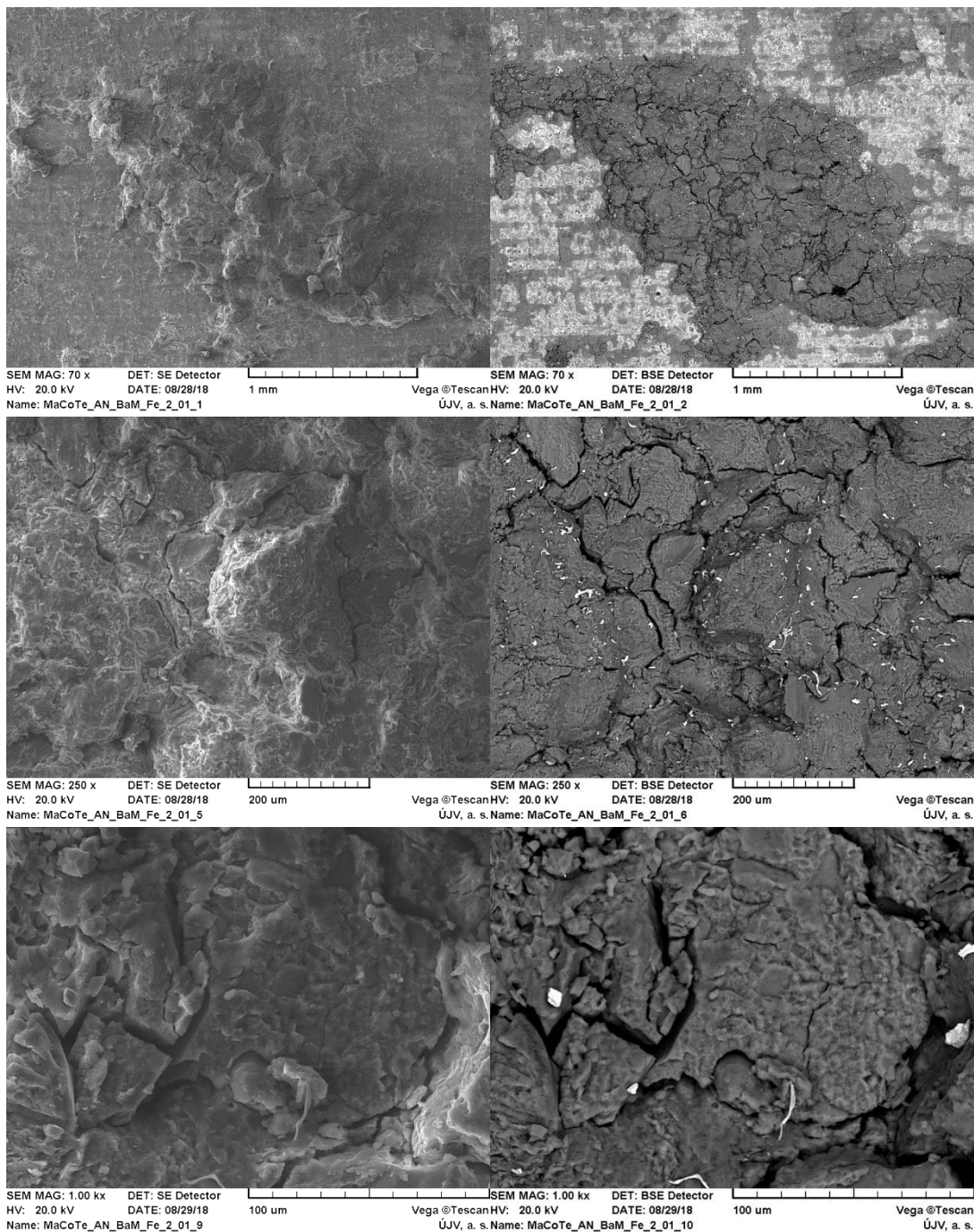
Obr. 11-133 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli (tři různé části vzorku)



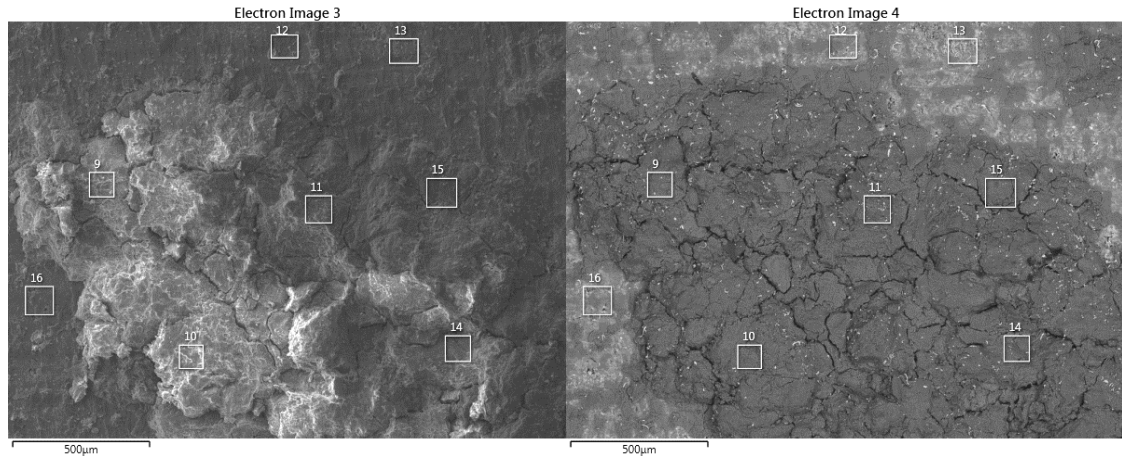
Obr. 11-134 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily z levého Obr. 11-133



Obr. 11-135 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily ze středového Obr. 11-133

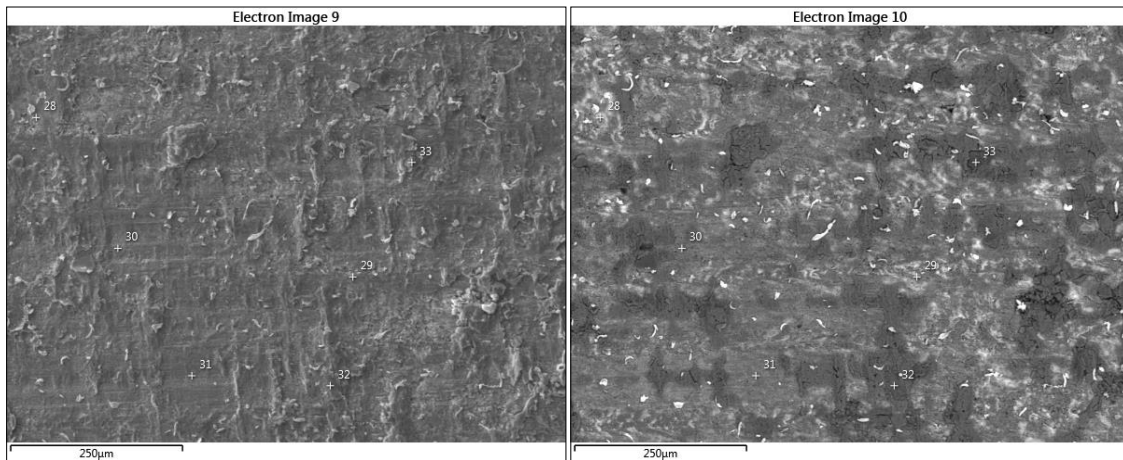


Obr. 11-136 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech. Detaily z pravého Obr. 11-133



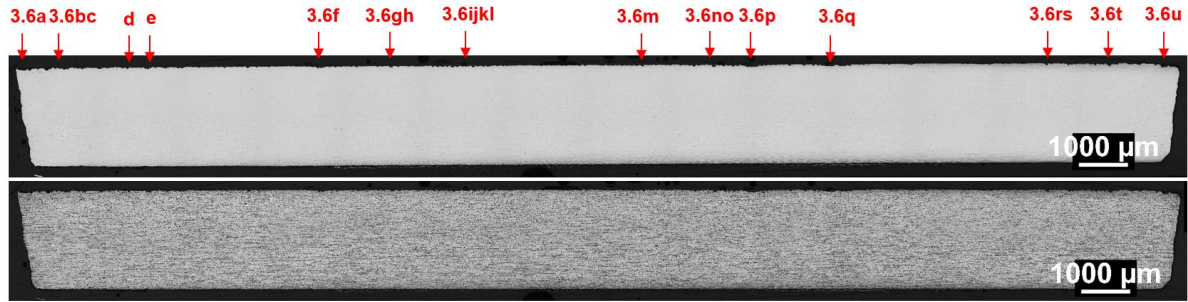
Oblast	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
9	45,9	2,4	9,3	21,2	-	2,3	0,5	1,1	-	-	17,3	-	-
10	47,9	2,8	9,5	22,3	-	2,9	0,6	0,4	-	-	13,6	-	-
11	45,5	2,5	9,2	20,7	0,1	2,0	0,6	0,5	-	-	18,9	-	-
12	37,9	1,5	2,1	5,1	0,5	0,3	17,1	0,2	0,2	1,5	32,0	0,6	1,0
13	26,3	0,9	0,5	6,1	1,0	-	8,4	-	0,3	1,2	53,0	0,9	1,6
14	50,7	2,6	8,9	21,0	-	2,1	0,5	0,7	-	-	13,5	-	-
15	47,3	2,0	10,3	22,6	-	2,0	0,5	1,0	-	-	14,4	-	-
16	38,3	1,6	2,1	5,1	0,8	0,1	16,7	-	0,3	1,7	31,2	1,0	1,2

Obr. 11-137 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

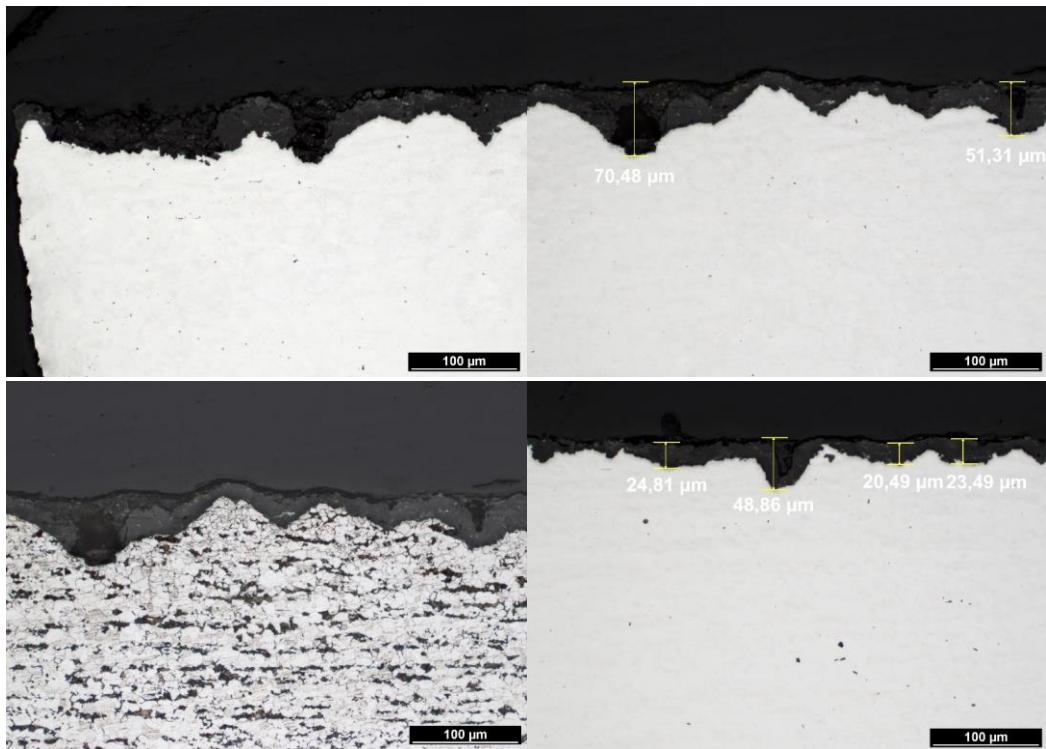


Pozice	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
28	22,8	0,9	0,3	0,4	1,7	-	19,9	-	0,4	1,8	47,9	1,6	2,5
10	38,0	1,5	-	0,5	1,1	-	24,4	-	0,3	1,8	28,8	1,0	2,5
29	41,3	1,7	-		0,5	-	30,1	-	-	1,3	24,3	0,4	0,4
30	43,4	1,8	-	0,5	0,7	-	30,3	-	-	1,5	20,4	1,0	0,5
31	48,5	2,6	6,7	21,2	0,2	0,3	1,2	4,8	-	-	14,6	-	-
32	53,5	2,3	10,4	21,0	0,2	1,4	0,7	0,3	-	-	10,2	-	-
33	22,8	0,9	0,3	0,4	1,7	-	19,9	-	0,4	1,8	47,9	1,6	2,5

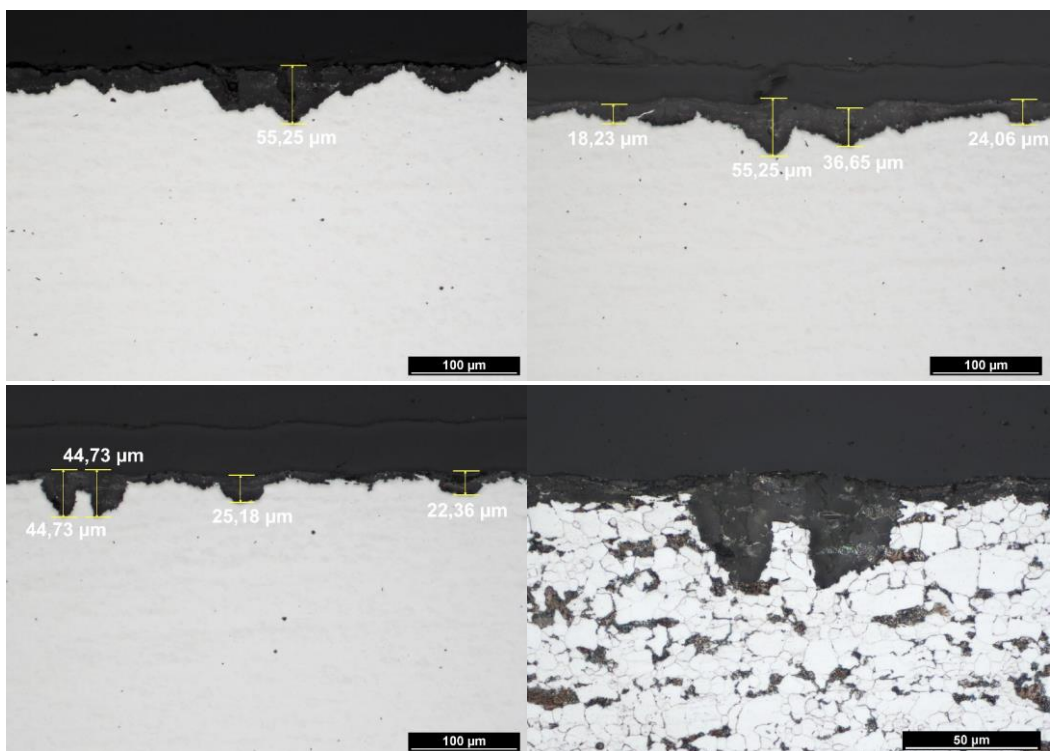
Obr. 11-138 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



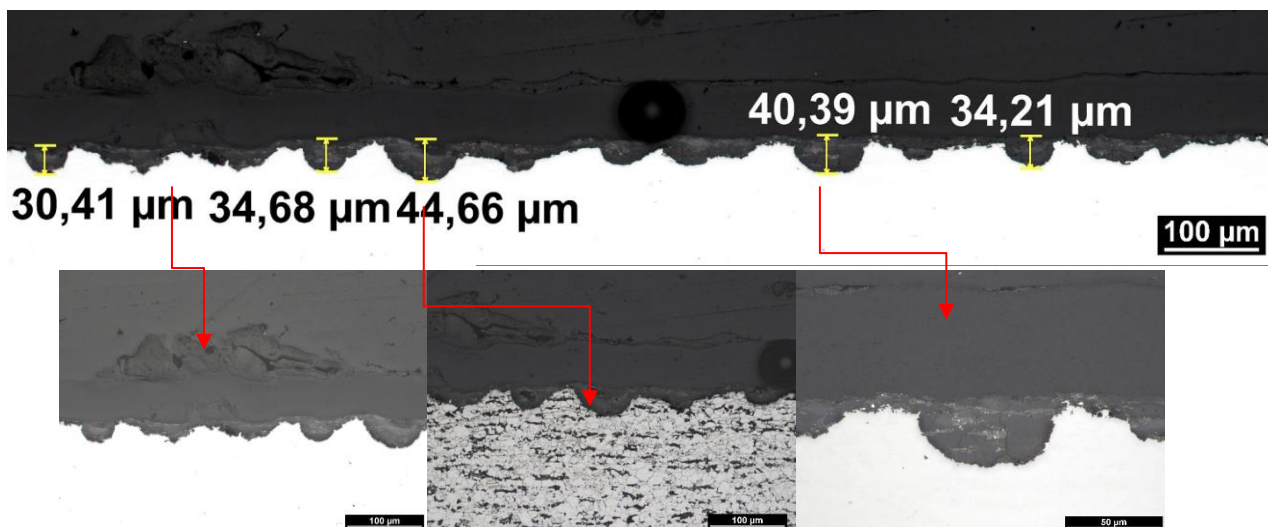
Obr. 11-139 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



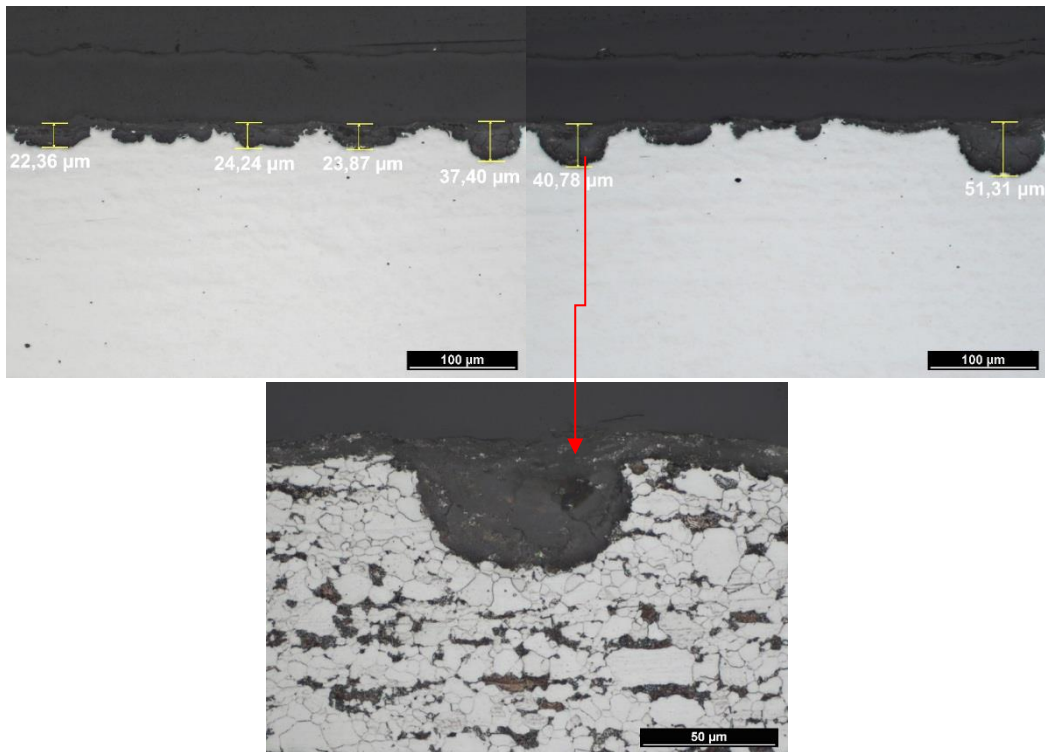
Obr. 11-140 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře z leva pozice a, b. Dole z leva pozice c (leptaná pozice b), d



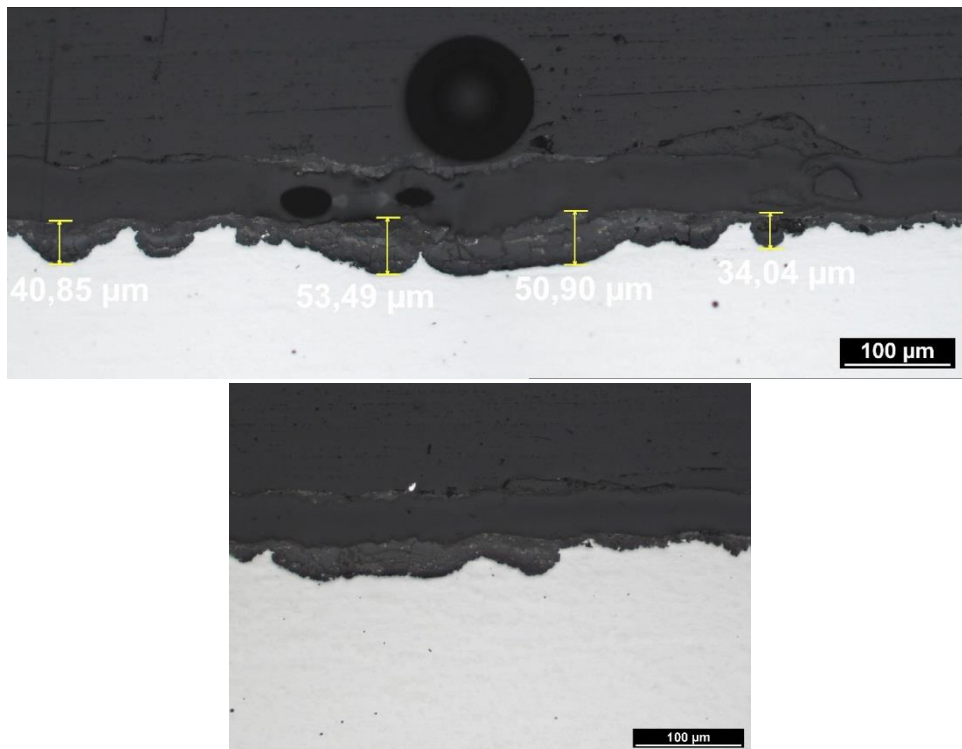
Obr. 11-141 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e, f. Dole pozice zleva g, h (detail z pozice g)



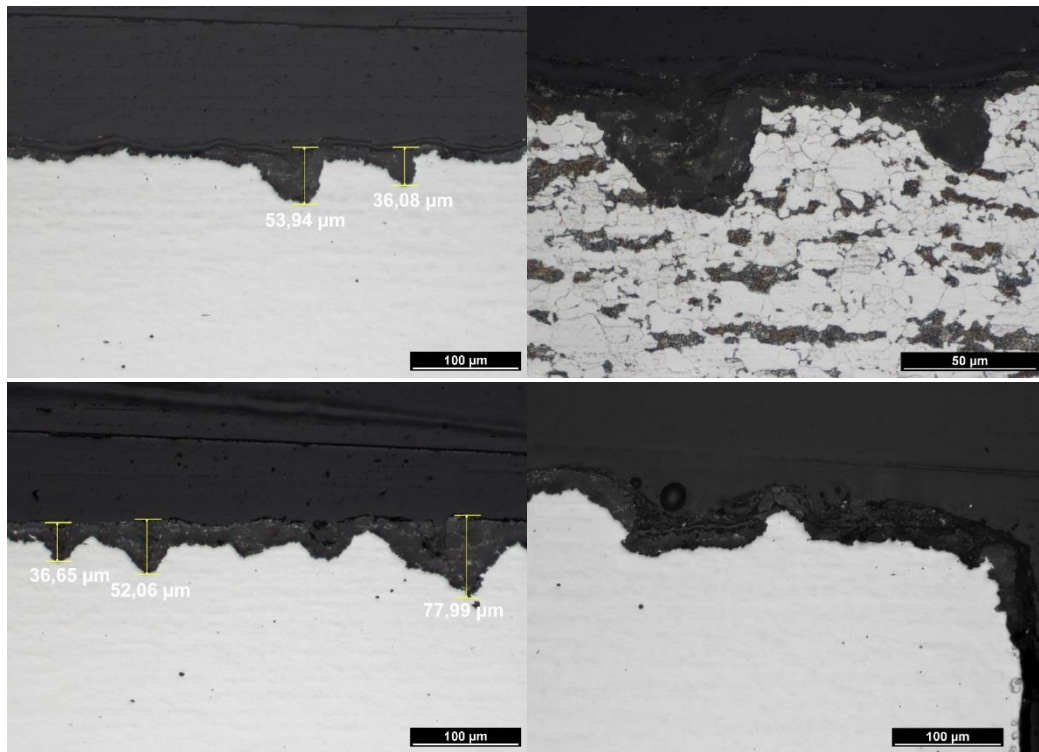
Obr. 11-142 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice i. Dole pozice zleva j, k, l



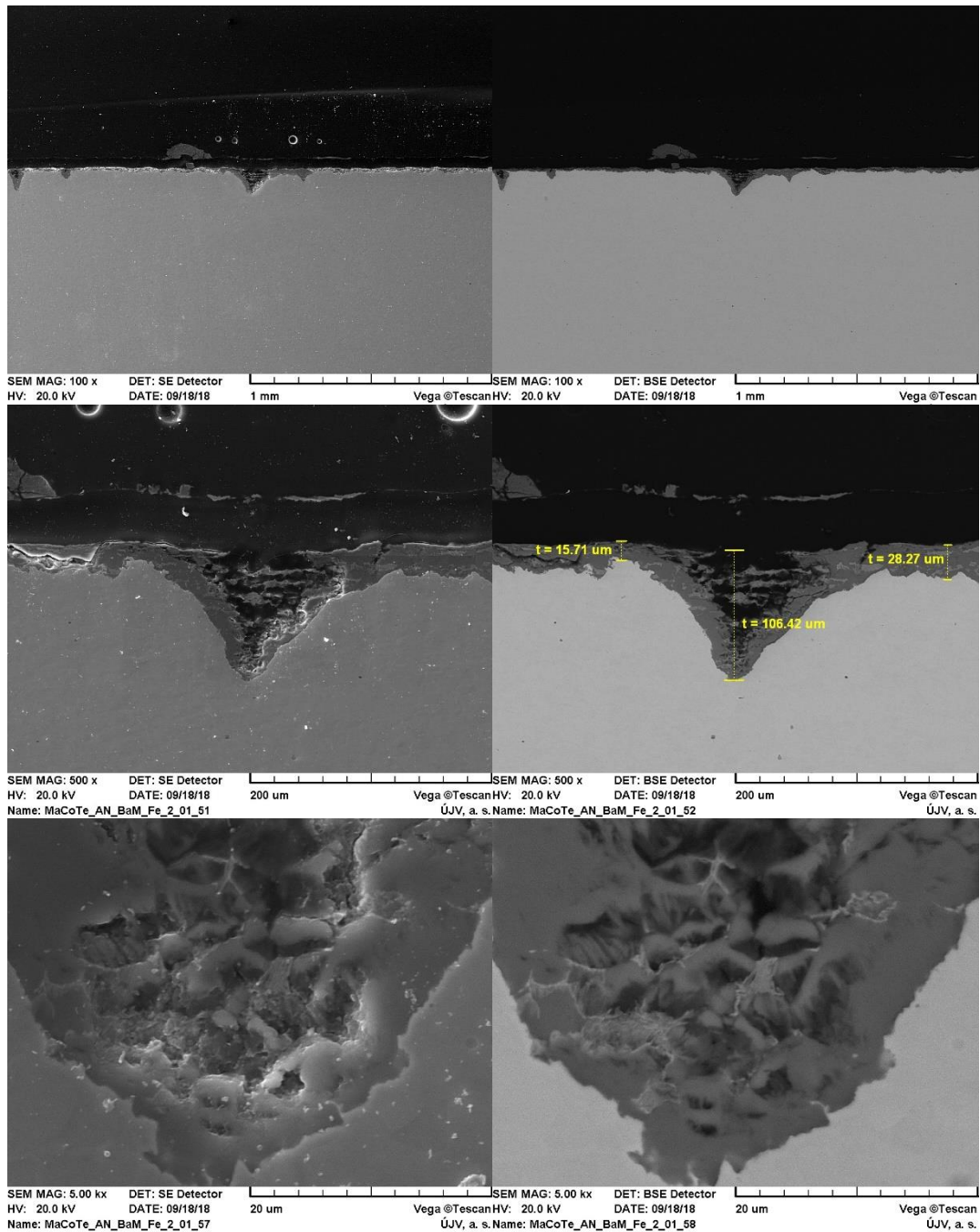
Obr. 11-143 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice z leva m, n. Dole pozice o



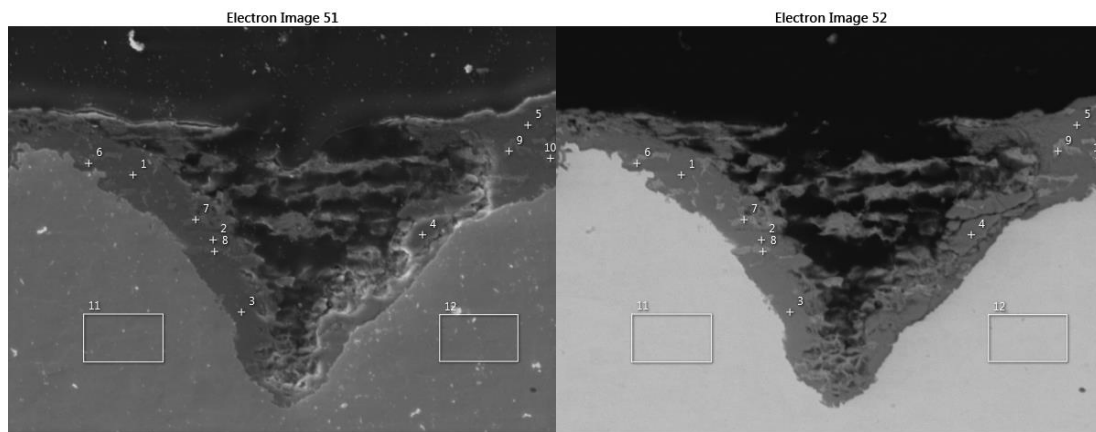
Obr. 11-144 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice p. Dole pozice q



Obr. 11-145 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva r, s. Dole pozice zleva t, u

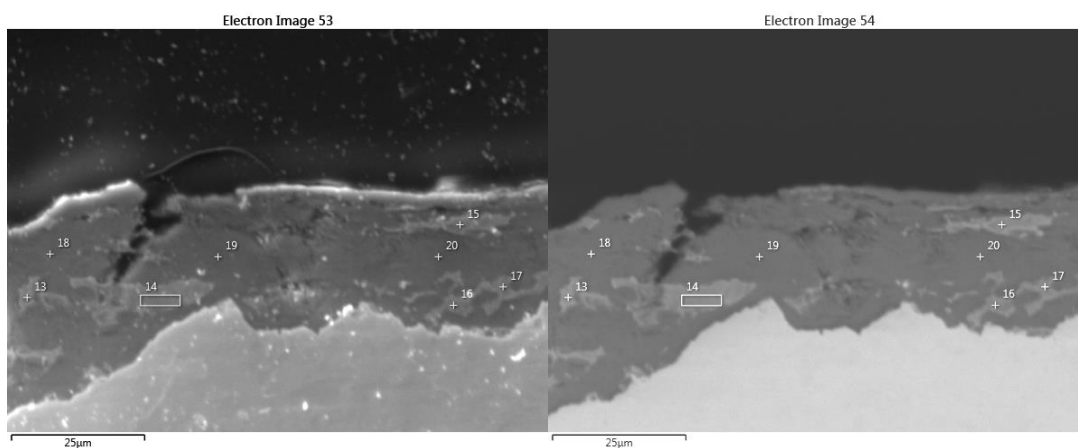


Obr. 11-146 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



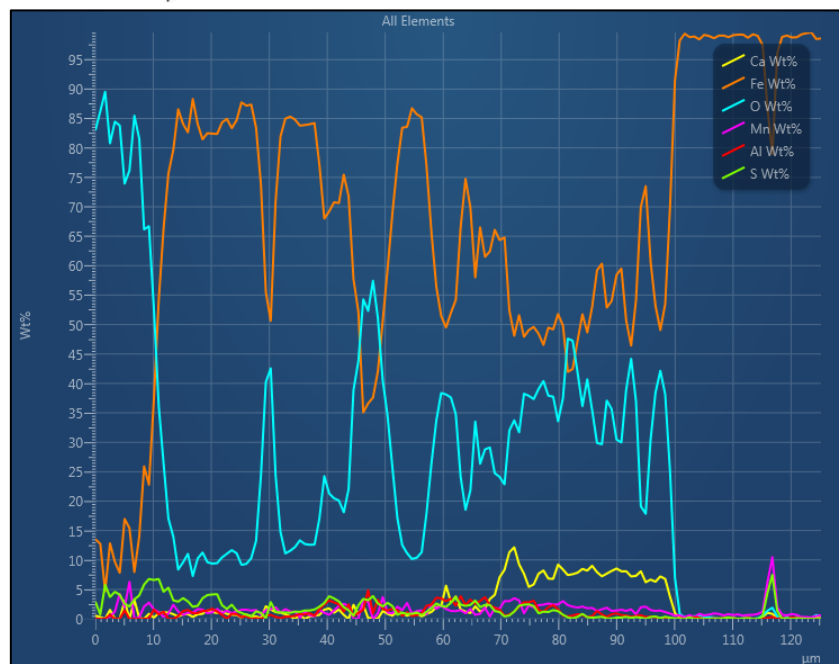
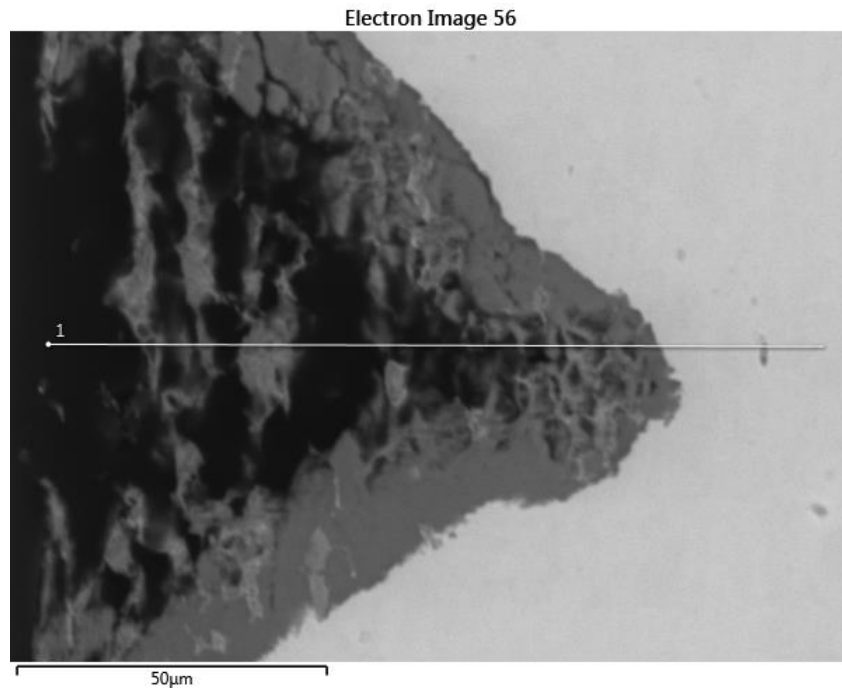
Pozice	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu
1	47,4	1,2	-	-	0,3	20,1	3,2	27,4	-	0,4
2	45,1	1,0	-	0,3	0,2	16,0	3,3	34,2	-	-
3	43,4	0,8	-	-	0,3	13,2	2,9	39,5	-	-
4	46,2	0,8	0,2	0,5	0,2	14,5	3,0	34,6	-	-
5	45,9	1,2	-	0,3	0,2	18,6	3,2	29,8	0,3	0,5
6	33,2	0,8	-	0,2	0,3	13,0	2,3	50,4	-	-
7	34,1	0,9	-	0,2	0,3	13,9	2,7	47,6	-	0,4
8	35,2	0,7	-	0,2	0,2	12,7	2,7	48,4	-	-
9	33,6	0,8	-	1,0	0,2	12,2	2,2	49,6	-	0,5
10	32,6	1,0	-	0,4	0,3	14,0	2,8	49,0	-	-
11	-	-	-	0,2	-	-	0,6	99,2	-	-
12	-	-	-	0,2	-	-	0,6	99,2	-	-

Obr. 11-147 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Pozice	O	Mg	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu
13	29,6	0,8	1,0	0,3	11,4	2,3	54,6	-
14	32,9	0,8	0,2	0,3	12,5	2,3	50,5	0,5
15	31,5	0,9	0,3	0,2	15,5	2,2	49,4	-
16	37,0	0,7	0,2	-	13,6	2,0	46,5	-
17	36,7	0,8	0,3	0,2	12,8	2,2	47,1	-
18	47,2	-	-	-	18,7	3,1	30,7	0,4
19	48,2	1,2	0,4	0,2	21,3	3,0	25,8	-
20	47,4	1,2	0,2	0,1	19,5	2,6	29,0	-

Obr. 11-148 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



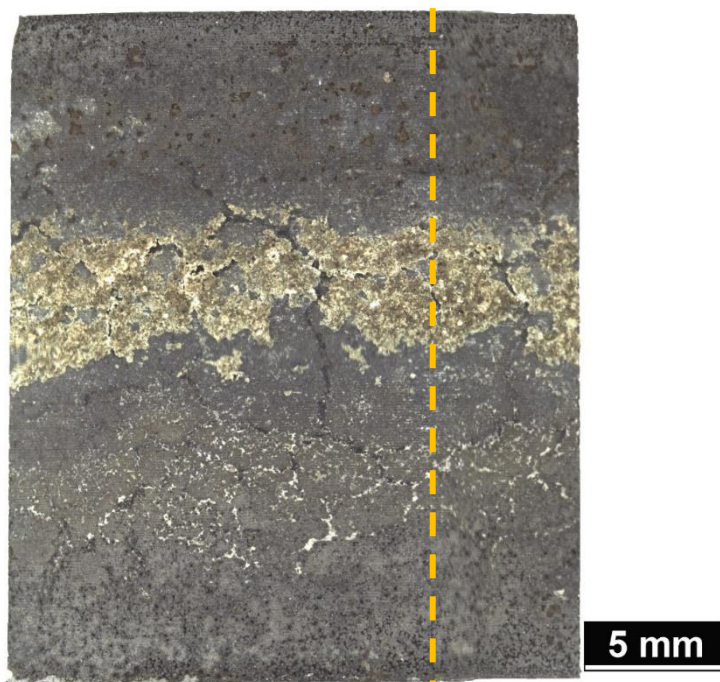
Obr. 11-149 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli

11.25 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po třileté korozní zkoušce v bentonitu BaM

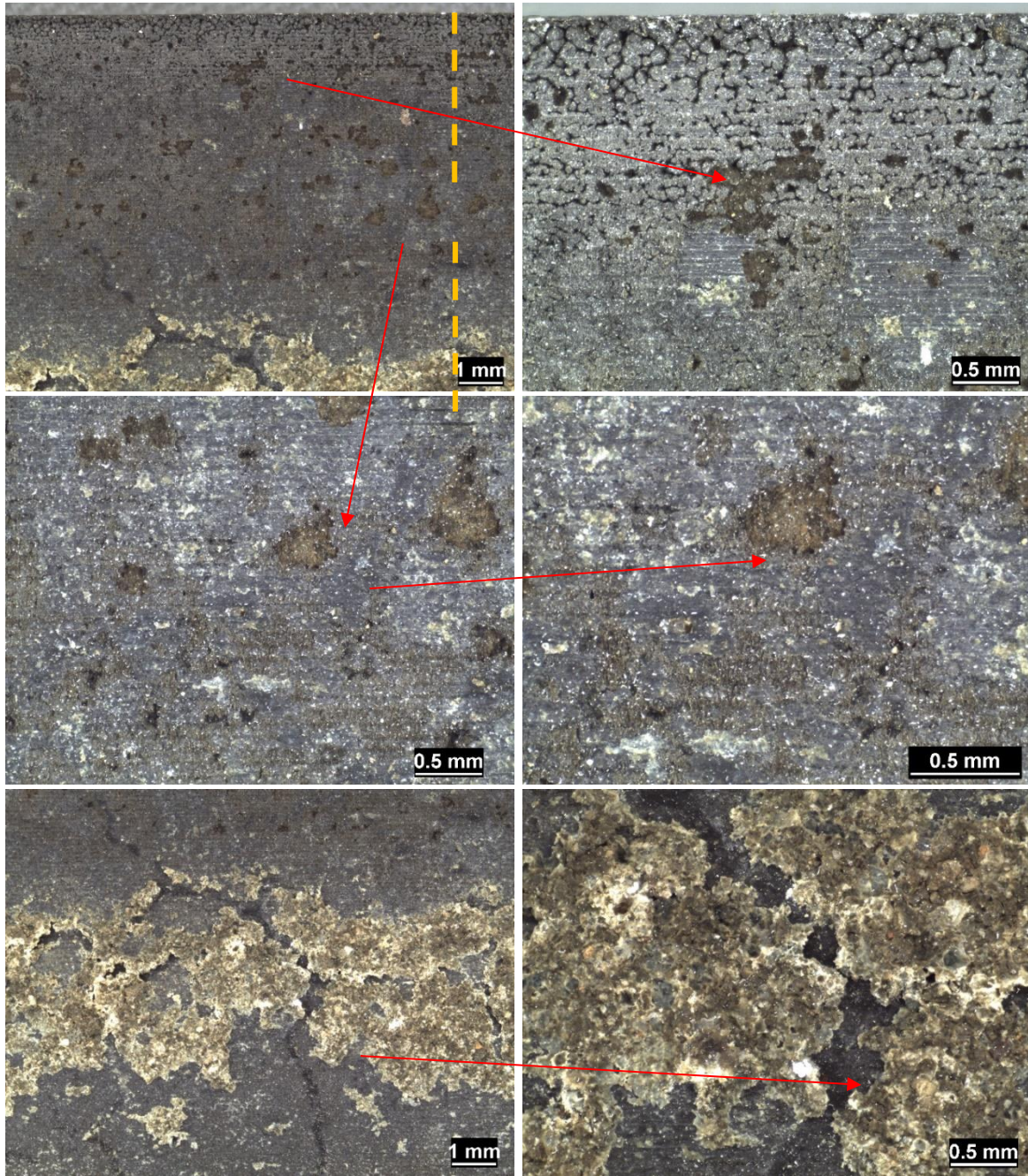
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01, který byl v bentonitu BaM je uvedena na Obr. 11-150 až Obr. 11-166, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



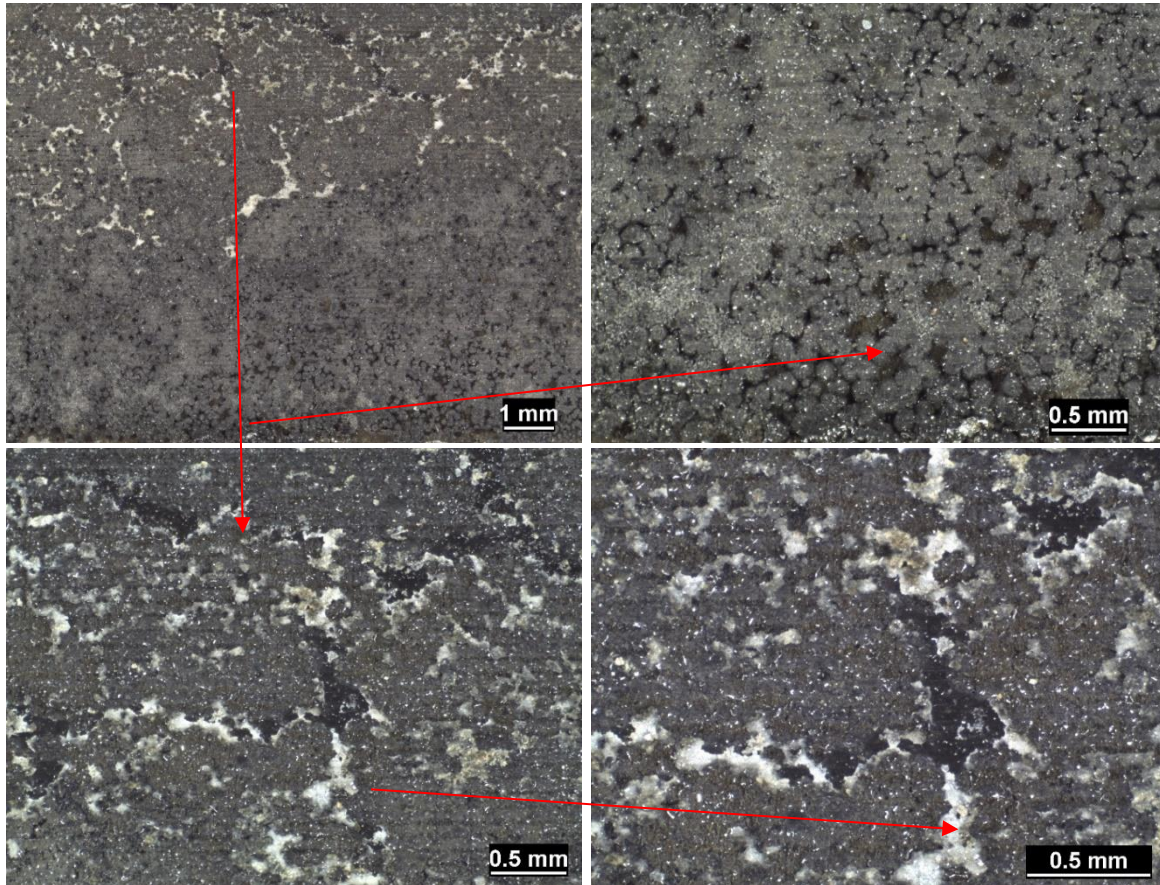
Obr. 11-150 Povrchu vzorku uhlíkové oceli (obrázek složen z několika částí). Červené čáry značí místo řezu vzorku



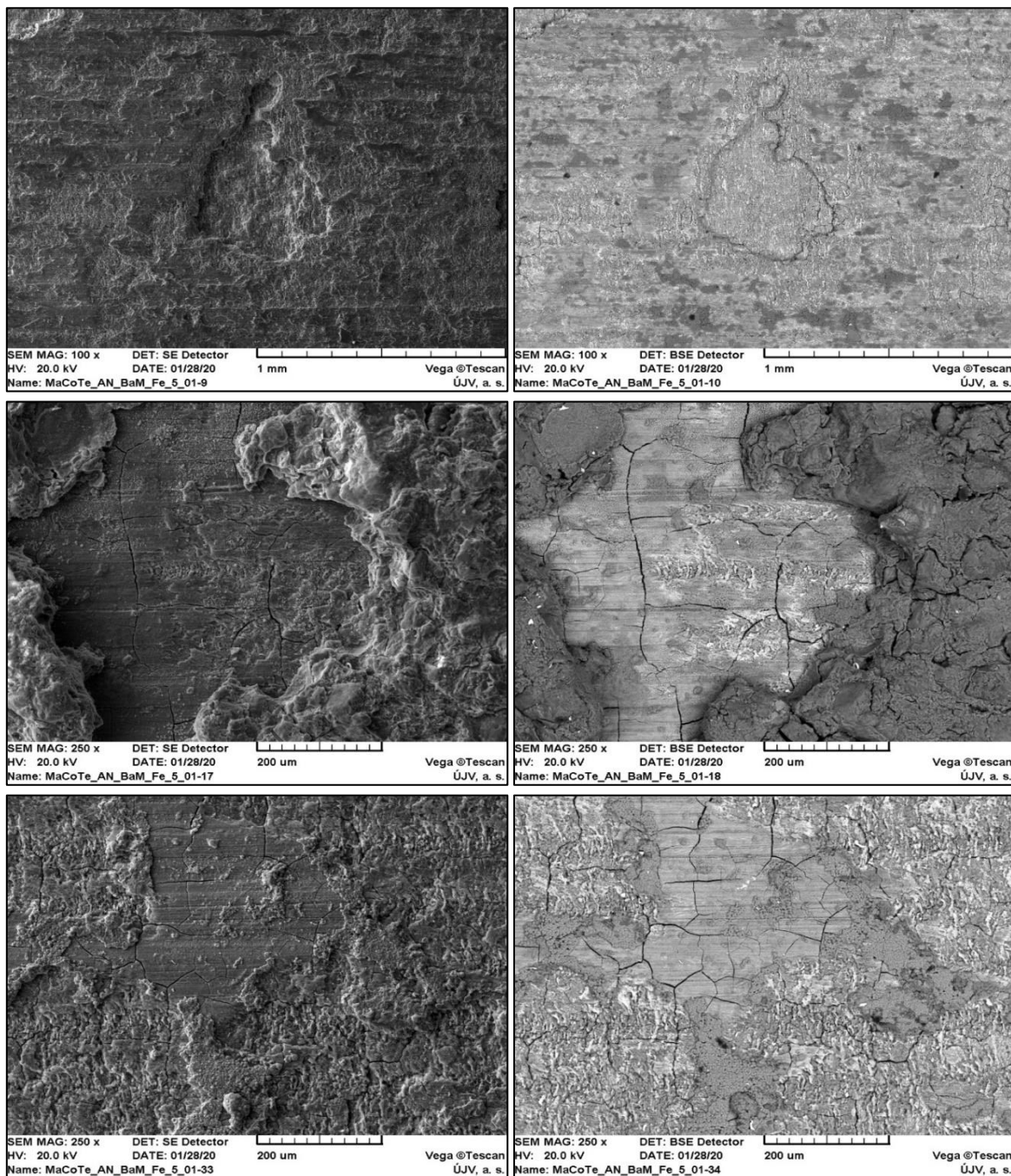
Obr. 11-151 Dokumentace povrchu vzorku uhlíkové oceli. Oranžová čára značí místo podélného řezu



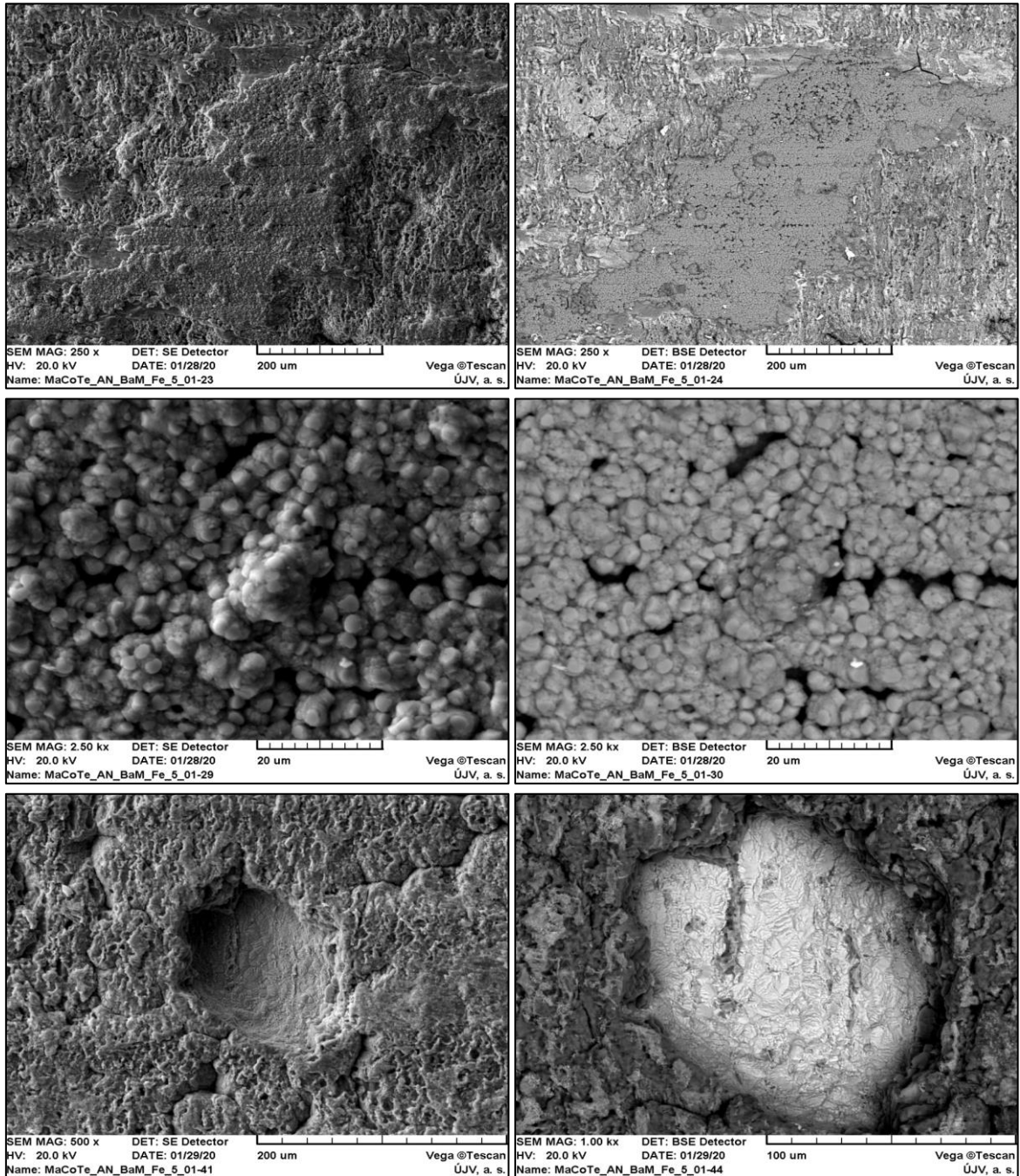
Obr. 11-152 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po třileté korozní zkoušce



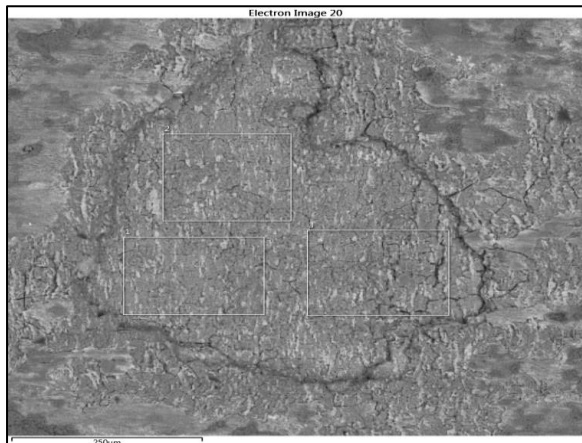
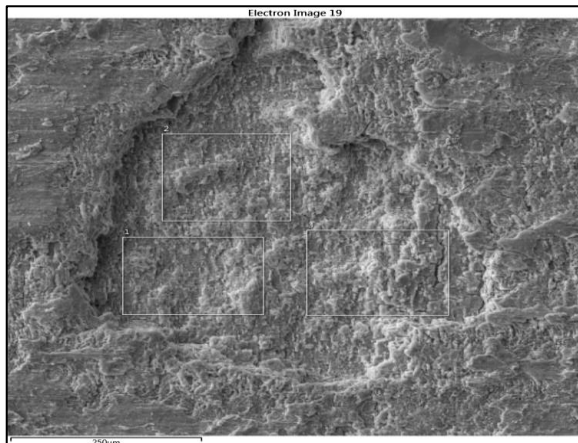
Obr. 11-153 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po třileté korozní zkoušce



Obr. 11-154 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po třileté korozní zkoušce. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech

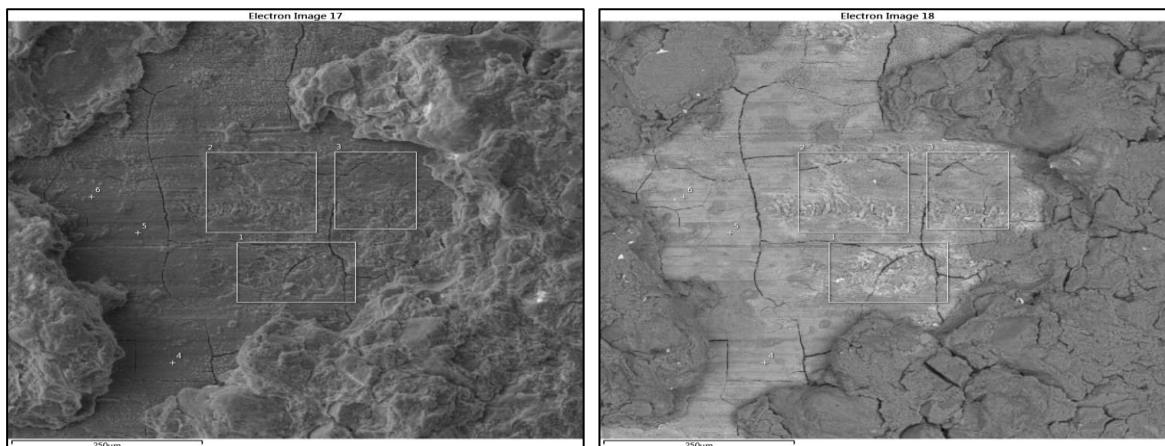


Obr. 11-155 Povrchu vzorku uhlíkové oceli po tříleté korozní zkoušce. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



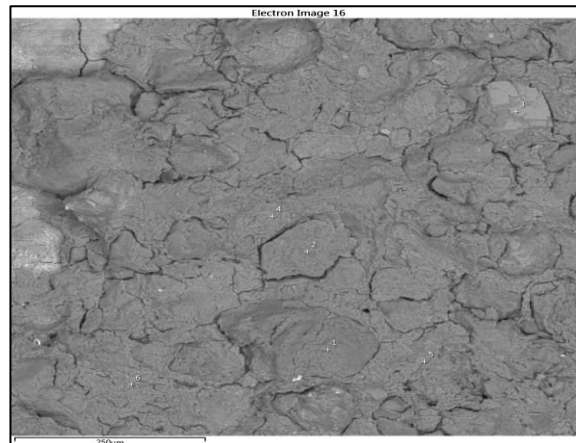
Spektrum	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	31,1	0,2	0,5	9,4	0,5	0,9	0,2	2,0	54,1	0,4	0,7
2	29,1	0,2	0,4	9,3	0,5	0,8	0,2	1,9	56,4	0,4	0,8
3	29,6	0,3	0,6	11,4	0,7	0,7	0,2	1,3	53,8	0,5	1,0

Obr. 11-156 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



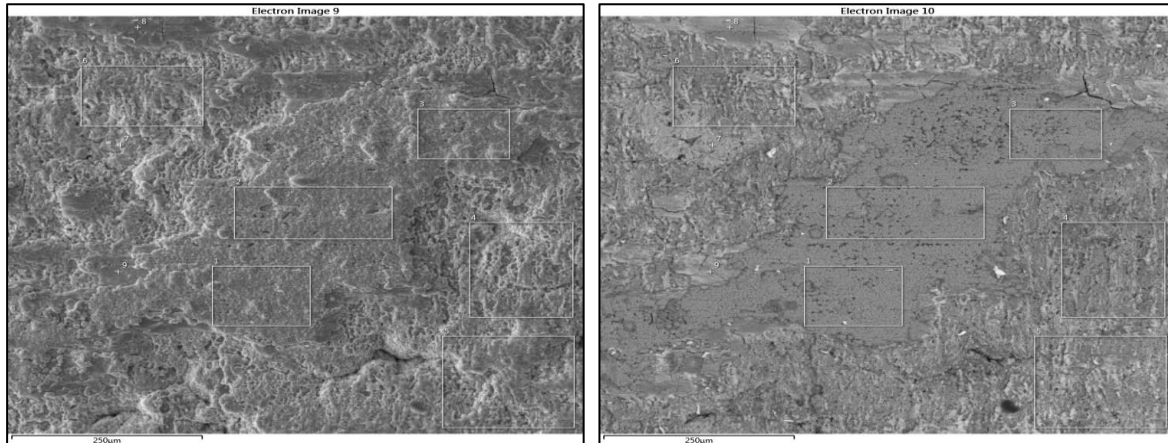
Spektrum	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	30,5	1,3	1,2	10,3	0,9	7,3	0,3	1,2	44,7	0,8	1,4
2	31,8	1,5	1,3	10,3	0,8	7,9	0,2	1,3	43,0	0,7	1,1
3	33,2	1,6	1,2	8,2	0,8	11,7	0,2	1,3	39,8	0,8	1,3
4	33,2	2,2	0,8	5,3	0,6	6,1	-	1,2	50,5	-	-
5	28,0	1,4	0,5	2,4	0,6	4,7	-	1,7	60,7	-	-
6	33,5	1,2	0,9	3,1	0,6	2,3	0,2	0,8	57,4	-	-

Obr. 11-157 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe
1	47,2	0,2	2,4	10,1	27,7	1,3	0,8	0,8	-	9,5
2	42,6	0,3	2,2	9,8	27,8	0,8	1,0	0,3	-	15,5
3	47,2	-	2,3	0,2	0,2		6,2	-	11,3	32,6
4	59,7	-	2,6	1,0	2,0	0,2	28,8	-	3,9	1,8
5	50,4	-	2,7	2,8	6,2	0,8	29,3	-	3,8	4,0
6	52,4	-	2,2	4,7	11,3	0,2	18,5	0,8	3,2	6,9

Obr. 11-158 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

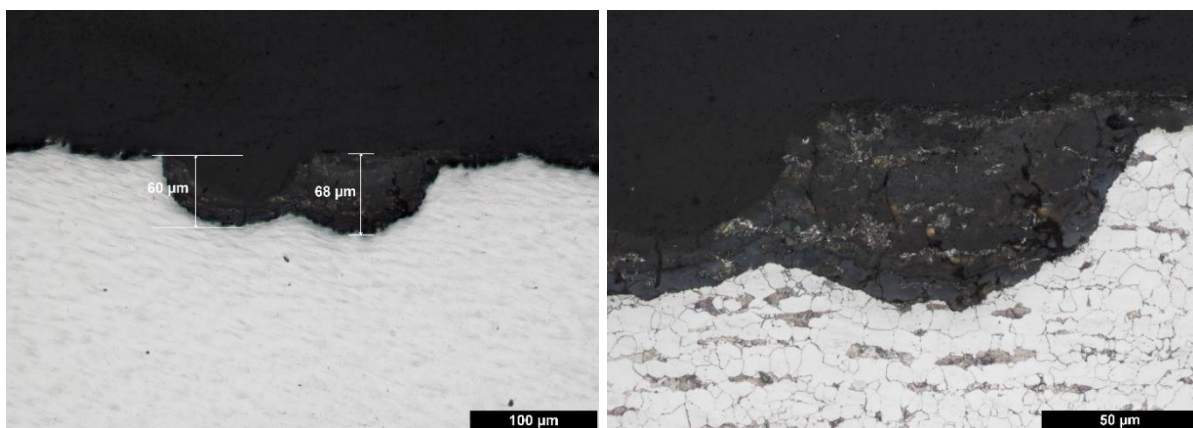


Spektrum	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	37,6	1,0	0,3	0,4		5,5		10,1	45,2		
2	38,5	1,0	0,3	0,7		5,3		9,6	44,6		
3	37,2	1,1	0,3	0,5		5,3		10,0	45,7		
4	32,1	0,8	0,4	2,2	0,7	10,6	0,3	4,7	46,7	0,6	1,1
5	26,6	1,0	0,6	4,0	1,0	4,2	0,3	2,4	57,8	0,7	1,5
6	26,6	0,8	0,6	5,8	1,1	5,9	0,4	2,1	54,4	0,7	1,6
7	43,5	1,3	0,1	1,7	0,4	0,4		0,7	51,5		0,5
8	26,0	0,8	1,6	13,6	0,5	1,5	0,2	0,6	54,6		0,6
9	27,5	1,1	2,2	13,3	1,1	0,5	0,2	1,1	51,1	0,8	1,3

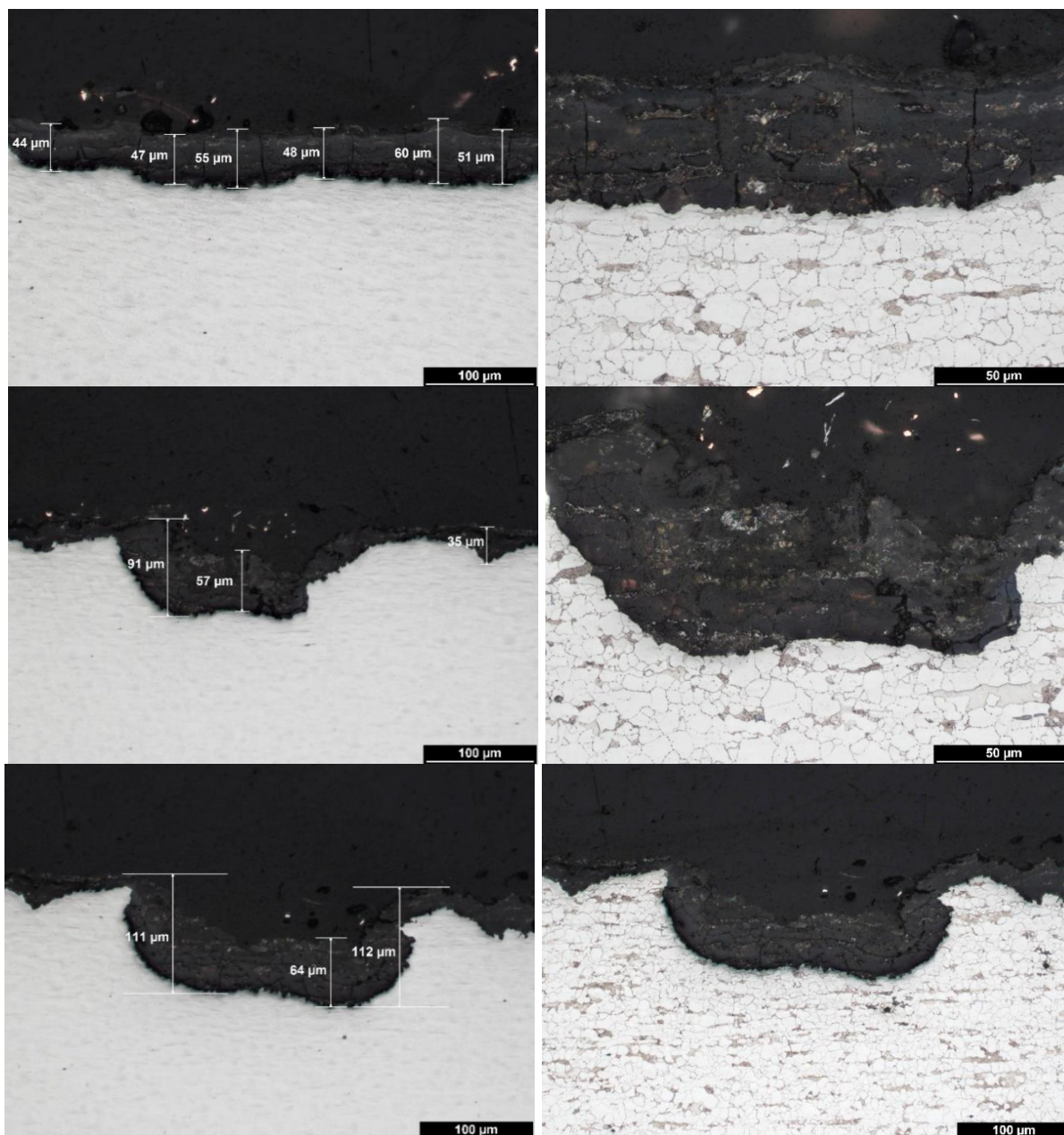
Obr. 11-159 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



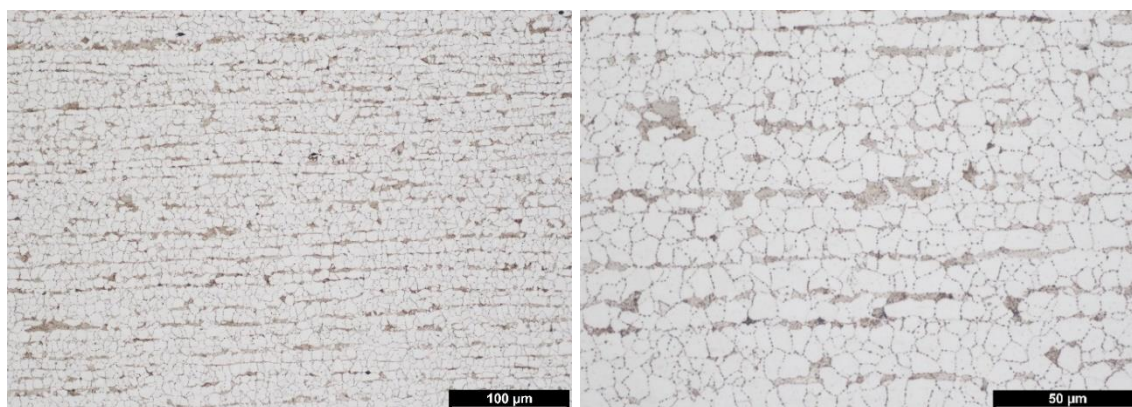
Obr. 11-160 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



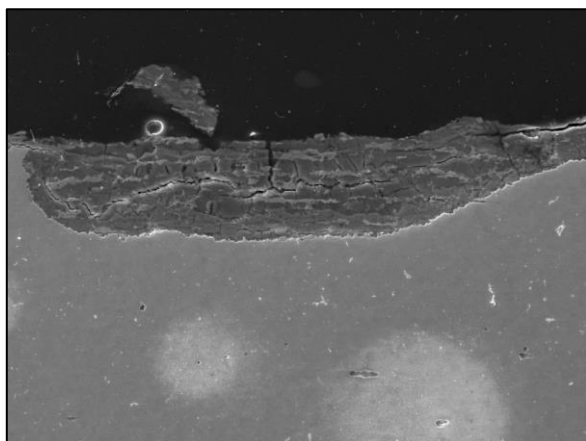
Obr. 11-161 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Pozice ab



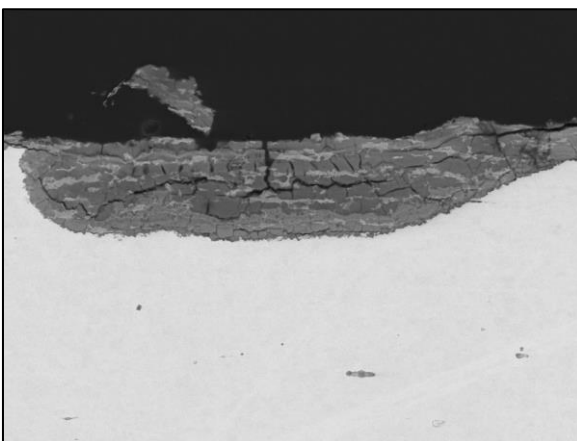
Obr. 11-162 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva cd. Uprostřed pozice ef. Dole pozice zleva gh



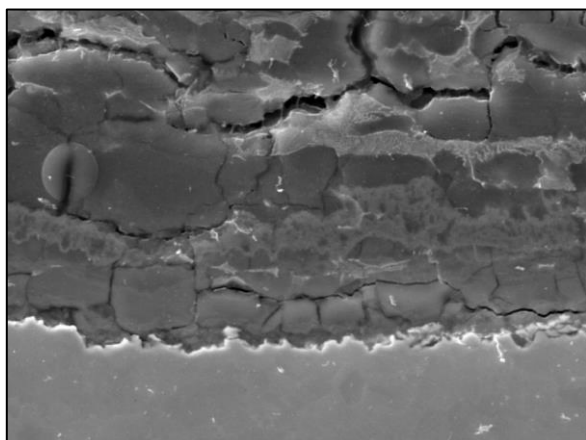
Obr. 11-163 Mikrostruktura uhlíkové oceli



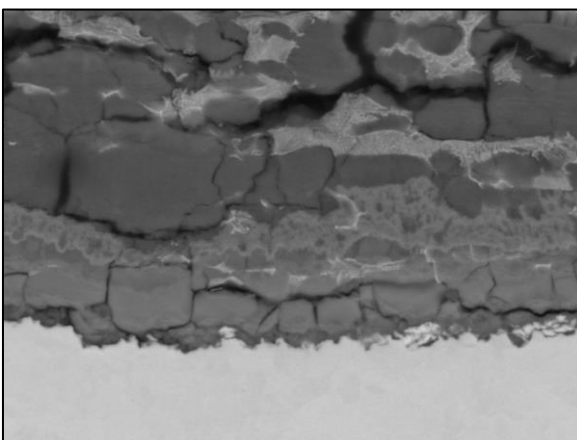
SEM MAG: 500 x DET: SE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-5
200 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.



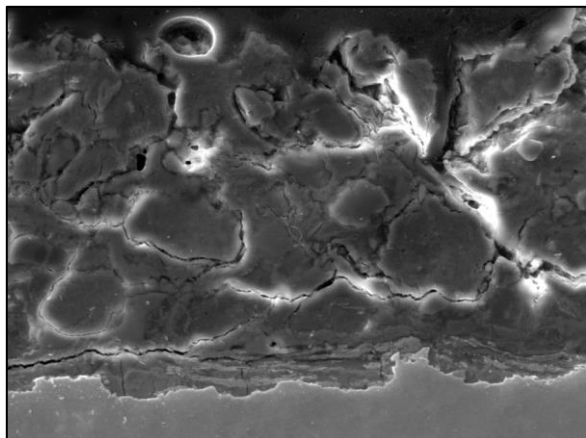
SEM MAG: 500 x DET: BSE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-6
200 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.



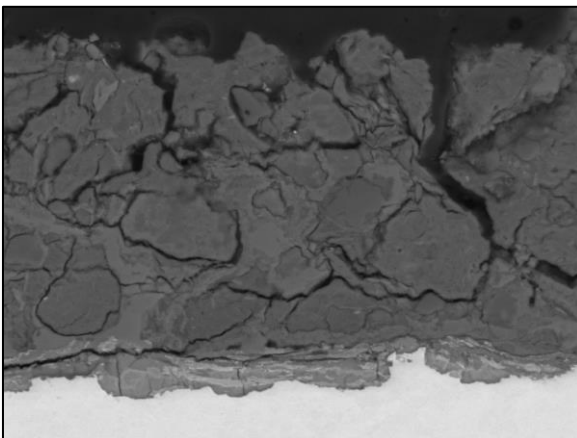
SEM MAG: 2.50 kx DET: SE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-9
20 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.



SEM MAG: 2.50 kx DET: BSE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-10
20 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.

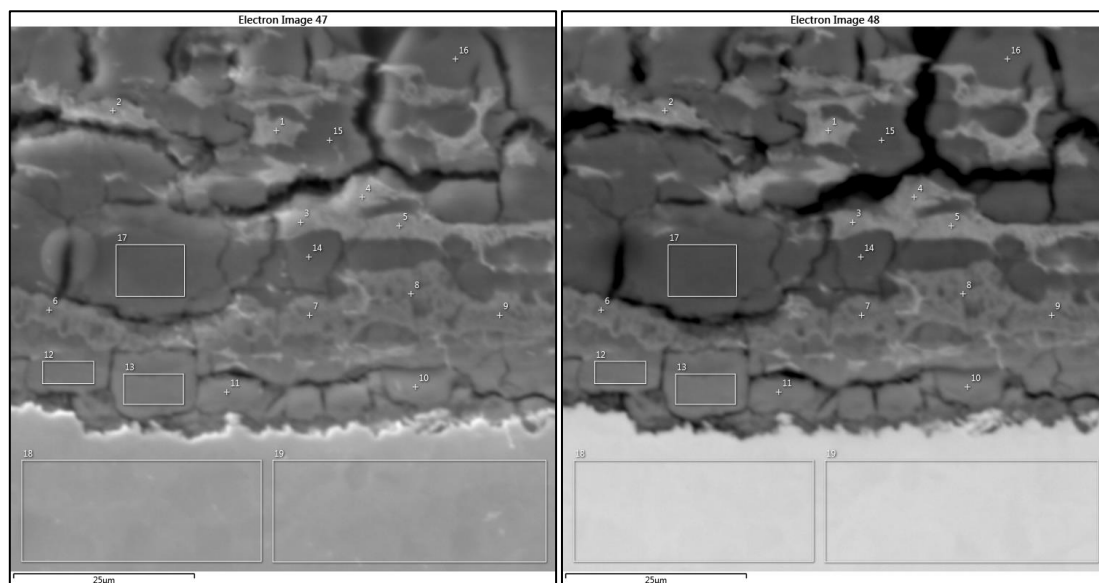


SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-15
100 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.



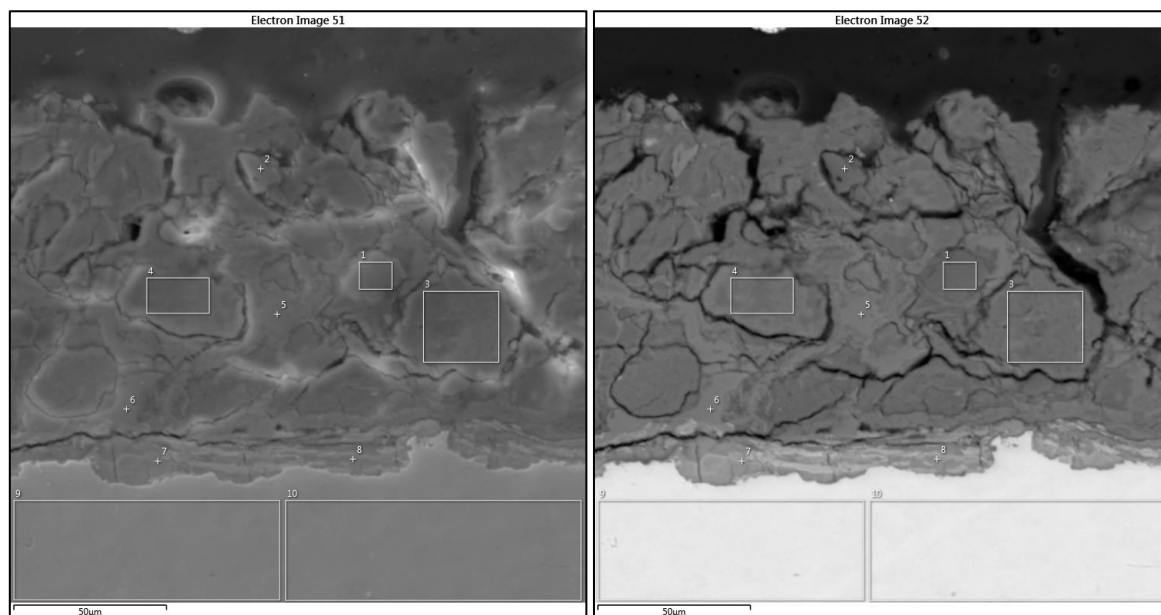
SEM MAG: 1.00 kx DET: BSE Detector
HV: 20.0 kV DATE: 03/10/20
Name: MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_01-R-16
100 um Vega @Tescan
ÚJV, a. s.

Obr. 11-164 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	16,3	0,5		0,3	5,5	0,6	0,2		0,2	0,8	74,4	0,7	0,5
2	19,1	0,4		0,4	6,7	0,6	0,2	0,2		0,8	70,4	0,5	0,7
3	24,7	0,5	0,3	0,4	10,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,7	60,7	0,6	0,7
4	18,6	0,4		0,3	7,4	0,4				0,7	71,3	0,5	0,5
5	18,2			0,2	5,8	0,5			0,2	0,9	73,0	0,7	0,6
6	37,8	0,6	0,2	0,2	7,8	0,5		0,8		2,1	49,5		0,5
7	37,0	0,2	0,3	0,3	8,2	0,6		0,9	0,2	2,0	49,7		0,6
8	36,1	0,3	0,3	0,2	7,6	0,6		0,9		2,2	50,7	0,4	0,7
9	36,1	0,2	0,2		7,6	0,5		0,8		2,2	51,6		0,7
10	39,0	0,6	0,2		14,7	0,3	0,5	0,6	0,2	0,4	43,0		0,5
11	42,2	1,0			16,2	0,3	0,8	0,4		0,3	38,4		0,5
12	40,3	0,9		0,2	15,4	0,3	0,7	0,4	0,2	0,3	41,0		0,5
13	41,0	1,1		0,2	15,2	0,3	0,8	0,4	0,2	0,3	40,0		0,6
14	32,3		0,2	0,7	19,9	0,6		0,3	0,3	0,4	44,4		1,0
15	26,3	0,5	0,3	0,7	16,9	0,6		0,4	0,3	0,6	52,1		1,3
16	29,9		0,2	0,5	7,0	0,7		0,3	0,3	0,5	59,1	0,5	1,1
17	33,1	0,3		0,7	19,6	0,7		0,4	0,3	0,5	42,8	0,4	1,3
18					0,3					0,7	99,0		
19					0,2					0,5	99,2		

Obr. 11-165 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu
1	53,1			0,4	45,7		0,1	0,3			0,4	
2	51,9			0,0	47,7						0,4	
3	44,5		2,9	9,9	24,7		2,5	0,8	0,4	0,2	14,1	
4	44,7		2,4	8,7	25,2		0,5	1,1	1,1	0,2	16,2	
5	53,3		2,4					39,5		2,4	2,4	
6	55,5		2,4					33,7		4,2	4,3	
7	42,0	0,4	0,1	0,2	6,8	0,3	0,3	0,7		0,4	48,3	0,5
8	42,7	0,9	0,2	0,1	14,2	0,4	0,7	0,9		0,3	39,1	0,5
9					0,2			0,1		0,6	99,0	
10					0,3					0,6	99,1	

Obr. 11-166 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

11.26 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce v bentonitu MX-80

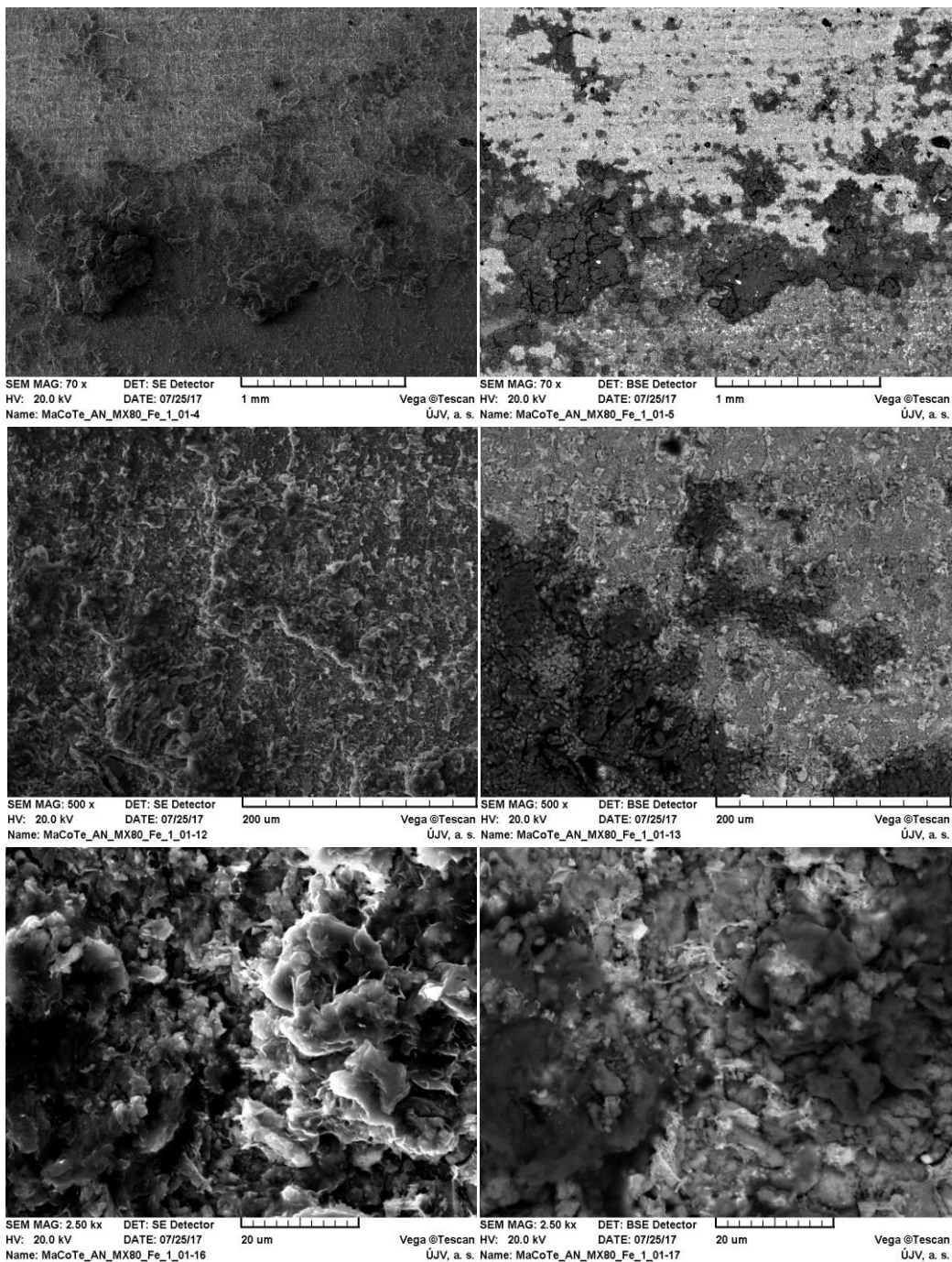
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-167 až Obr. 11-177, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



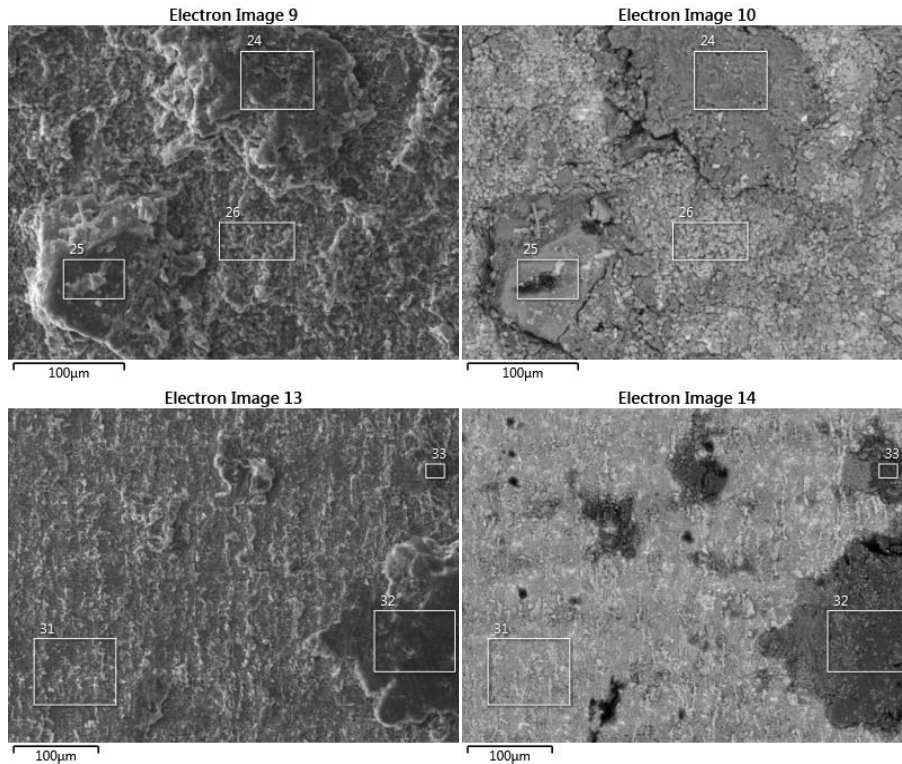
Obr. 11-167 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)



Obr. 11-168 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli

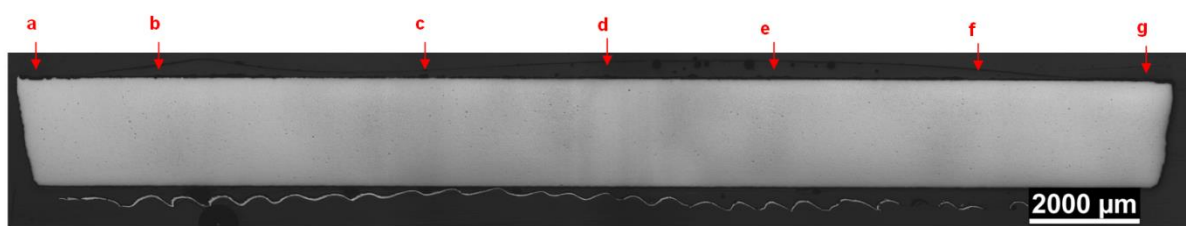


Obr. 11-169 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

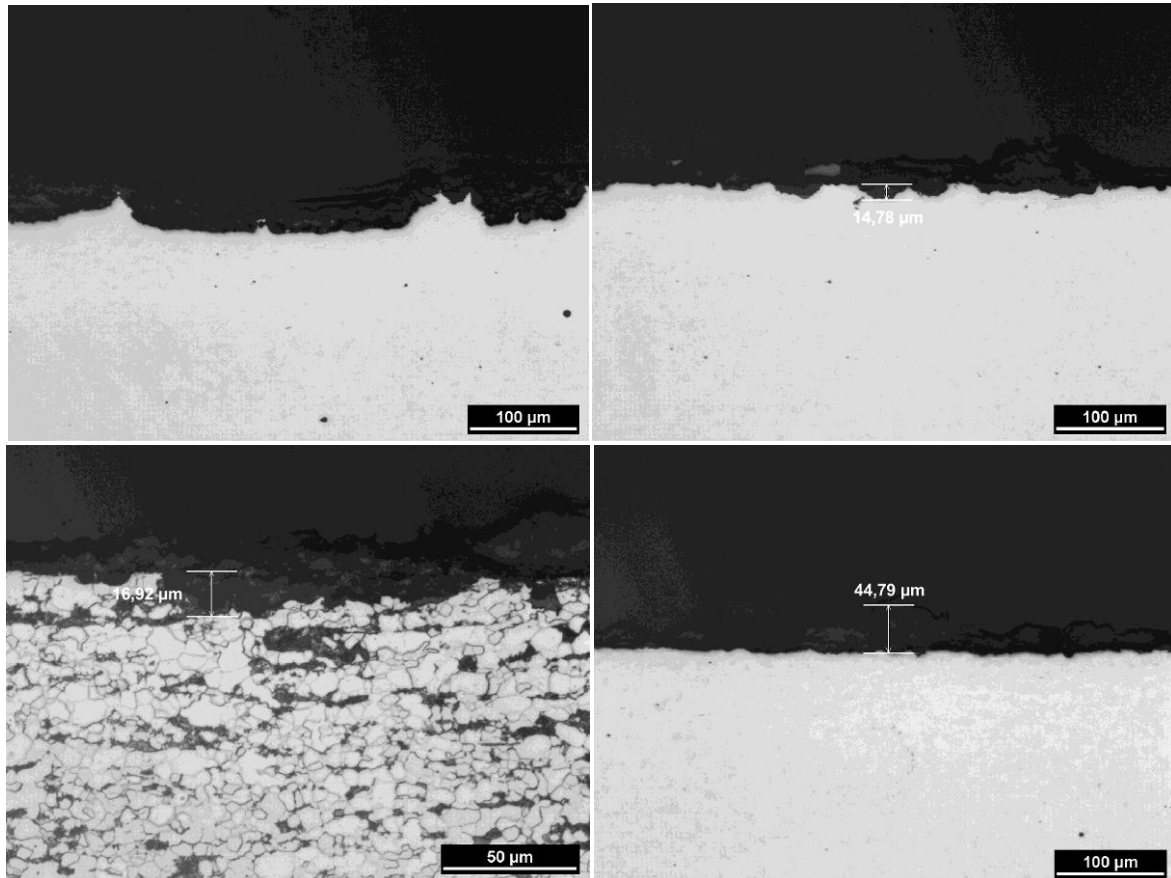


Oblast	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu
24	48,4	1,0	1,8	11,3	29,9	-	0,1	-	0,4	1,1	0,0	0,2	5,8	-
25	41,8	1,2	0,8	10,1	29,3	-	0,2	-	7,6	1,1	0,0	0,2	7,8	-
31	24,3	-	0,7	0,2	0,5	0,1	0,6	-	0,0	8,8	0,1	2,5	61,3	1,0
32	42,0	0,7	1,7	10,0	25,3	-	0,2	0,1	0,3	3,4	-	1,2	15,1	0,1
33	44,7	0,8	1,5	13,7	30,4	-	0,2	0,1	0,2	1,0	0,0	0,1	7,2	0,1

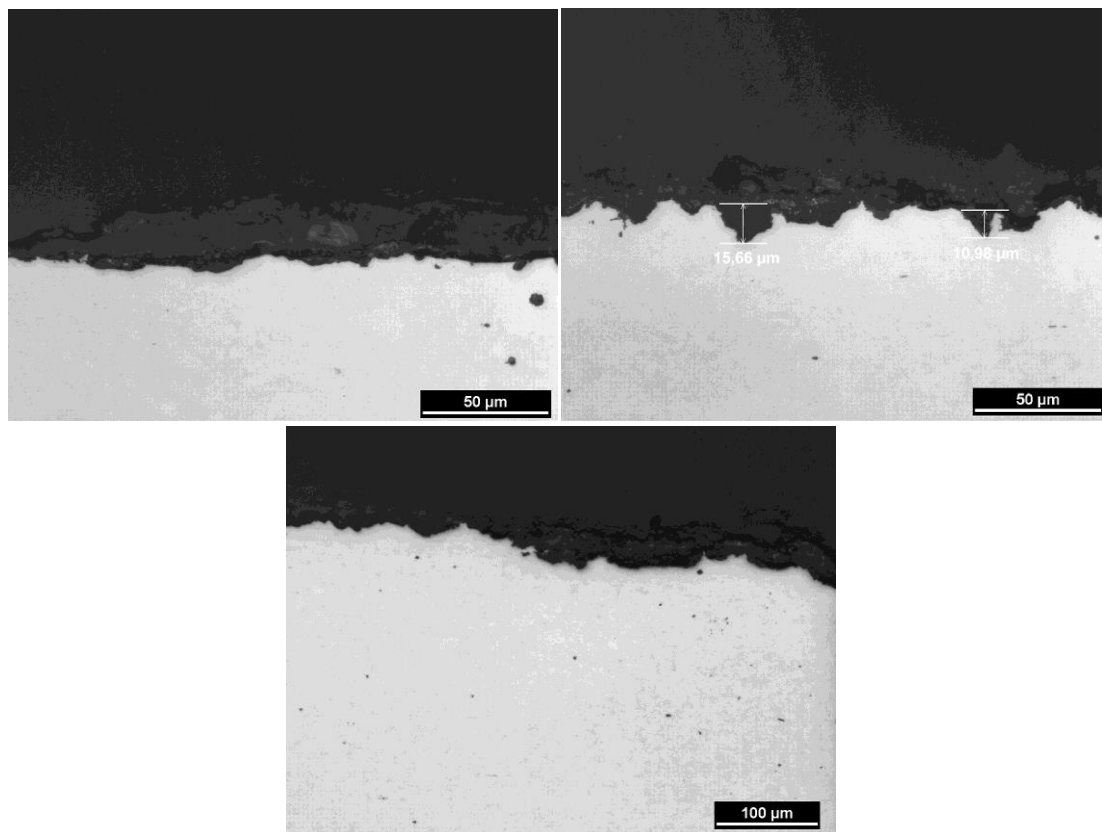
Obr. 11-170 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



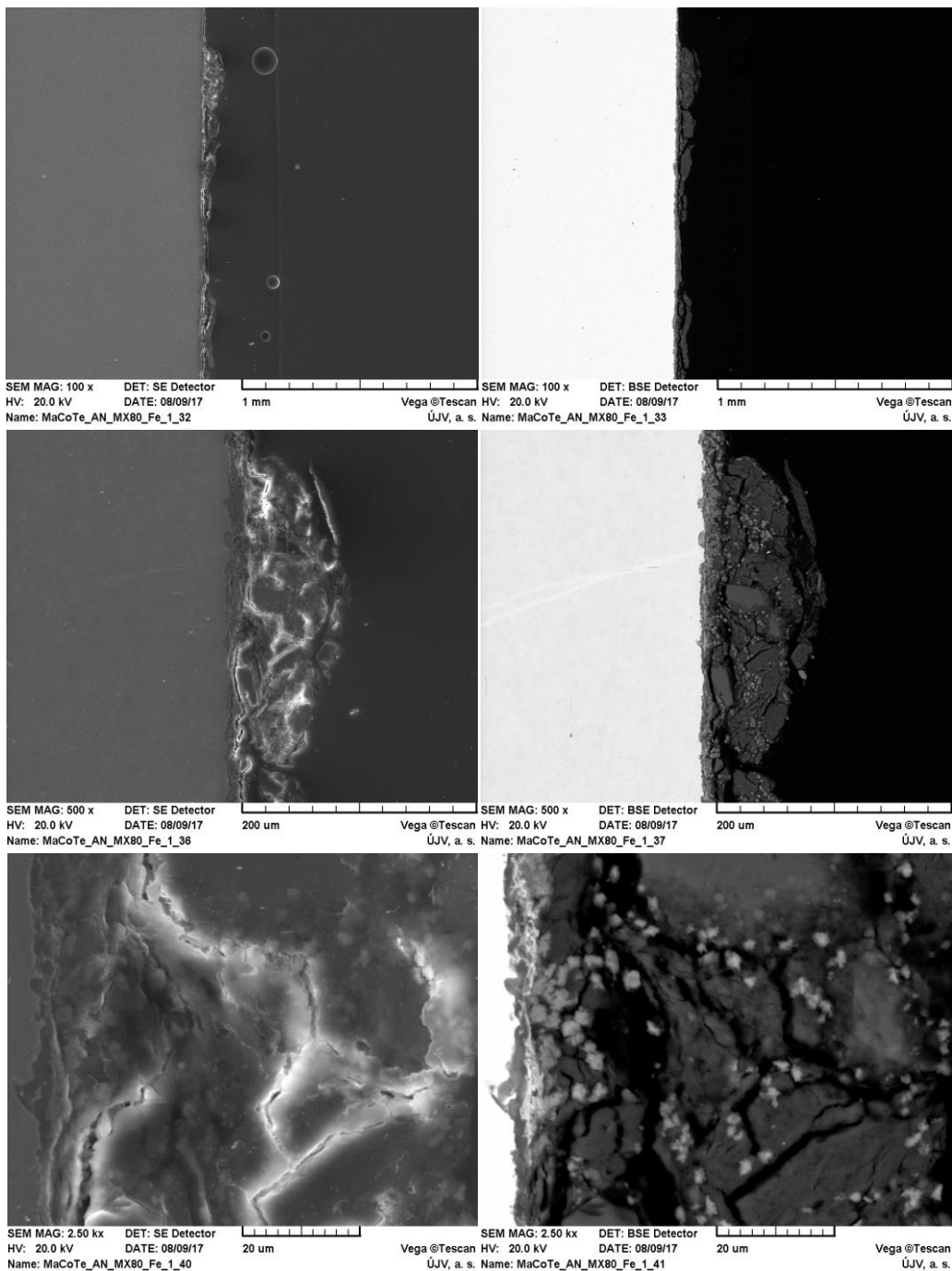
Obr. 11-171 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



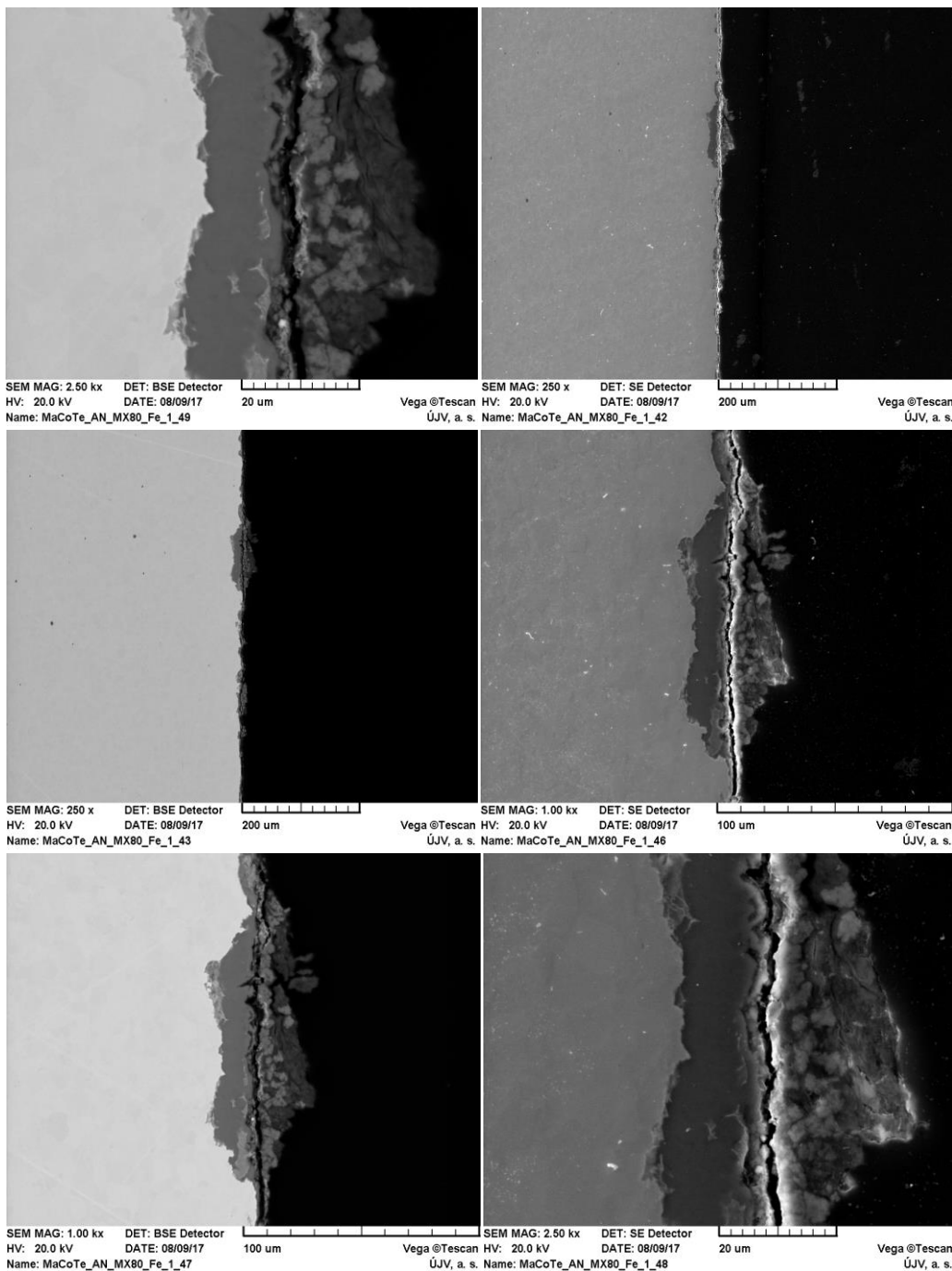
Obr. 11-172 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva a, b. Dole pozice zleva c (leptáno), d



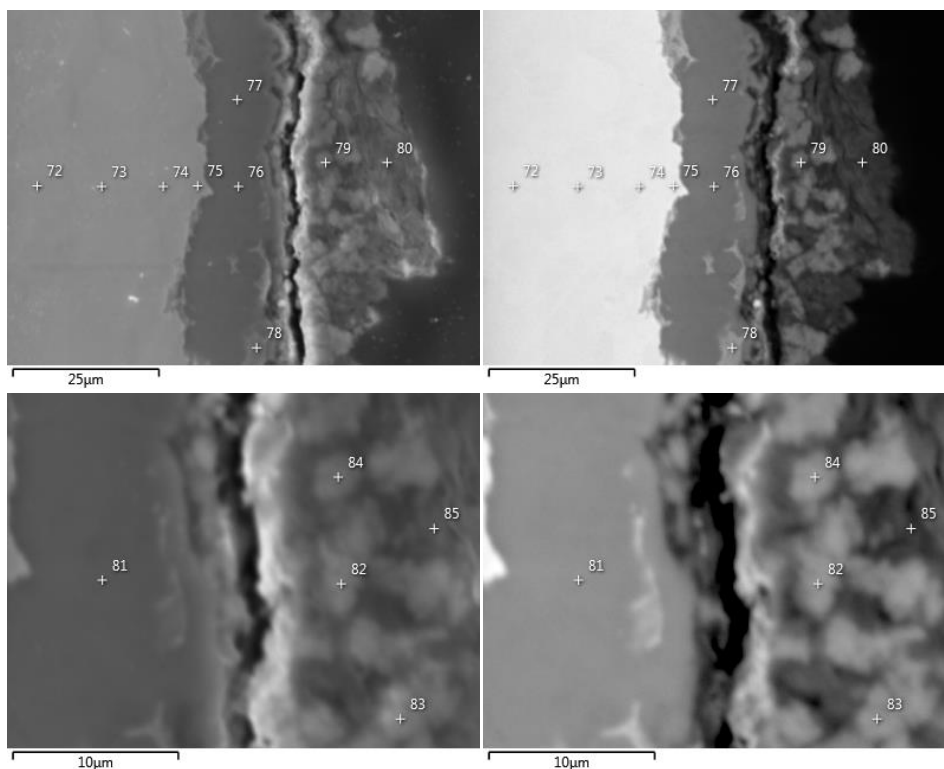
Obr. 11-173 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e, f. Dole pozice g



Obr. 11-174 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



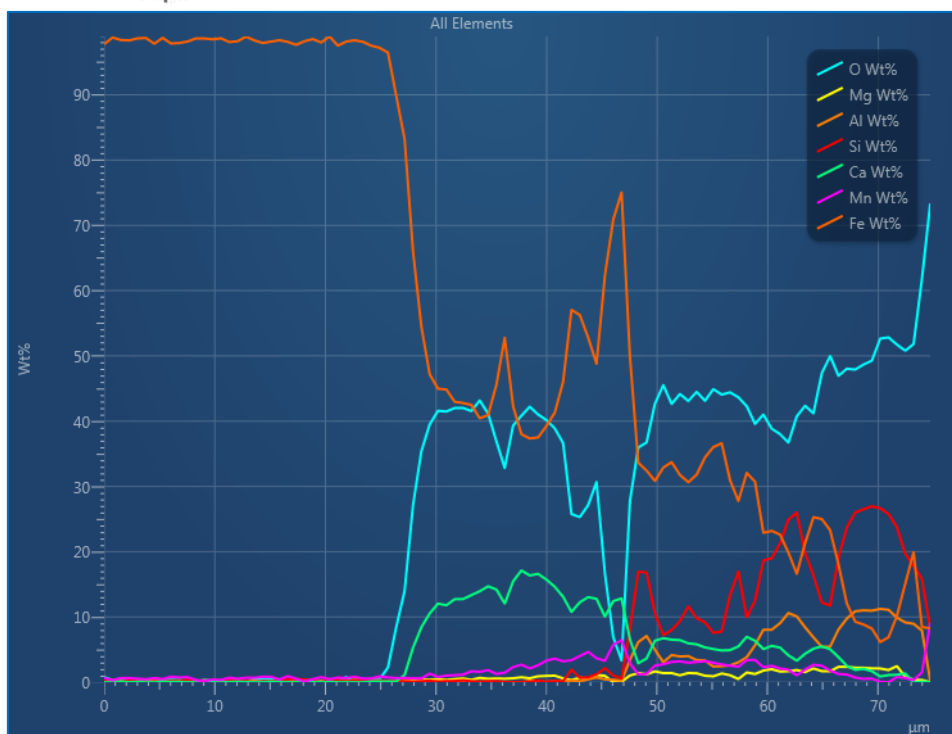
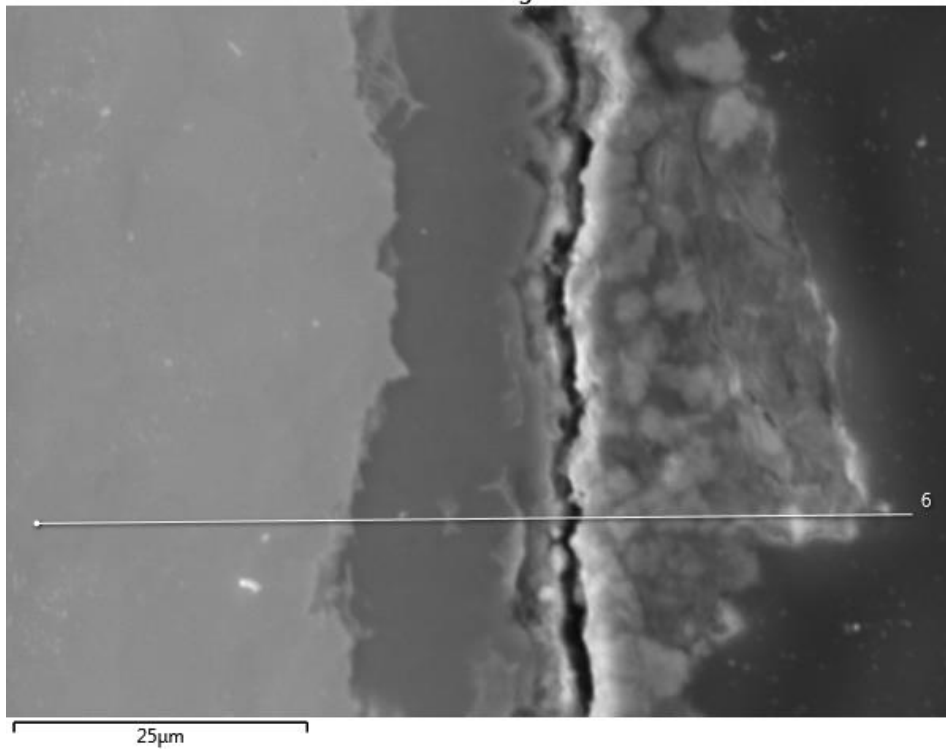
Obr. 11-175 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



Pozice	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
72	0,16	-	-	0,16	0,27	-	-	-	0,01	0,52	98,70	0,18	-
73	0,33	-	-	0,08	0,33	-	-	-	0,08	0,60	98,50	0,07	-
74	0,33	-	-	0,04	0,31	-	-	-	0,05	0,64	98,36	0,27	-
75	0,44	-	-	0,12	0,24	-	-	-	0,04	0,65	98,37	0,14	-
76	42,36	-	-	0,10	0,10	0,23	-	14,88	-	1,56	39,95	0,32	0,51
77	42,00	-	-	0,14	0,15	0,23	-	13,51	0,02	1,48	41,69	0,19	0,57
78	28,95	-	0,52	0,04	0,06	0,30	-	9,78	0,04	2,15	57,89	0,26	-
79	41,34	-	1,57	3,35	7,48	-	-	6,91	0,05	3,68	35,59	0,02	-
80	44,70	0,65	2,35	12,64	31,79	-	0,43	1,20	0,07	0,01	6,17	-	-
81	42,75	-	-	0,07	0,13	-	-	14,72	-	1,78	40,27	0,28	-
82	44,07	-	1,36	3,33	7,42	-	-	6,51	-	2,99	34,20	0,12	-
83	47,28	-	1,26	2,42	5,05	-	-	6,52	0,02	3,23	34,21	-	-
84	40,58	-	1,24	3,02	7,57	-	-	6,78	0,04	3,22	37,48	0,07	-
85	42,58	0,49	2,17	11,91	30,88	-	0,51	1,40	0,11	0,21	9,65	0,08	-

Obr. 11-176 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

Electron Image 43



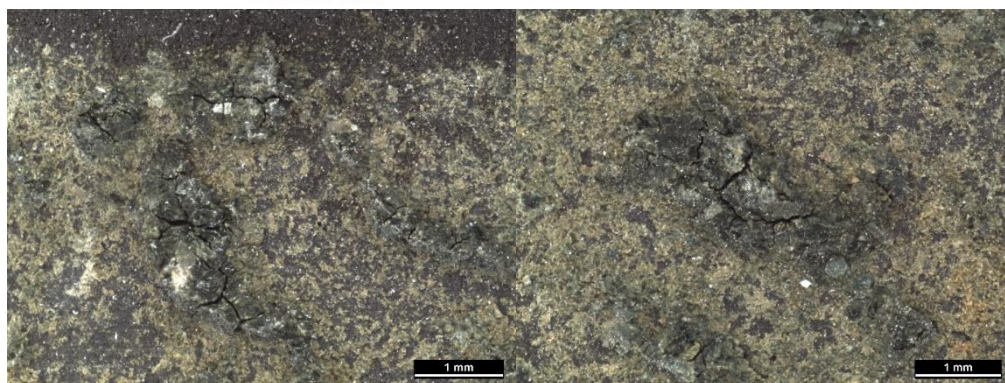
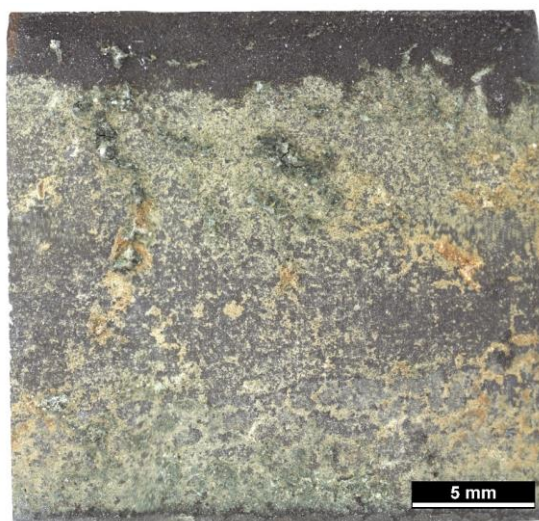
Obr. 11-177 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli

11.27 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80

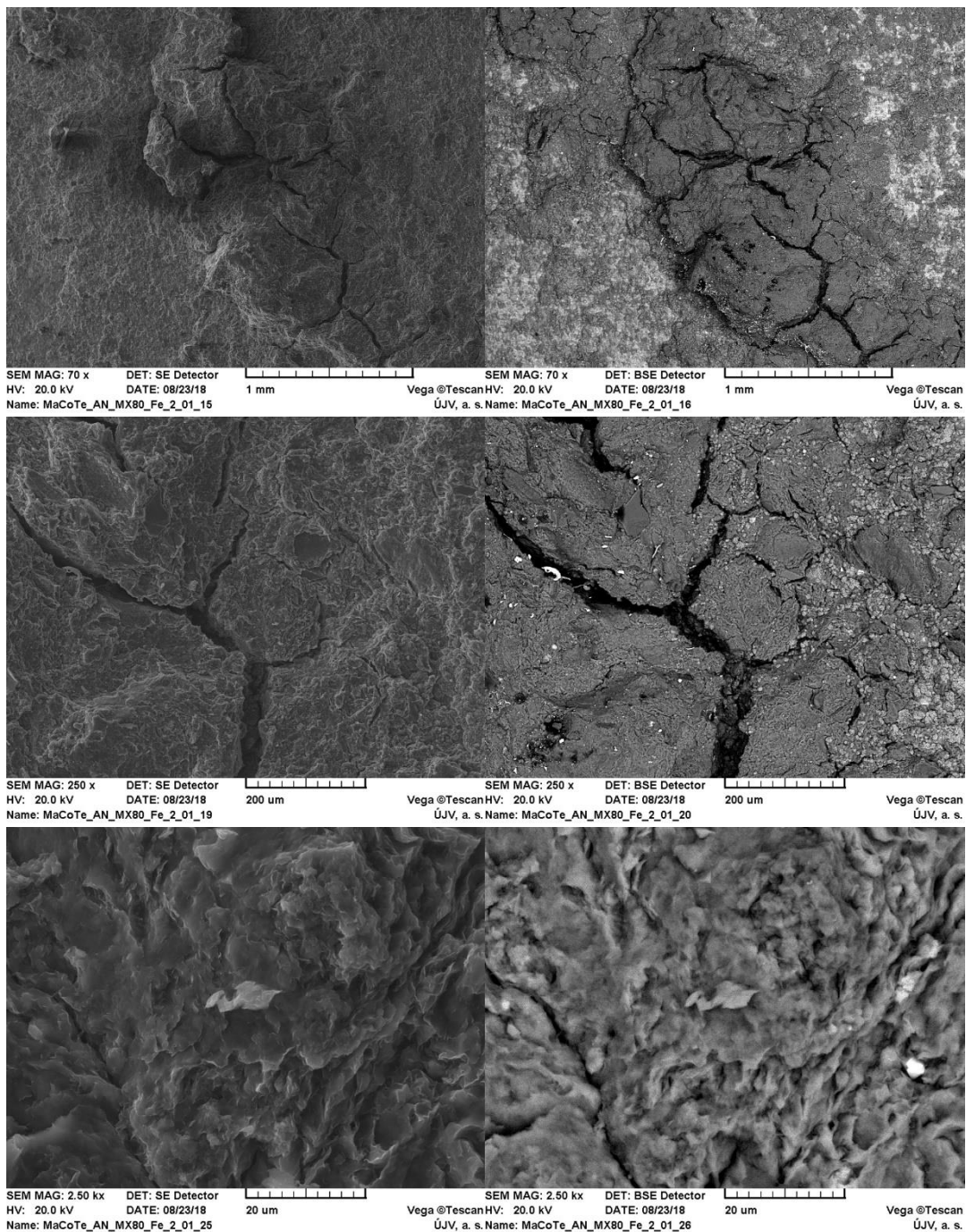
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-178 až Obr. 11-197, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



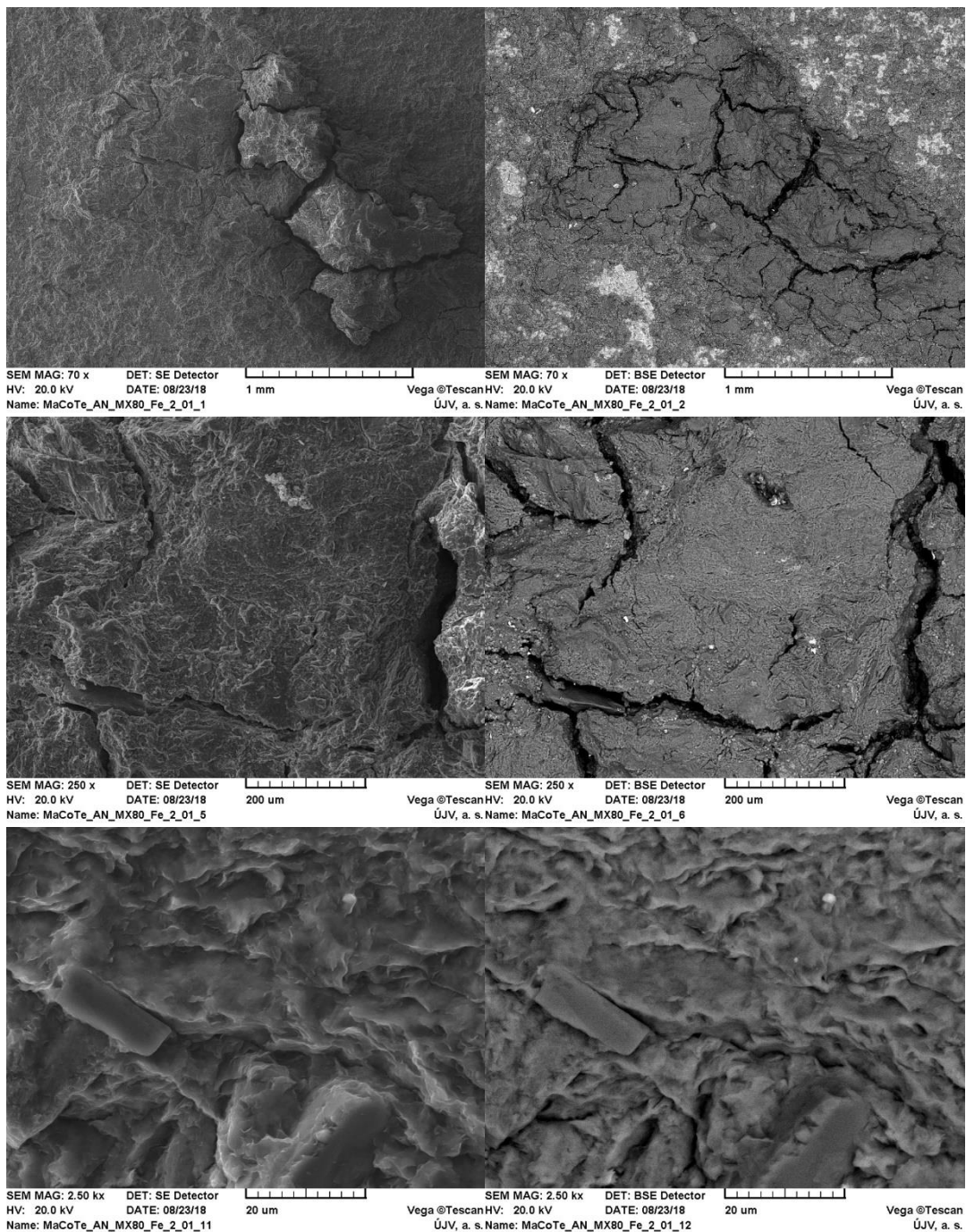
Obr. 11-178 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí)



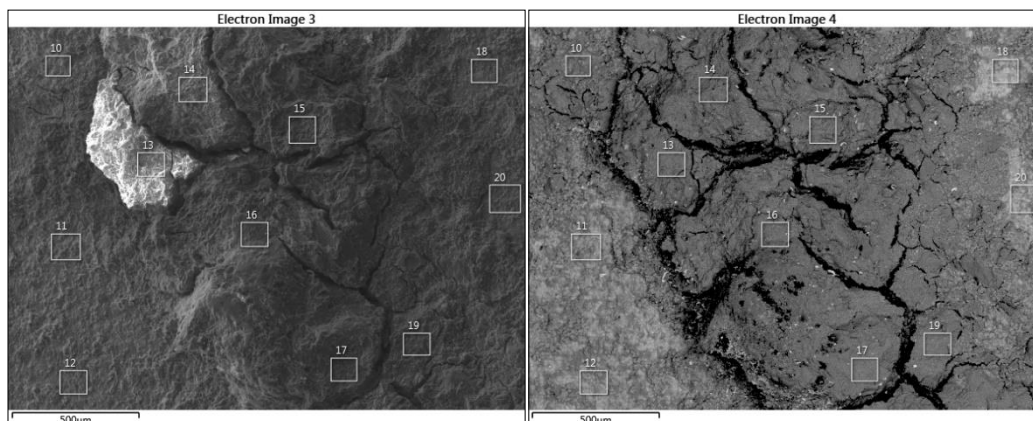
Obr. 11-179 Detail povrchu vzorku uhlíkové oceli



Obr. 11-180 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

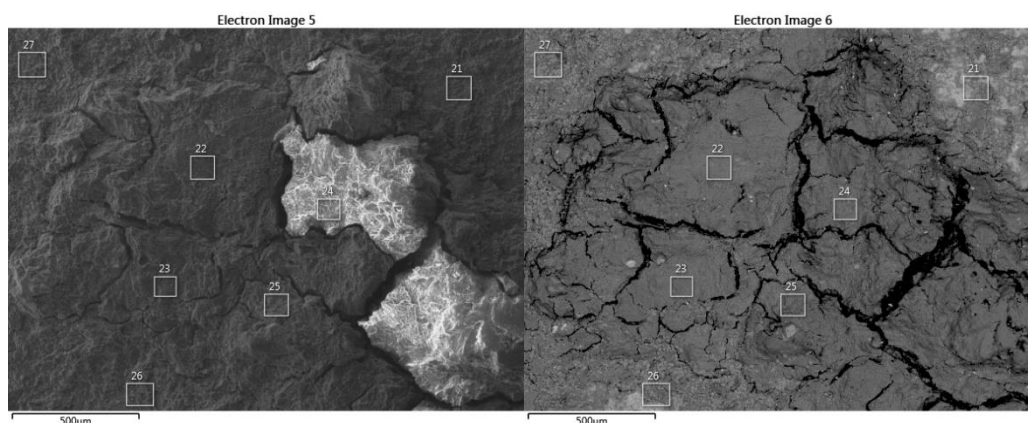


Obr. 11-181 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech



Oblast	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
10	49,6	0,6	1,5	8,2	23,7	-	0,1	1,1	-	0,6	14,6	-	-
11	43,4	-	1,5	5,1	12,4	0,9	-	3,9	0,3	1,5	29,2	0,4	1,4
12	41,7	-	1,5	5,8	13,8	1,0	-	3,7	0,3	1,3	29,0	0,5	1,5
13	49,6	0,8	1,6	10,5	27,6	-	0,2	0,9	-	-	8,9	-	-
14	51,1	0,6	1,6	10,2	26,3	-	0,2	1,2	-	-	9,0	-	-
15	49,9	0,8	1,7	9,9	26,2	0,2	0,2	1,0	-	-	10,0	-	-
16	51,9	0,8	1,8	10,5	26,1	0,3	0,2	1,4	-	-	7,0	-	-
17	46,9	0,6	1,7	10,1	27,8	0,2	0,2	1,3	-	-	11,5	-	-
18	36,7	-	1,2	4,0	9,1	1,2	-	4,6	0,4	1,4	39,1	0,7	1,7
19	48,5	0,6	1,5	9,8	26,0	0,2	0,2	1,0	-	-	12,3	-	-
20	38,7	-	1,3	5,2	13,4	0,8	-	3,2	0,3	1,1	34,2	0,6	1,4

Obr. 11-182 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

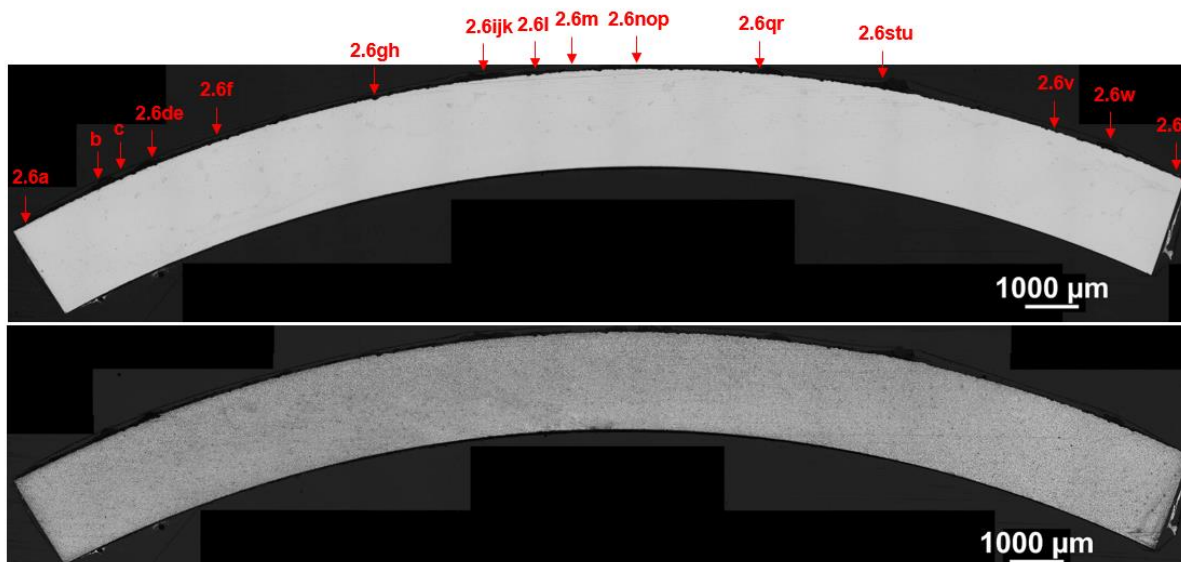


Oblast	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
21	42,3	-	1,6	6,5	15,4	0,6	-	3,1	1,2	28,7	0,7	42,3	-
22	43,9	0,5	1,5	9,9	26,9	-	0,3	1,3	-	15,8	-	43,9	0,5
23	46,3	0,5	1,6	9,4	30,0	-	0,7	1,0	-	10,7	-	46,3	0,5
24	48,5	0,5	1,6	10,4	27,0	-	0,6	1,2	-	10,3	-	48,5	0,5
25	52,4	0,5	1,6	10,0	25,8	-	0,1	0,8	-	8,8	-	52,4	0,5

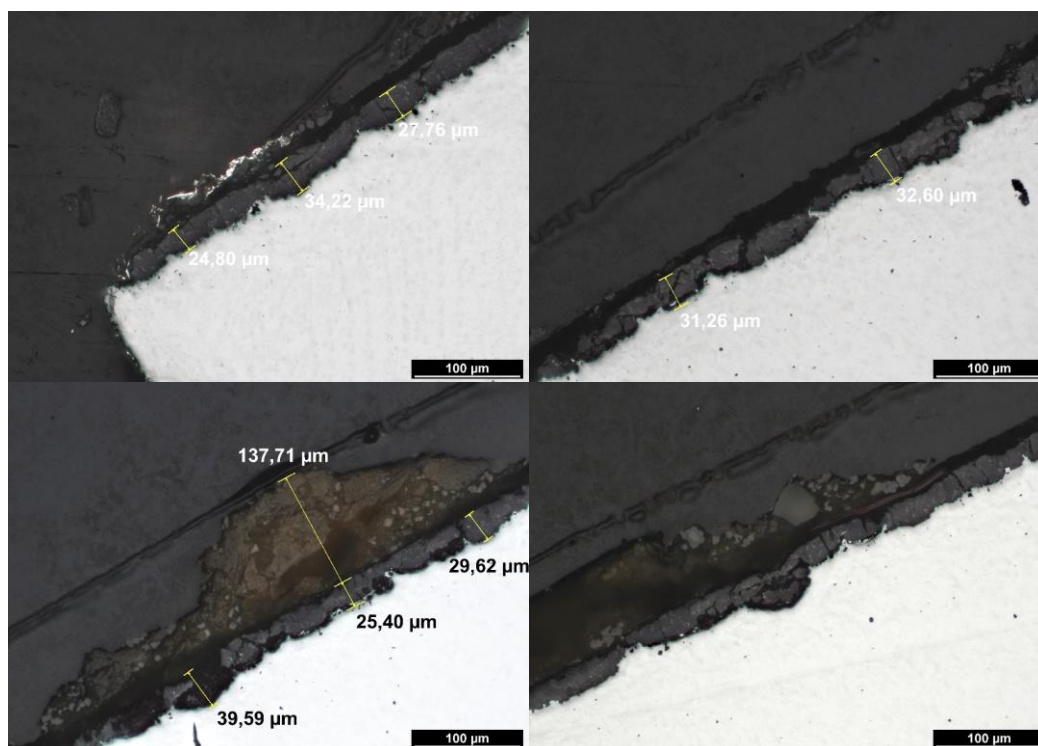
 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí										Evidenční označení:			
											TZ 194/2017 rev. 2			

26	41,7	-	1,4	7,1	17,9	0,6	0,2	2,1	1,8	27,2	-	41,7	-
----	------	---	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	---	------	---

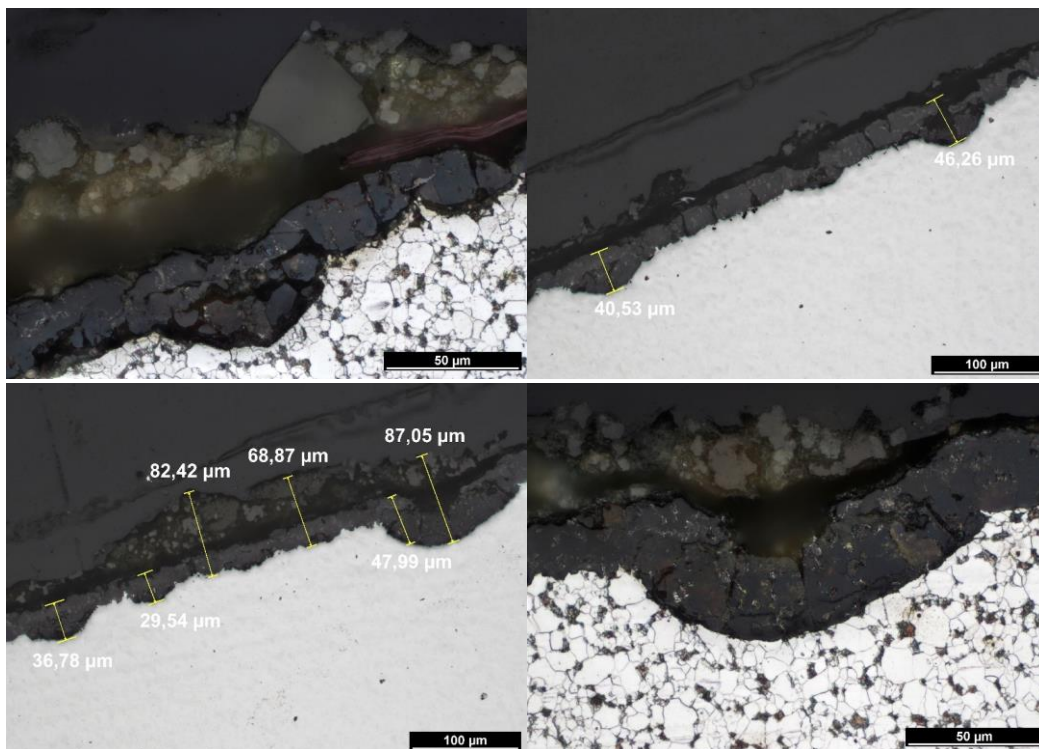
Obr. 11-183 Analýza chemického složení povrchové vrstvy vzorku uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



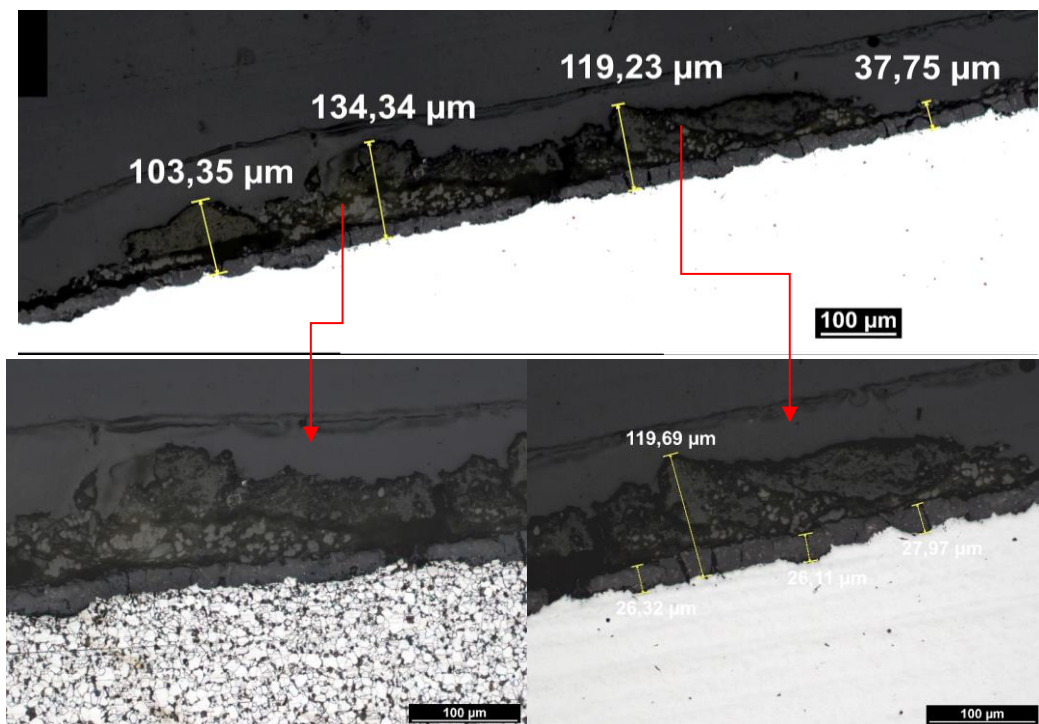
Obr. 11-184 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



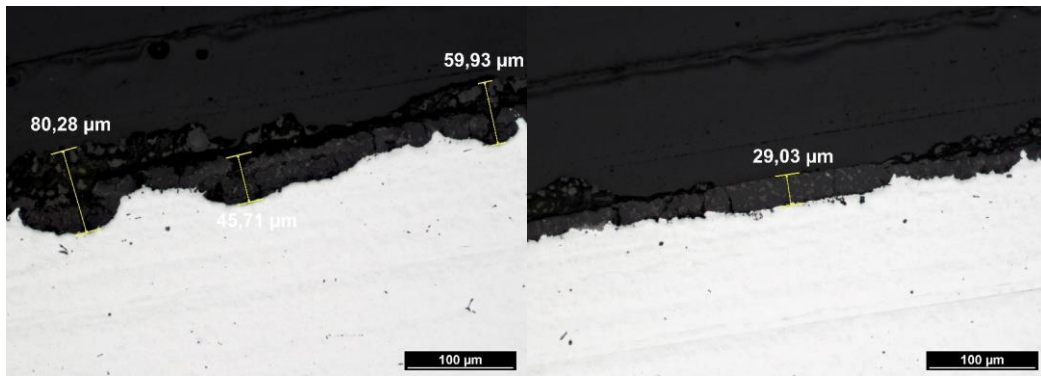
Obr. 11-185 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva a, b. Dole pozice zleva c, d



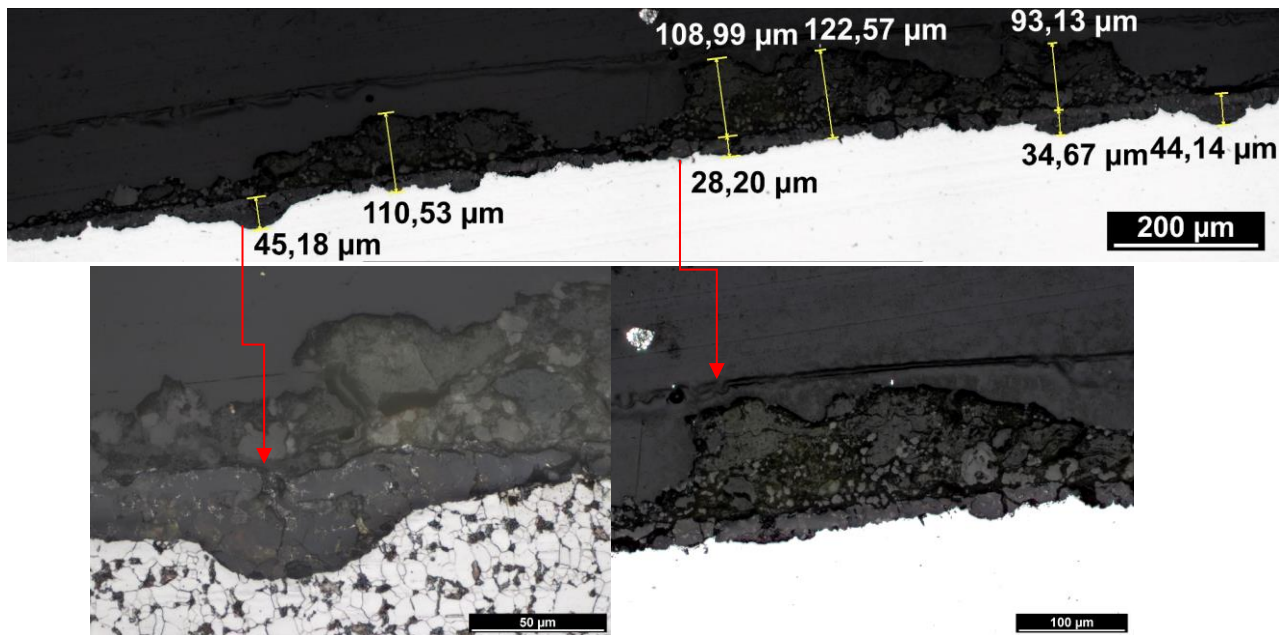
Obr. 11-186 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice zleva e (leptáno), f. Dole pozice g, h (leptáno)



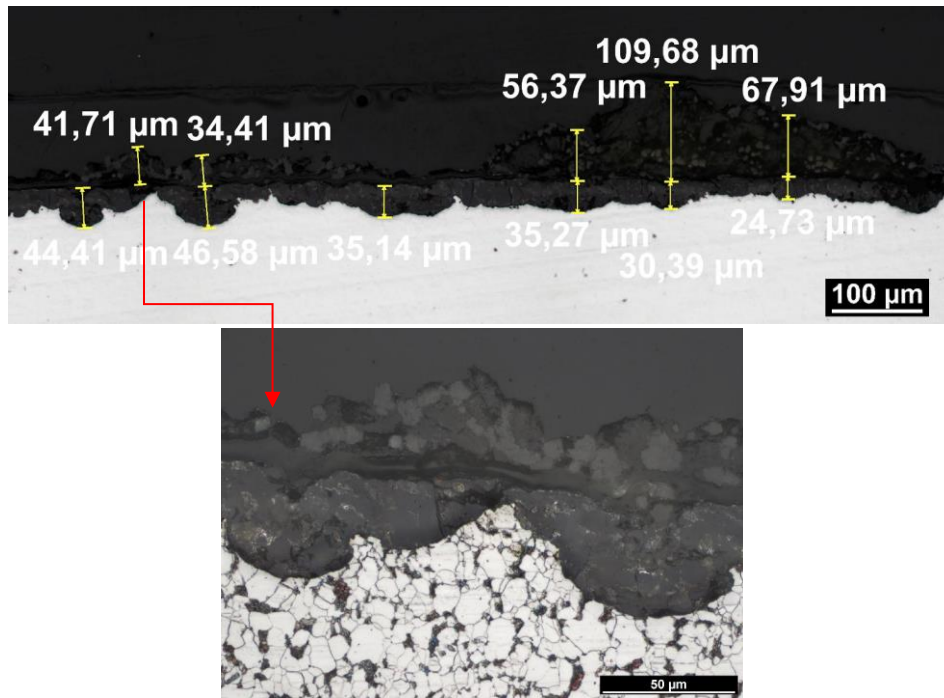
Obr. 11-187 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice i. Dole pozice j (leptáno), k



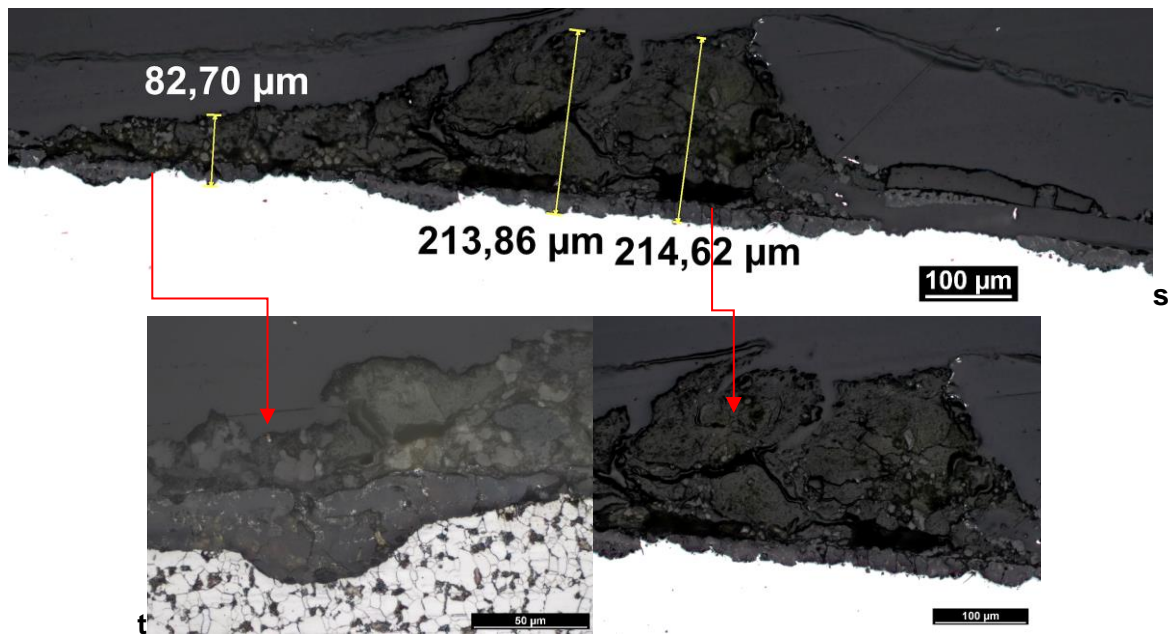
Obr. 11-188 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Pozice zleva l, m



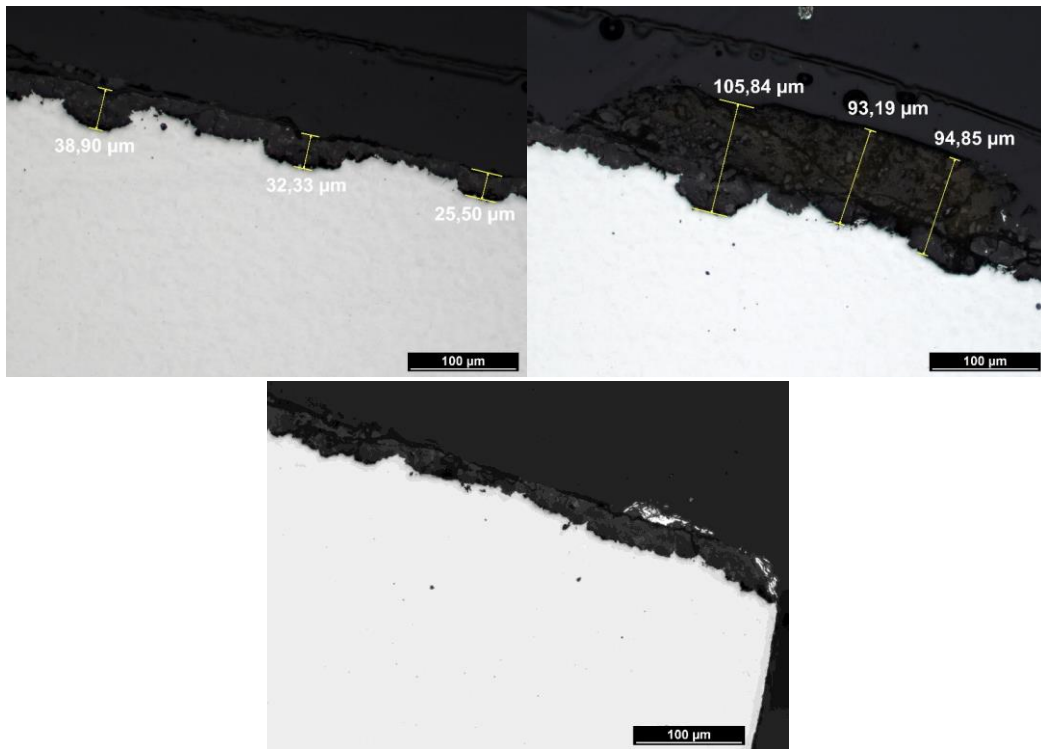
Obr. 11-189 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice n. Dole pozice o (leptáno), p



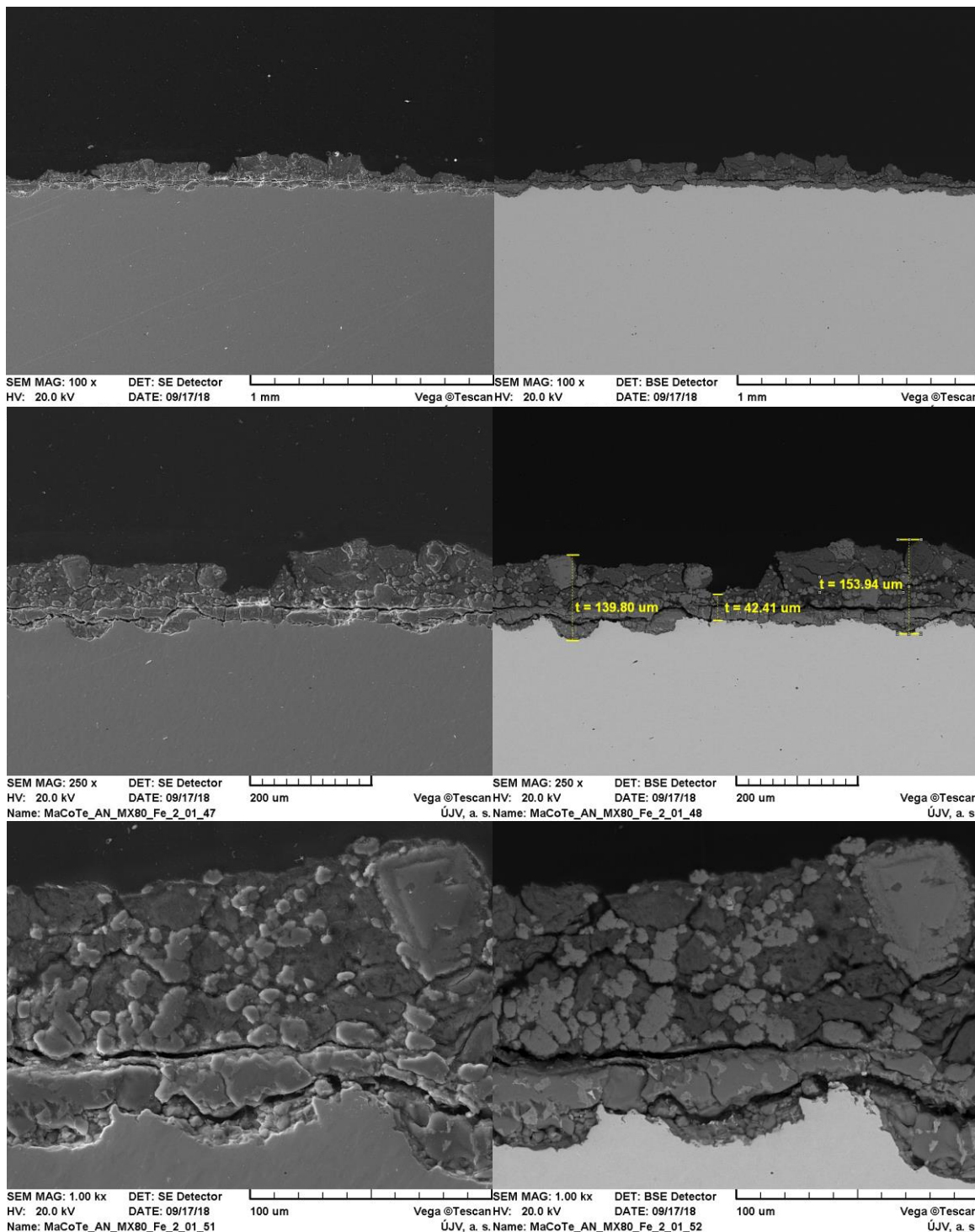
Obr. 11-190 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice q. Dole pozice r (leptáno)



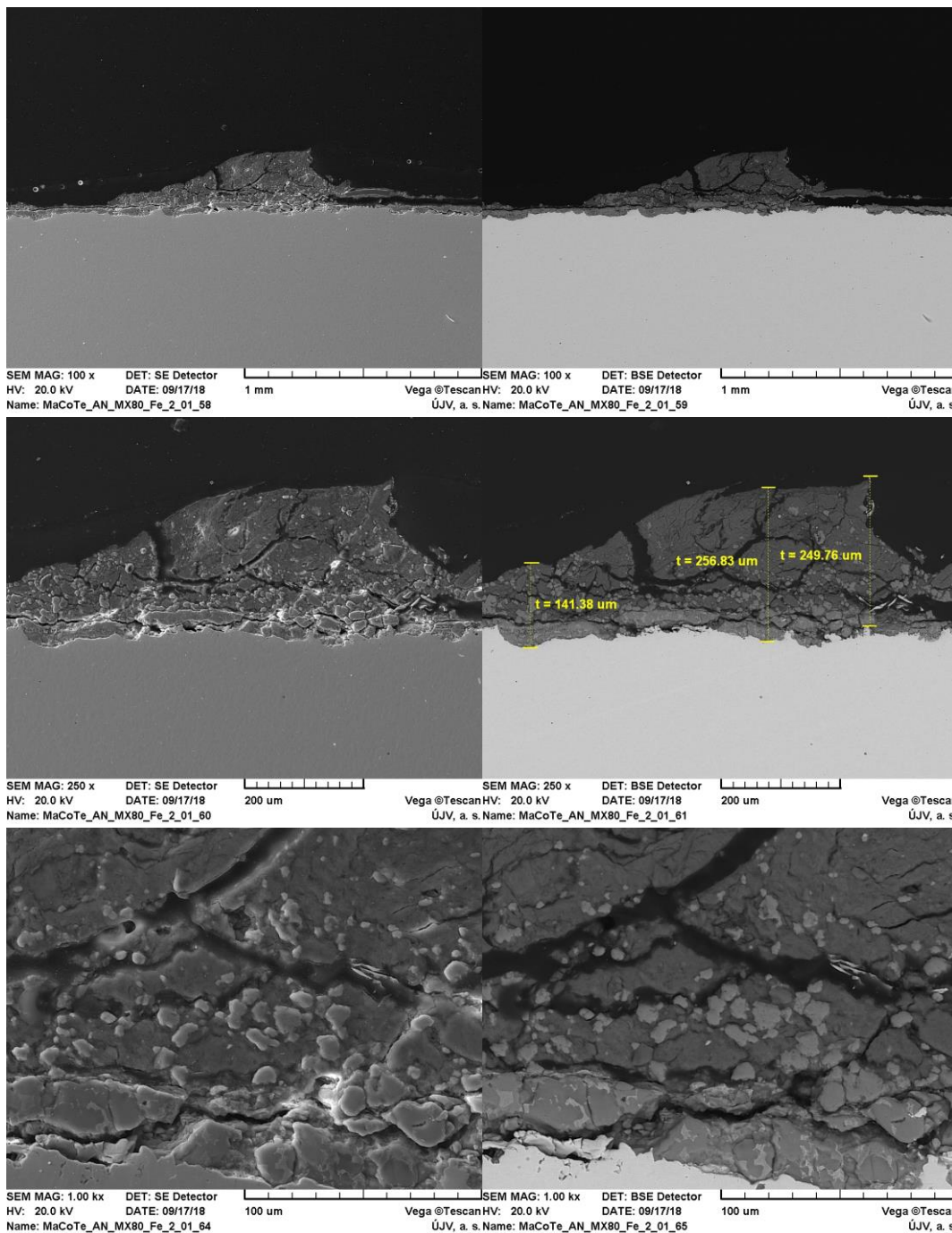
Obr. 11-191 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice s. Dole pozice t (leptáno), u



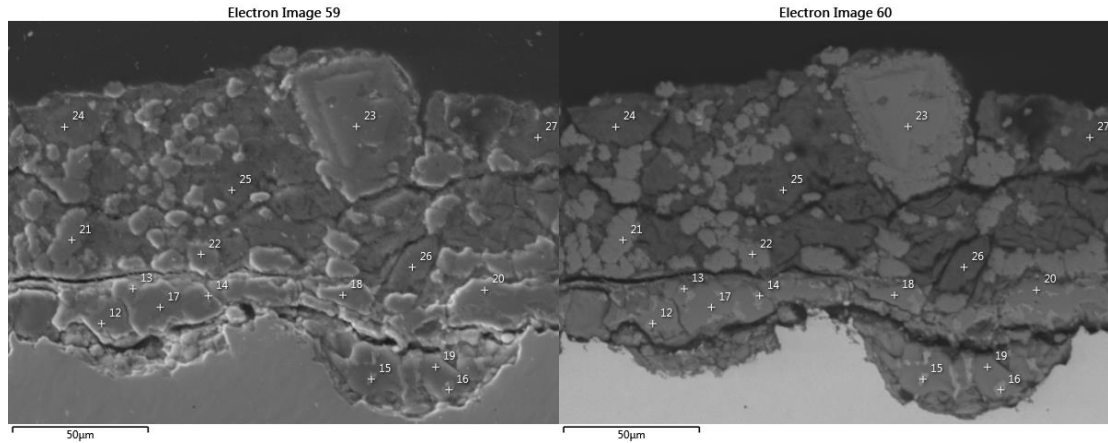
Obr. 11-192 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice v,w. Dole pozice x



Obr. 11-193 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech

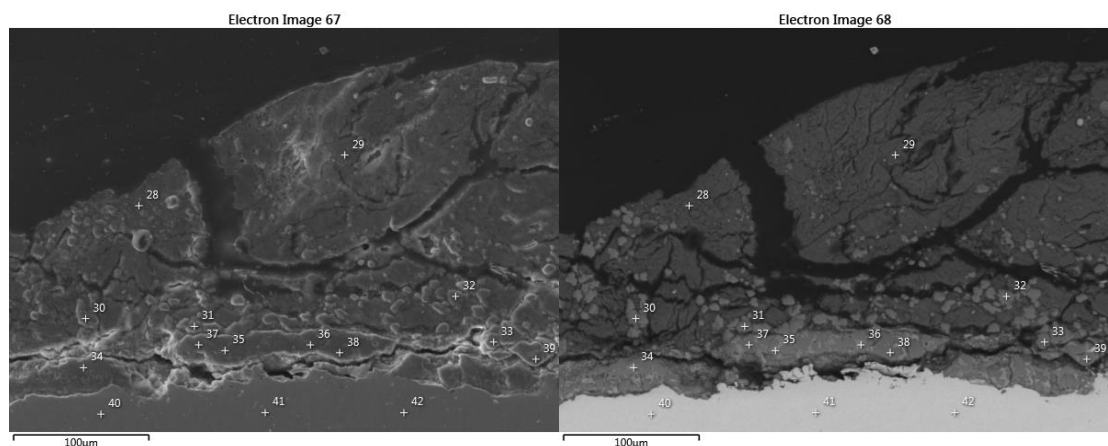


Obr. 11-194 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



Pozice	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Cu
12	31,1	-	-	-	2,6	-	-	3,4	1,4	61,5	-
13	38,7	-	-	-	-	0,2	-	8,7	1,5	51,0	-
14	33,6	-	-	-	-	0,1	-	5,3	1,0	60,0	-
15	34,8	1,6	-	-	17,3	0,2	0,4	0,4	0,4	44,6	0,5
16	31,9	1,7	-	-	14,5	0,2	0,4	0,3	0,4	50,2	0,5
17	44,0	-	-	-	0,3	-	-	6,2	2,1	47,1	0,4
18	44,7	-	-	-	0,2	-	-	6,3	1,7	46,7	0,4
19	41,1	1,4	-	-	20,1	0,2	0,5	0,5	0,3	35,2	0,7
20	48,1	-	-	-	-	-	-	11,3	1,8	38,8	-
21	46,0	-	1,0	1,1	2,6	-	-	4,8	2,3	42,3	-
22	42,4	-	0,9	1,7	3,8	-	-	4,4	2,9	43,8	-
23	41,5	-	3,8	0,3	0,5	-	-	2,8	2,0	49,2	-
24	42,9	-	1,7	11,8	29,4	-	0,2	0,3	-	13,7	-
25	49,2	-	1,0	5,9	37,1	-	-	0,3	-	6,6	-
26	33,0	-	1,7	11,8	32,3	-	0,2	2,3	-	18,6	-
27	45,8	-	1,8	11,8	30,5	-	-	0,5	-	9,7	-

Obr. 11-195 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

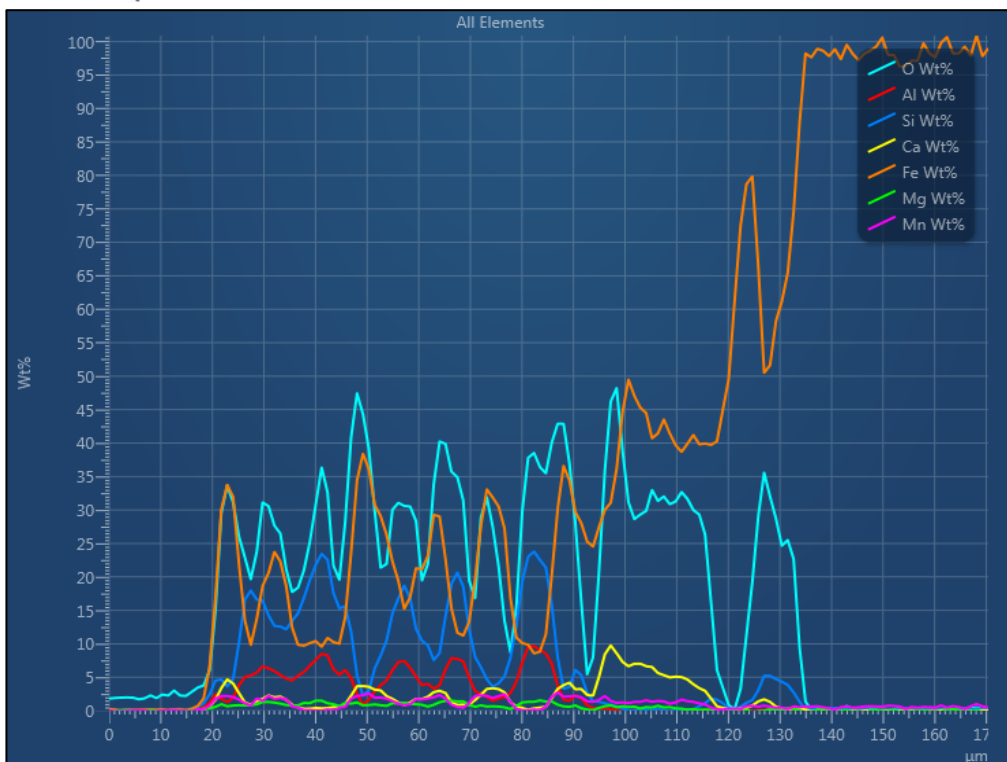
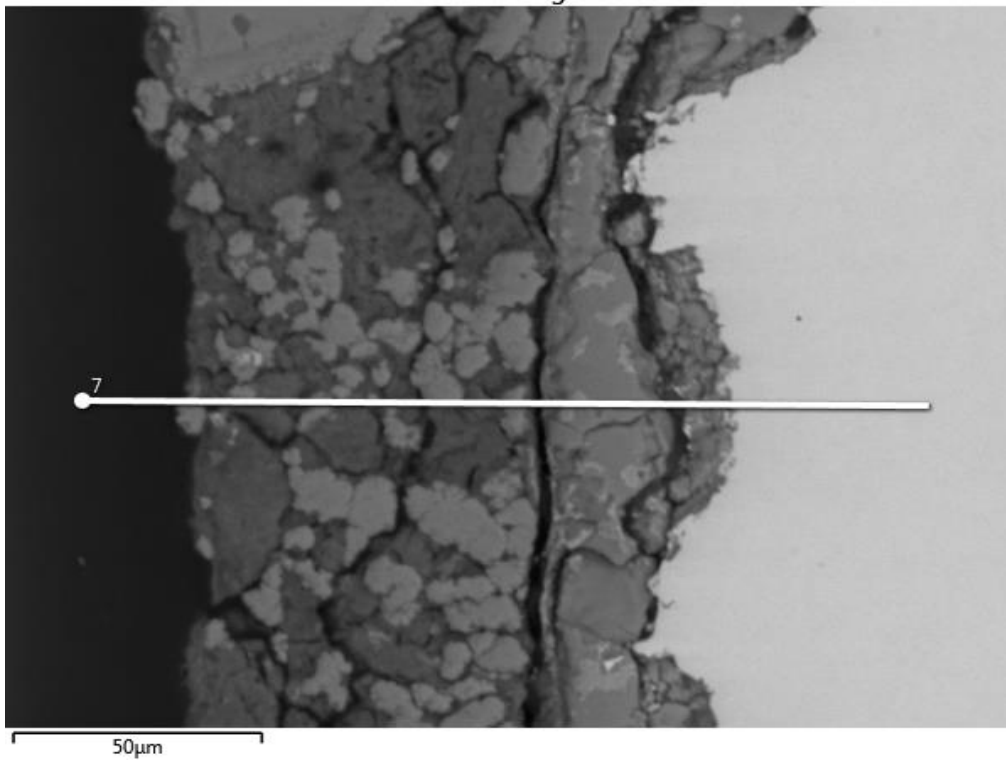


Pozice	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu
28	48,1	0,6	0,6	5,2	39,9	-	1,5	0,4	0,2	-	3,6	-	-
29	42,2	0,4	1,6	10,4	28,2	-	0,3	0,9	-	-	16,1	-	-
30	44,3	-	0,9	0,8	1,9	-	-	4,9	-	2,6	44,7	-	-
31	46,8	-	1,0	0,5	1,0	-	-	6,3	-	2,5	42,1	-	-

32	43,9	-	1,1	1,6	3,8	-	-	4,2	-	2,7	42,8	-	-
33	47,6	-	-	-	1,1	-	-	5,7	-	2,2	43,4	-	-
34	26,9	-	-	-	4,4	0,2	-	2,4	-	1,2	65,0	-	-
35	32,1	-	-	-	1,8	-	-	4,1	-	1,5	60,6	-	-
36	32,8	-	-	-	0,3	0,2	-	5,1	-	1,3	60,0	-	0,4
37	42,7	-	-	-	0,2	0,2	-	6,8	-	2,0	47,3	0,3	0,6
38	41,3	1,3	-	-	17,0	0,1	0,3	0,5	-	0,3	38,8	-	0,4
39	44,9	-	-	-	0,2	0,1	-	6,8	-	1,6	46,3	-	-
40	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,6	99,2	-	-
41	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,6	99,1	-	-
42	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,7	99,0	-	-

Obr. 11-196 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

Electron Image 64



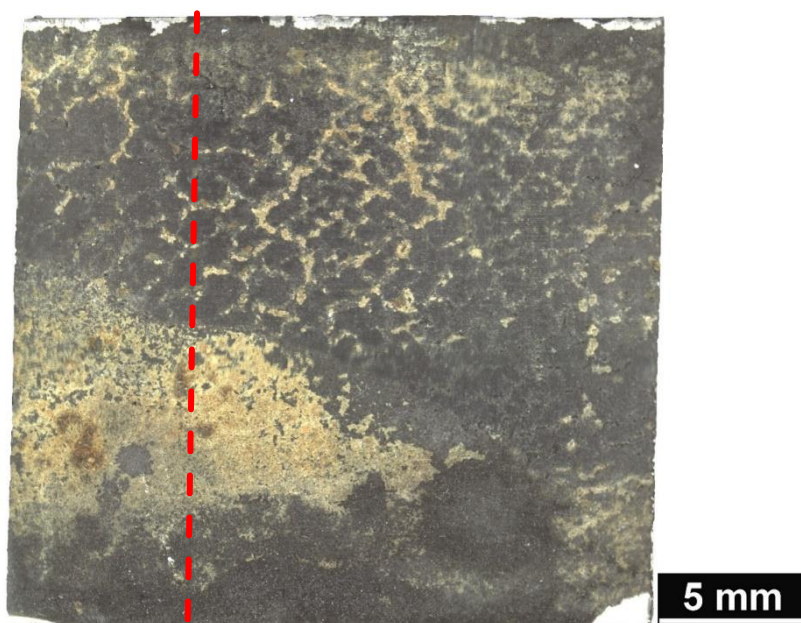
Obr. 11-197 Liniová analýza vrstvy na povrchu uhlíkové oceli

11.28 Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli po třileté korozní zkoušce v bentonitu MX-80

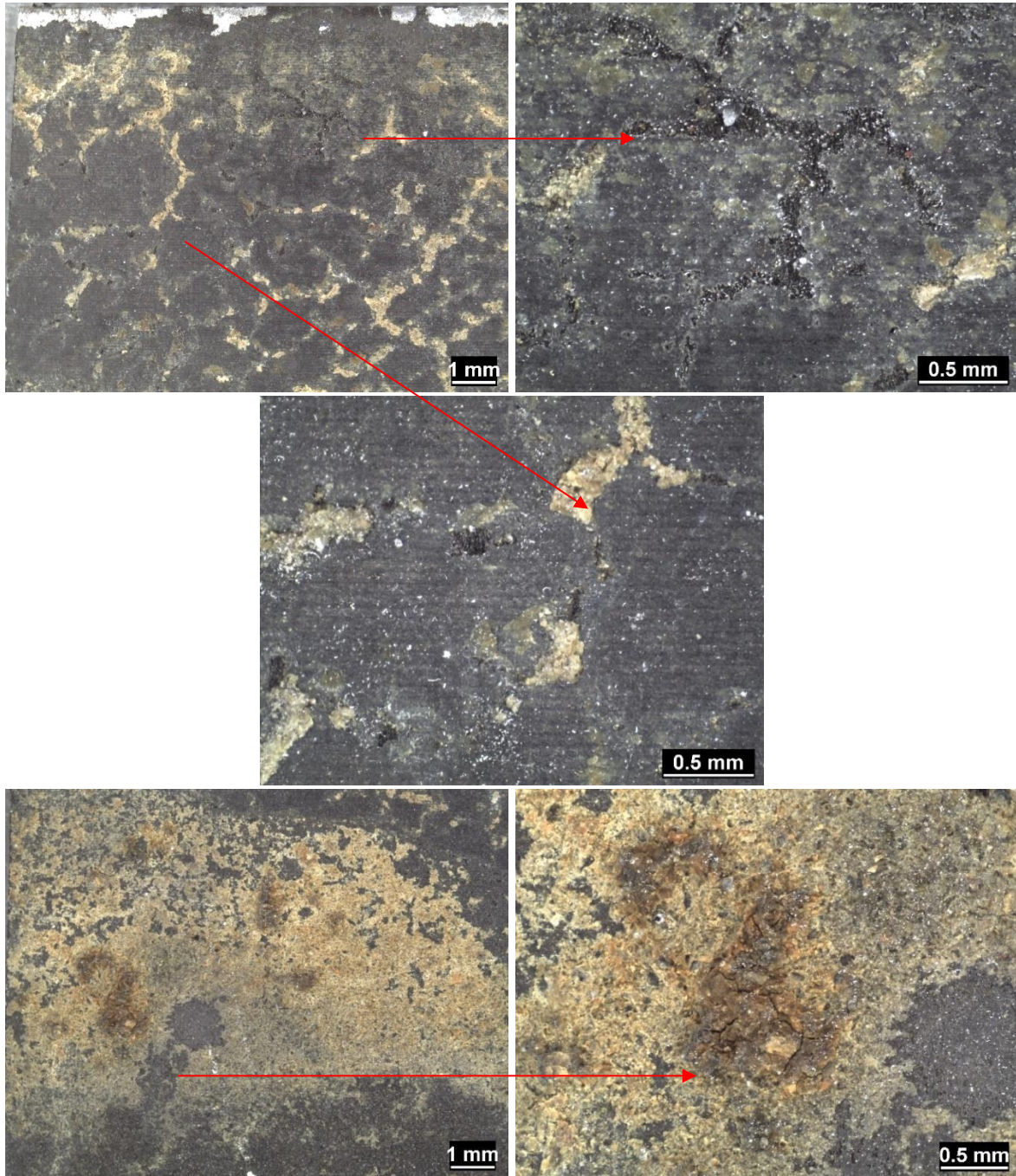
Obrazová dokumentace vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-198 až Obr. 11-215, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice, aby nedošlo k poškození vrstvy korozních produktů. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura byla vyvolána chemicky v 2% Nitalu (kyselina dusičná v alkoholu).



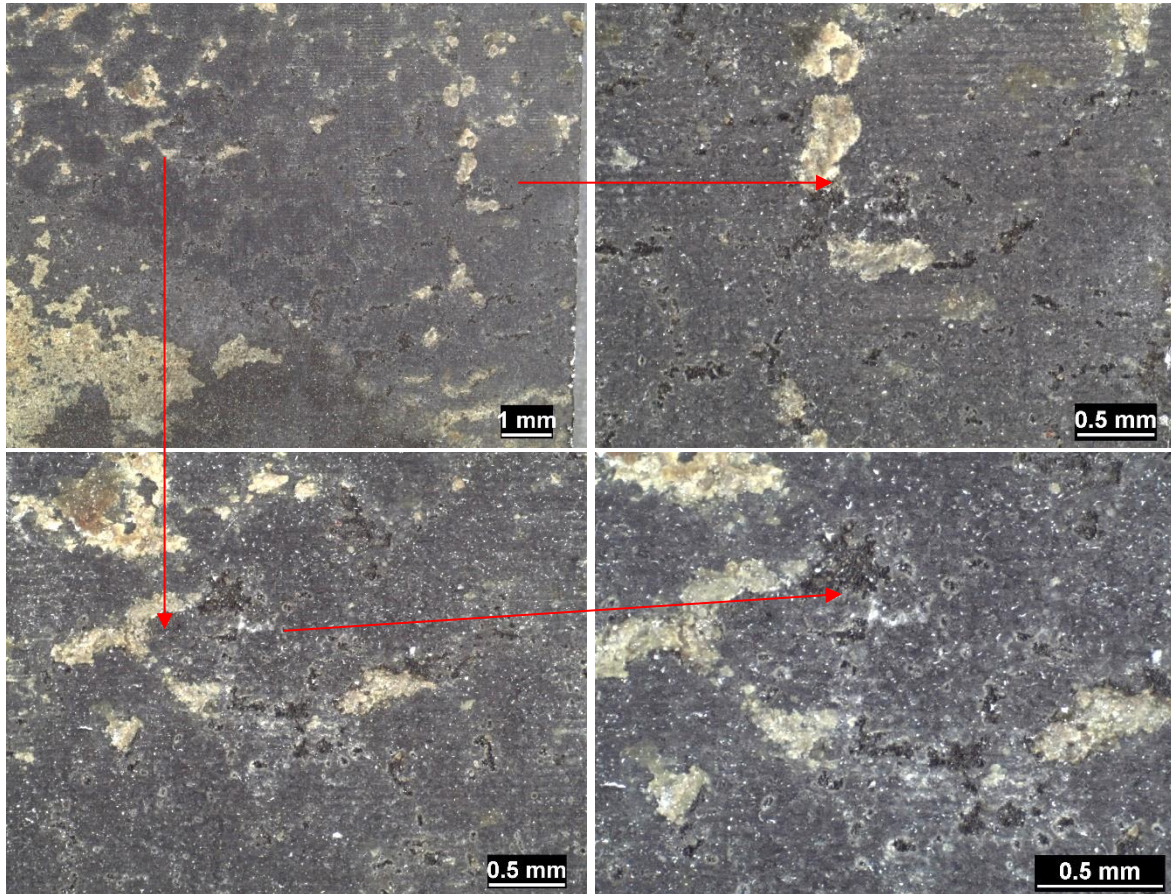
Obr. 11-198 Povrch vzorku uhlíkové oceli (složený obrázek z několika částí). Červené čáry značí místo řezu vzorku



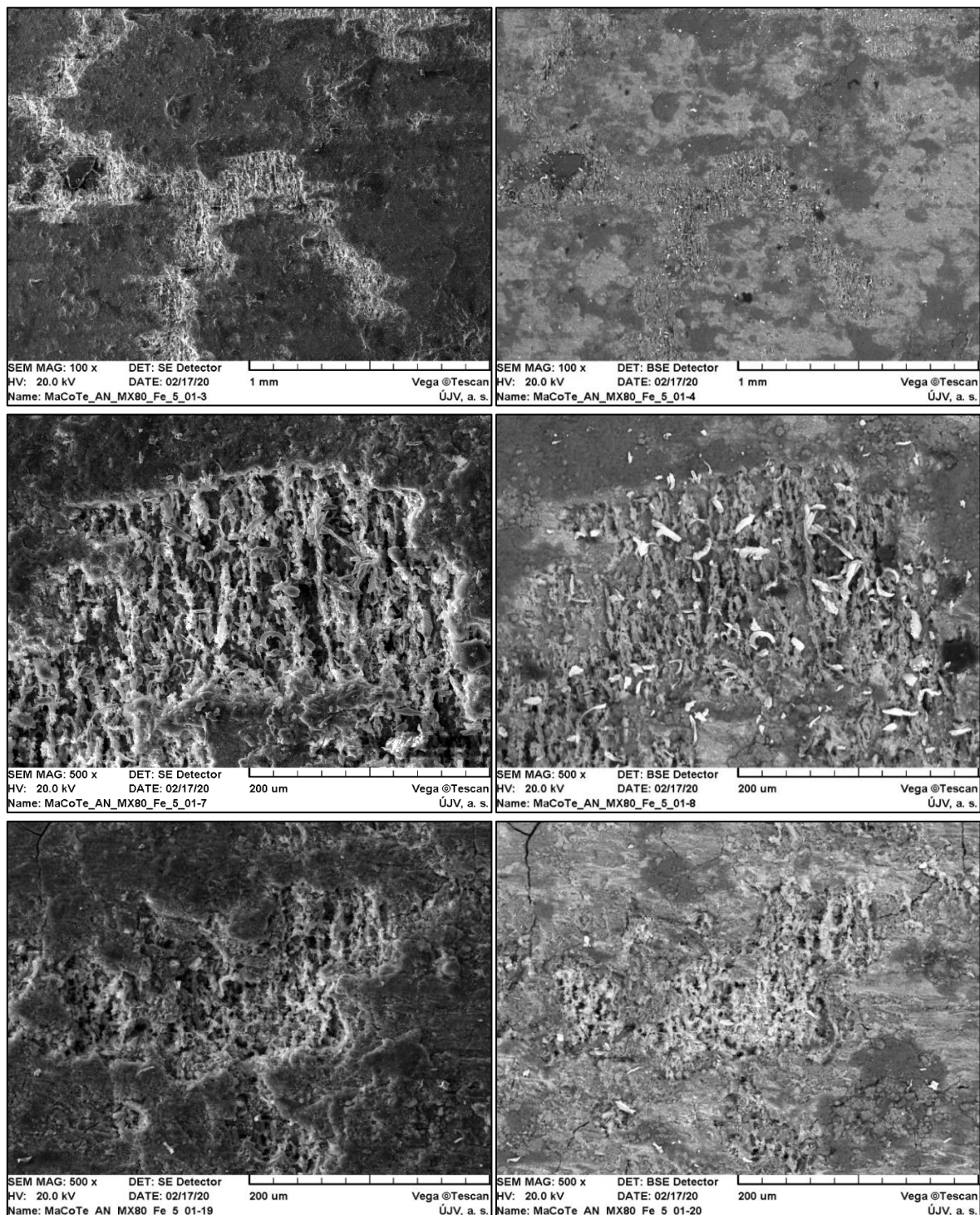
Obr. 11-199. Povrch vzorku uhlíkové oceli. Červená čára značí místo podélného řezu.



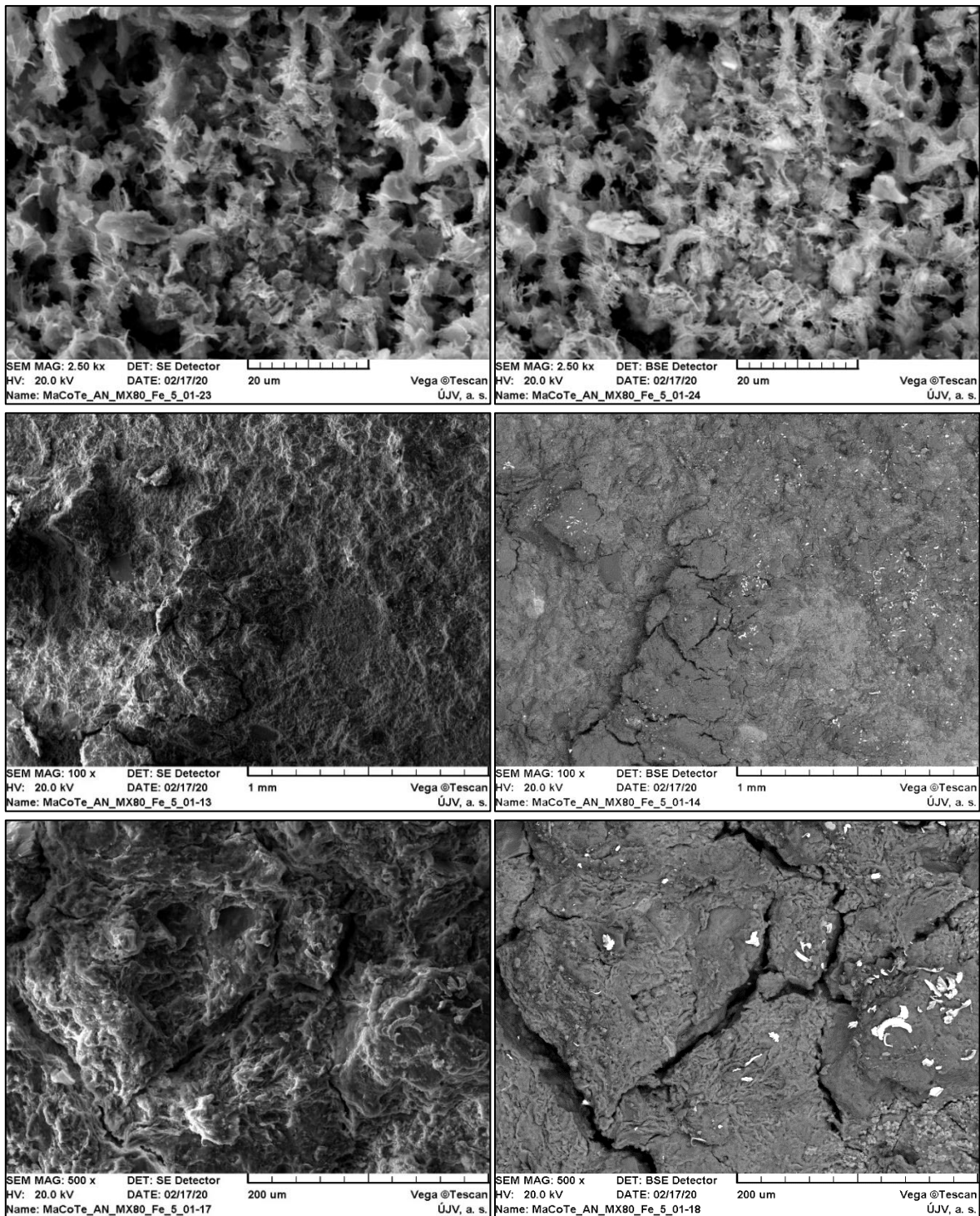
Obr. 11-200 Povrch vzorku uhlíkové oceli po třech letech experimentu



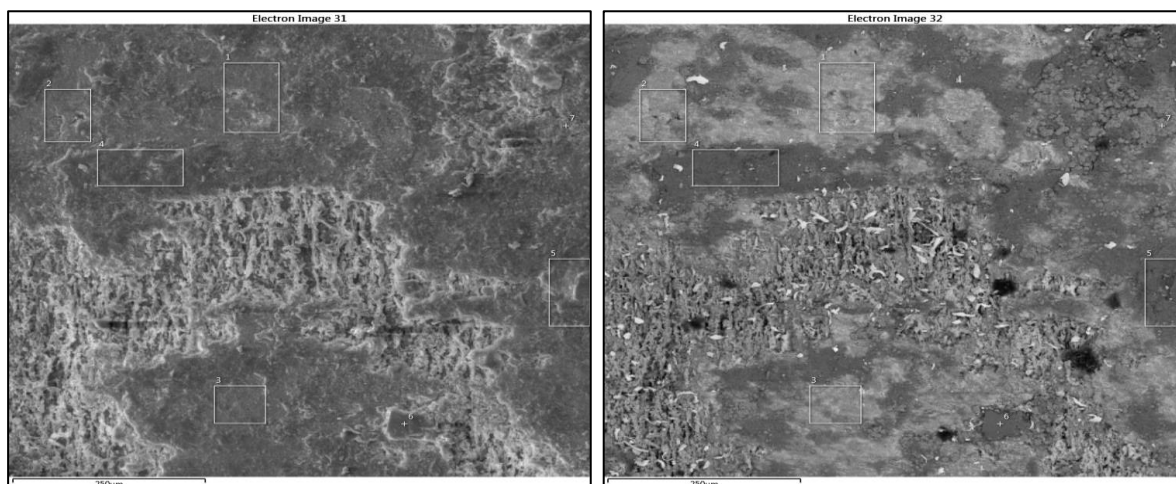
Obr. 11-201 Povrch vzorku uhlíkové oceli po třech letech experimentu



Obr. 11-202 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

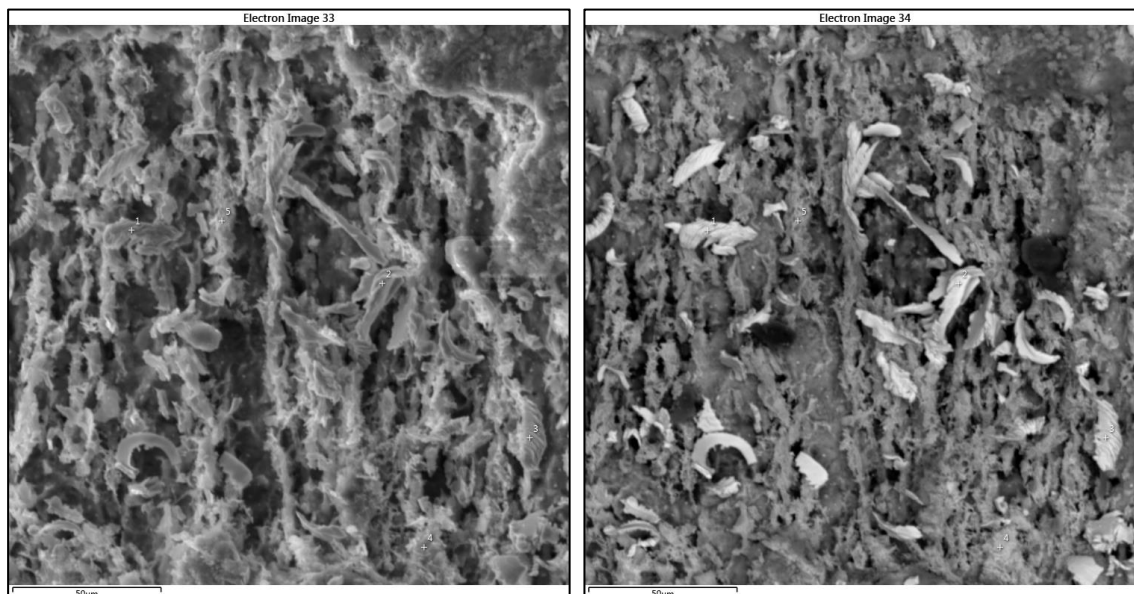


Obr. 11-203 Povrch vzorku uhlíkové oceli po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech



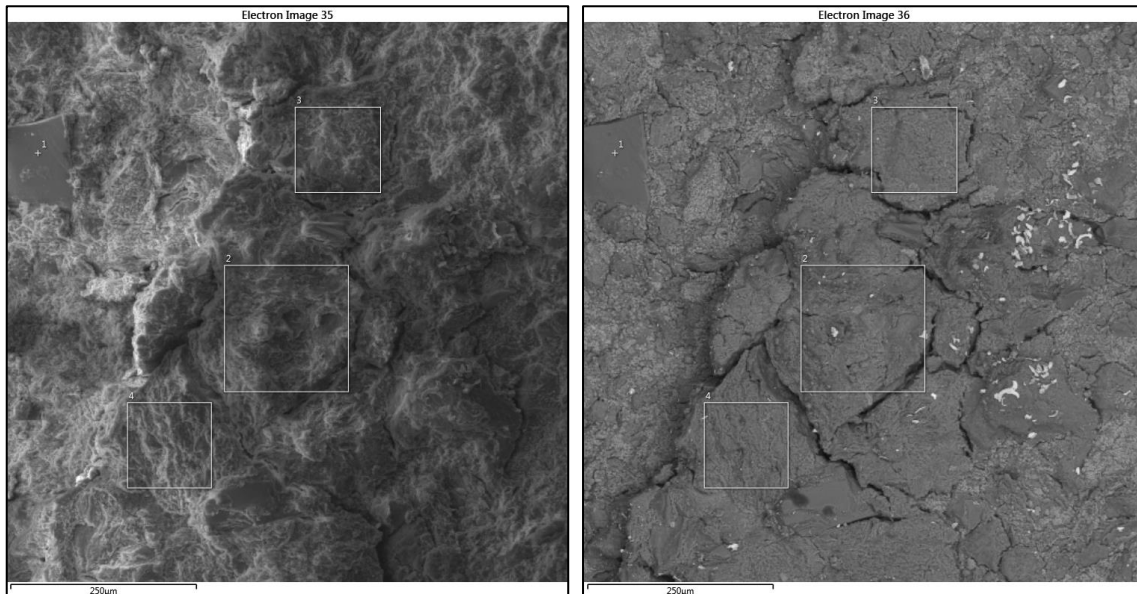
Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu
1	30,5	0,3	0,8	1,2	3,0	1,0		2,9	5,5	53,2	0,7	1,1
2	32,3	0,5	0,8	1,6	3,9	0,9		2,8	5,6	50,1	0,6	0,9
3	33,8	0,3	0,9	2,2	4,8	0,9		2,9	5,8	46,7	0,6	1,1
4	45,0	0,4	1,7	10,4	26,4	0,2	0,4	0,9	0,5	14,2		
5	45,9	0,7	1,4	9,5	25,6	0,2	0,9	0,9	0,4	14,4		
6	43,7	1,6	0,3	10,3	31,4		9,7			2,9		
7	37,5		1,4	5,1	11,4			3,7	5,7	35,2		

Obr. 11-204 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



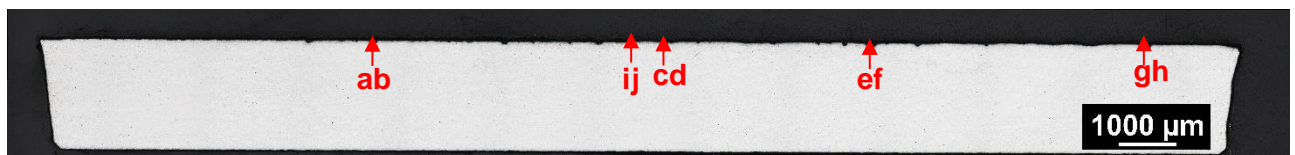
Spektrum	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	1,2		0,2	0,3			0,2		0,6	97,6		
2	0,9			0,3			0,1		0,7	98,1		
3	3,7	0,1	0,2	0,5		0,7	0,8	0,2	0,9	91,5	0,6	1,0
4	7,8	0,2	0,5	0,5	0,2	3,0	1,4		1,2	78,8	2,1	4,4
5	7,4	0,2	0,3	0,8		1,6	1,6	0,2	1,3	83,1	1,1	2,6

Obr. 11-205 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

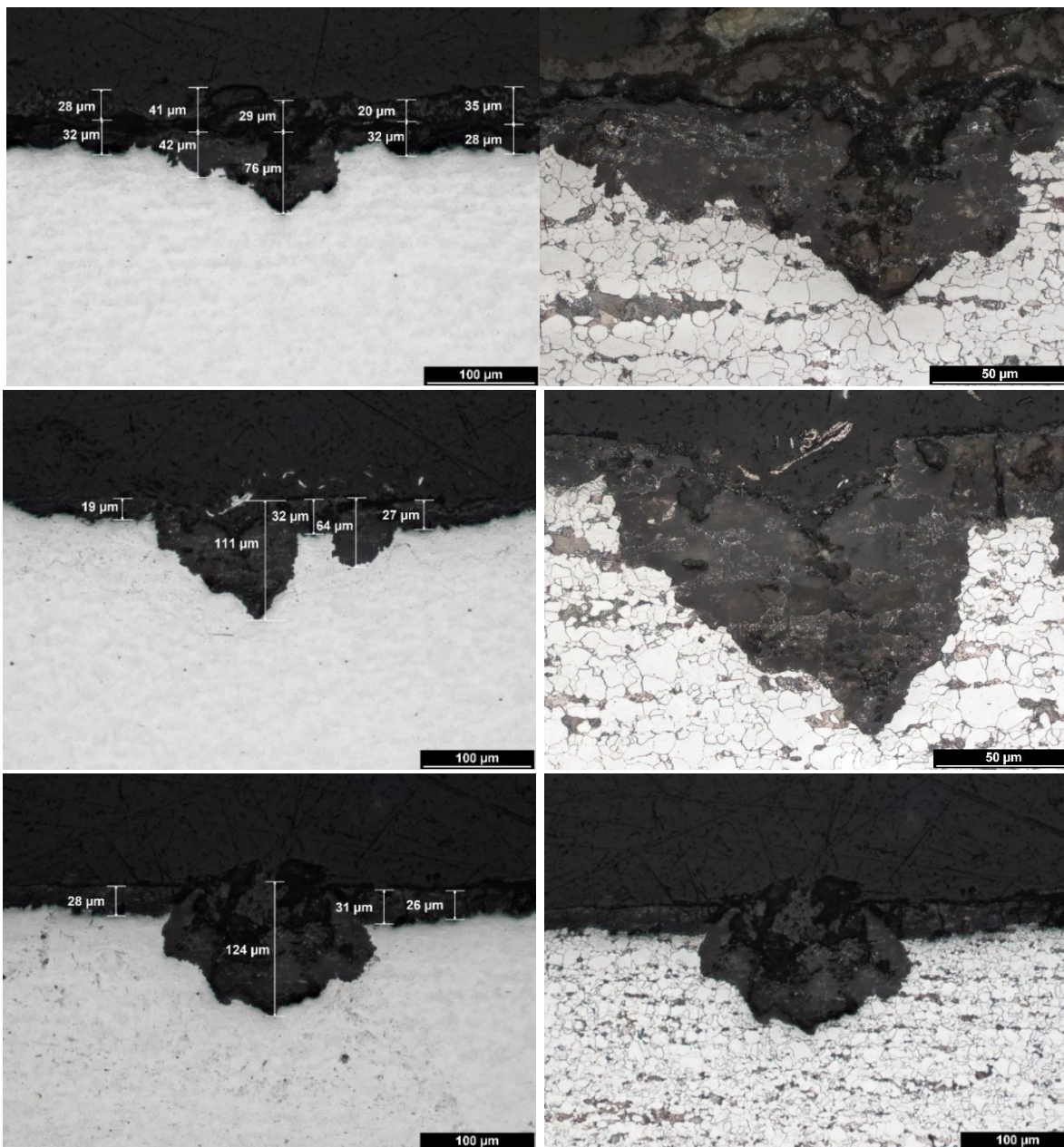


Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe
1	49,1	2,4	0,3	10,2	28,8		7,0			2,2
2	46,4	0,6	1,7	10,3	25,9	0,2	0,6	1,3		13,0
3	48,2	0,6	1,7	10,0	26,8		0,2	1,2	0,2	11,1
4	48,0	0,3	1,6	10,4	28,4		0,2	1,2		10,0

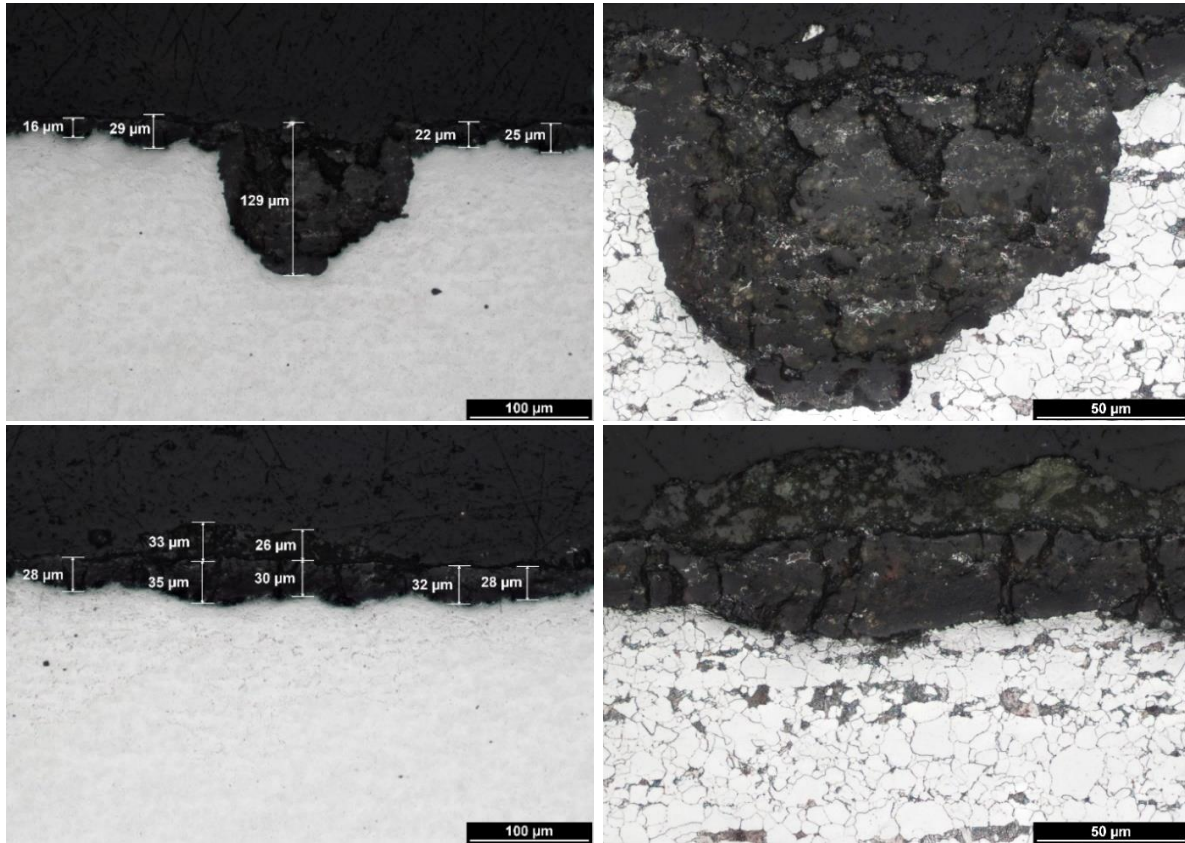
Obr. 11-206 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



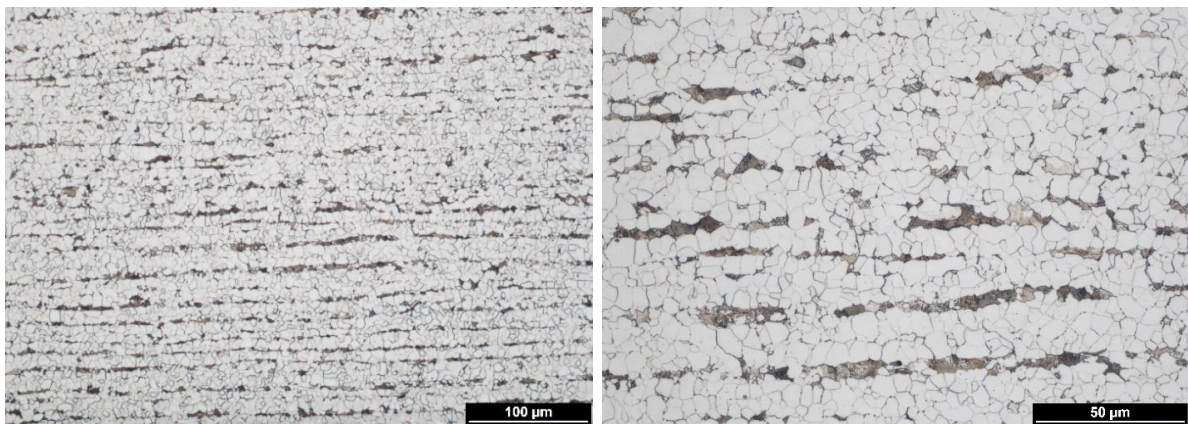
Obr. 11-207 Přehledový snímek řezu vzorku uhlíkové oceli. Písmena značí pozice následujících obrázků



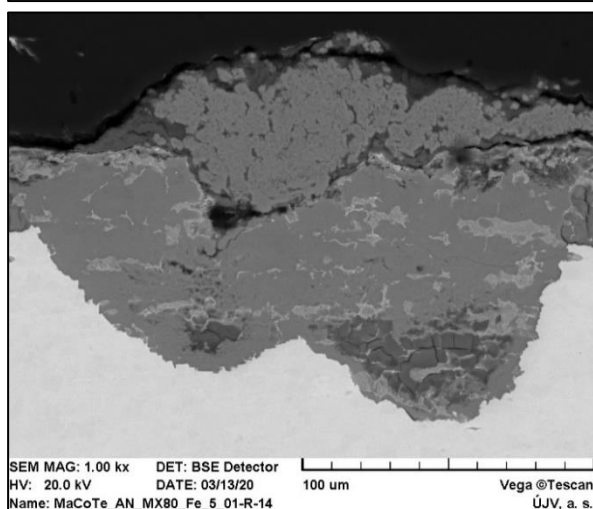
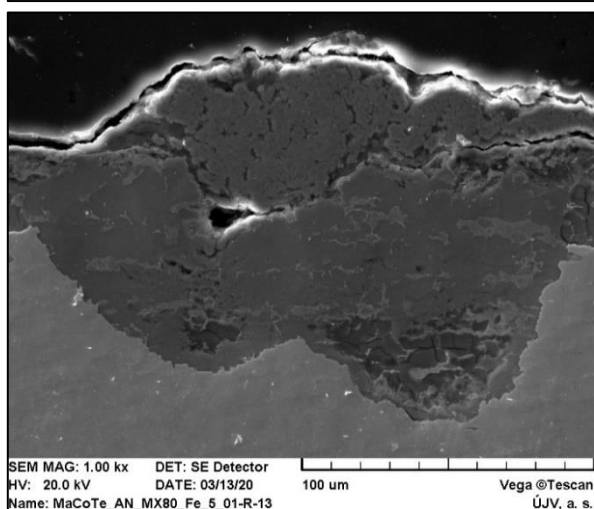
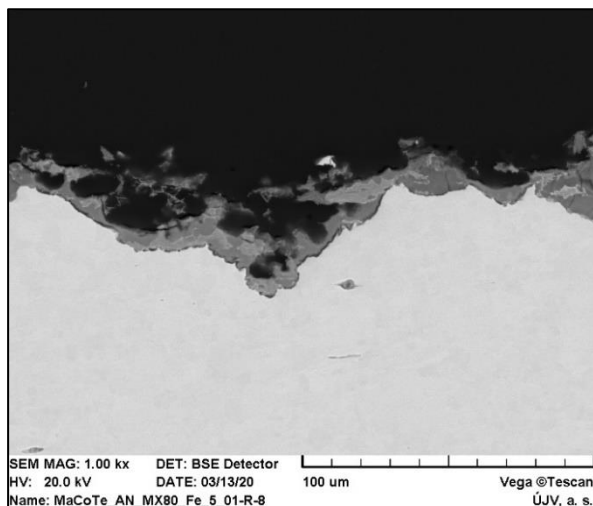
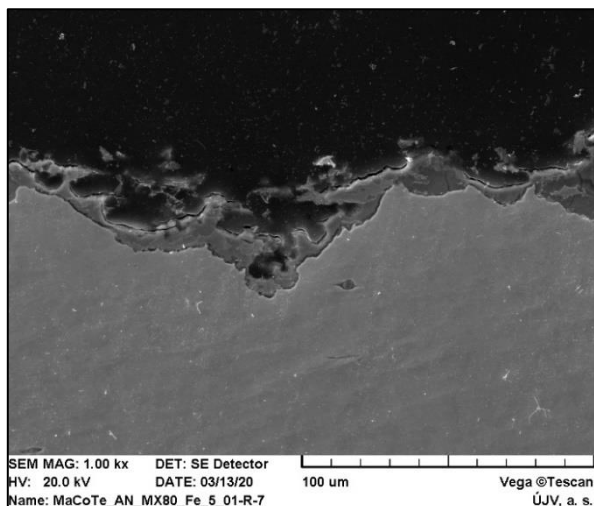
Obr. 11-208 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahoře pozice ab, uprostřed pozice cd a dole pozice ef



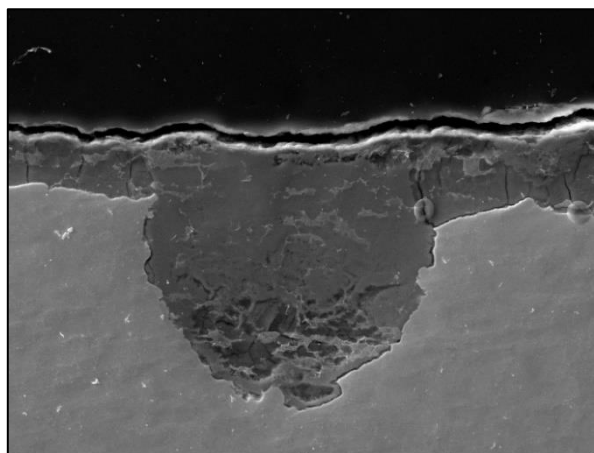
Obr. 11-209 Dokumentace vzorku uhlíkové oceli v příčném řezu. Nahore pozice gh, dole pozice ij



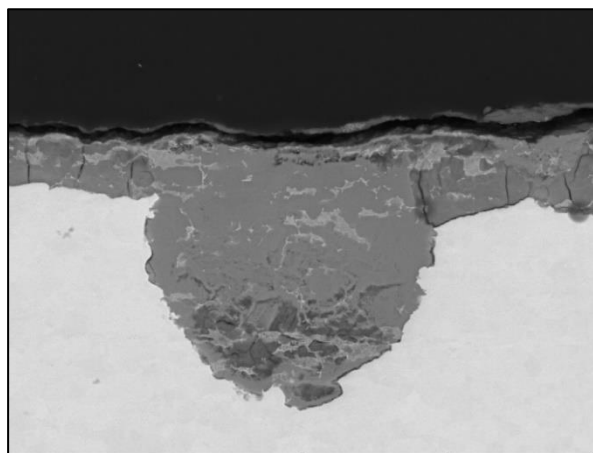
Obr. 11-210 Mikrostruktura vzorku uhlíkové oceli



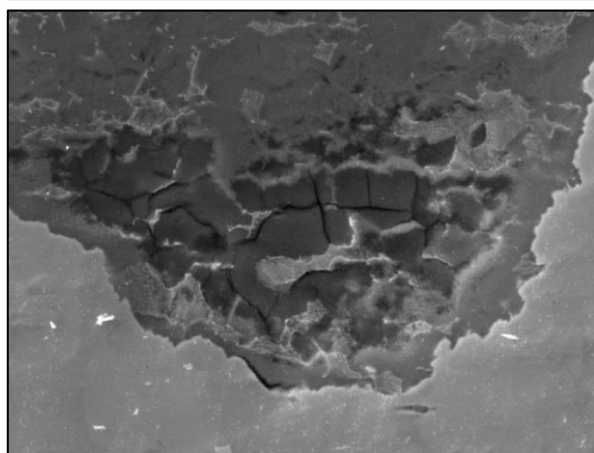
Obr. 11-211 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



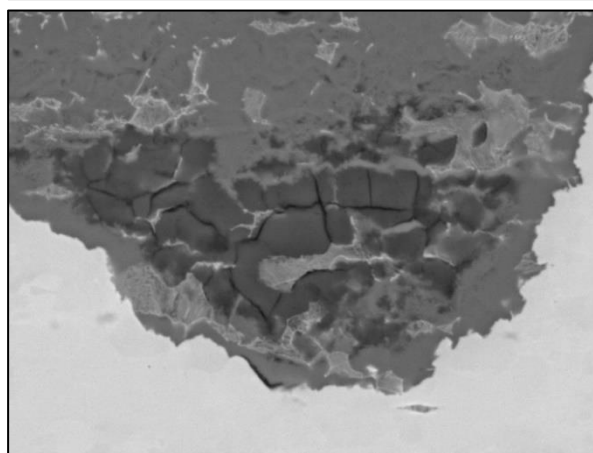
SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 03/13/20 100 um Vega @Tescan
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01-R-19 ÚJV, a. s.



SEM MAG: 1.00 kx DET: BSE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 03/13/20 100 um Vega @Tescan
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01-R-20 ÚJV, a. s.

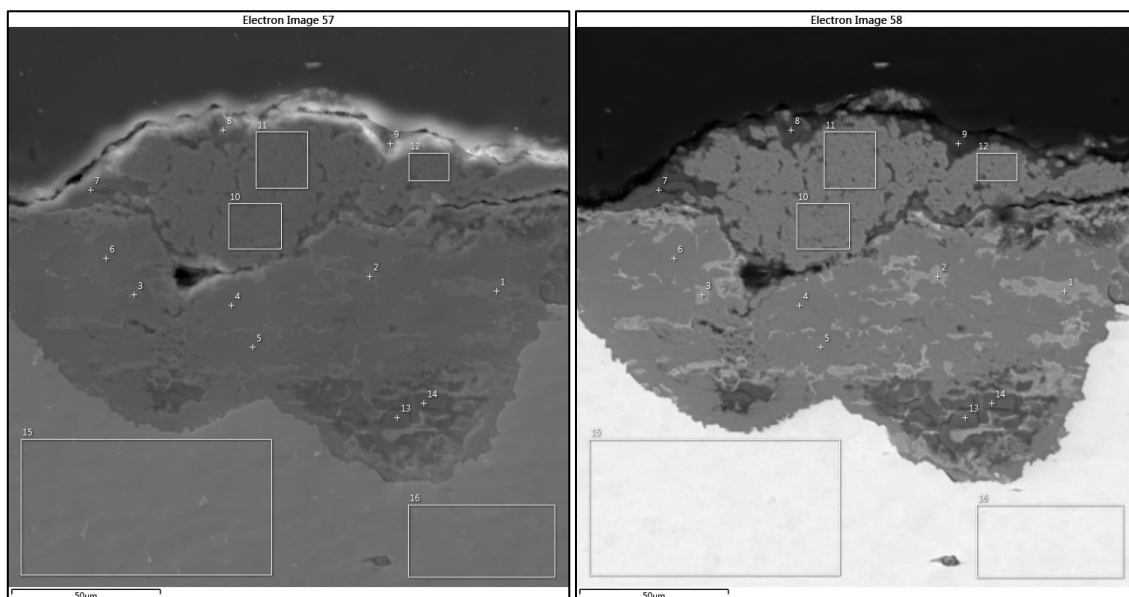


SEM MAG: 2.50 kx DET: SE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 03/13/20 20 um Vega @Tescan
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01-R-21 ÚJV, a. s.



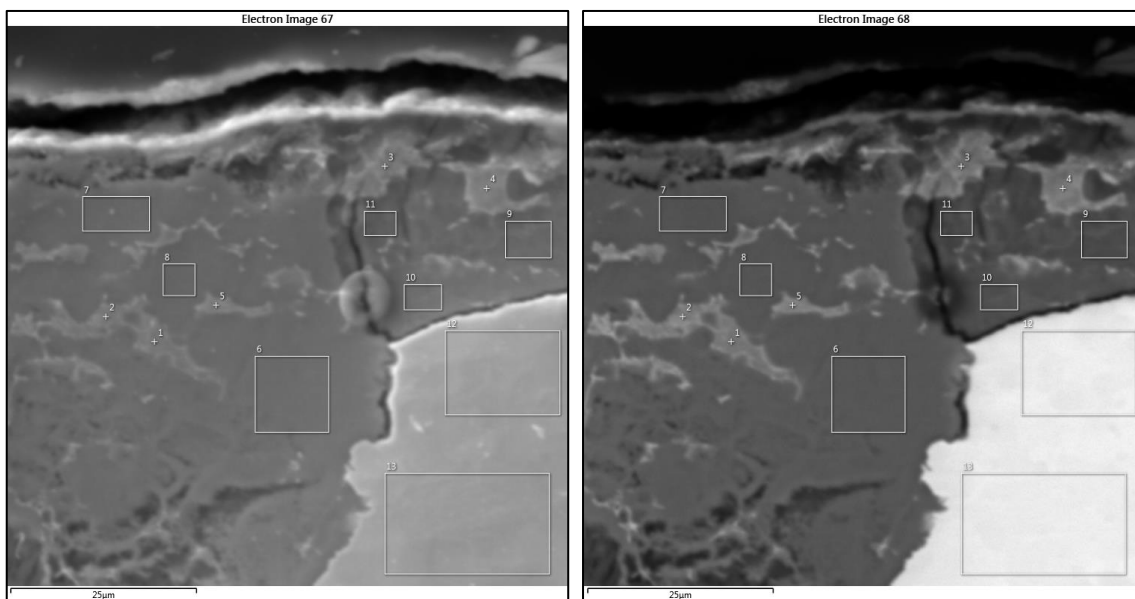
SEM MAG: 2.50 kx DET: BSE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 03/13/20 20 um Vega @Tescan
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_01-R-22 ÚJV, a. s.

Obr. 11-212 Dokumentace vrstvy na povrchu uhlíkové oceli v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



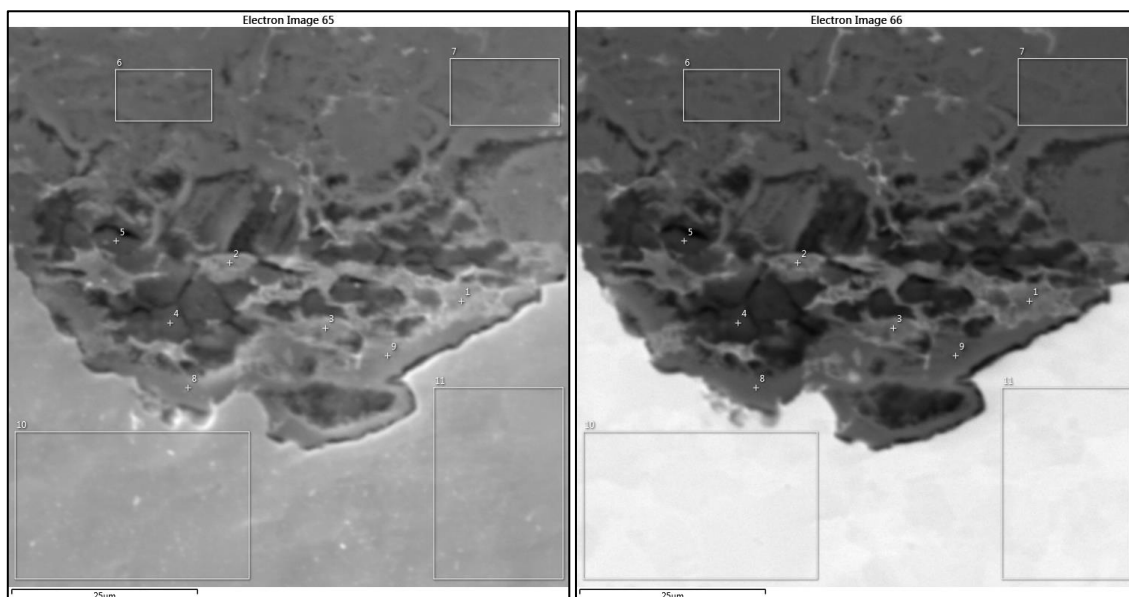
Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
1	31,6	-	0,3	-	0,3	0,2	-	5,9	-	1,9	59,4	-	0,4
2	32,2	-	0,3	-	-	-	-	6,6	-	2,1	58,7	-	-
3	28,5	-	0,2	-	0,3	0,2	-	5,1	-	2,1	63,2	-	0,4
4	42,0	-	0,5	-	-	-	-	8,9	-	2,8	45,9	-	-
5	42,1	-	0,3	-	0,5	-	-	6,9	-	1,8	47,6	0,3	0,5
6	43,4	-	0,6	-	-	-	-	10,7	-	2,9	42,4	-	-
7	47,5	-	1,8	10,2	27,5	-	0,1	0,8	-	0,2	11,9	-	-
8	42,0	-	1,5	10,8	29,6	-	0,2	1,2	-	1,6	13,0	-	-
9	43,4	-	1,9	12,0	30,0	-	0,2	1,4	-	0,6	10,5	-	-
10	40,4	-	1,0	1,2	3,1	-	-	4,0	-	7,4	42,9	-	-
11	39,9	-	1,1	1,2	2,8	-	-	3,7	-	8,7	42,7	-	-
12	39,6	-	1,1	1,3	3,1	-	-	3,6	-	8,3	43,0	-	-
13	33,5	0,3	0,5	0,7	19,6	1,2	0,6	2,0	0,3	1,4	38,6	0,4	1,1
14	34,8	0,2	0,6	0,2	19,5	0,3	0,4	2,1	-	0,4	39,9	0,6	1,1
15	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,6	99,2	-	-
16	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,7	99,1	-	-

Obr. 11-213 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Spektrum	O	Na	Mg	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu
1	30,2	-	-	0,3	0,2	-	5,0	1,7	62,6	-	-
2	30,7	-	0,3	0,3	-	-	6,3	1,7	60,8	-	-
3	24,9	0,4	-	11,8	0,3	0,4	0,4	0,5	60,3	0,6	0,5
4	28,6	0,4	-	13,9	0,3	0,5	0,6	0,5	54,8	0,5	-
5	34,0	-	-	0,4	0,2	-	6,9	1,8	56,8	-	-
6	41,7	-	-	0,4	-	-	7,6	1,5	48,7	-	-
7	42,7	-	0,6	-	0,2	-	12,4	2,6	41,0	-	0,5
8	40,7	-	0,4	0,3	-	-	9,4	2,4	46,4	-	0,5
9	41,2	0,6	-	16,4	0,2	0,7	0,4	-	39,9	-	0,6
10	37,1	0,7	-	18,8	-	0,8	0,3	-	42,4	-	-
11	37,3	-	-	18,5	-	0,3	1,3	0,4	41,6	-	0,7
12	-	-	-	0,4	-	-	-	0,5	99,1	-	-
13	-	-	-	0,4	-	-	-	0,5	99,1	-	-

Obr. 11-214 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



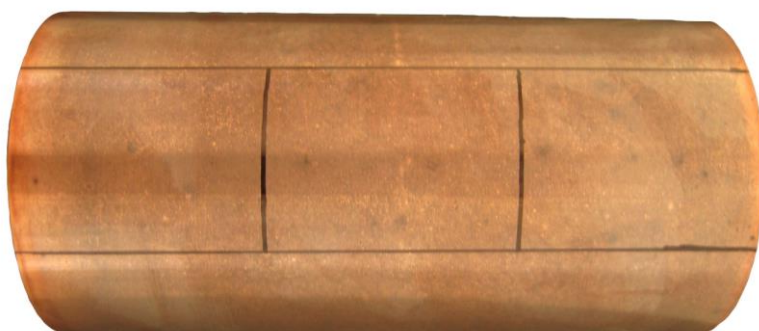
Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu
1	21,0	-	0,4	-	8,7	0,3	-	1,5	0,8	66,4	0,4	0,5
2	22,6	0,3	0,4	-	9,4	0,3	0,3	1,8	0,8	63,1	0,5	0,7
3	21,9	-	0,4	0,2	9,4	0,4	0,2	1,7	0,8	63,9	0,5	0,8
4	34,3	0,5	0,4	0,2	15,2	0,3	0,6	2,4	0,6	44,6	-	1,0
5	26,5	0,5	0,4	0,2	15,9	0,4	0,6	1,1	0,6	52,2	0,6	1,1
6	40,0	-	-	-	1,1	-	-	6,3	1,4	51,3	-	-
7	41,1	-	0,3	-	1,2	-	-	6,0	1,4	50,0	-	-
8	28,3	-	-	-	1,0	-	-	2,1	0,7	67,9	-	-
9	38,5	-	0,2	-	1,9	-	-	2,7	0,9	55,9	-	-
10	-	-	-	-	0,3	-	-	-	0,5	99,2	-	-
11	-	-	-	-	0,4	-	-	-	0,7	98,9	-	-

Obr. 11-215 Analýza chemického složení vrstvy na povrchu uhlíkové oceli. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

11.29 Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po roční korozní zkoušce v bentonitu MX-80

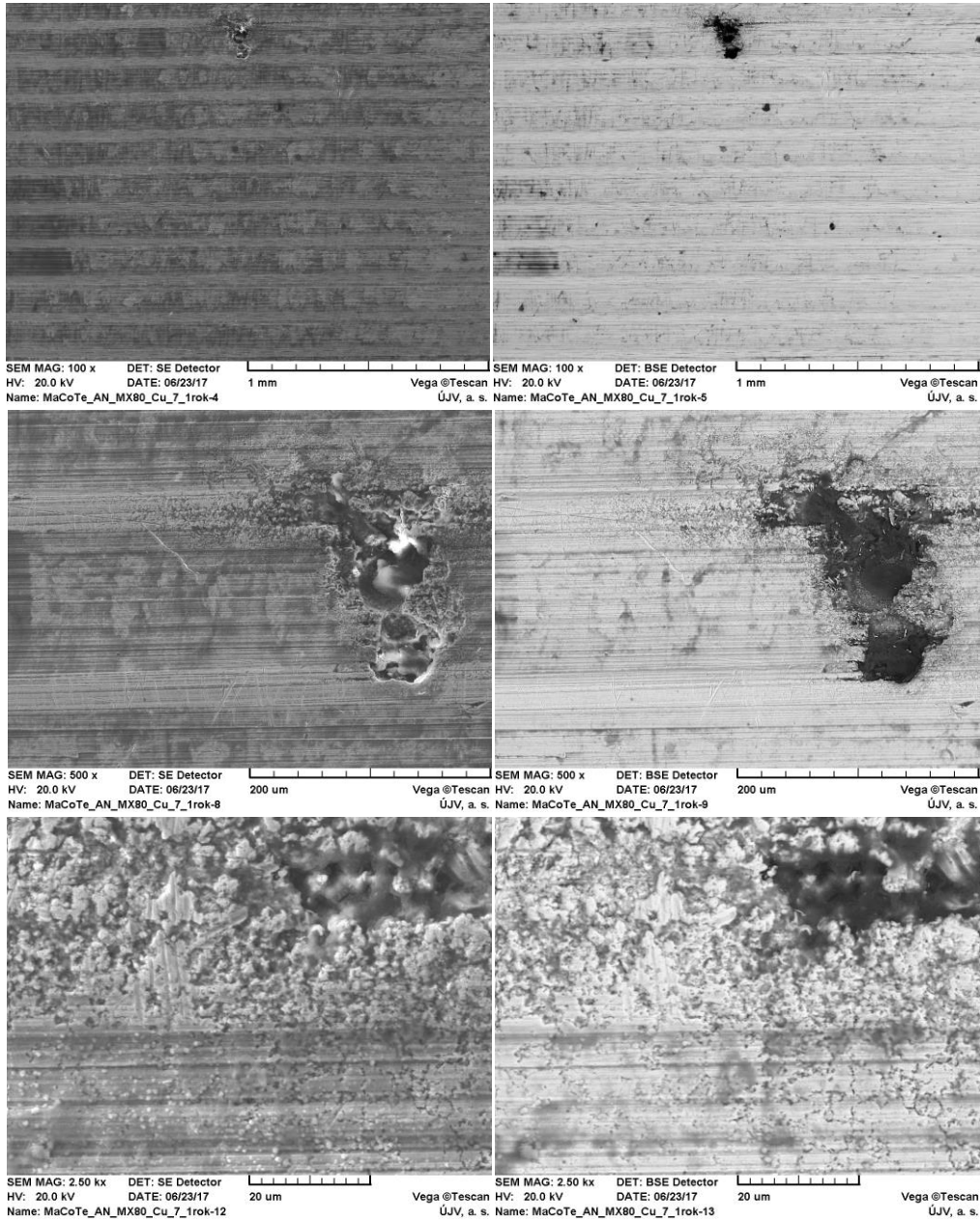
Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-216 až Obr. 11-222, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Pro dokumentaci povrchu byla ze vzorku vyříznuta část pro následné práce (Obr. 11-217).



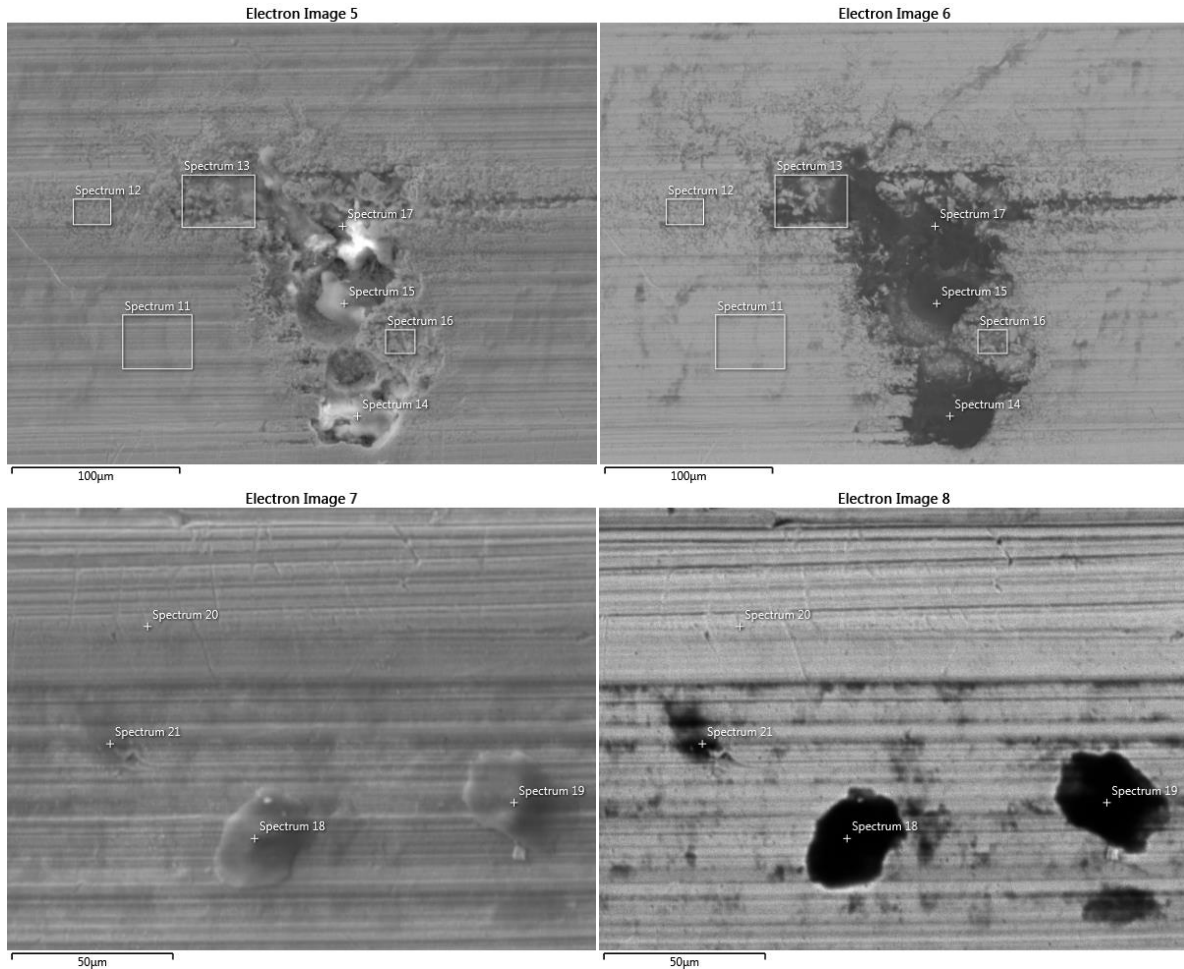
Obr. 11-216 Naznačený způsob řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu



Obr. 11-217 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci

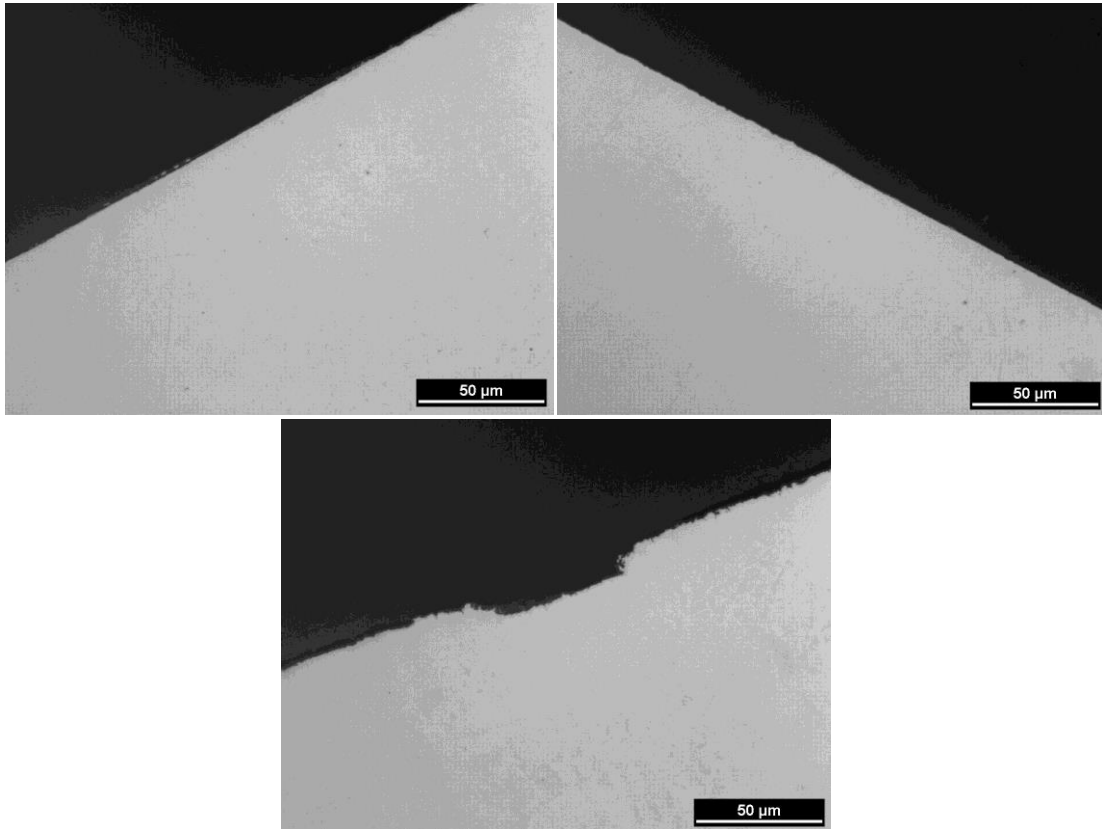


Obr. 11-218 Povrch vzorku měděného nástřiku po roční korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech.

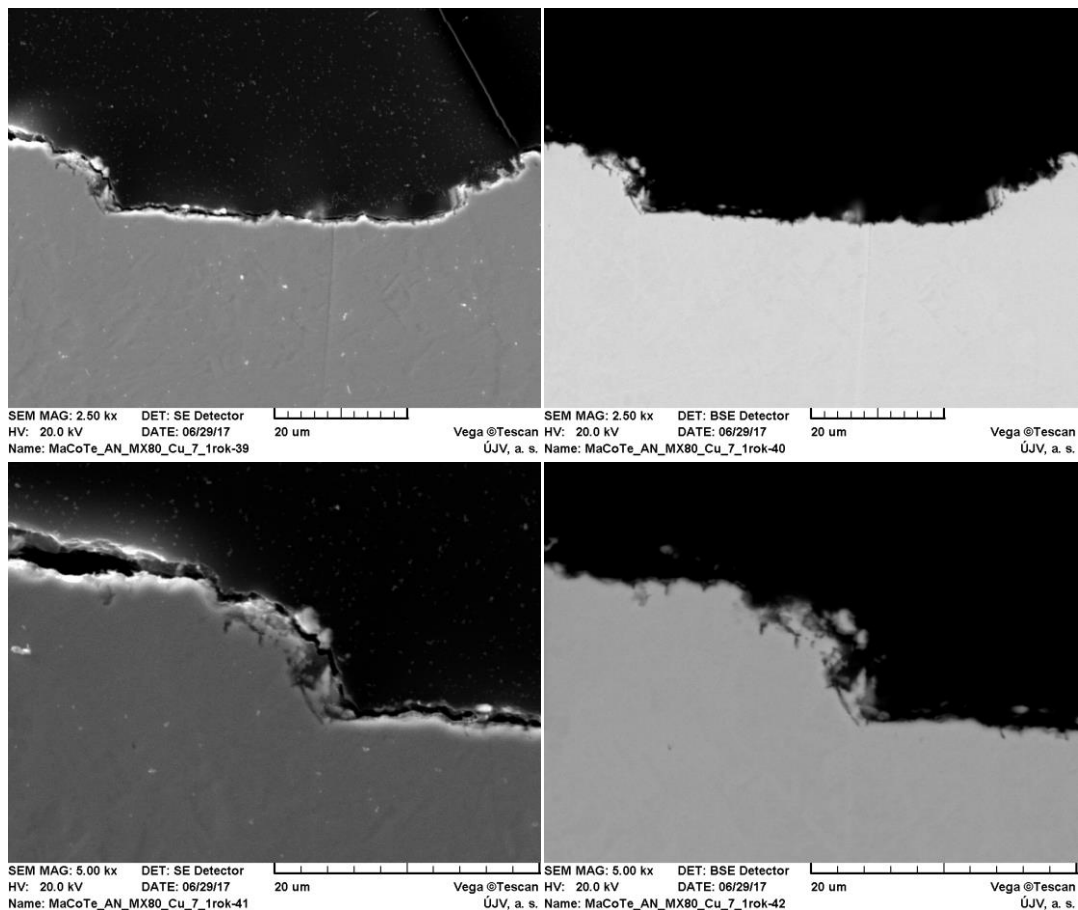


Oblast	C	O	Al	Si	S	Cl	K	Ti	Cr	Fe	Cu	Zn
11	13,18	4,07	0,55	1,02	0,63	-	-	-	0,00	0,05	80,50	-
12	13,59	4,84	0,60	1,25	2,76	0,10	-	-	0,00	0,06	76,80	-
13	36,20	10,36	1,17	2,49	0,78	0,07	0,07	-	0,04	0,17	48,63	-
14	69,63	14,93	0,81	1,58	1,10	0,22	0,18	0,05	0,03	0,23	11,01	0,24
15	71,74	10,56	0,22	0,51	1,68	0,09	0,05	0,07	0,17	0,55	14,36	-
16	22,86	7,19	0,96	2,03	1,70	0,07	0,04	-	0,02	0,15	64,98	-
17	31,71	6,55	0,83	1,86	0,61	-	0,09	-	0,10	1,07	57,16	-
18	65,60	10,03	0,32	0,75	0,92	0,10	0,09	-	0,01	0,13	22,04	-
19	65,49	10,59	0,62	1,41	0,99	0,09	0,10	-	0,00	0,14	20,57	-
20	6,14	1,13	--	0,23	1,62	-	-	-	0,00	0,03	90,86	-
21	24,46	9,81	1,41	2,71	0,91	0,07	-	-	0,00	0,13	60,50	-

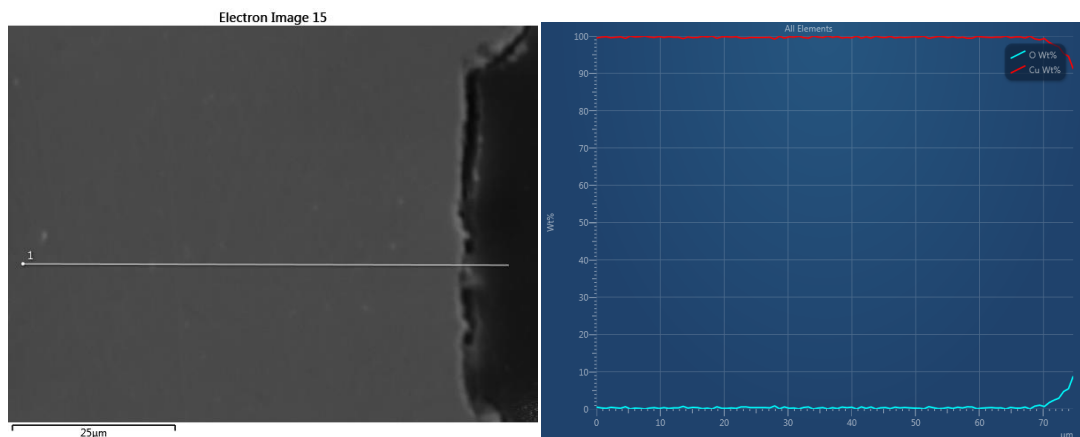
Obr. 11-219 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Obr. 11-220 Dokumentace vzorku měděného nástřiku v příčném řezu. Nahoře přehledové snímky. Dole dutina



Obr. 11-221 Dokumentace dutiny na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech

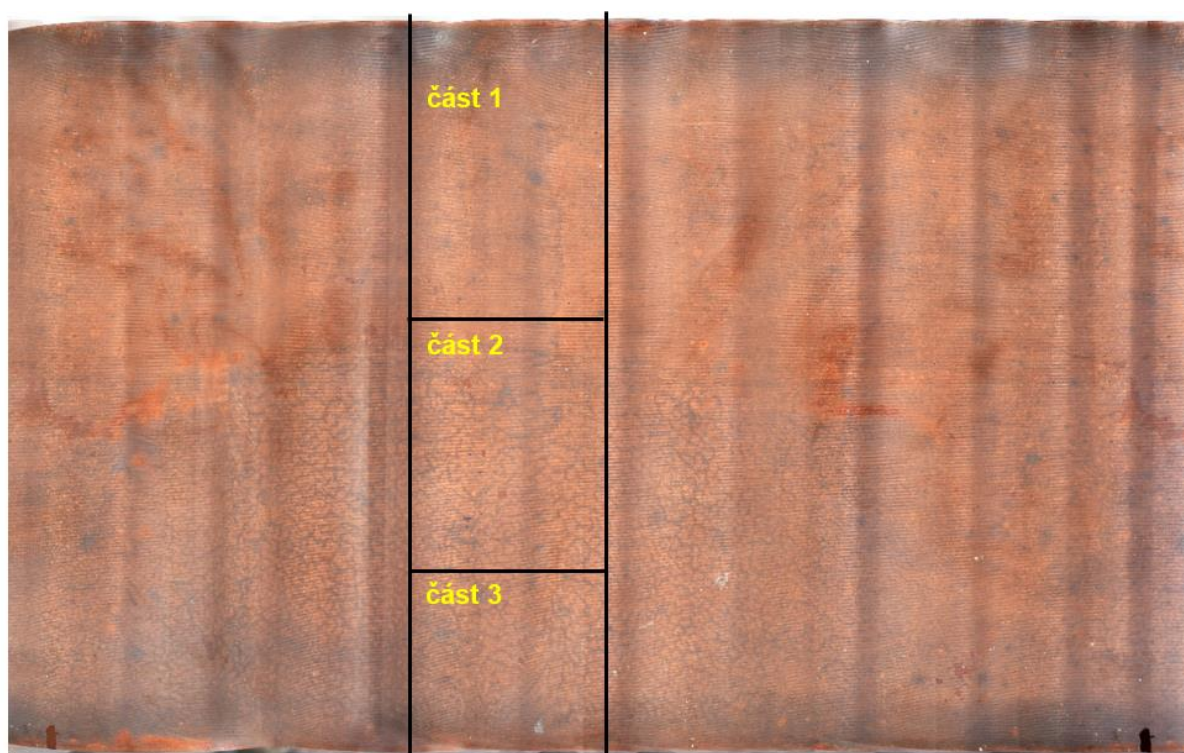


Obr. 11-222 Liniová analýza dutiny na povrchu měděného nástřiku

 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

11.30 Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80

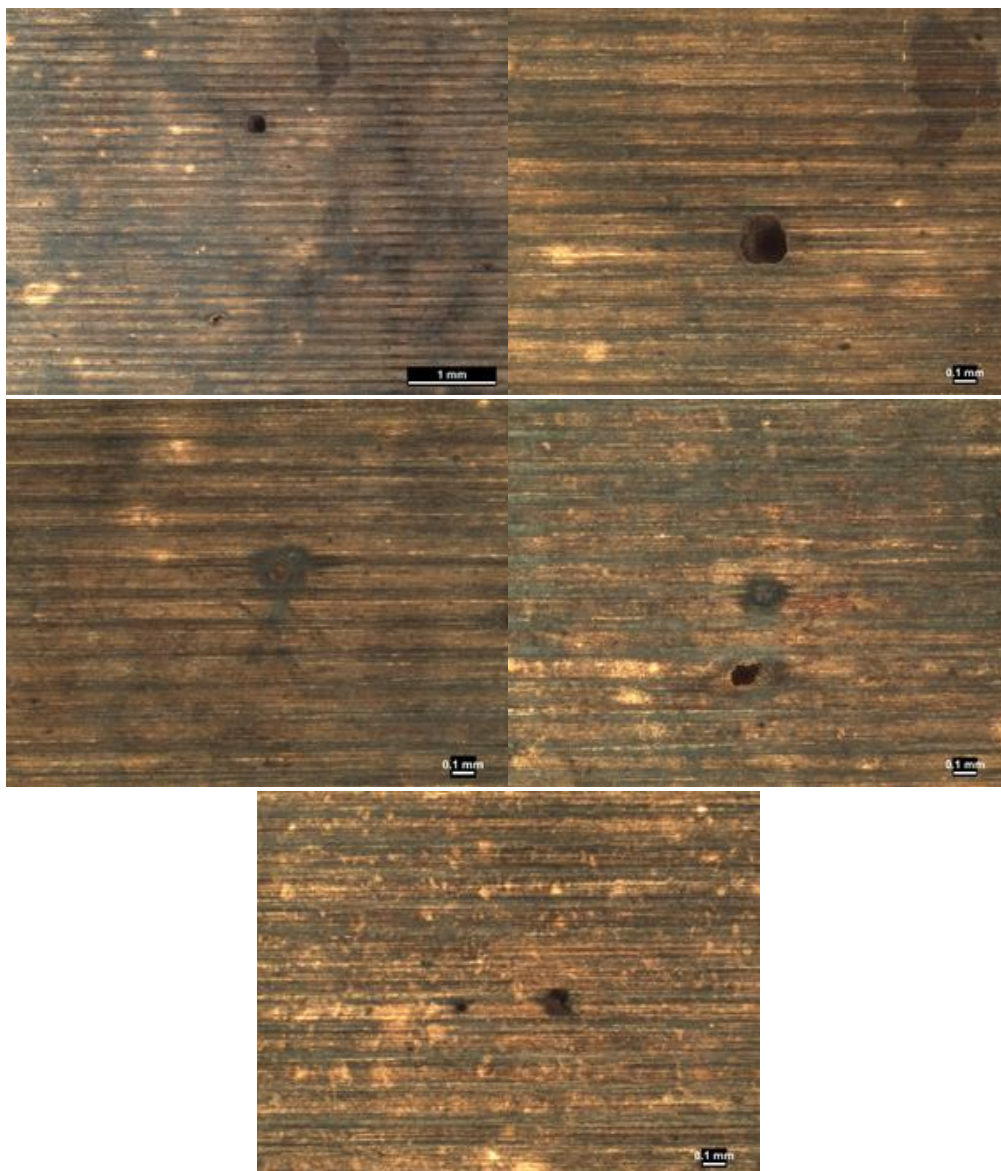
Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-223 až Obr. 11-232, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Pro dokumentaci povrchu byla ze vzorku vyříznuta část pro následné práce (Obr. 11-224).



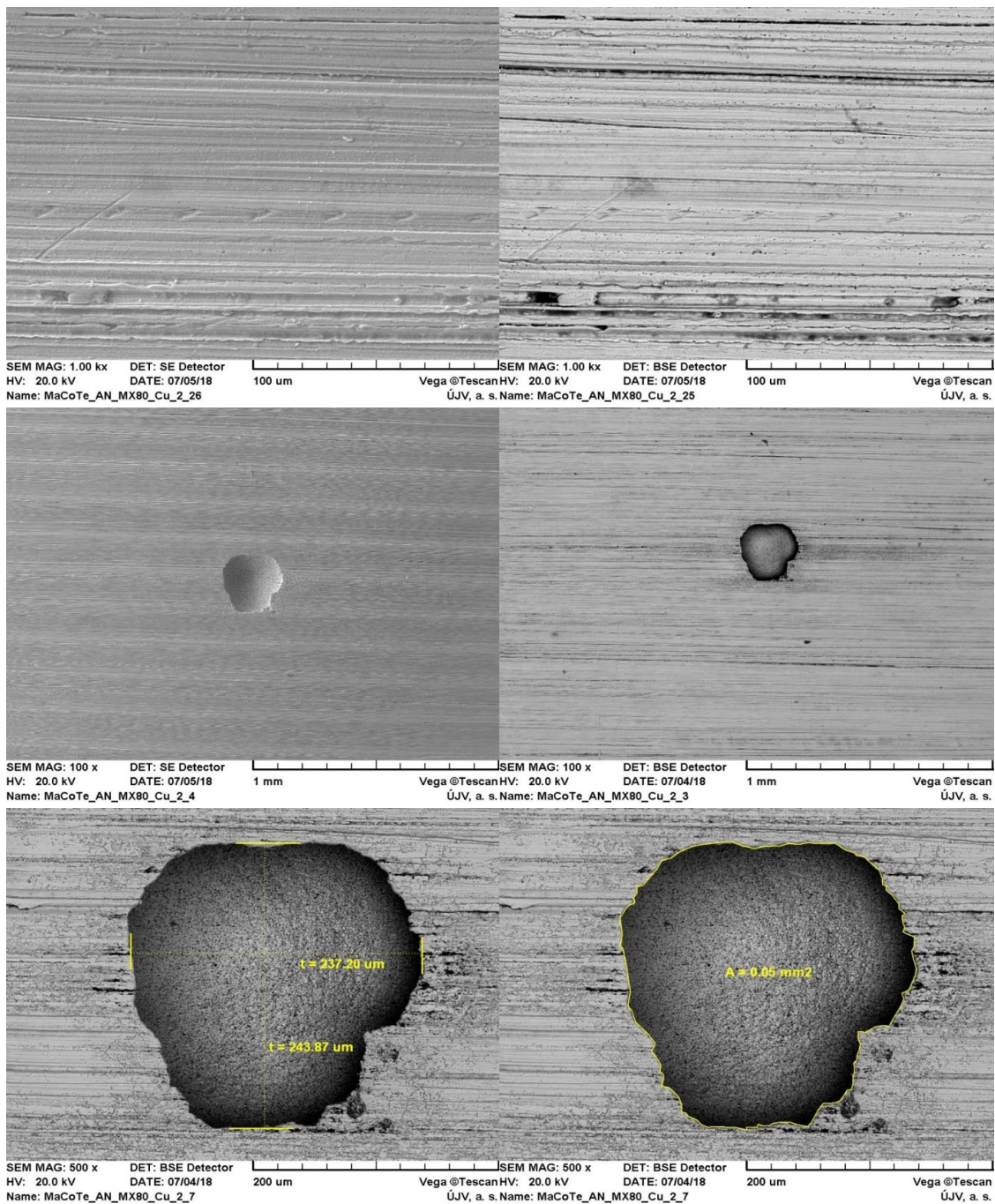
Obr. 11-223 Povrch vzorku měděného nástřiku (složená fotografie) včetně naznačeného způsobu řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu (část 2)



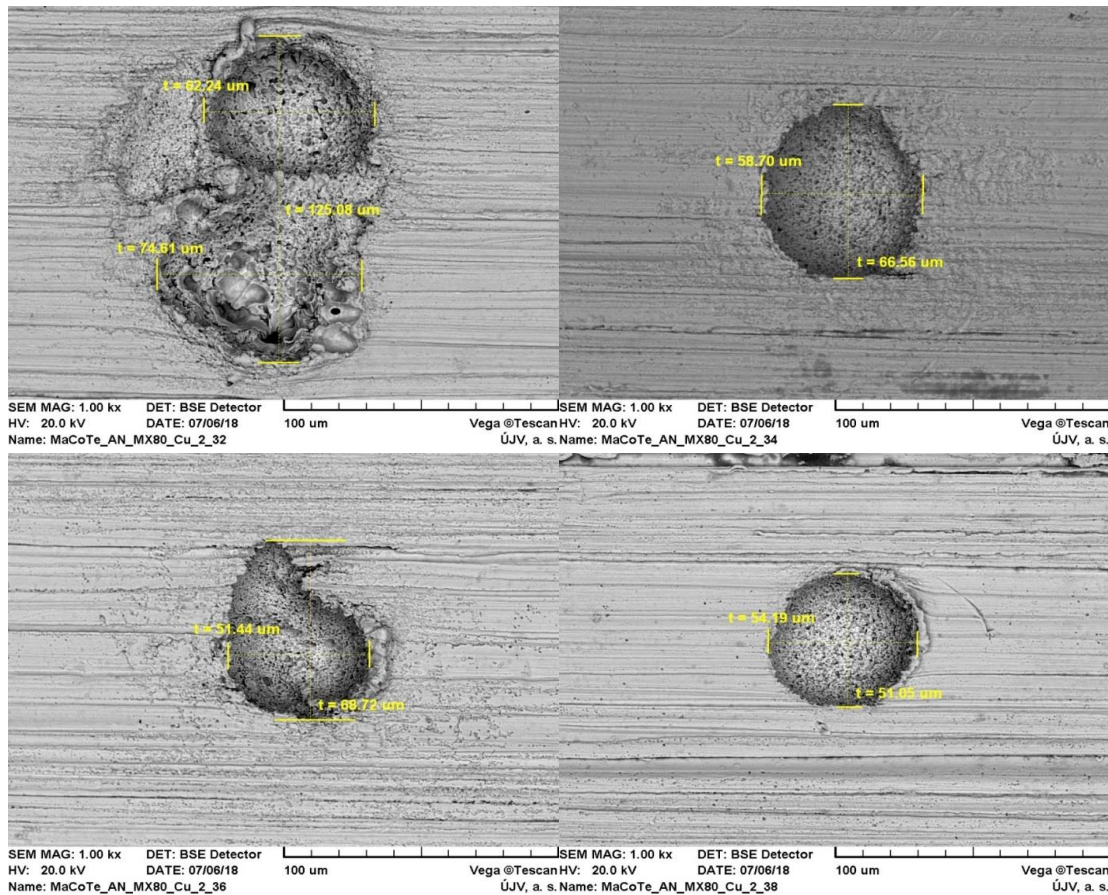
Obr. 11-224 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci



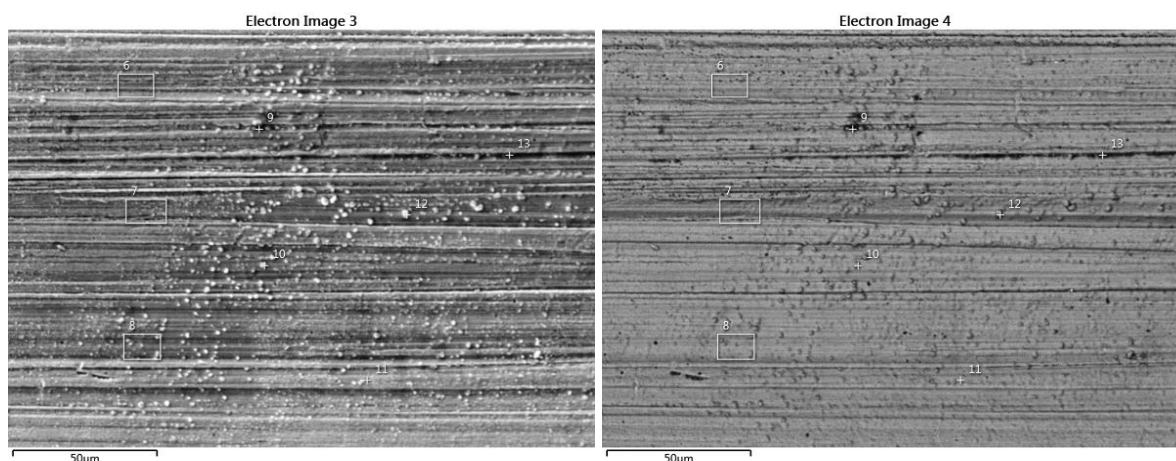
Obr. 11-225 Lokální korozní napadení vzorku mědi po dvouletém experimentu



Obr. 11-226 Povrch vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

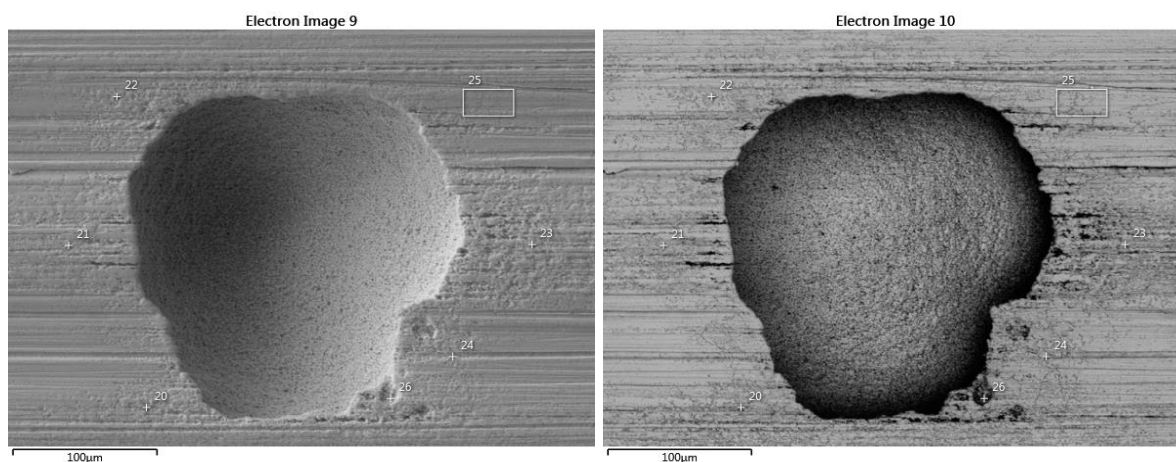


Obr. 11-227 Povrch vzorku měděného nástřiku po dvouleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech



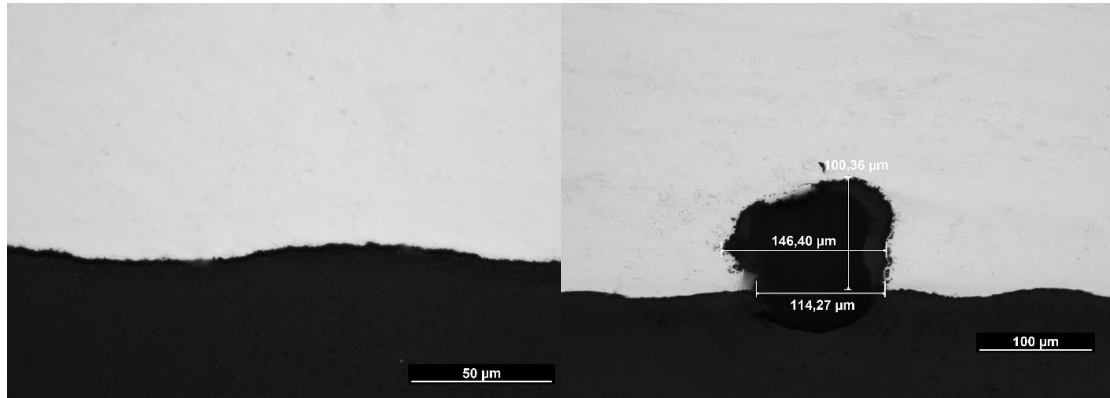
Oblast	C	O	Al	Si	S	Cu
14	12,36	3,69	0,51	0,77	11,97	70,70
15	13,66	2,55	0,36	0,38	9,70	73,34
16	4,36	1,91	0,40	0,62	1,95	90,76
17	11,68	1,16	0,17	0,26	3,10	83,63
18	9,88	1,07	0,10	0,10	2,77	86,09
19	8,28	4,35	0,70	1,14	1,69	83,84

Obr. 11-228 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech

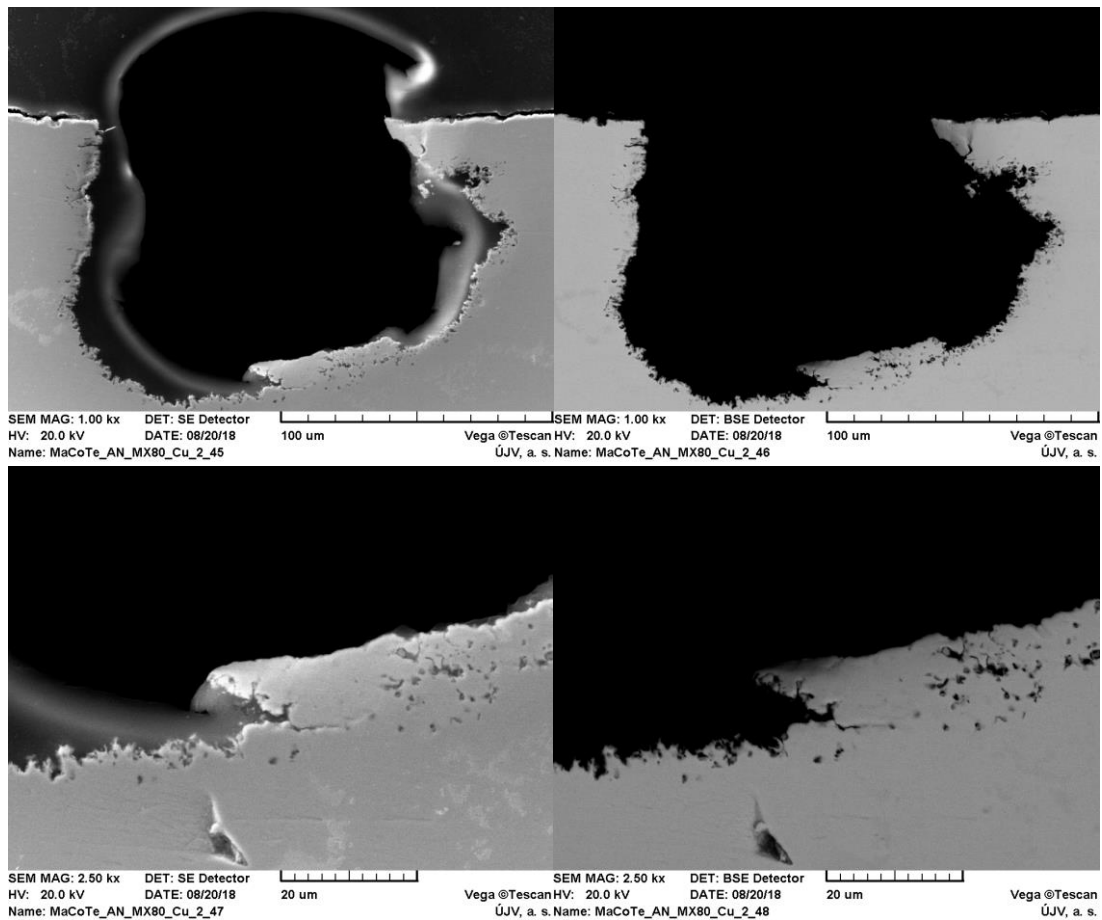


Oblast	C	O	Al	Si	S	Ca	Ti	Fe	Cu
20	16,97	4,38	0,44	0,74	1,46	0,10	-	0,49	75,42
21	8,26	1,83	0,23	0,21	3,64	-	-	-	85,83
22	5,49	0,77	0,16	0,08	0,52	-	-	-	92,96
23	10,56	3,32	0,39	0,61	0,86	0,21	-	0,28	83,76
24	8,35	5,02	0,90	1,48	0,60	-	-	0,10	83,54
25	7,85	1,55	0,29	0,22	1,35	-	-	-	88,74
26	13,21	28,16	4,83	10,61	6,00	0,30	0,37	0,78	35,74

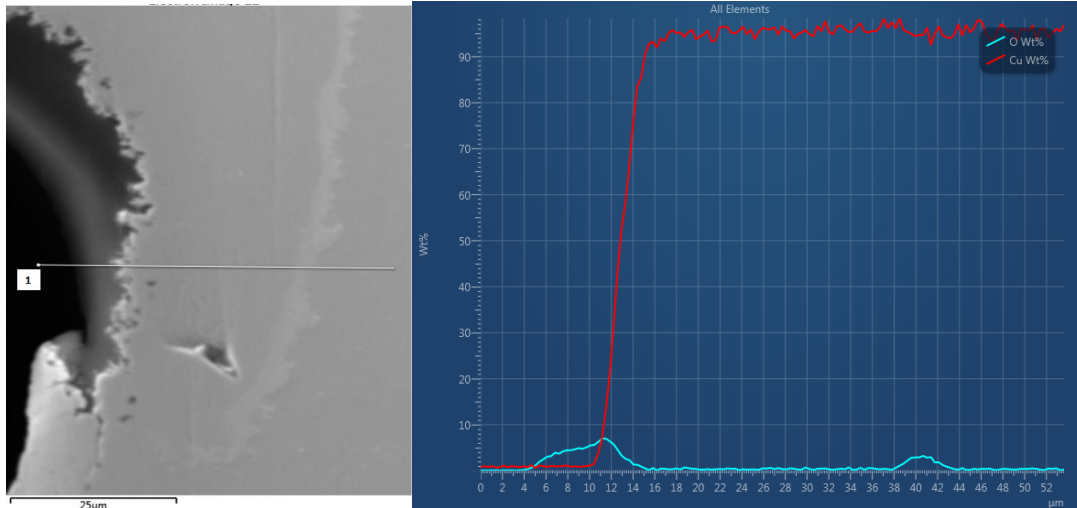
Obr. 11-229 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



Obr. 11-230 Dokumentace vzorku měděného nástřiku v příčném řezu



Obr. 11-231 Dokumentace dutiny na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech

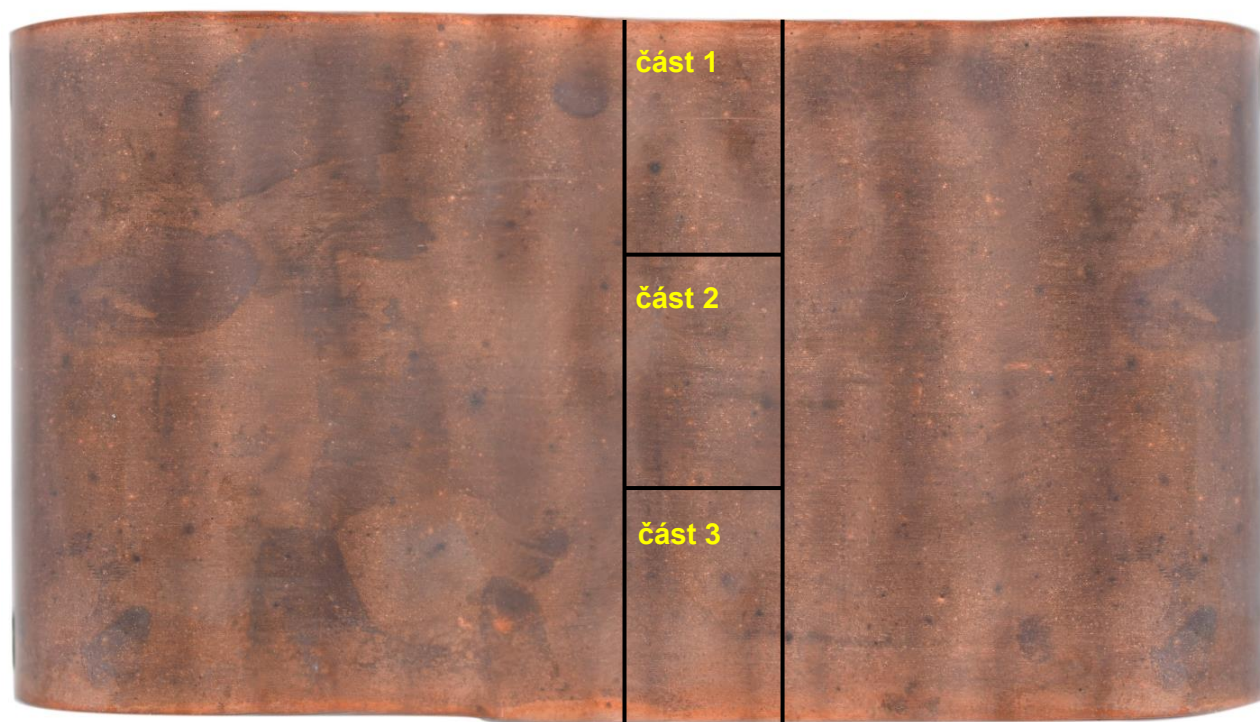


Obr. 11-232 Liniová analýza dutiny na povrchu měděného nástřiku

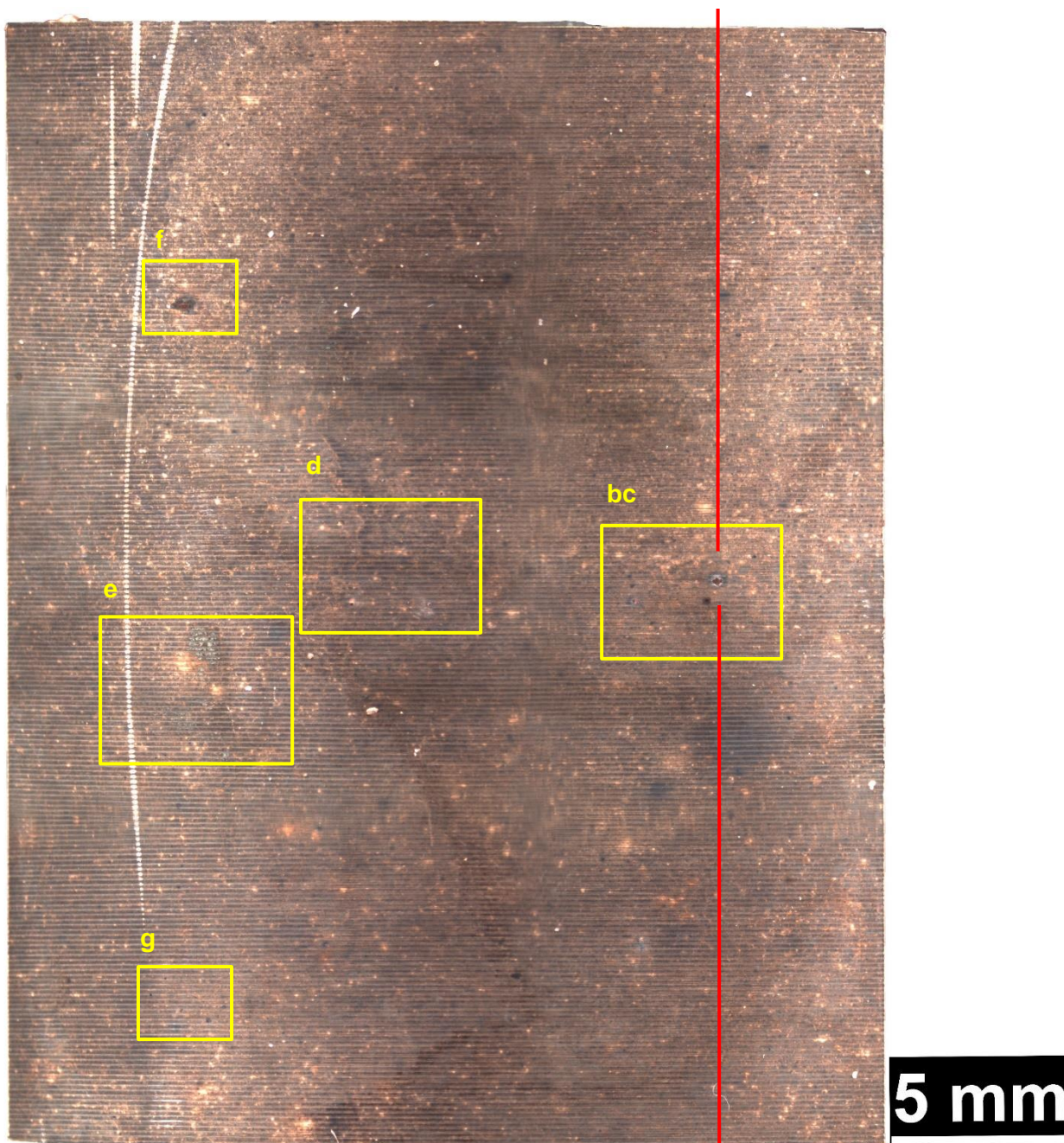
 SÚRAO	Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí	Evidenční označení:
		TZ 194/2017 rev. 2

11.31 Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku po tříleté korozní zkoušce v bentonitu MX-80

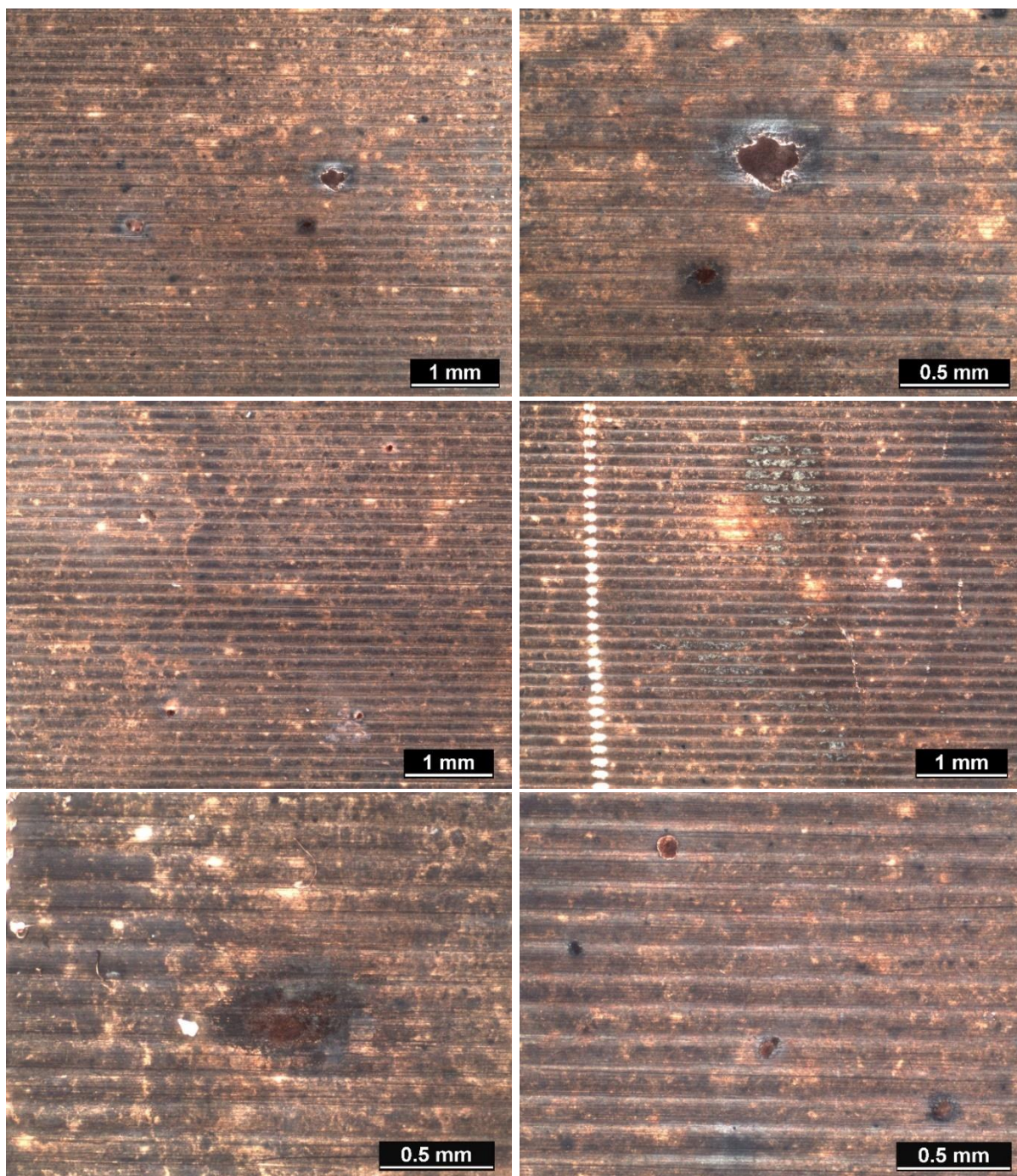
Obrazová dokumentace vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_5_01, který byl v bentonitu MX-80 je uvedena na Obr. 11-233 až Obr. 11-243, včetně příslušných prvkových analýz. Analýza byla provedena světelným mikroskopem Nikon Epiphot 300 (Nikon corporation, Japonsko) s analyzátozem obrazu NIS-Elements 4.2 (LIM Laboratory Imaging, ČR) a rastrovacím elektronovým mikroskopem Vega TS 5130 XM (Tescan, ČR). Vzorek byl před řezáním zalit do epoxidové pryskyřice. Výbrusy byly připraveny mechanickým broušením na metalografických papírech o zrnitosti 500–2400 (Struers, Dánsko) a leštěním pomocí diamantové pasty zrnitosti D 3 a D 0,7 (Urdiamant, Česká republika) a koloidní silice OPS Struers (Struers, Dánsko). Struktura mědi byla chemicky vyvolána v leptadle 1 (2 g dichromanu didraselného, 8 ml kyseliny sírové, 4 ml chloridu sodného, 100 ml destilované vody). Pro dokumentaci povrchu byla ze vzorku vyříznuta část pro následné práce (Obr. 11-234).



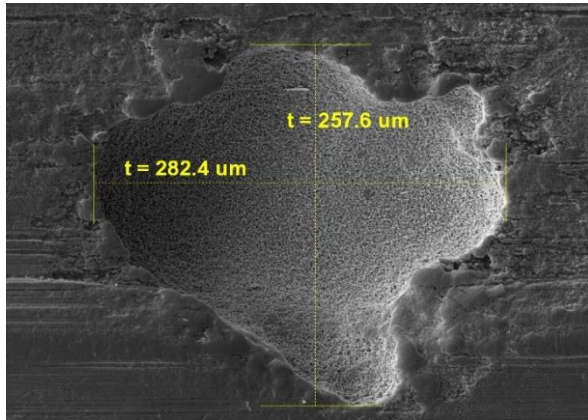
Obr. 11-233 Povrch vzorku měděného nástřiku (složená fotografie) včetně naznačeného způsobu řezání vzorku. Prostřední část byla použita pro obrazovou dokumentaci povrchu (část 2)



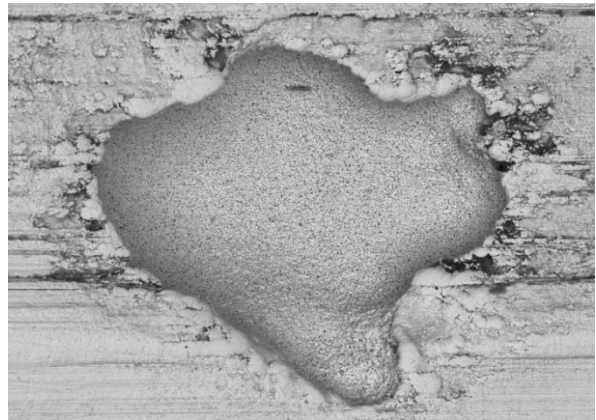
Obr. 11-234 Část měděného nástřiku použitá pro obrazovou dokumentaci s vyznačenými pozicemi detailní dokumentace



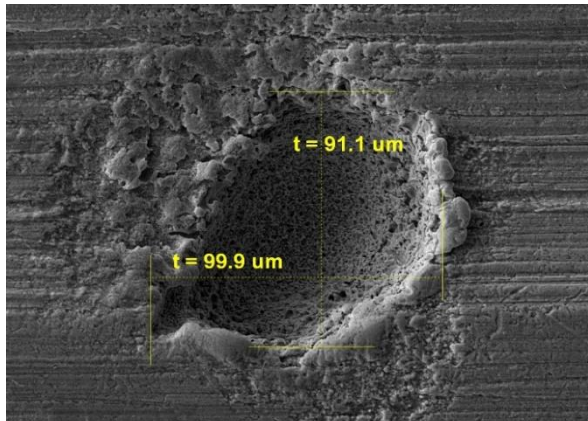
Obr. 11-235 Lokální korozní napadení vzorku mědi po tříletém experimentu. Nahoře pozice *bc*, uprostřed *d*, *e*, dole *f*, *g*


 SEM MAG: 500 x DET: SE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-5

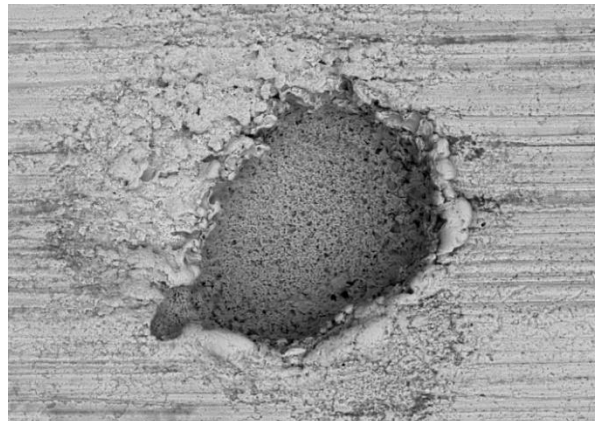
200 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

 SEM MAG: 500 x DET: BSE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-6

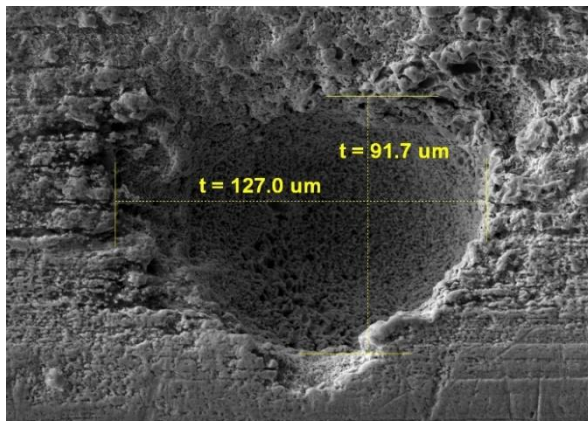
200 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

 SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-17

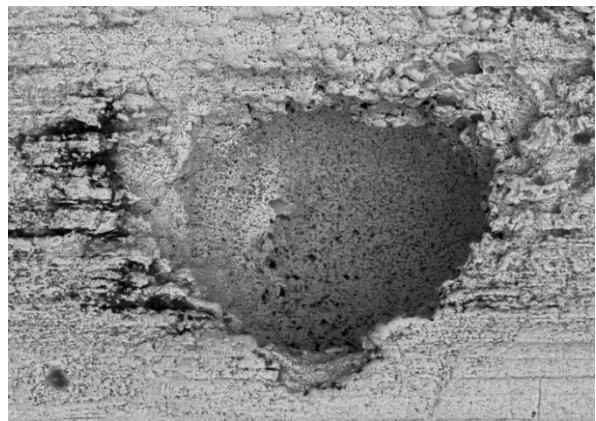
100 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

 SEM MAG: 1.00 kx DET: BSE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-18

100 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

 SEM MAG: 1.00 kx DET: SE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-23

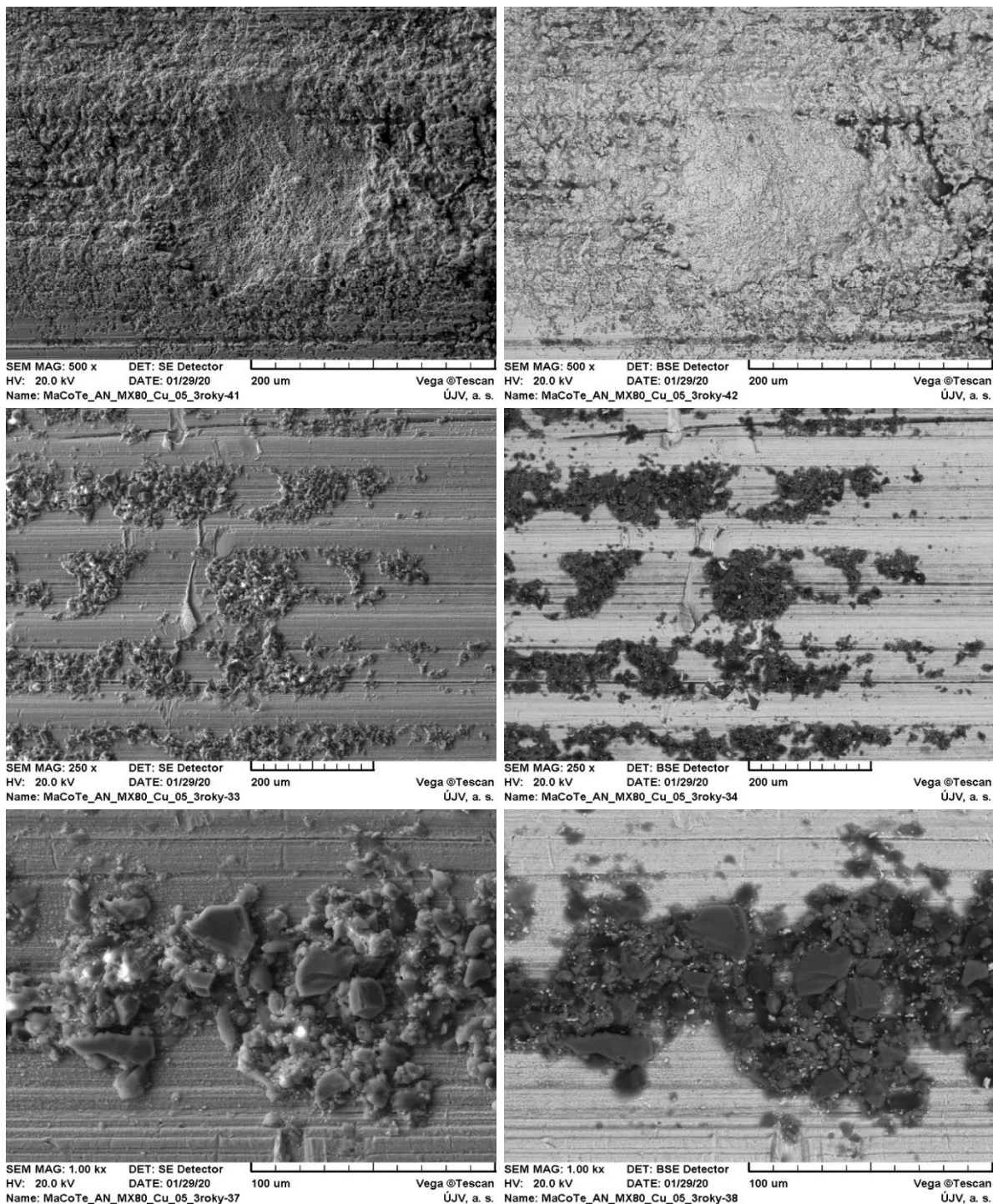
100 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

 SEM MAG: 1.00 kx DET: BSE Detector
 HV: 20.0 kV DATE: 01/29/20
 Name: MaCoTe_AN_MX80_Cu_05_3roky-24

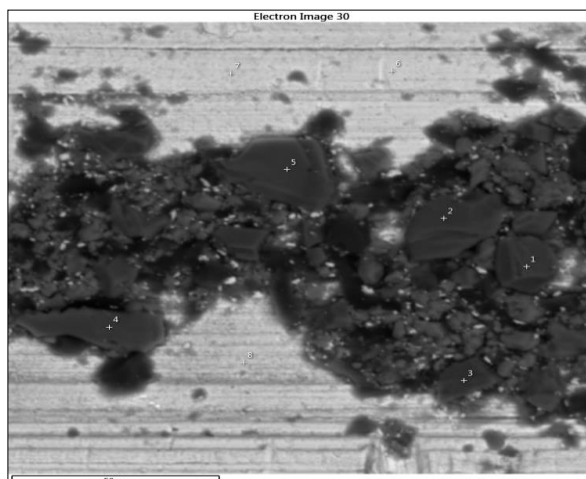
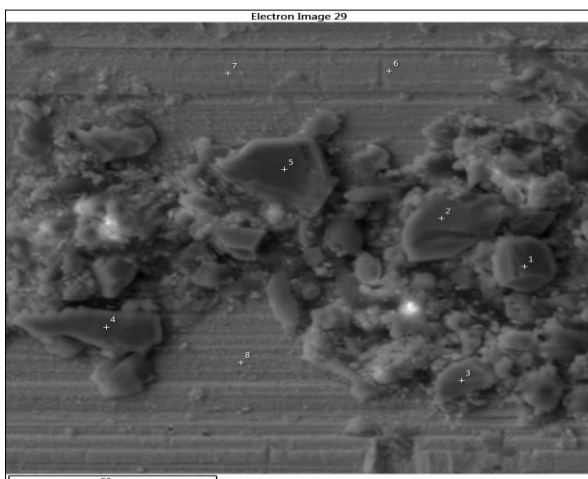
100 um

 Vega ©Tescan
 ÚJV, a. s.

Obr. 11-236 Povrch vzorku měděného nástřiku po třileté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

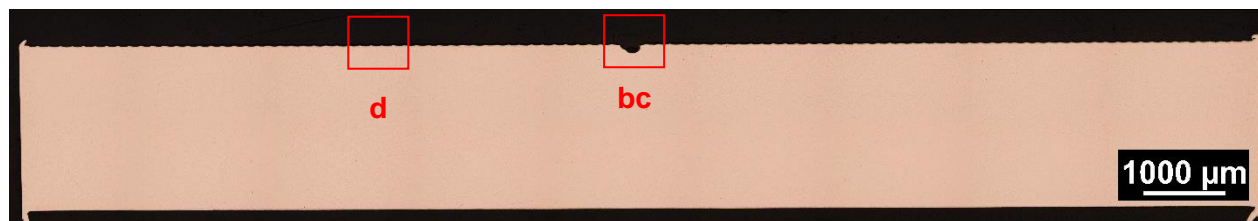


Obr. 11-237 Povrch vzorku měděného nástřiku po tříleté korozní zkoušce. Levá strana – dokumentace v sekundárních elektronech, pravá strana – dokumentace ve zpětně odražených elektronech

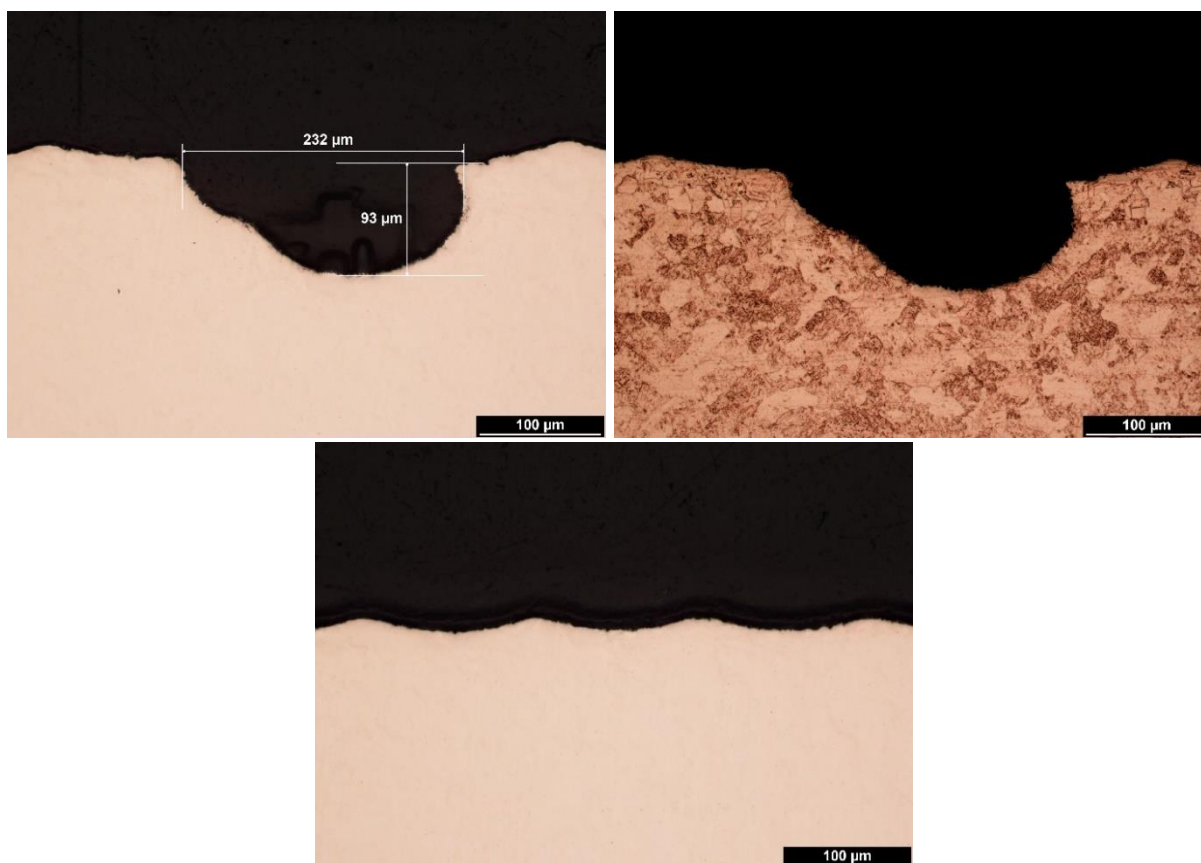


Spektrum	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cu
1	54,0	18,0				25,8	2,3
2	54,6			43,8			1,5
3	56,5	18,3				23,1	2,1
4	53,3			45,1			1,7
5	49,4			48,7			1,9
6	1,5				0,3		98,2
7	3,3		0,2		2,5		94,0
8	6,2	0,2	0,7	1,2	4,2		87,5

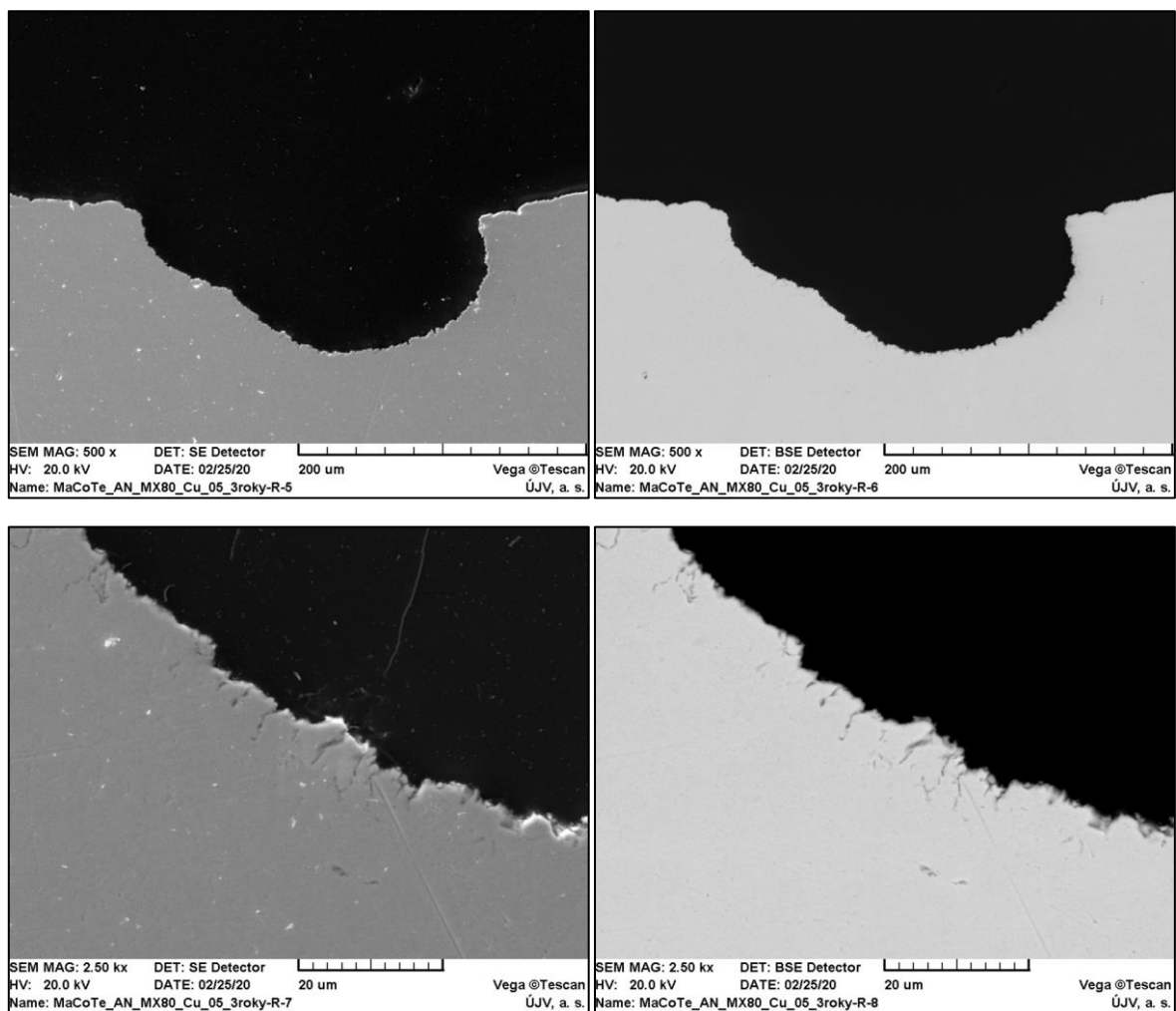
Obr. 11-238 Analýza chemického složení povrchu měděného nástřiku. Uvedené hodnoty jsou v hmotnostních procentech



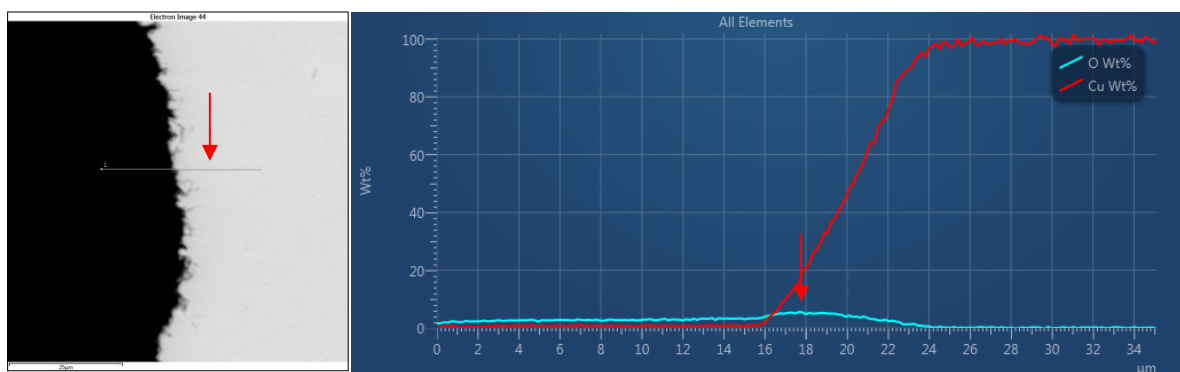
Obr. 11-239 Přehledový snímek podélného řezu vzorkem



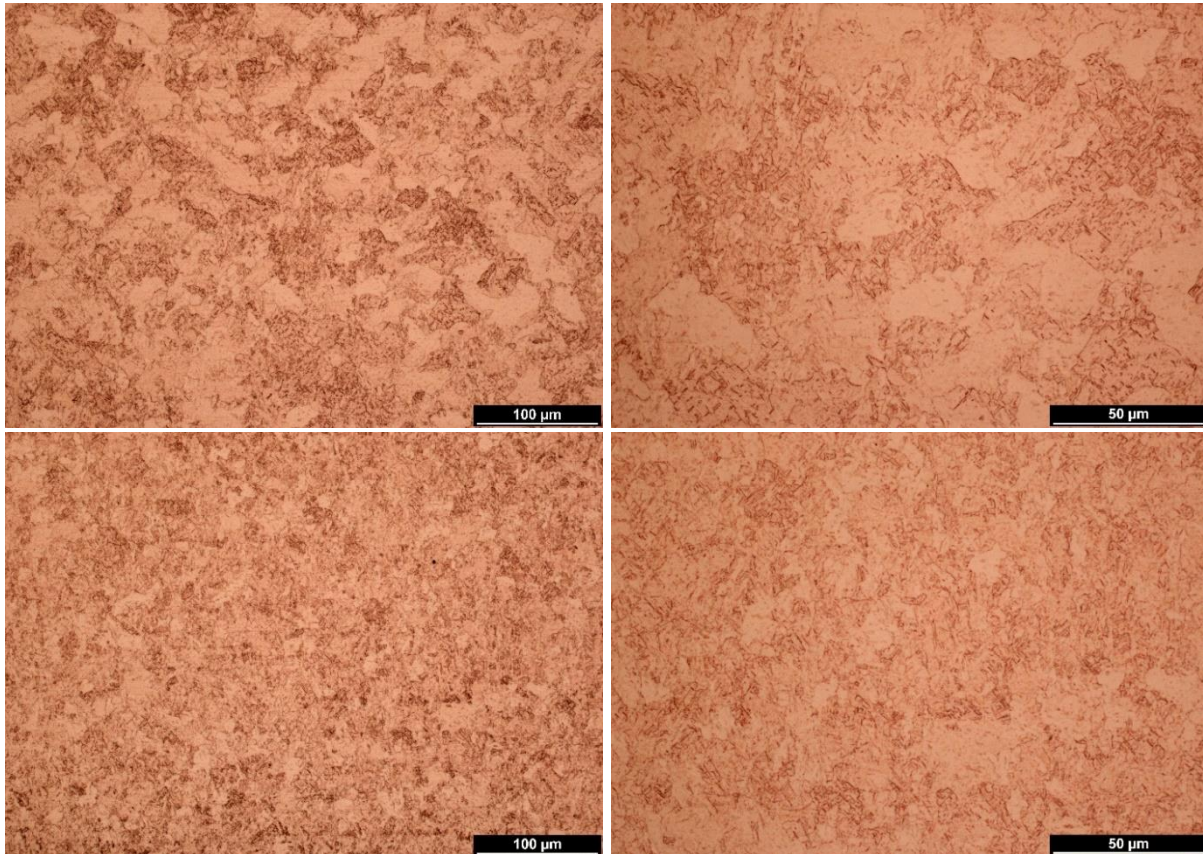
Obr. 11-240 Pozice v řezu vzorku. Nahoře bc, dole d



Obr. 11-241 Dokumentace důlku na povrchu měděného nástřiku v příčném řezu. Nalevo v sekundárních elektronech. Napravo ve zpětně odražených elektronech



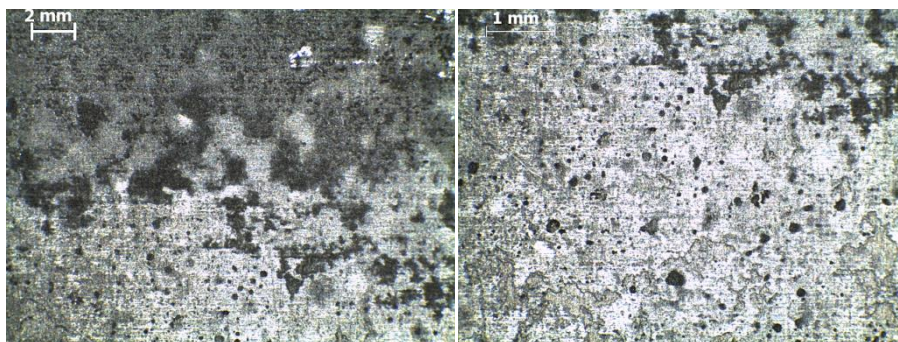
Obr. 11-242 Liniová analýza podélného řezu vzorku



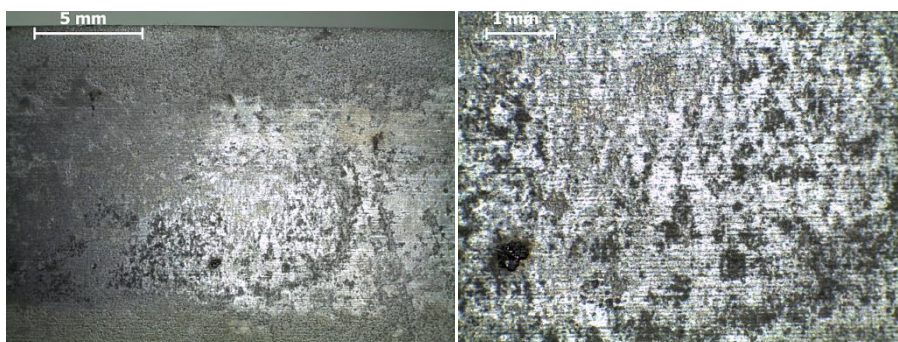
Obr. 11-243 Mikrostruktura vzorku. Nahoře u vnějšího povrchu, dole u vnitřního povrchu

11.32 Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po roční korozní zkoušce

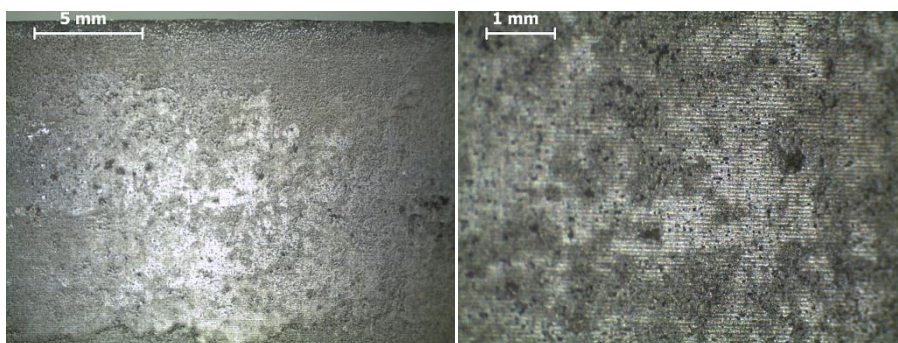
Na následujících Obr. 11-244 až Obr. 11-257, jsou uvedeny povrchy vzorků uhlíkové oceli po odmoření. Povrch vzorku měděného nástřiku je uveden po odstranění zbytků bentonitu.



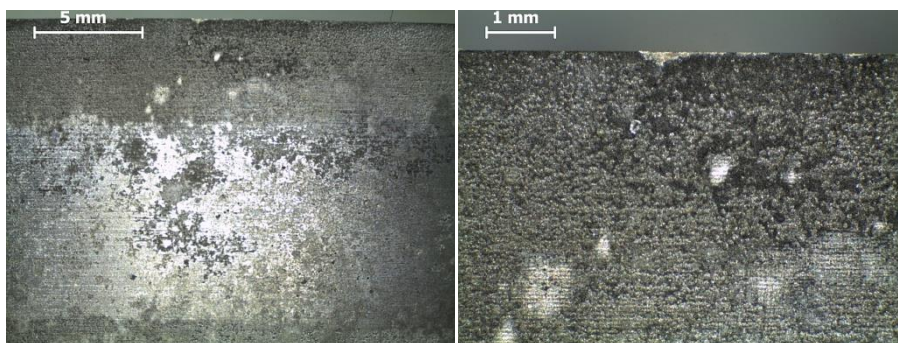
Obr. 11-244 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 po odmoření



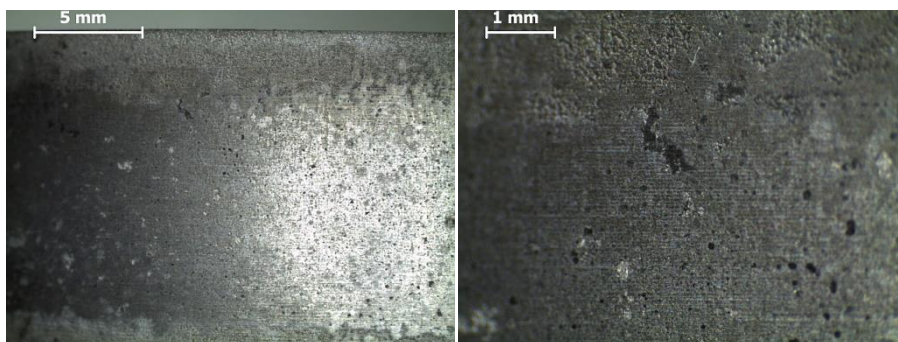
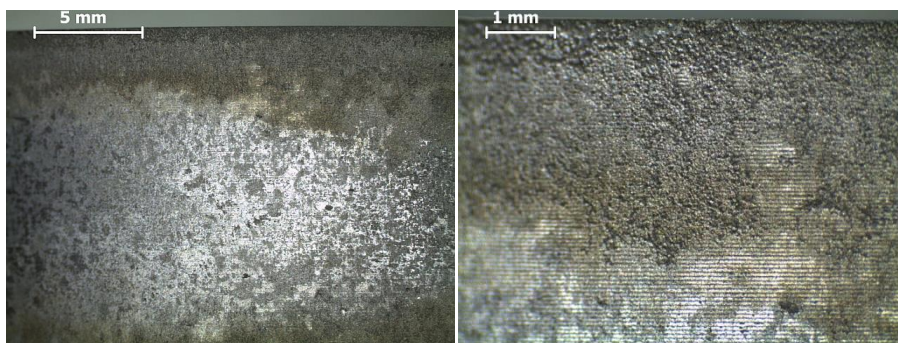
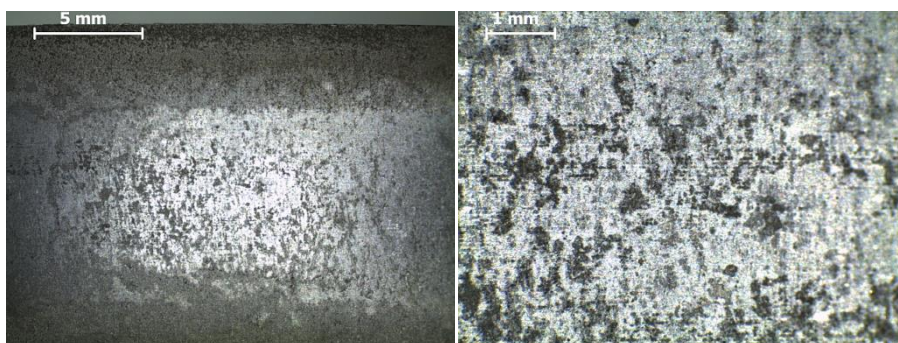
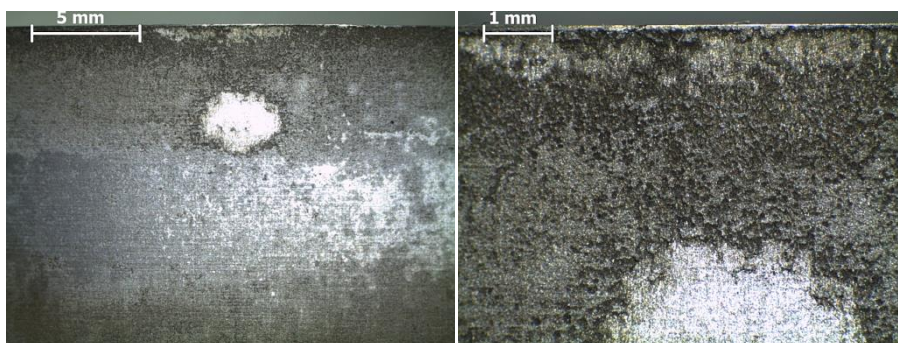
Obr. 11-245 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 po odmoření

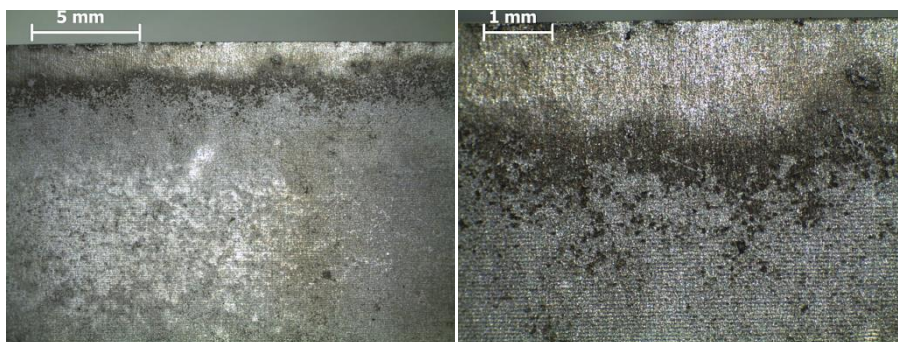
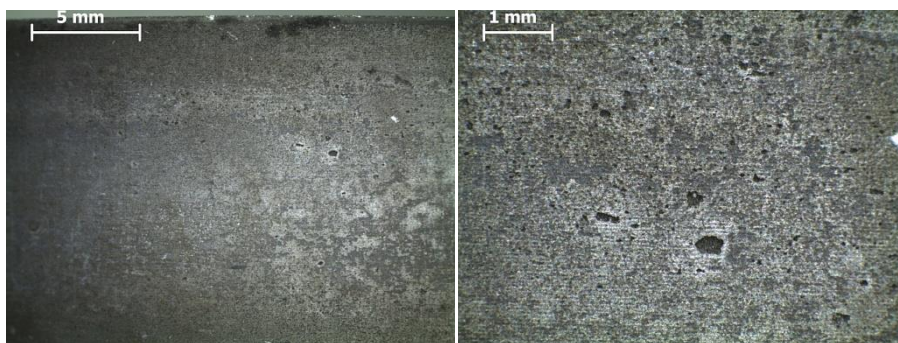
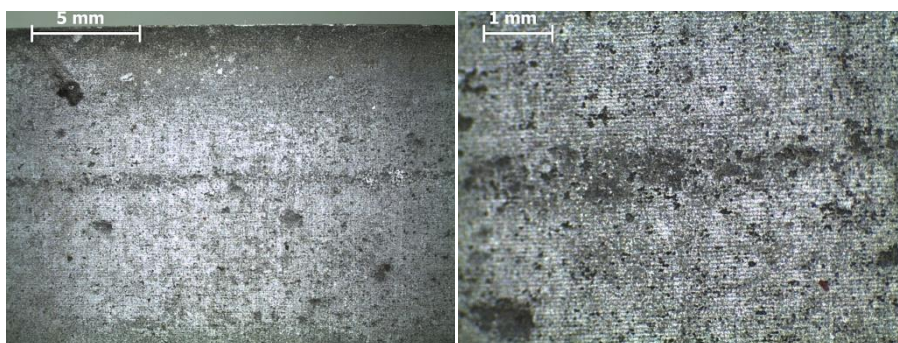
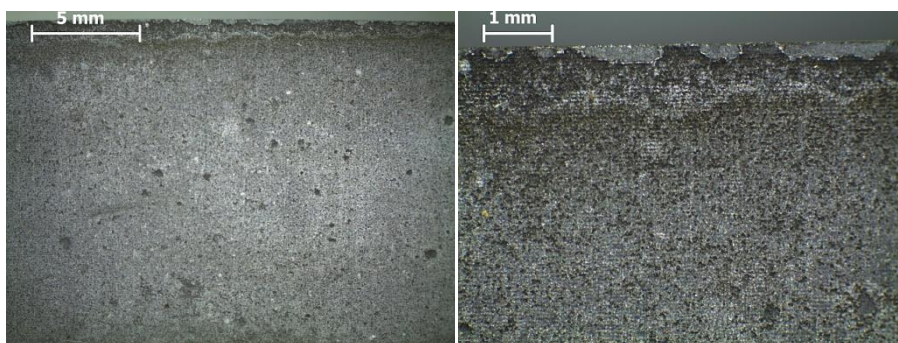


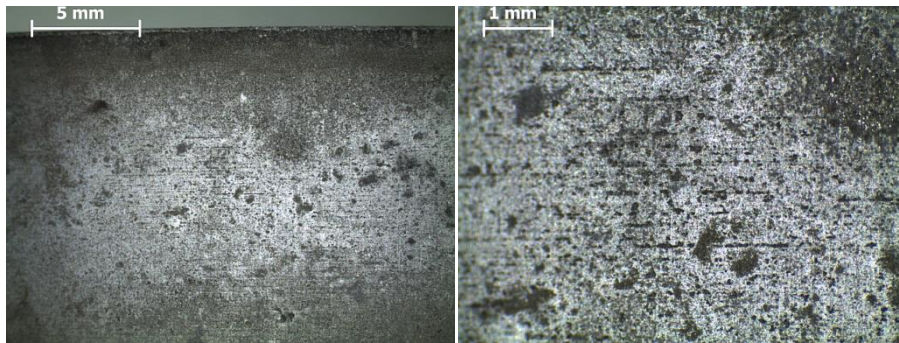
Obr. 11-246 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 po odmoření



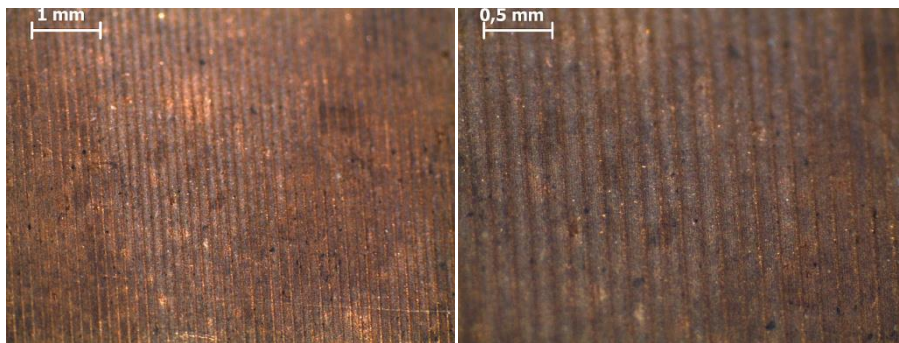
Obr. 11-247 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 po odmoření


Obr. 11-248 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 po odmoření

Obr. 11-249 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 po odmoření

Obr. 11-250 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 po odmoření

Obr. 11-251 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 po odmoření


Obr. 11-252 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 po odmoření

Obr. 11-253 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 po odmoření

Obr. 11-254 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 po odmoření

Obr. 11-255 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 po odmoření



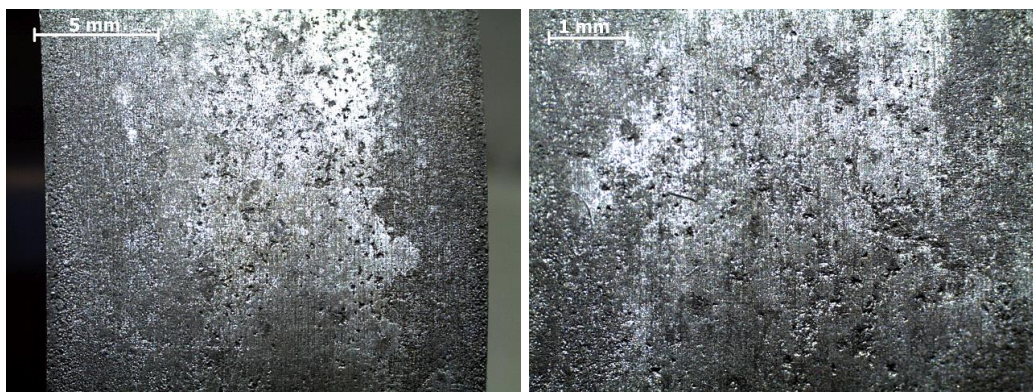
Obr. 11-256 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 po odmoření



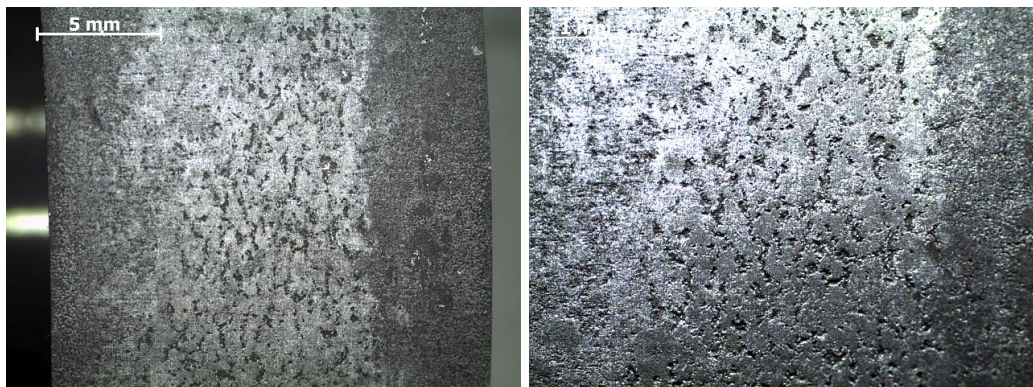
Obr. 11-257 Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01

11.33 Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po dvouroční korozní zkoušce

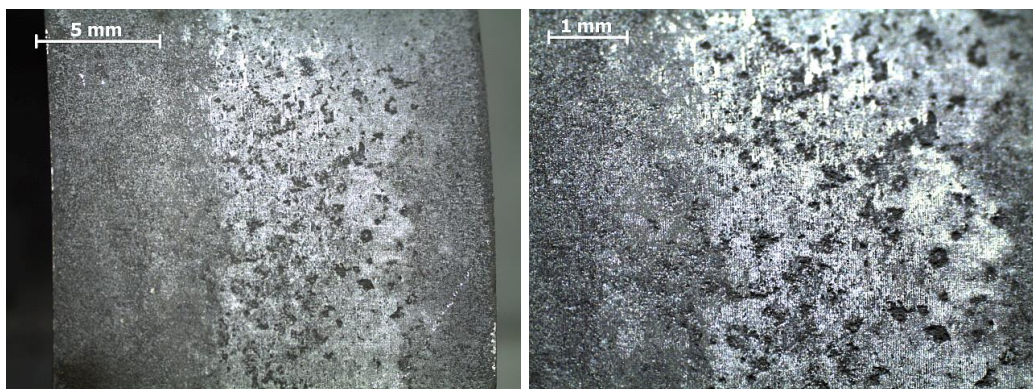
Na následujících Obr. 11-258 až Obr. 11-271, jsou uvedeny povrchy vzorků uhlíkové oceli po odmoření. Povrch vzorku měděného nástřiku je uveden po odstranění zbytků bentonitu.



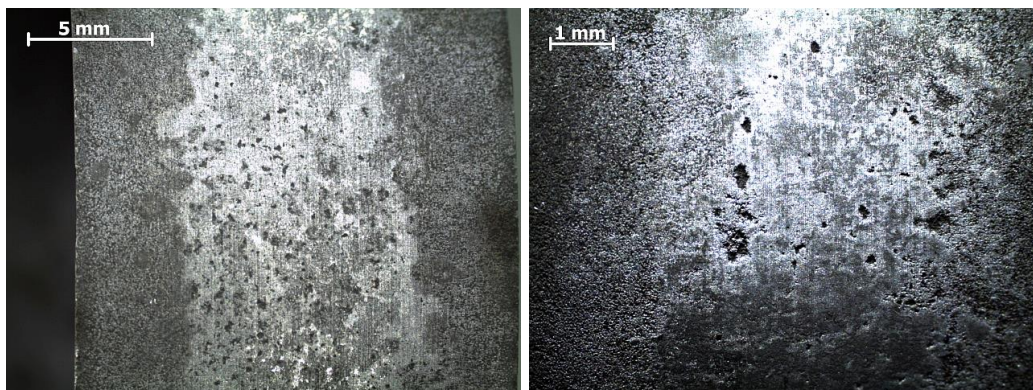
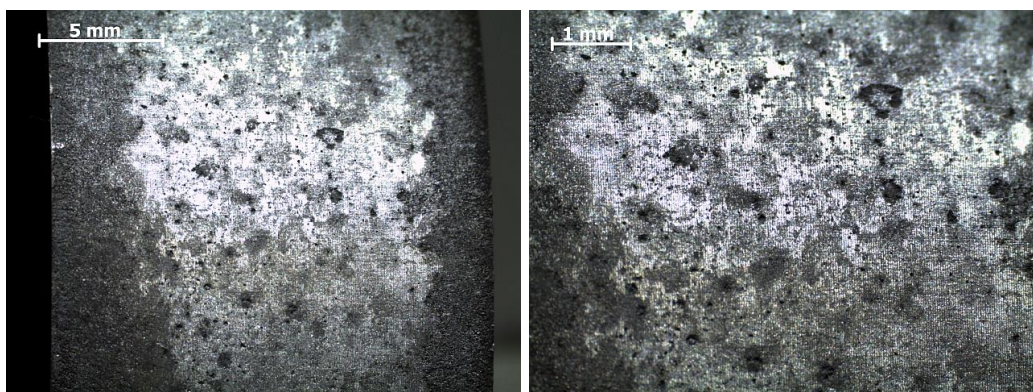
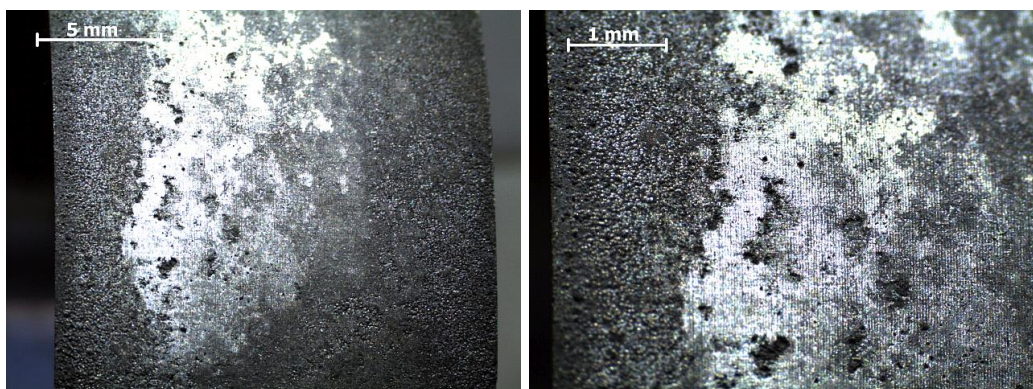
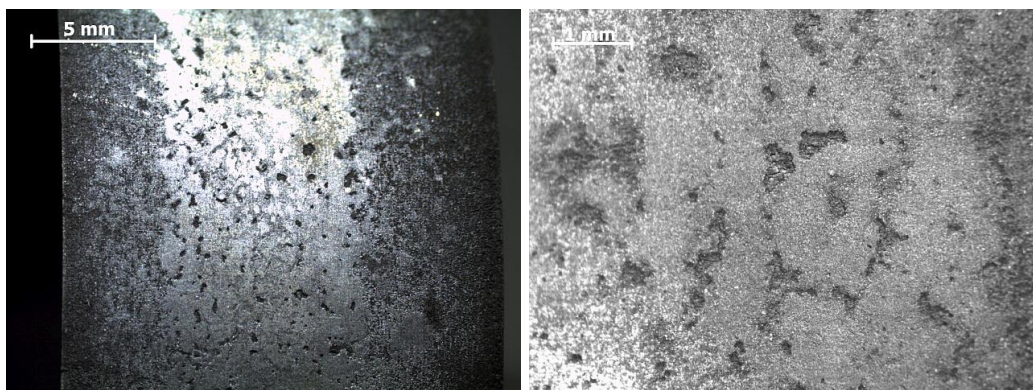
Obr. 11-258 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 po odmoření

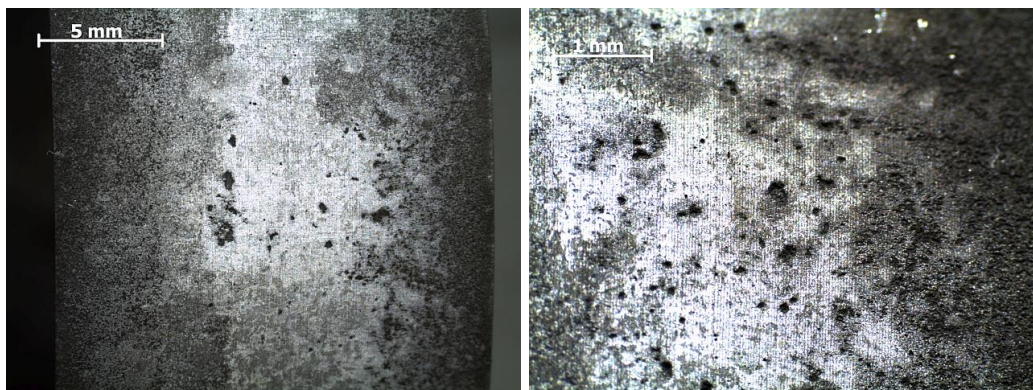
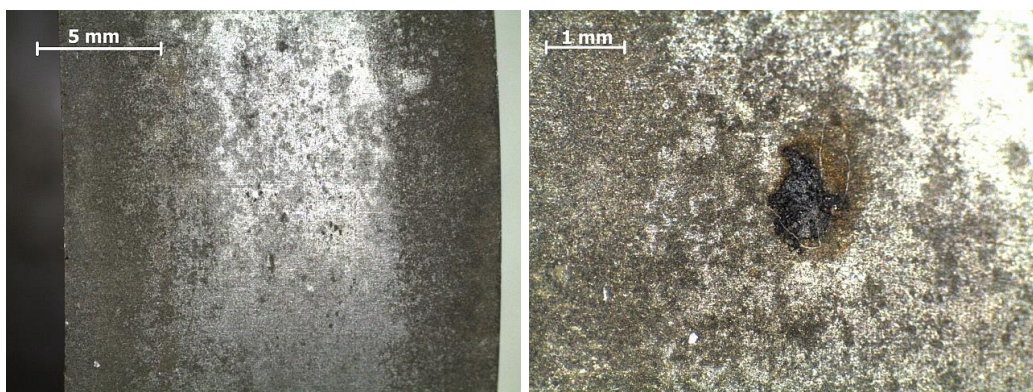
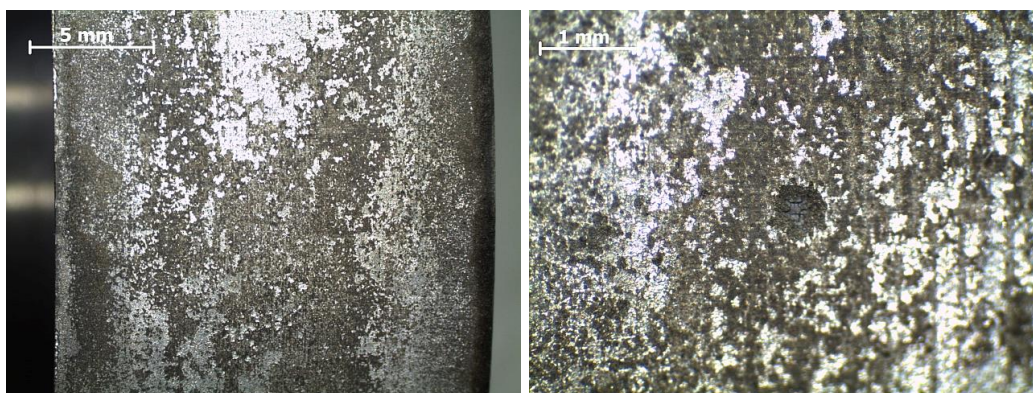
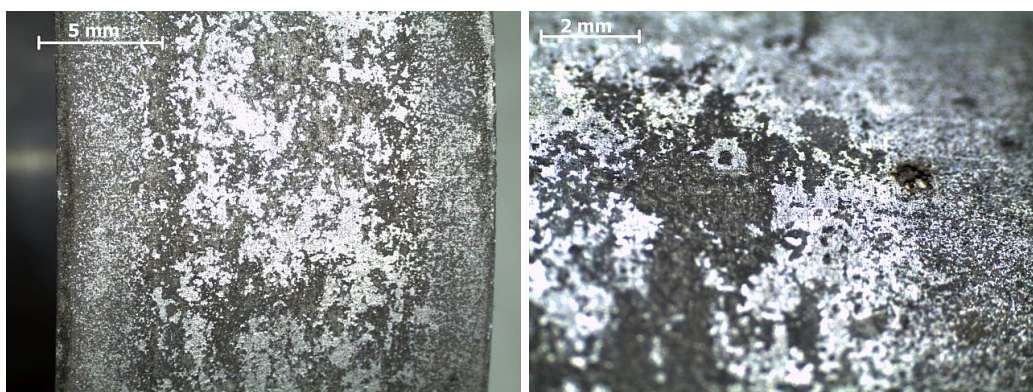


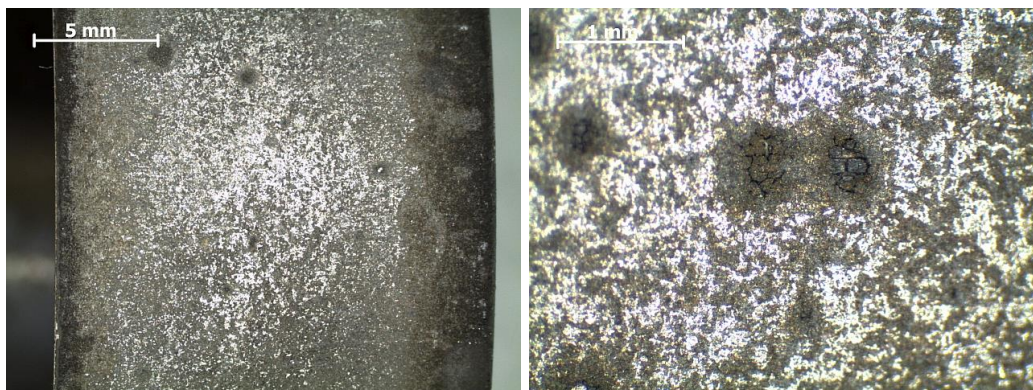
Obr. 11-259 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 po odmoření



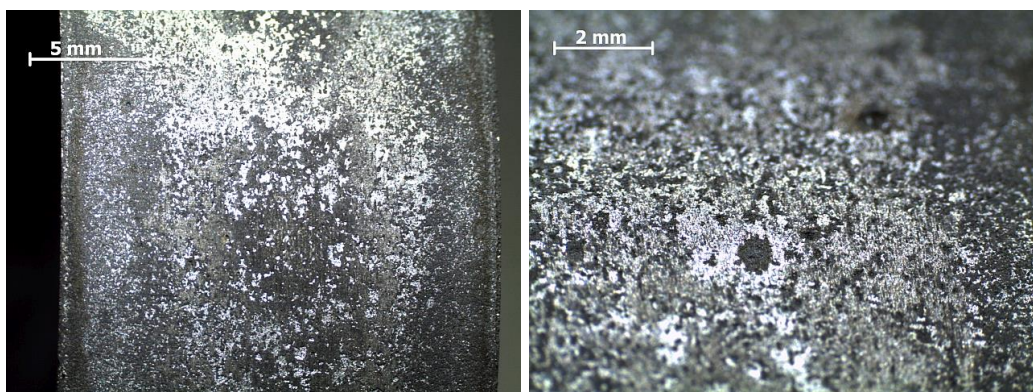
Obr. 11-260 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 po odmoření


Obr. 11-261 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 po odmoření

Obr. 11-262 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 po odmoření

Obr. 11-263 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 po odmoření

Obr. 11-264 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 po odmoření


Obr. 11-265 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 po odmoření

Obr. 11-266 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 po odmoření

Obr. 11-267 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 po odmoření

Obr. 11-268 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 po odmoření



Obr. 11-269 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 po odmoření



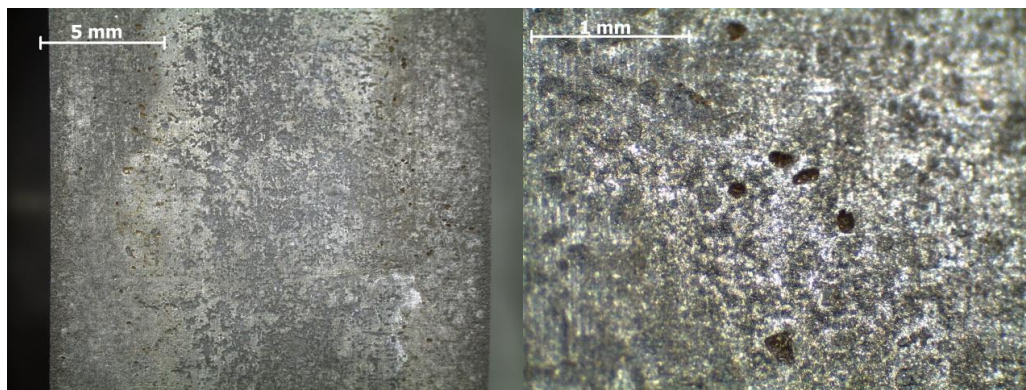
Obr. 11-270 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 po odmoření



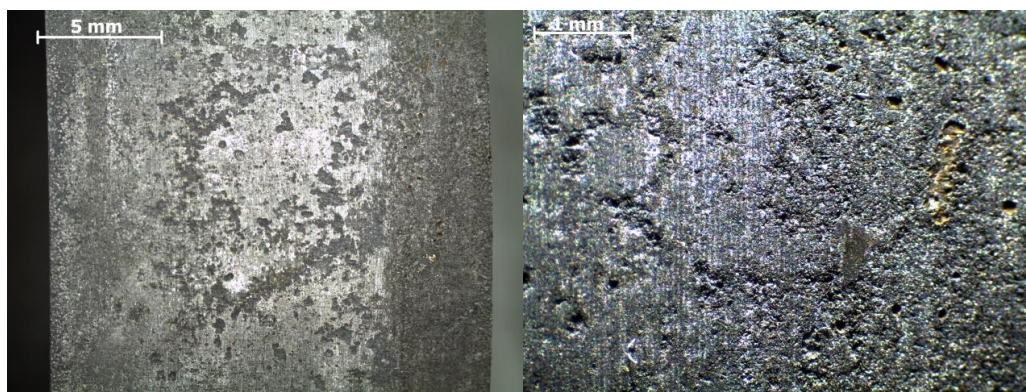
Obr. 11-271 Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01

11.34 Dokumentace povrchu vzorků po odstranění korozních produktů po tříleté korozní zkoušce

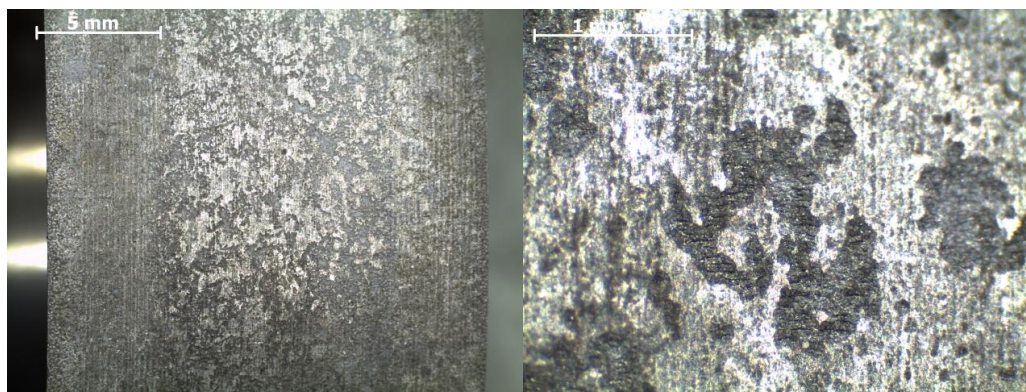
Na následujících Obr. 11-272 až Obr. 11-285, jsou uvedeny povrchy vzorků uhlíkové oceli po odmoření. Povrch vzorku měděného nástřiku je uveden po odstranění zbytků bentonitu.



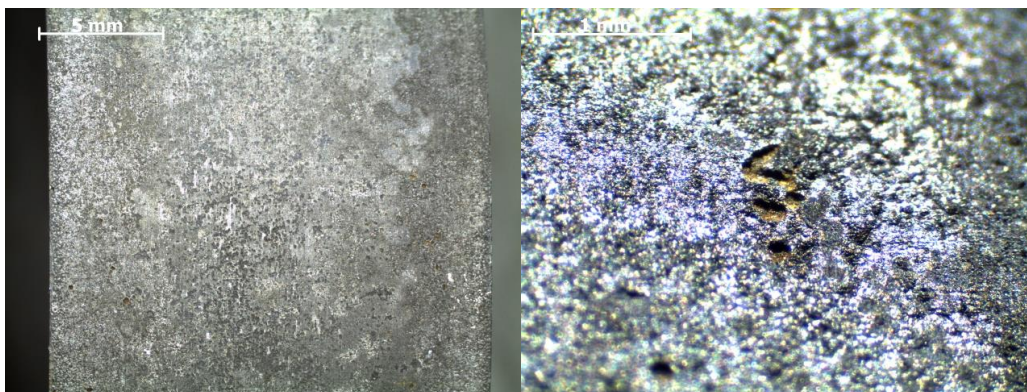
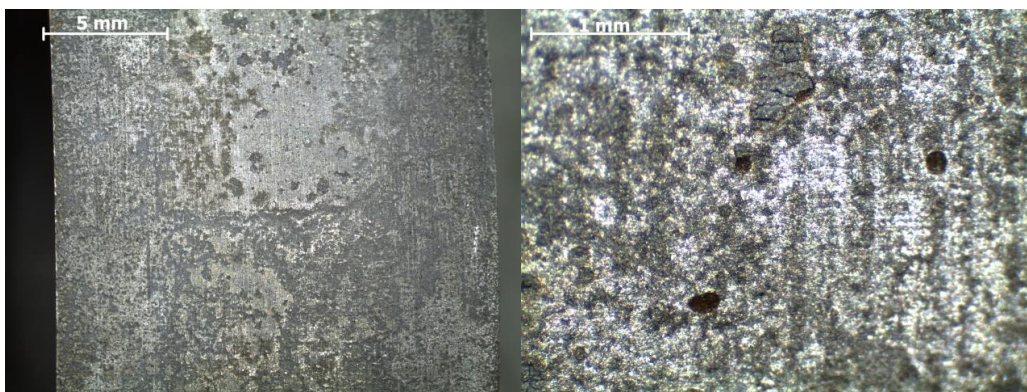
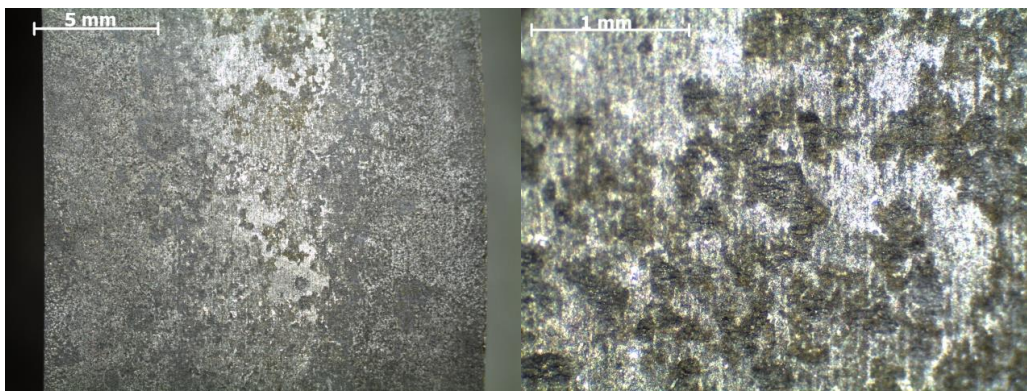
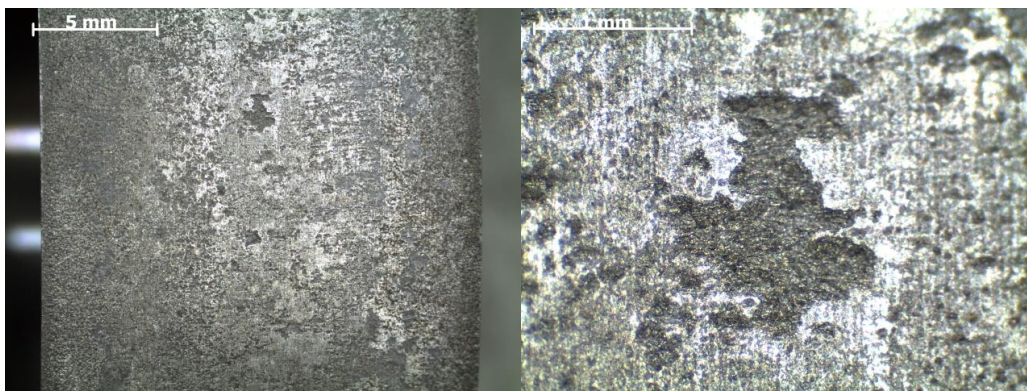
Obr. 11-272 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_02 po odmoření

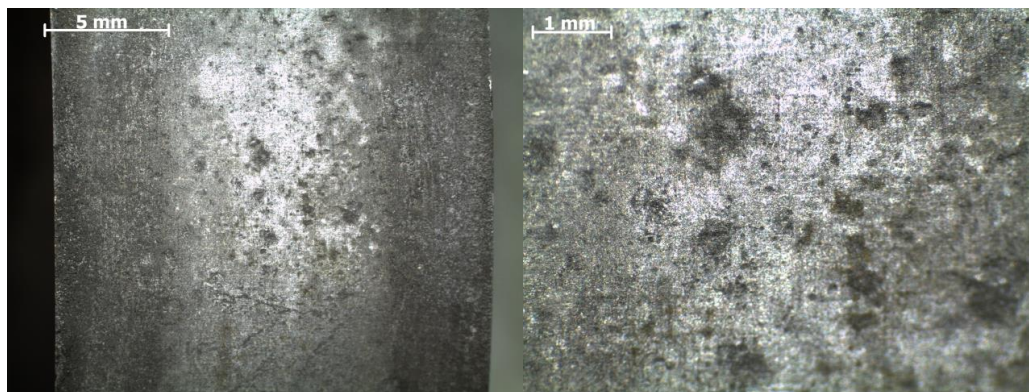
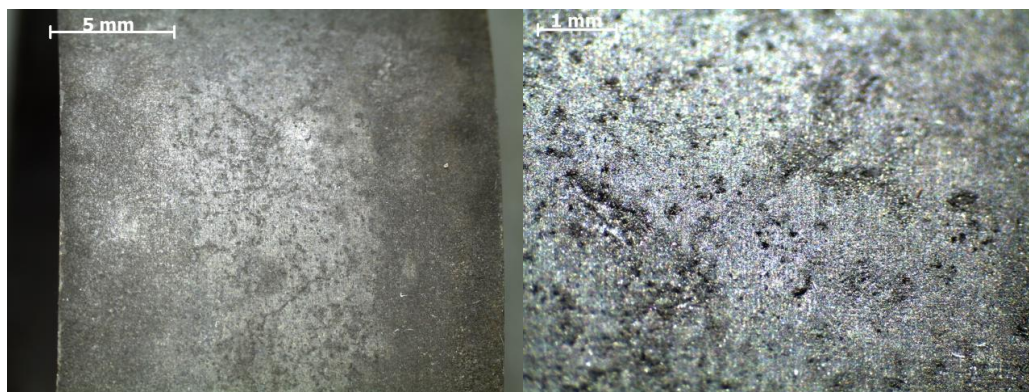
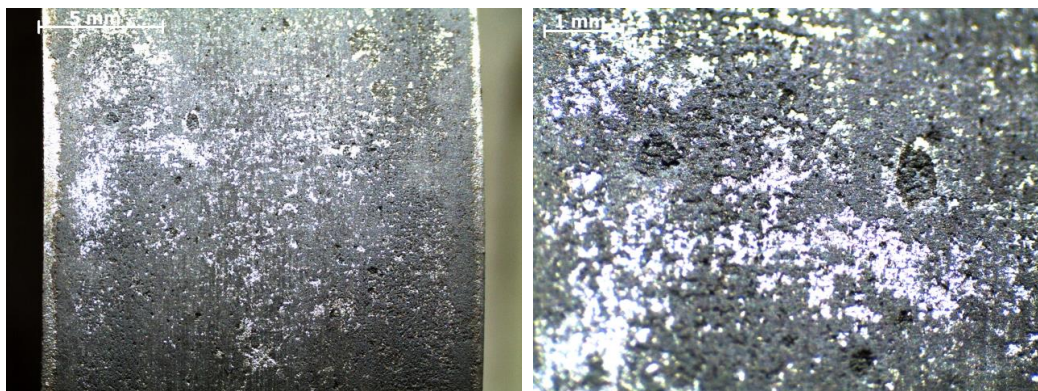


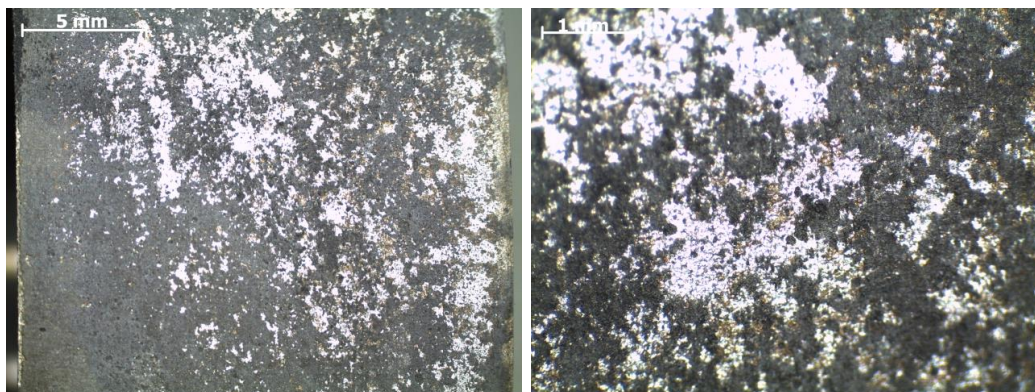
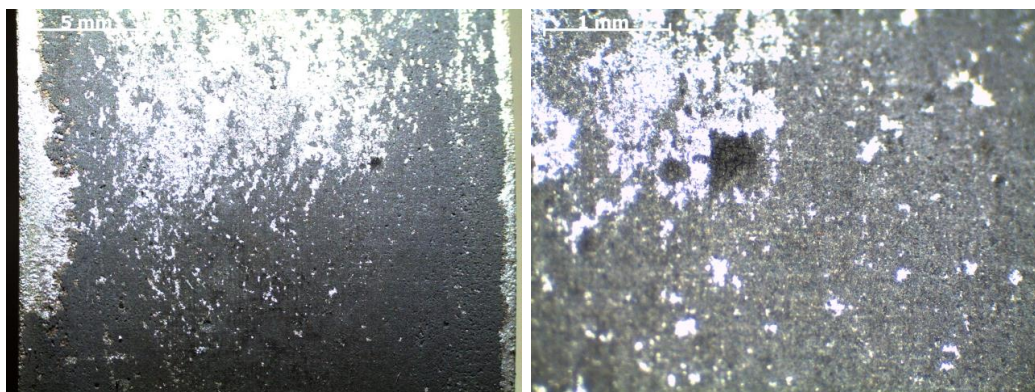
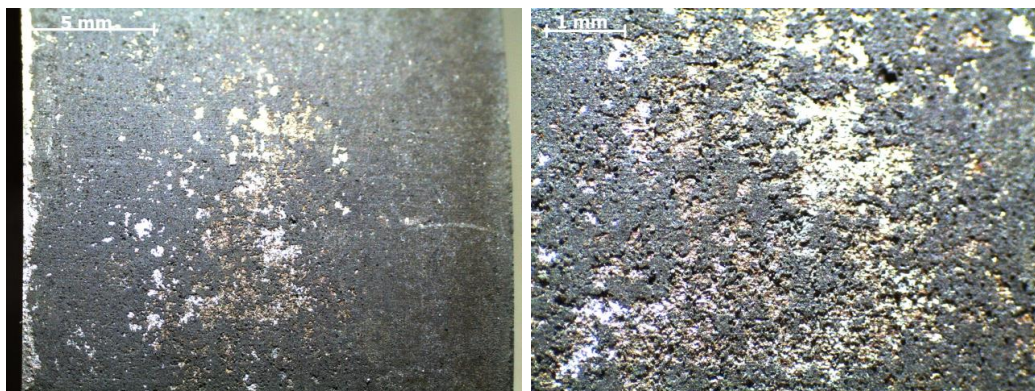
Obr. 11-273 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_03 po odmoření

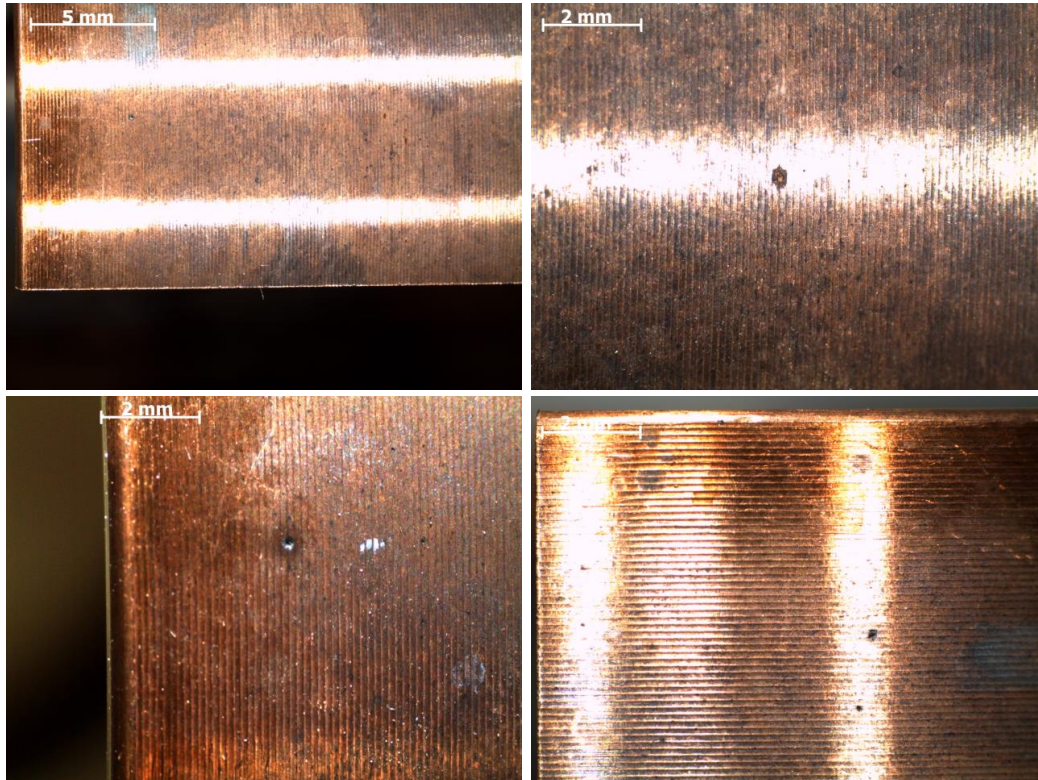


Obr. 11-274 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_04 po odmoření


Obr. 11-275 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_05 po odmoření

Obr. 11-276 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_06 po odmoření

Obr. 11-277 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_07 po odmoření

Obr. 11-278 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_08 po odmoření


Obr. 11-279 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_09 po odmoření

Obr. 11-280 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_5_10 po odmoření

Obr. 11-281 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_02 po odmoření

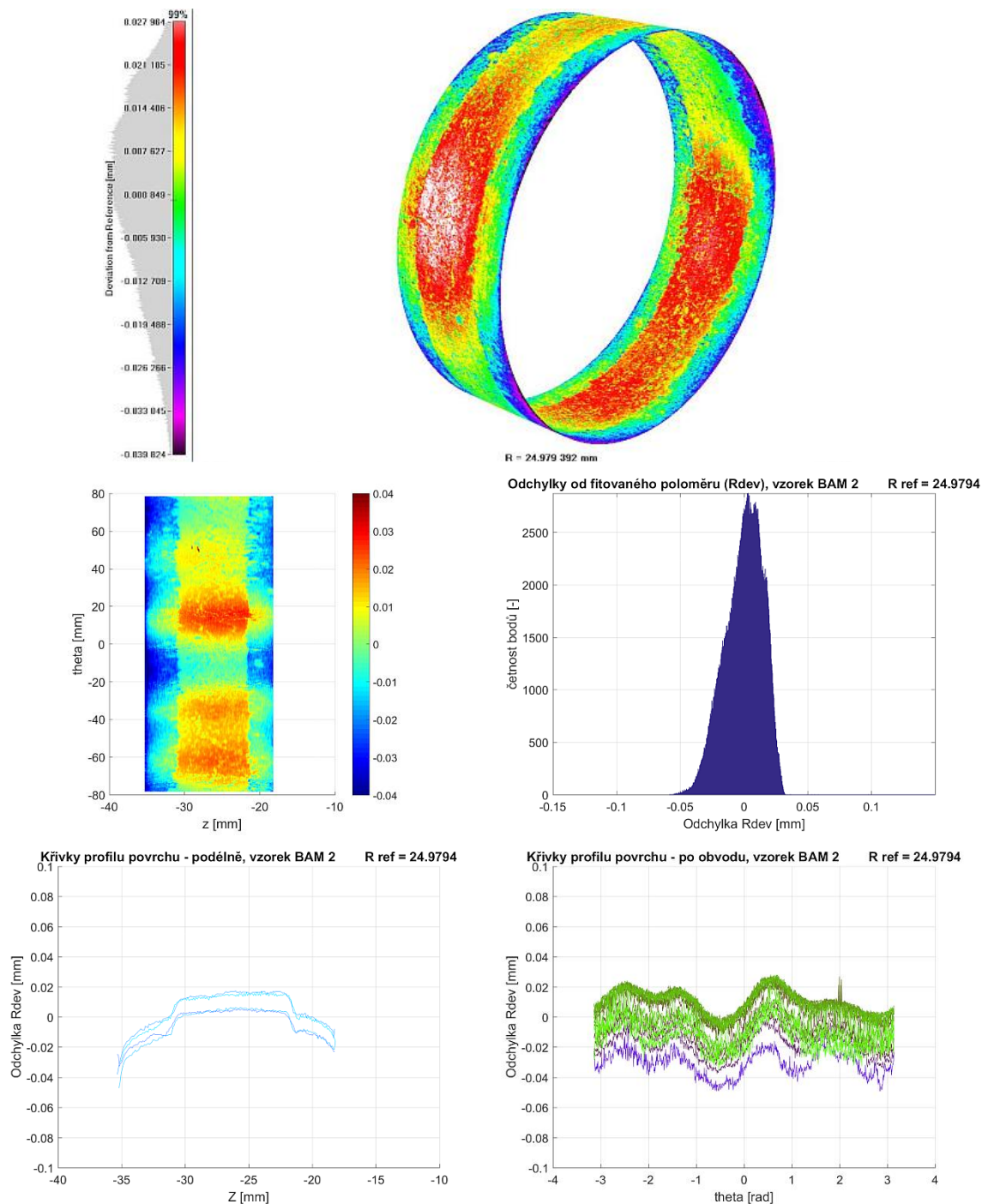

Obr. 11-282 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_03 po odmoření

Obr. 11-283 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_04 po odmoření

Obr. 11-284 Povrch vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_5_05 po odmoření



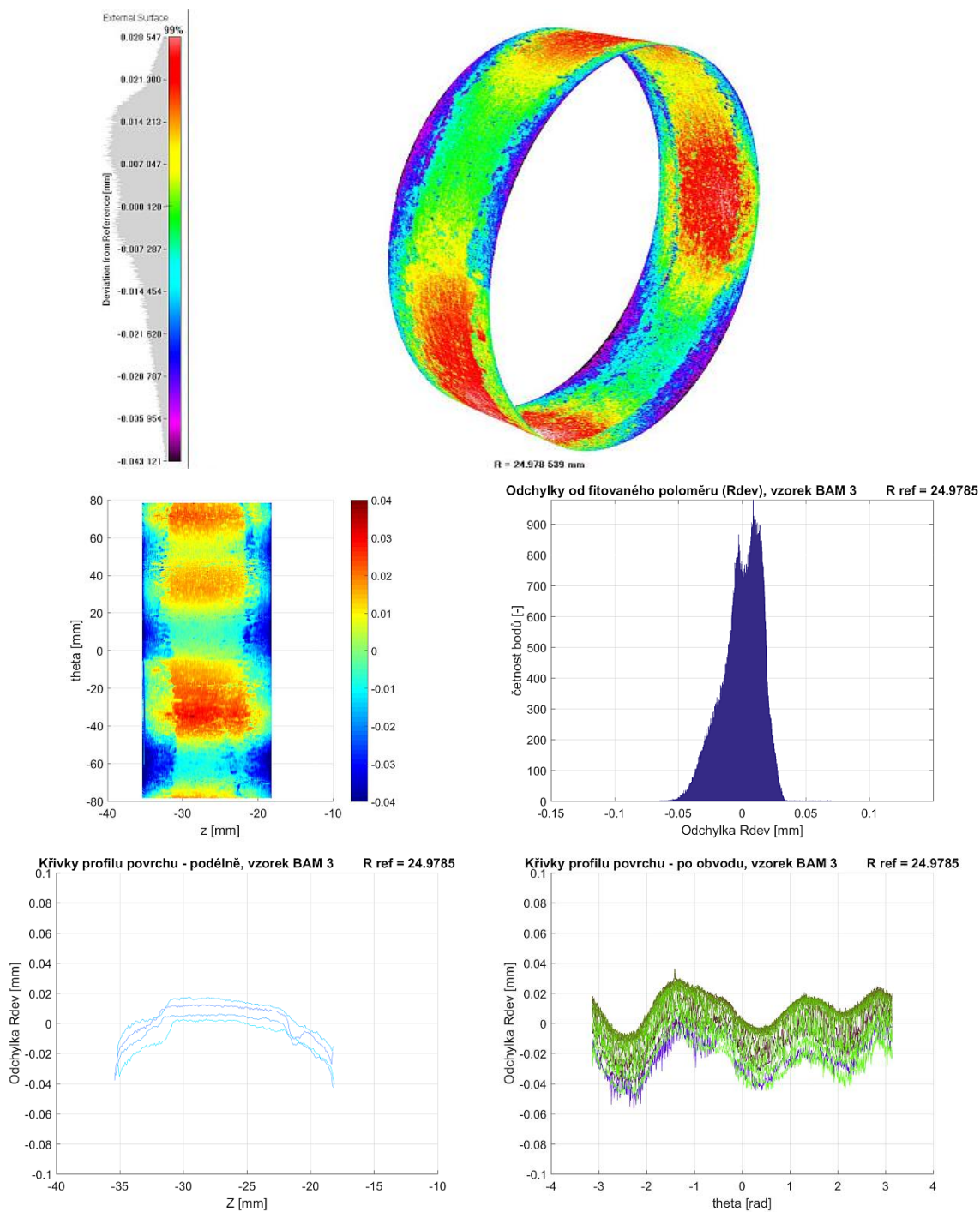
Obr. 11-285 Povrch vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_5_01

11.35 Profilometrie vzorků po roční korozní zkoušce

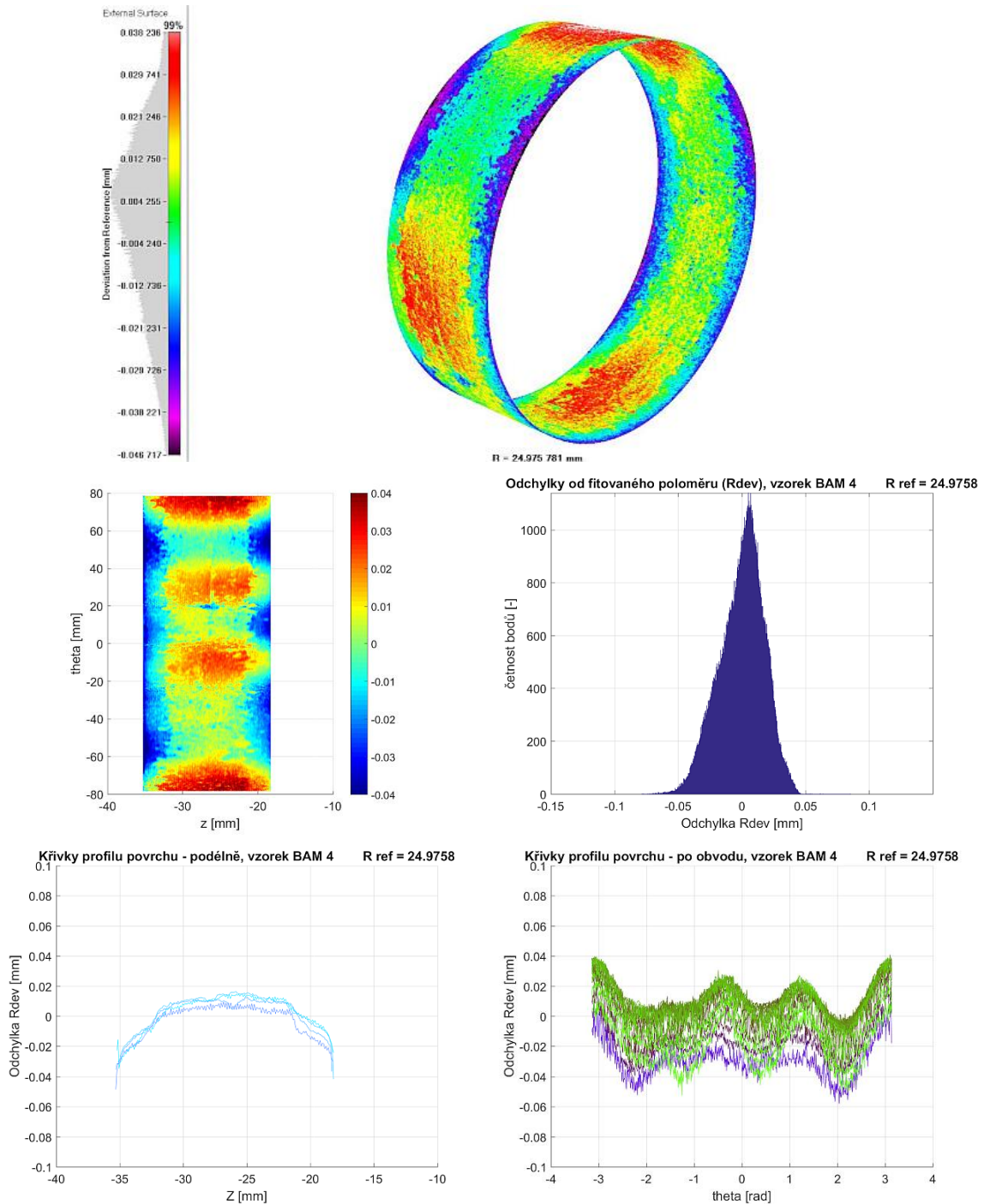
Na následujících Obr. 11-286 až Obr. 11-299, jsou výsledky z měření profilometrie. Konkrétně se jedná o 3D vizualizaci, povrchovou mapu, histogram odchylek, odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu.



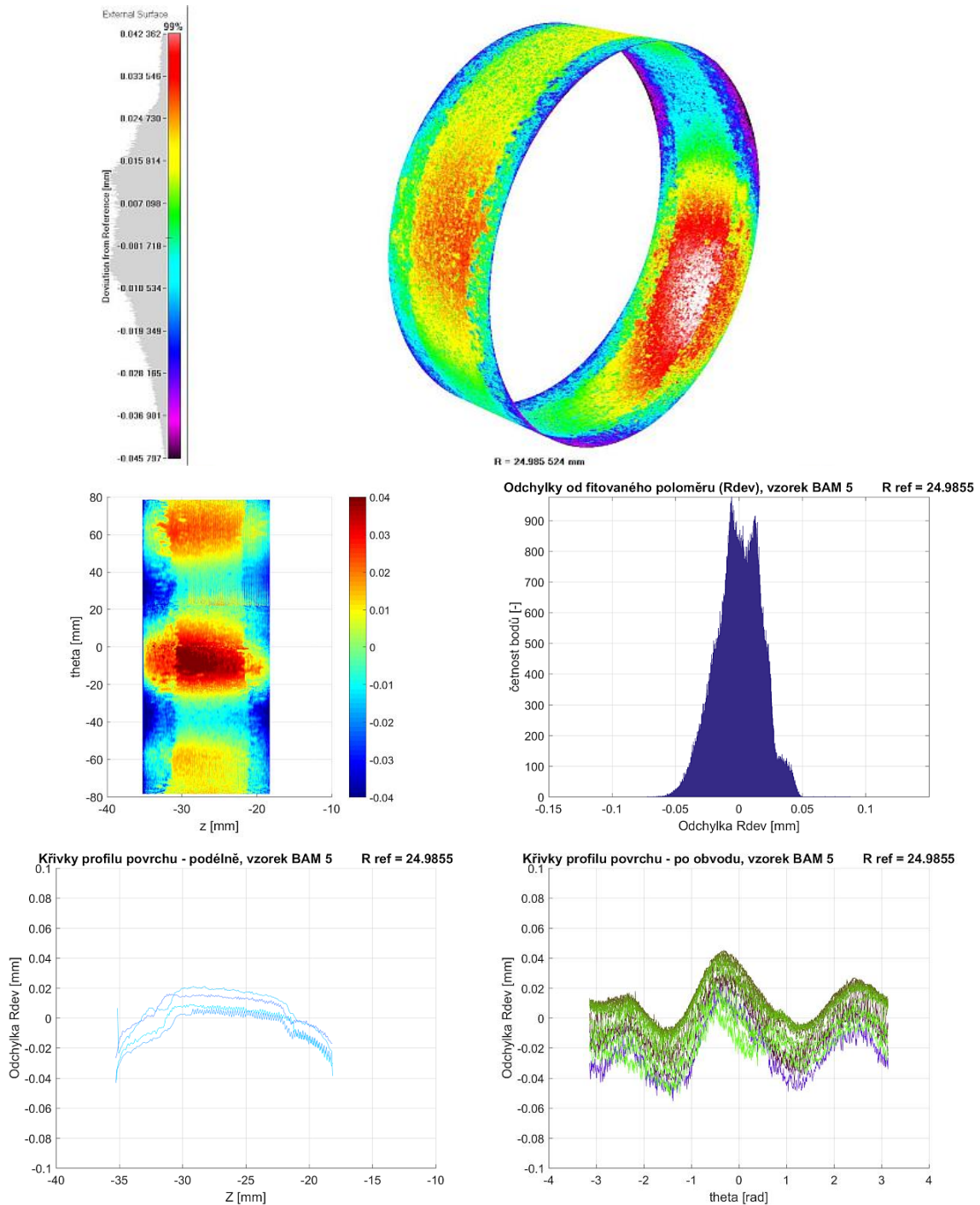
Obr. 11-286 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



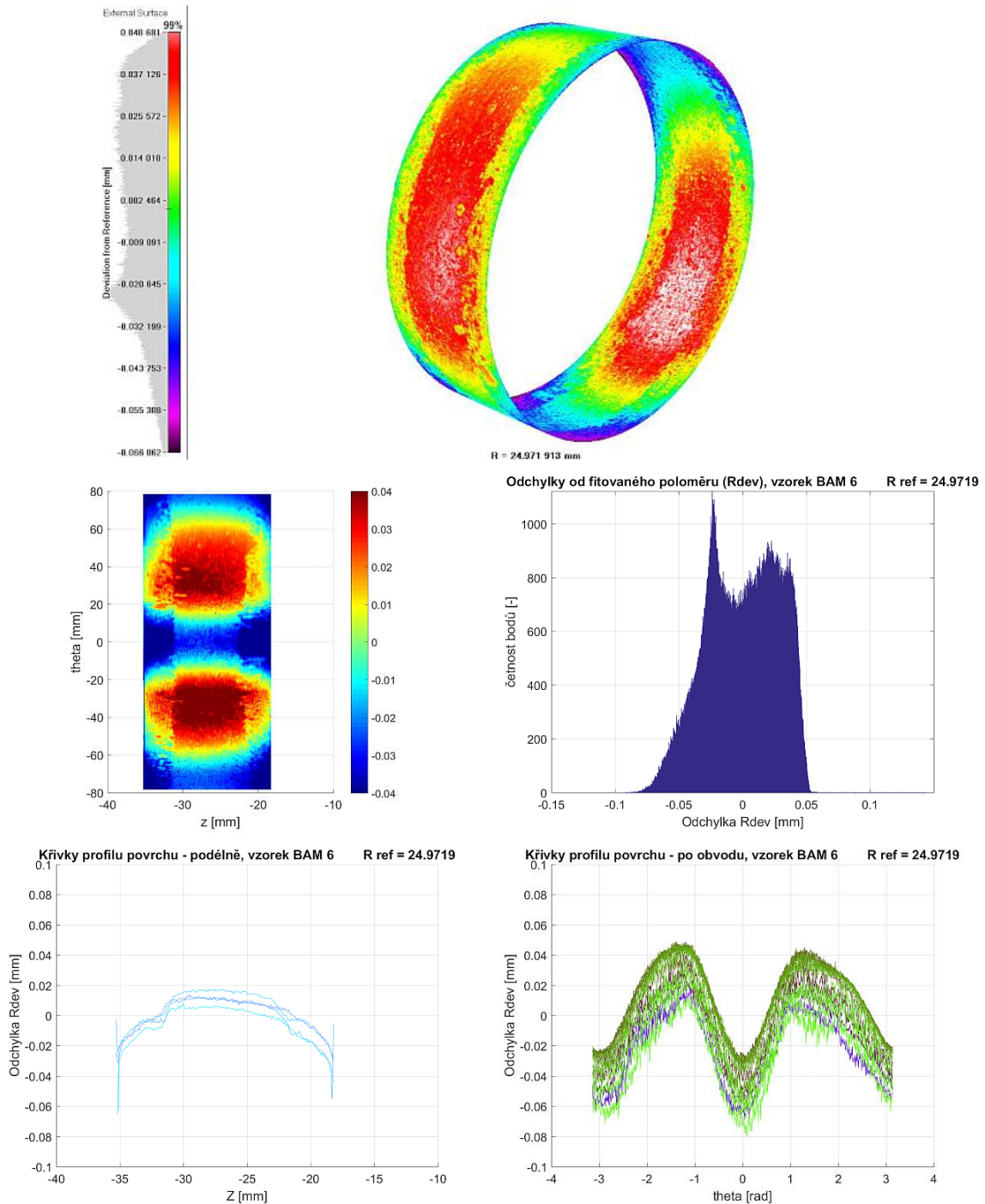
Obr. 11-287 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



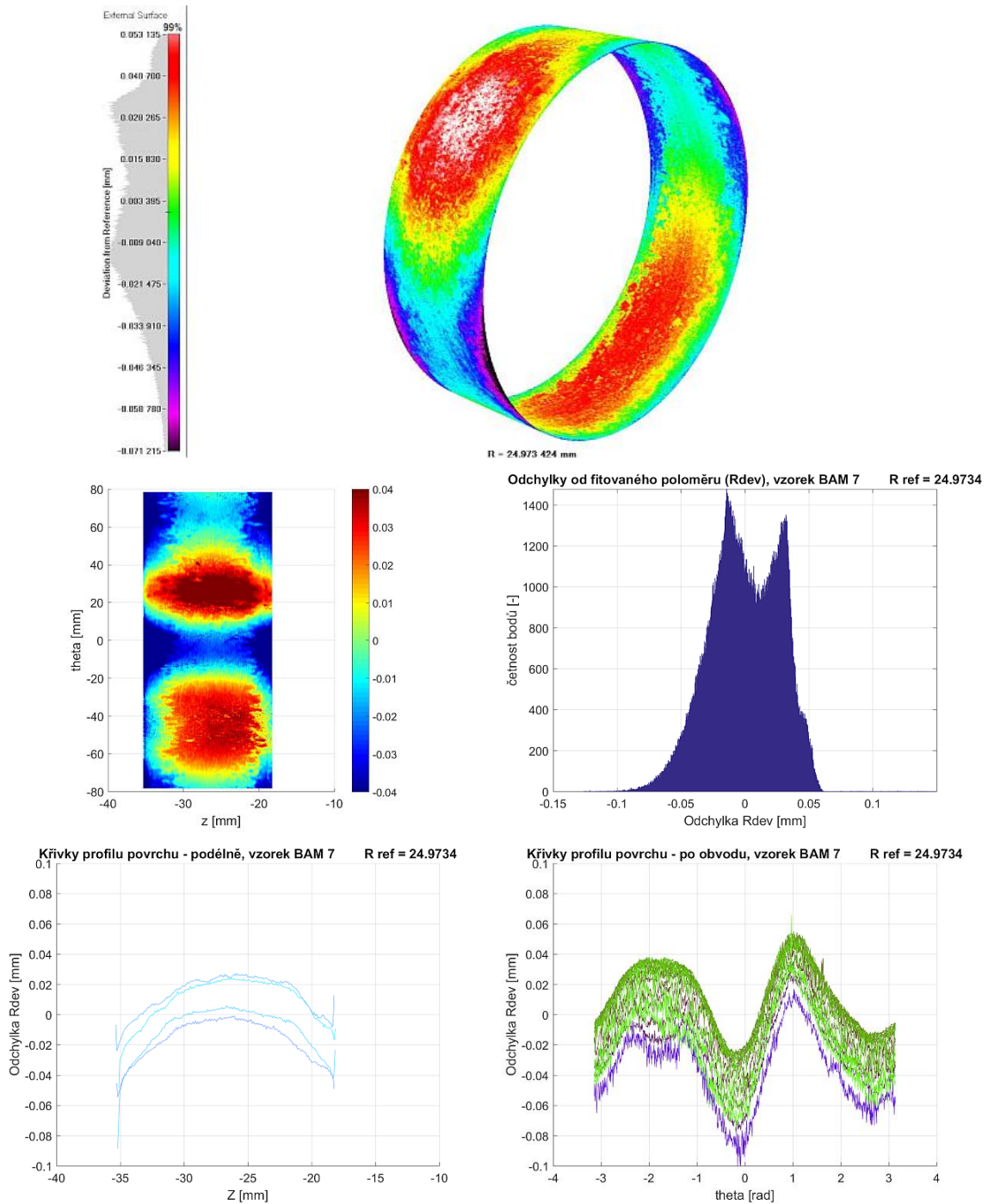
Obr. 11-288 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_04 po odmoření. Nahore 3D vizualizace, uprostřed površová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



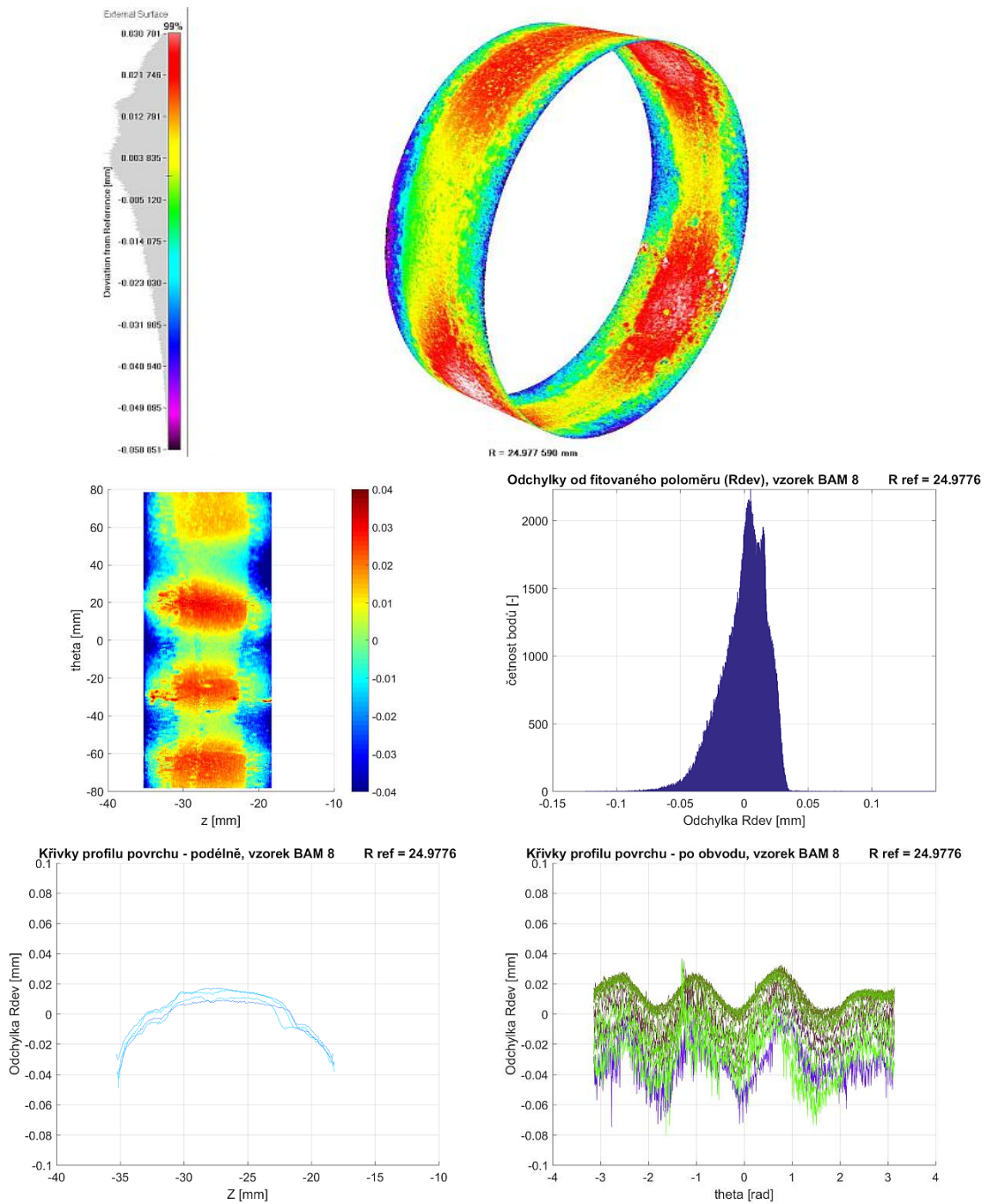
Obr. 11-289 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



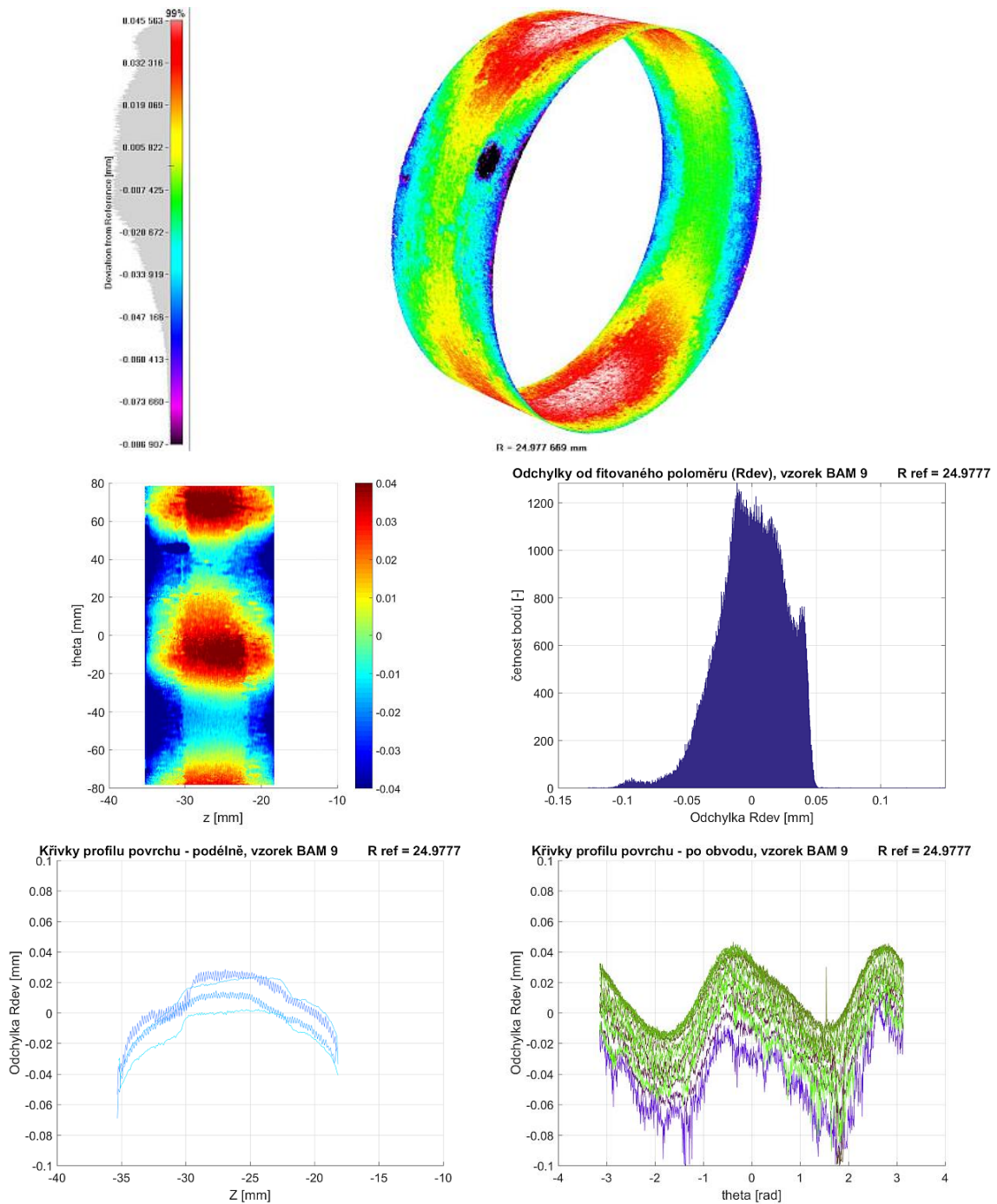
Obr. 11-290 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_06 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



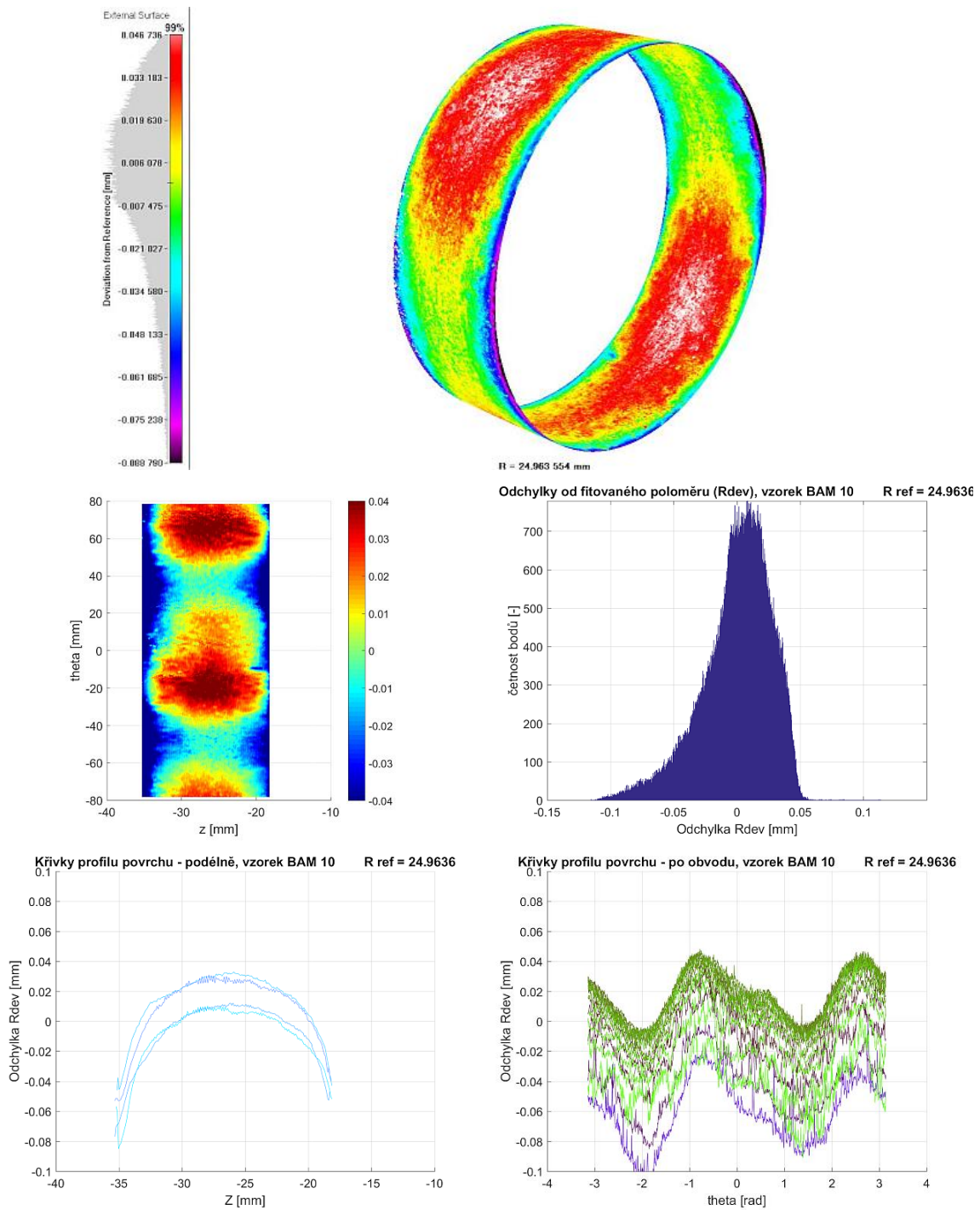
Obr. 11-291 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_07 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



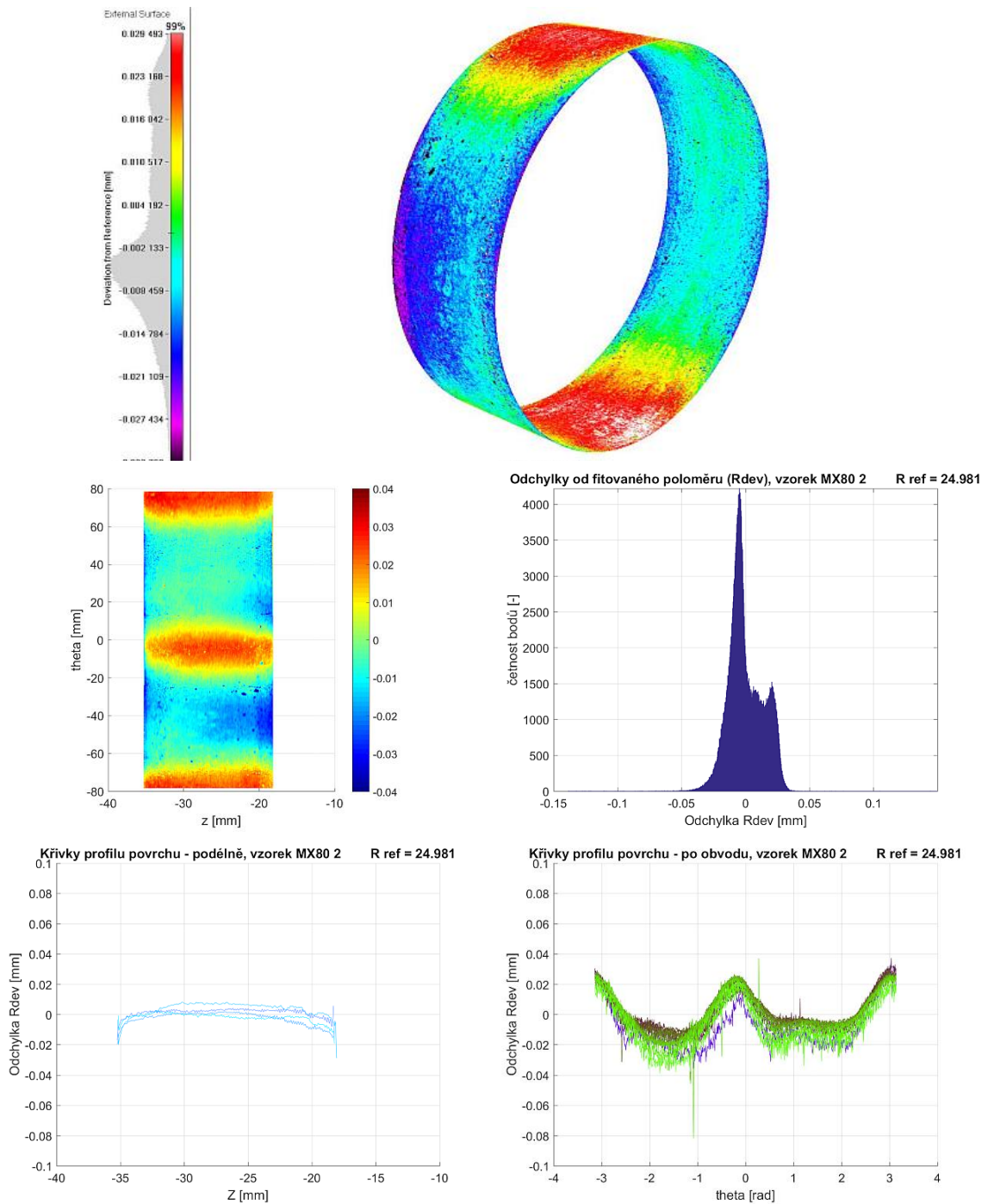
Obr. 11-292 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_08 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



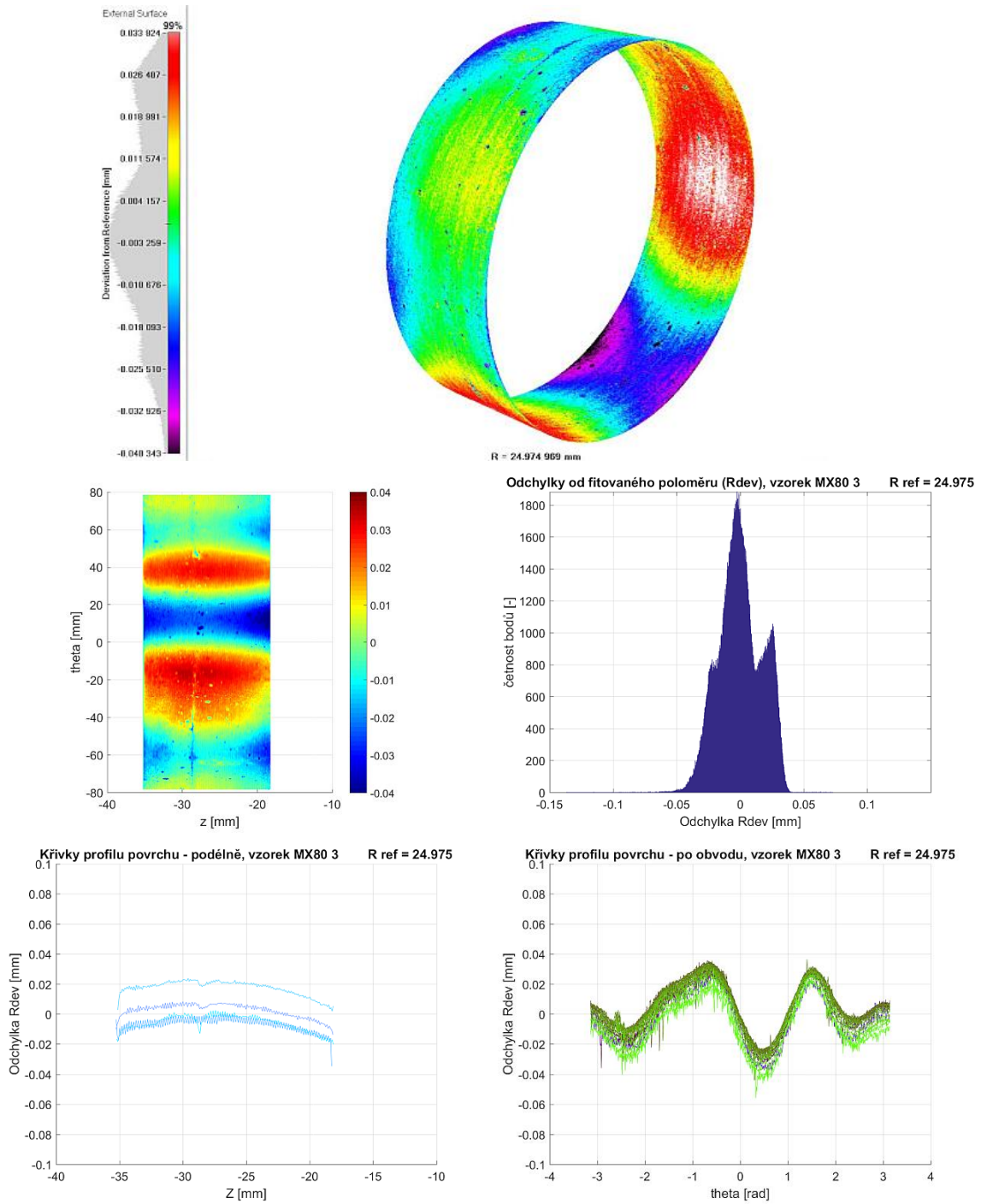
Obr. 11-293 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_09 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



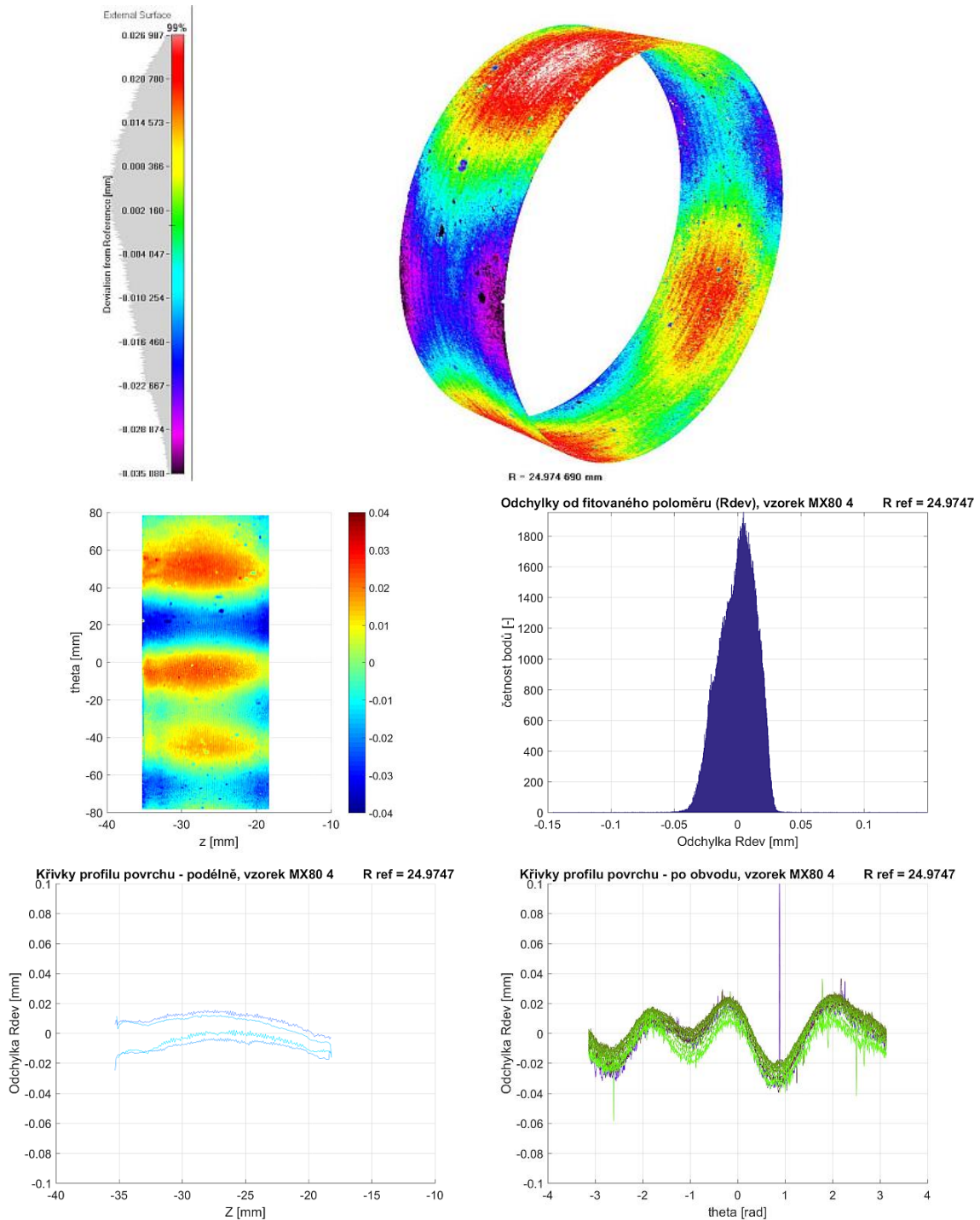
Obr. 11-294 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_1_10 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



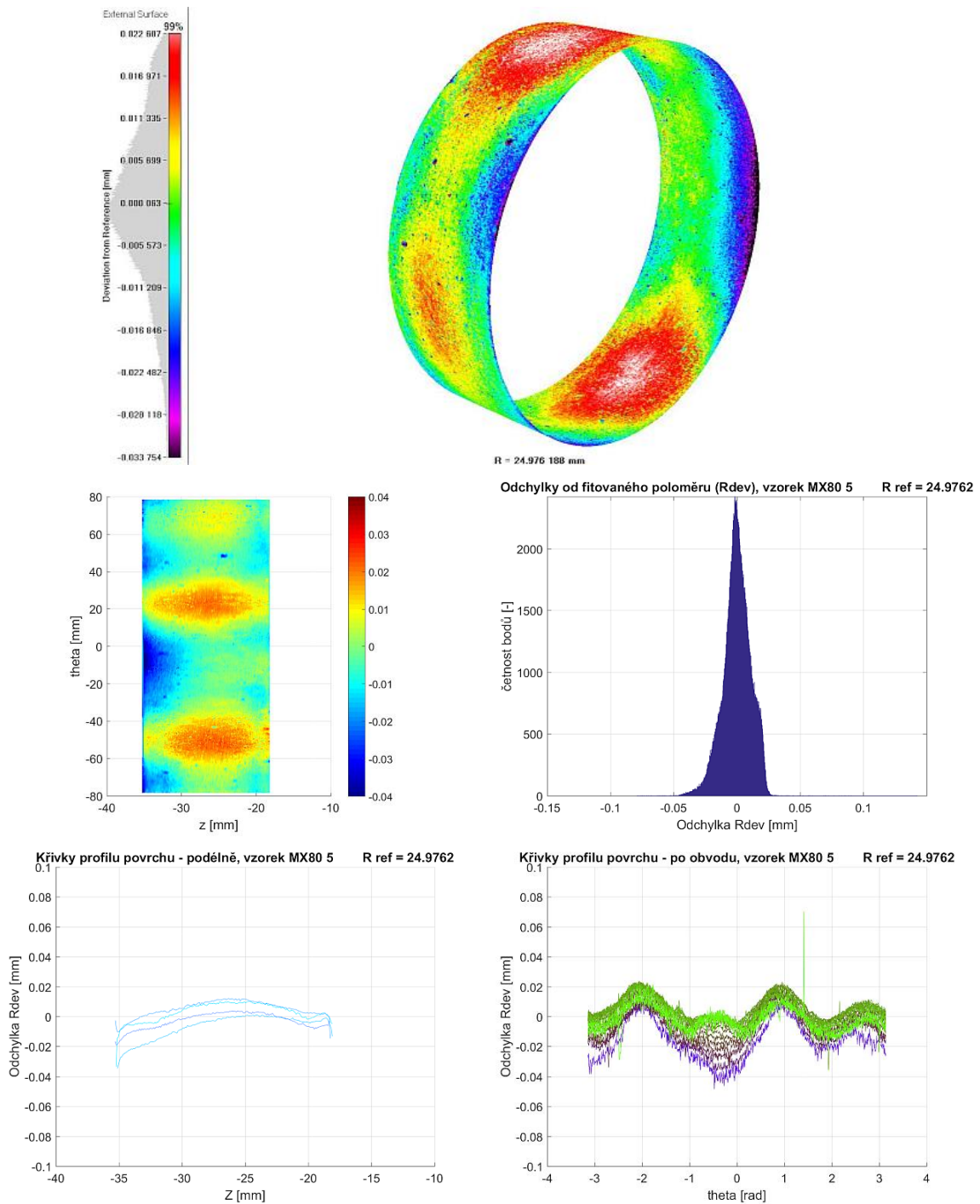
Obr. 11-295 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_02 po odmoření. Nahore 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



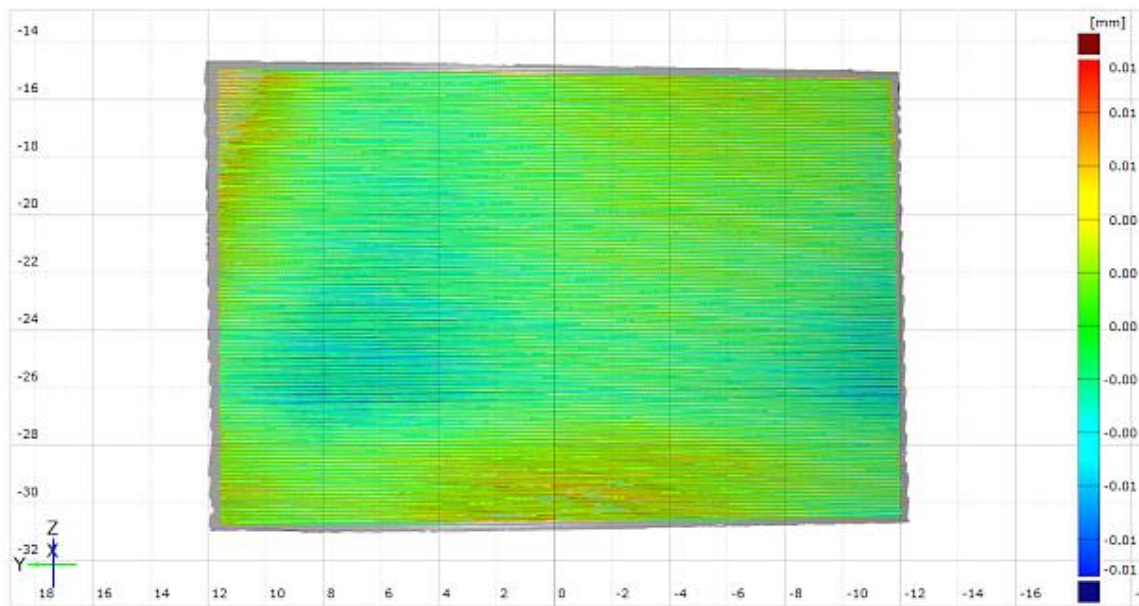
Obr. 11-296 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_03 po odmoření. Nahore 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



Obr. 11-297 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



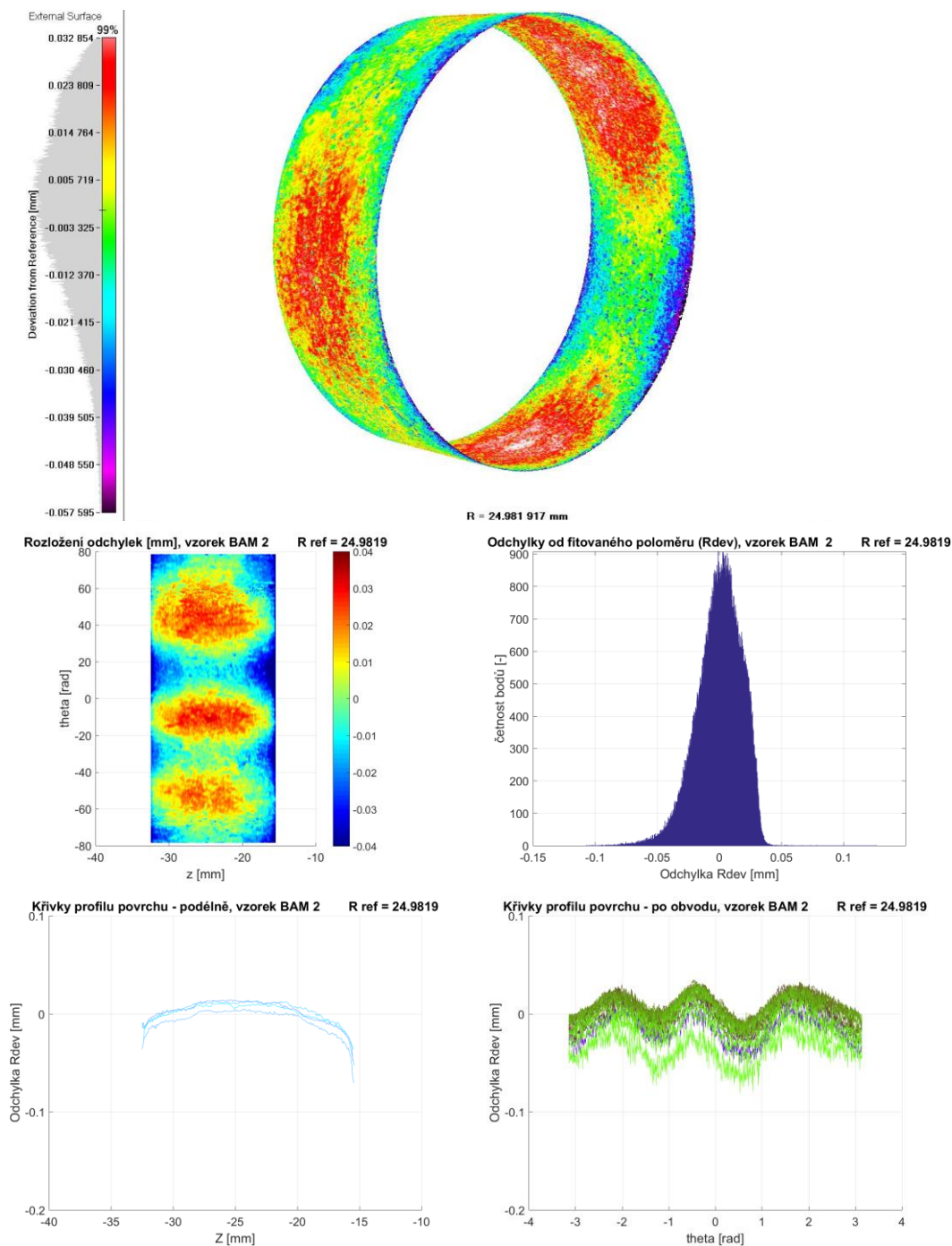
Obr. 11-298 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_1_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



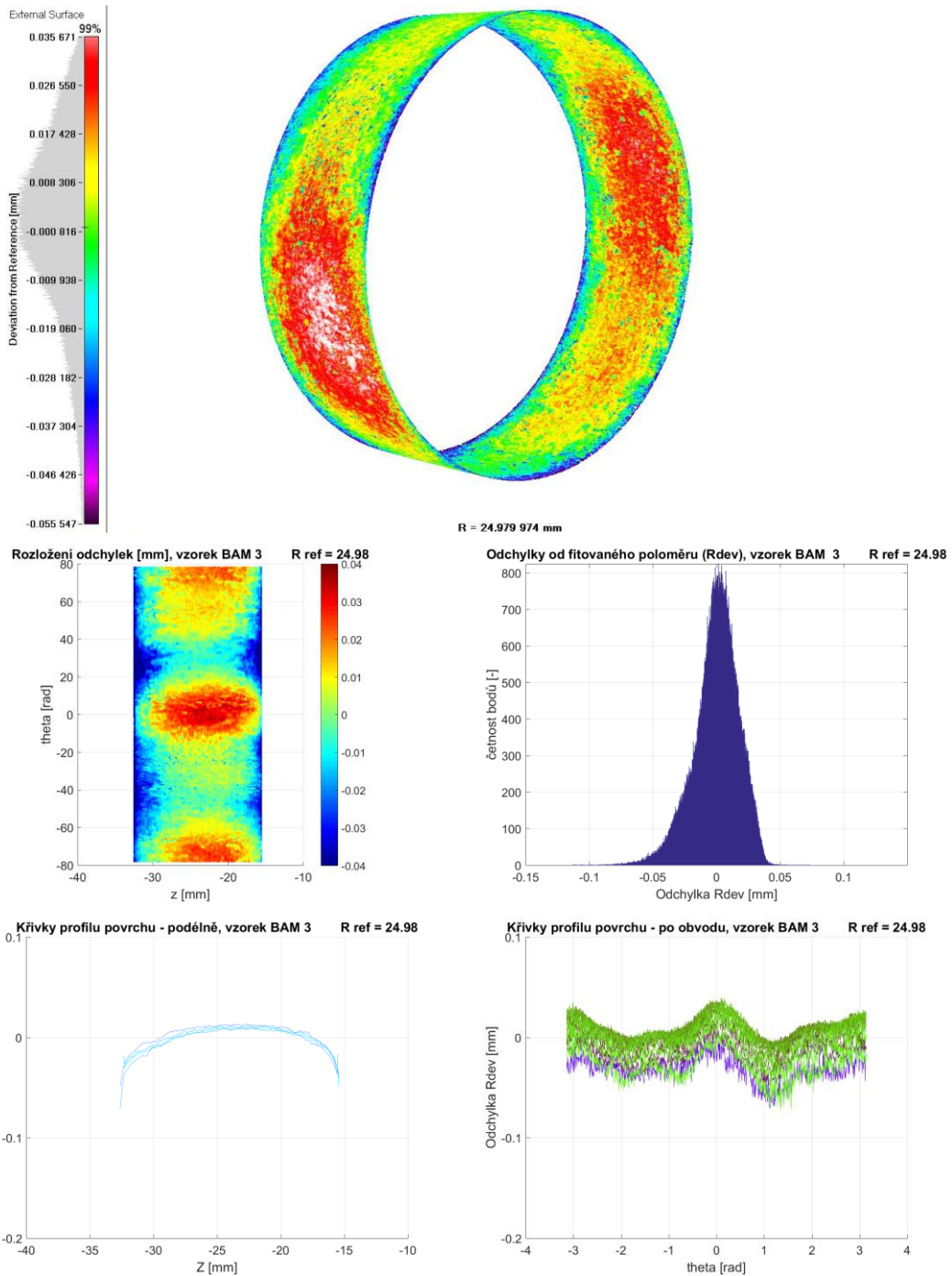
Obr. 11-299 Profilometrie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_7_01

11.36 Profilometrie vzorků po dvouroční korozní zkoušce

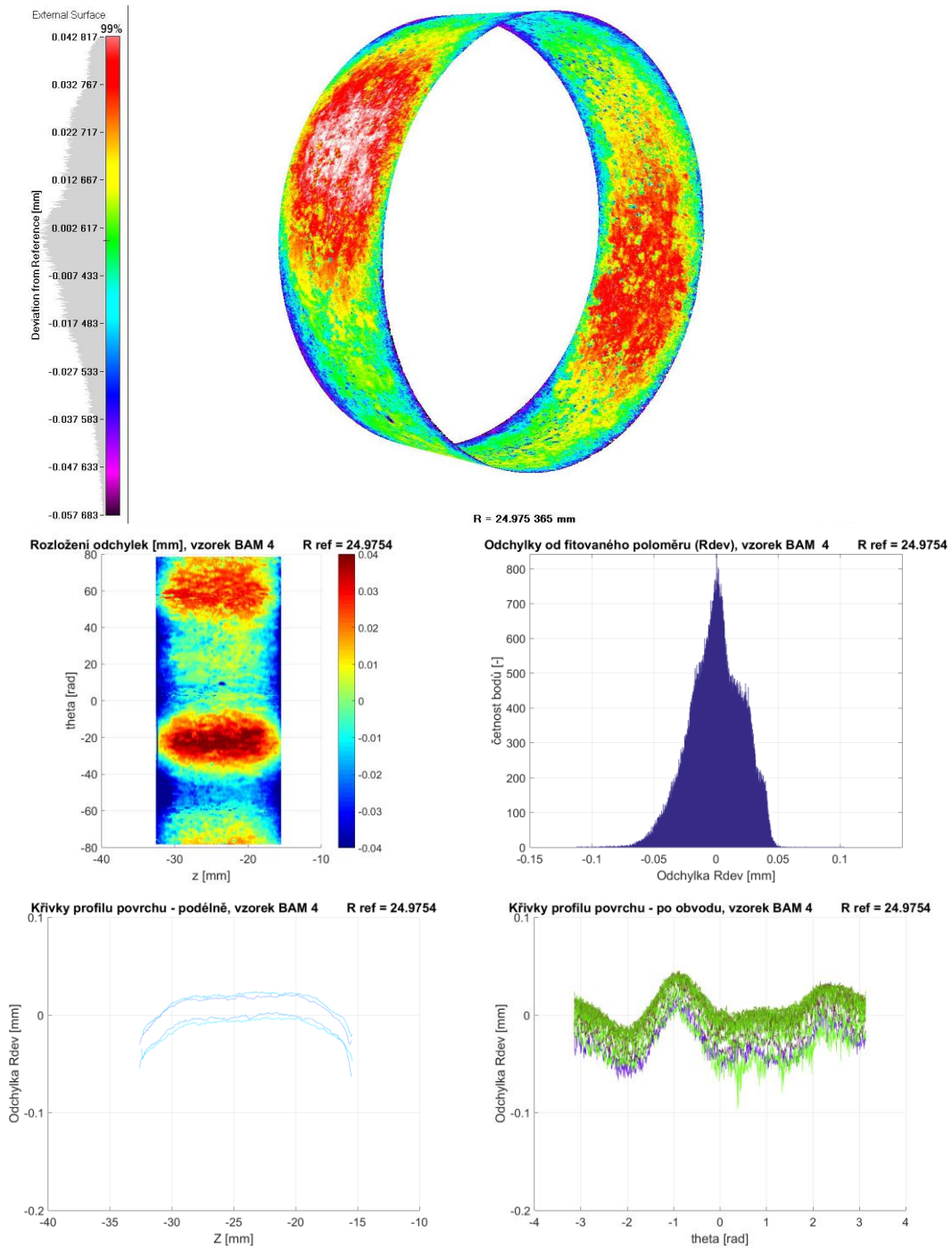
Na následujících Obr. 11-300 až Obr. 11-313, jsou výsledky z měření profilometrie. Konkrétně se jedná o 3D vizualizaci, povrchovou mapu, histogram odchylek, odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu.



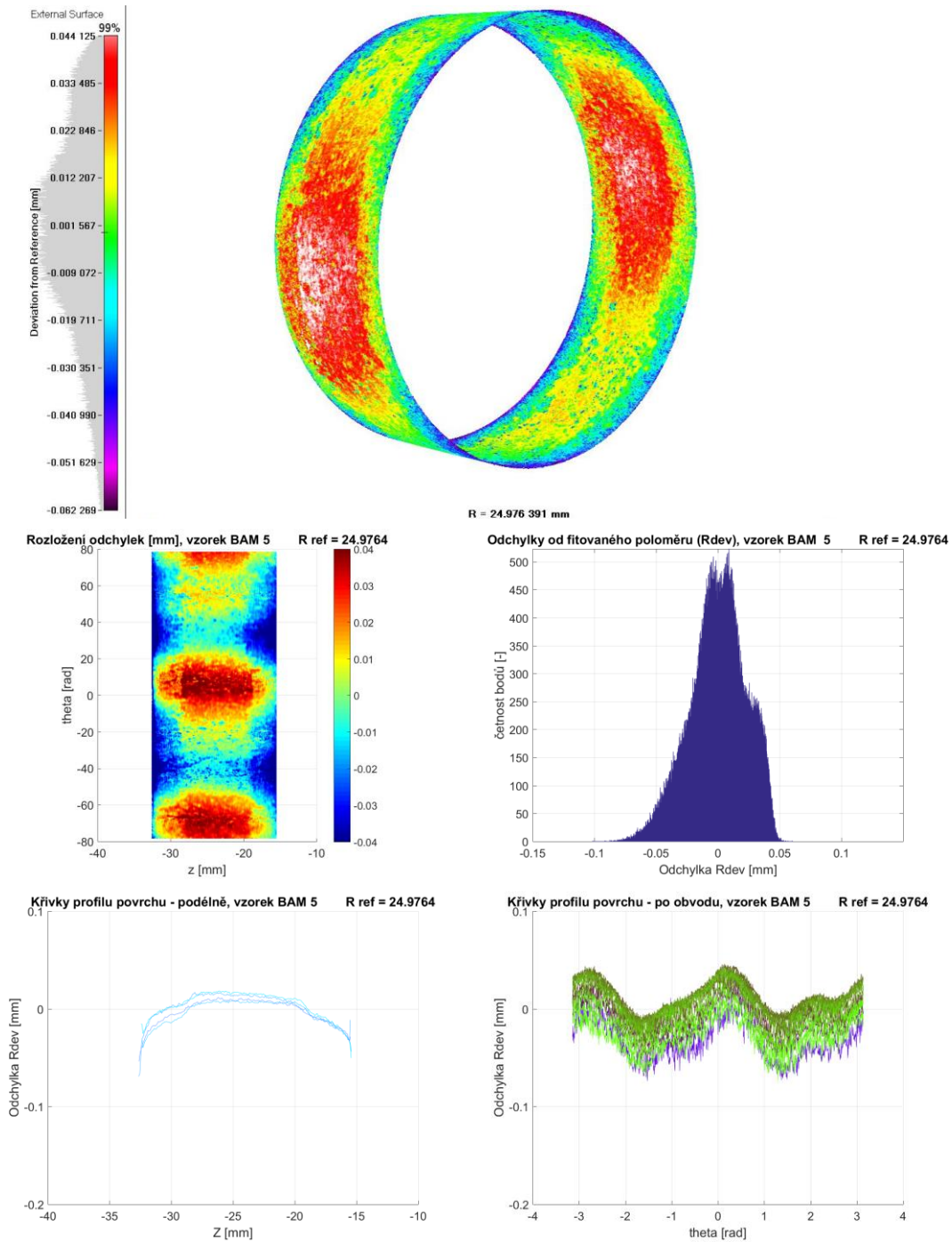
Obr. 11-300 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



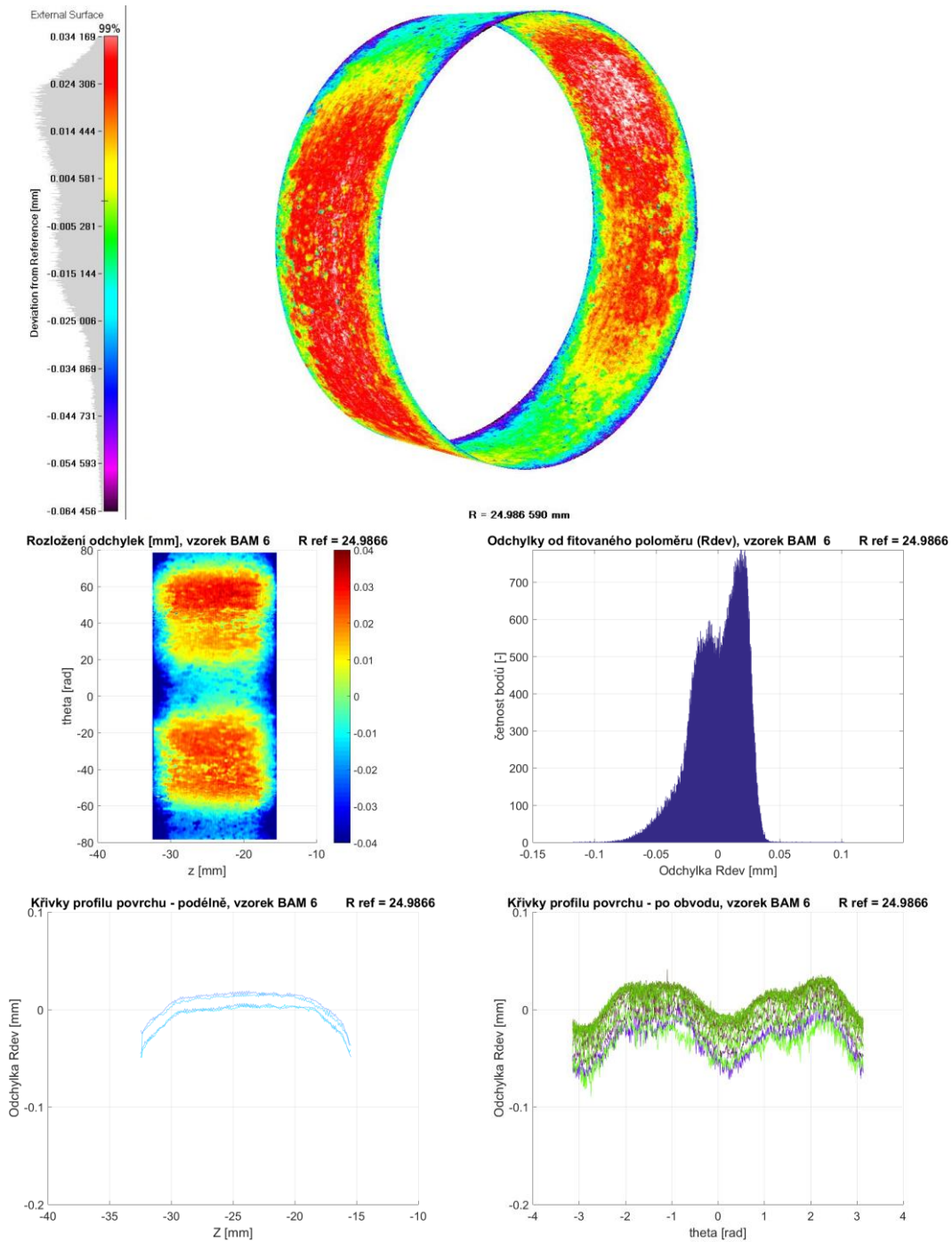
Obr. 11-301 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



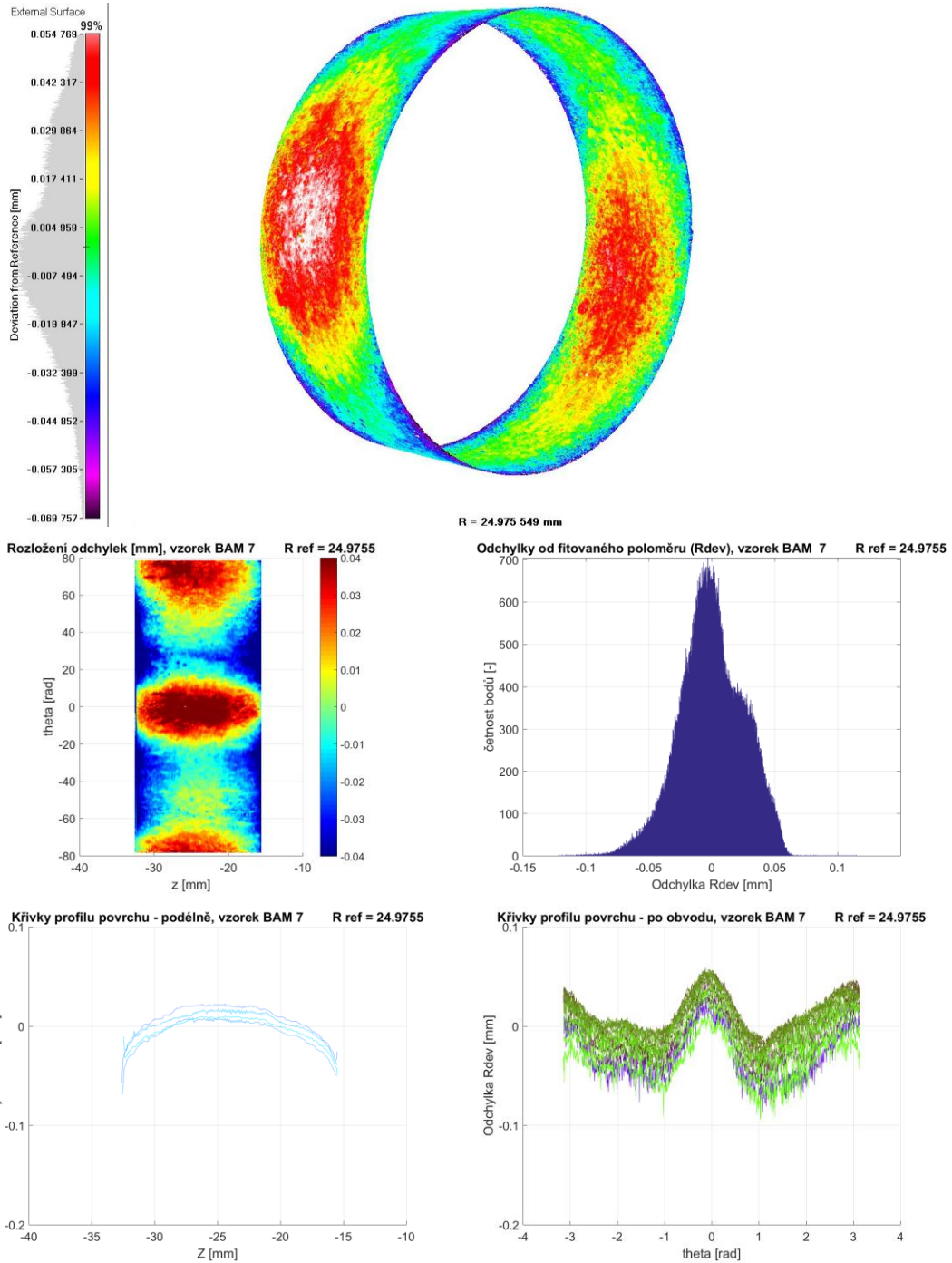
Obr. 11-302 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



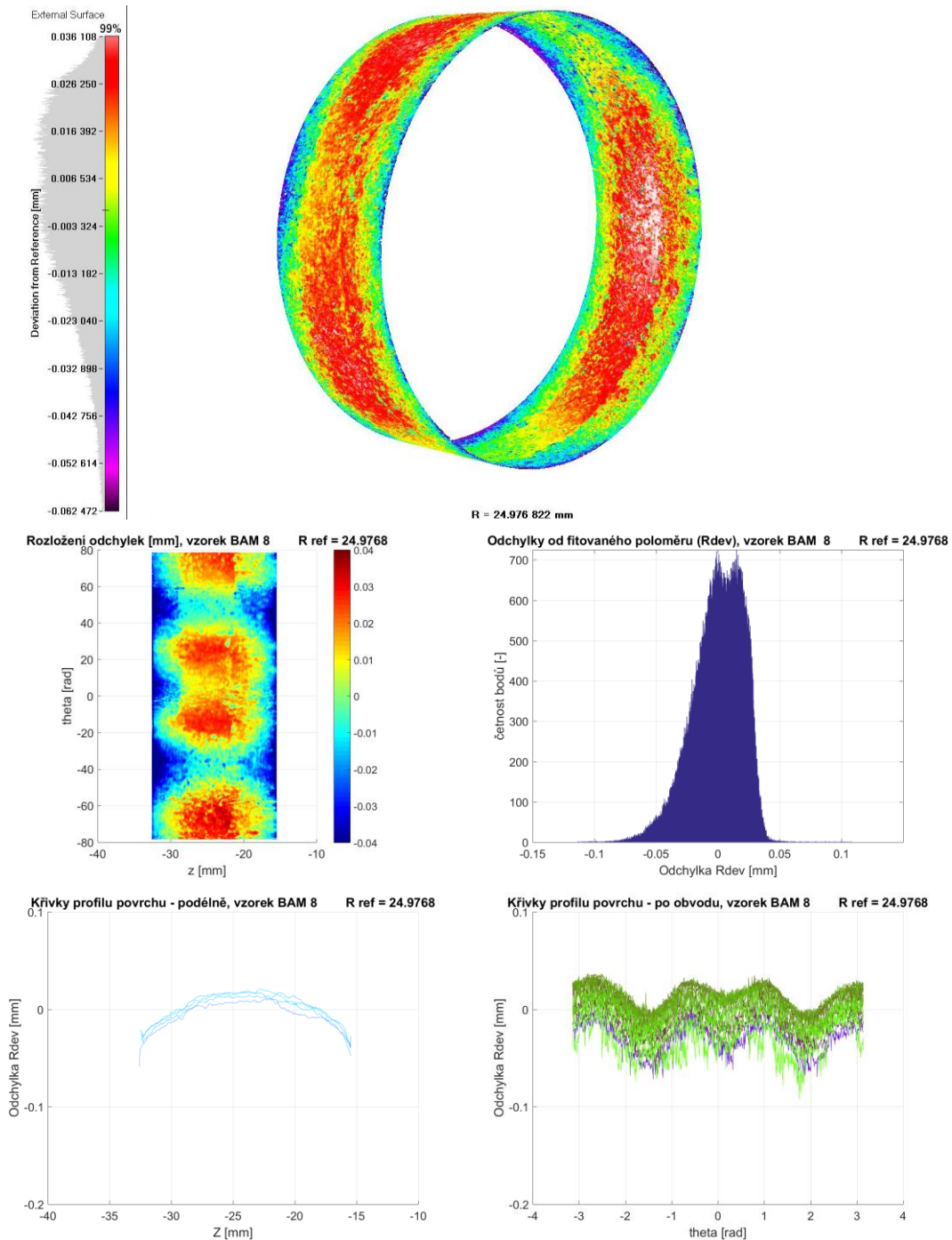
Obr. 11-303 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



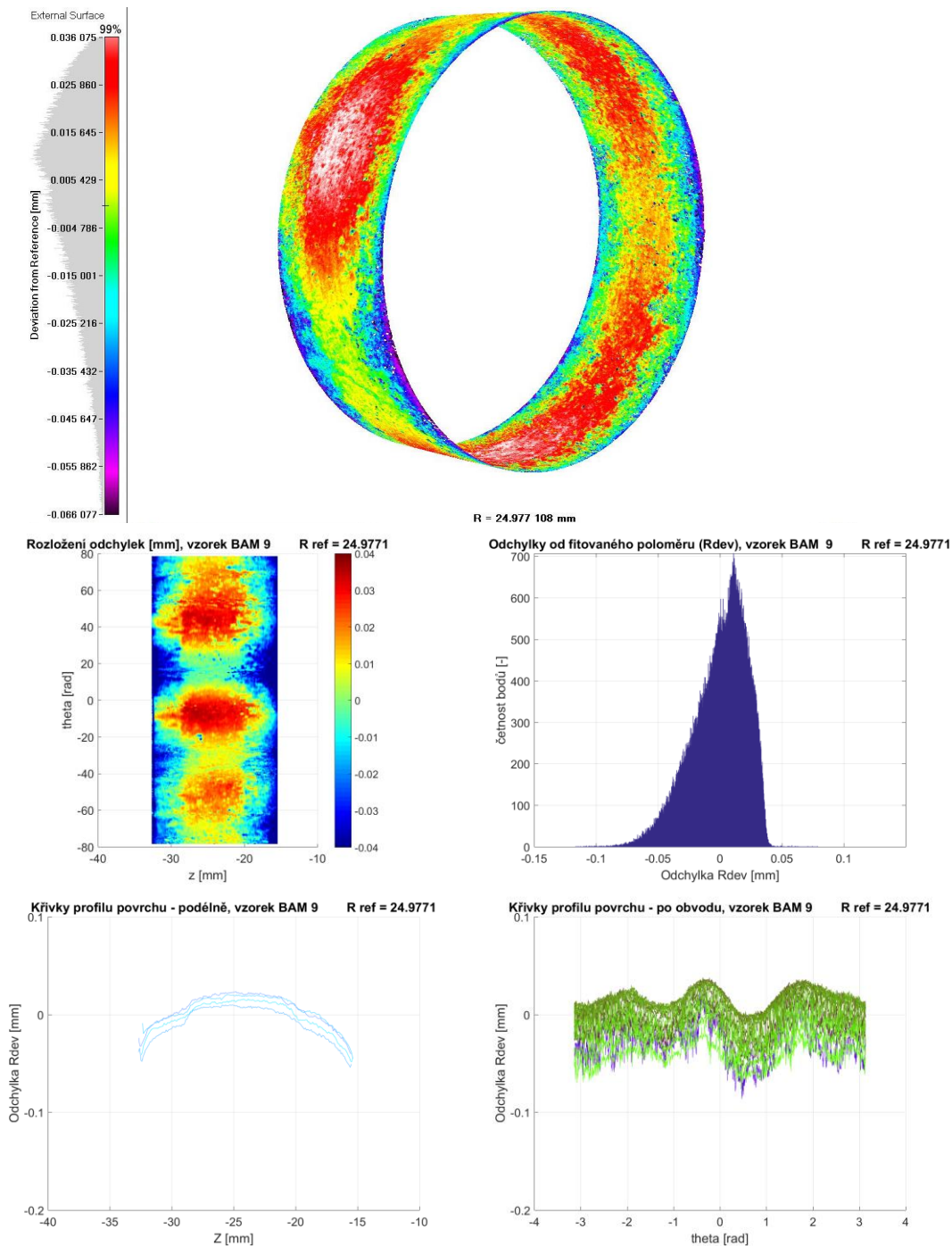
Obr. 11-304 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_06 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



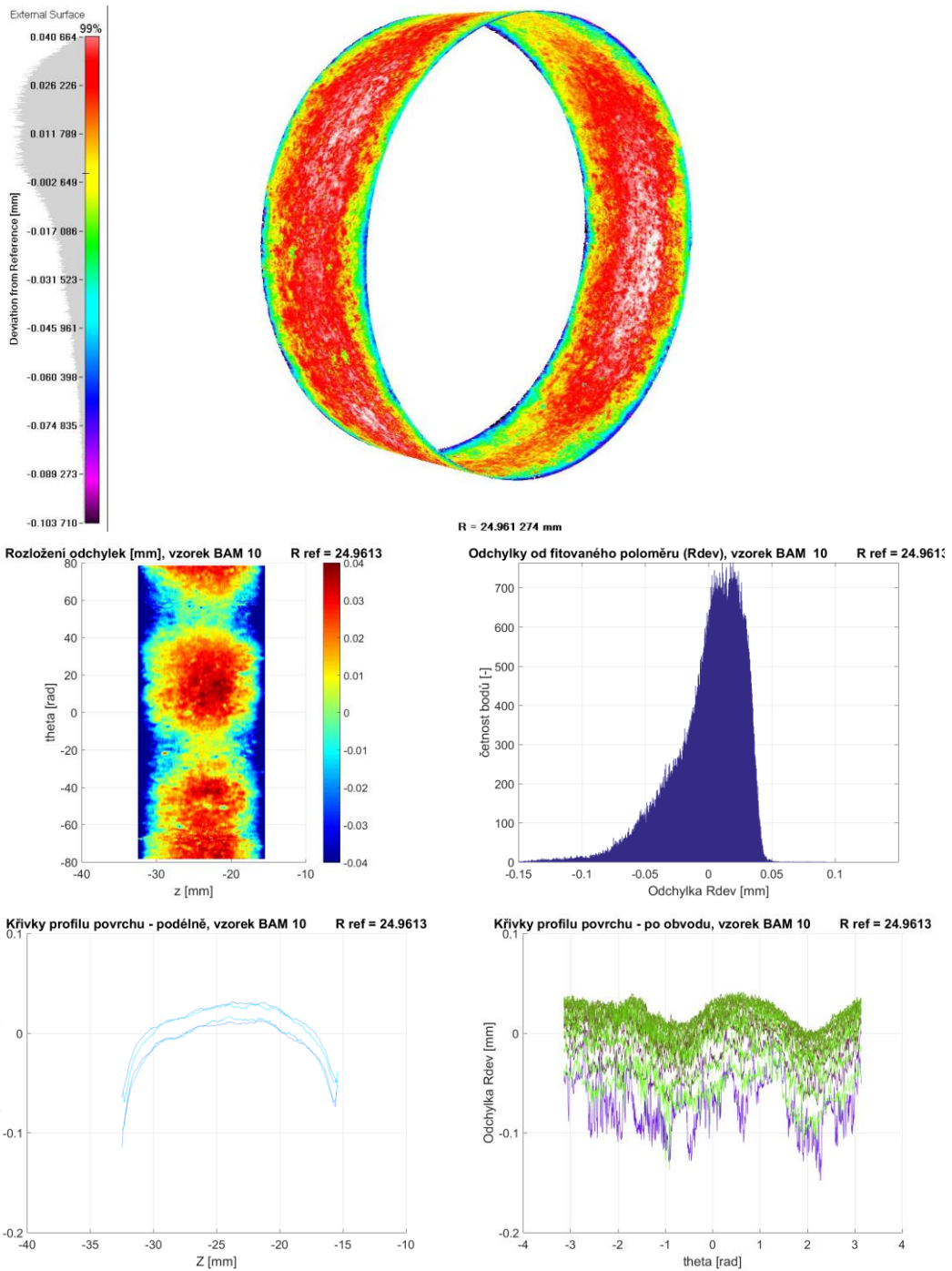
Obr. 11-305 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_07 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



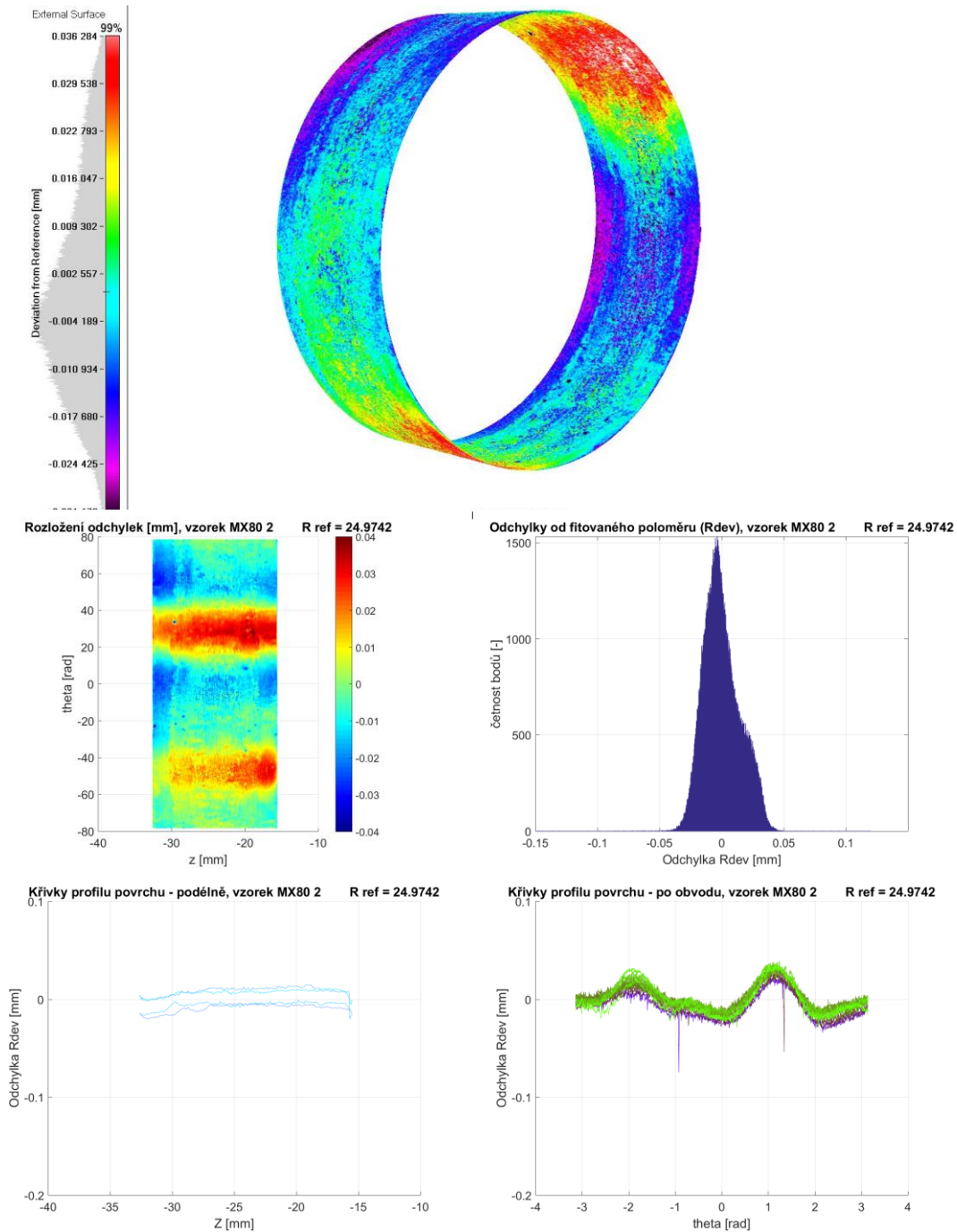
Obr. 11-306 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_08 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



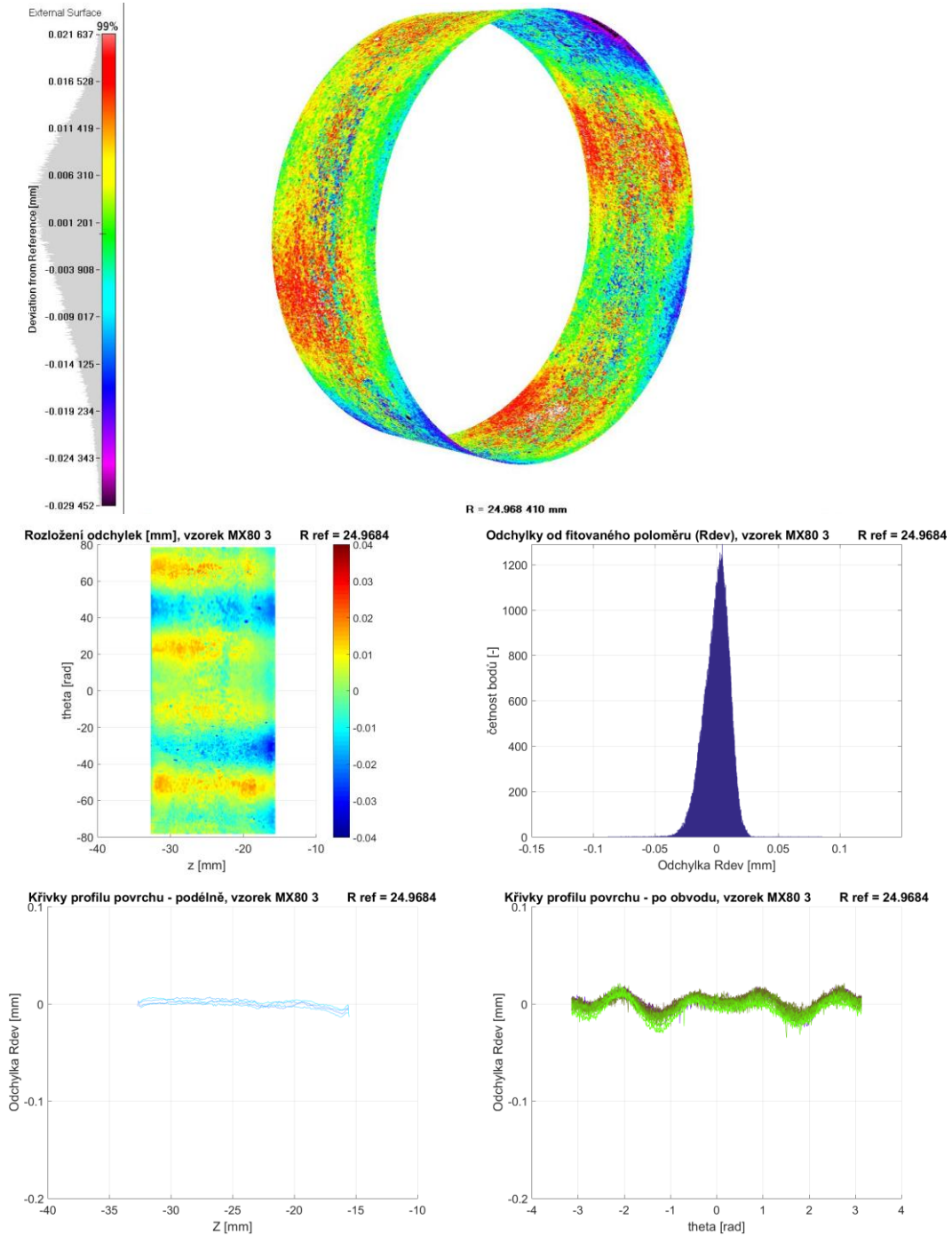
Obr. 11-307 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_09 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



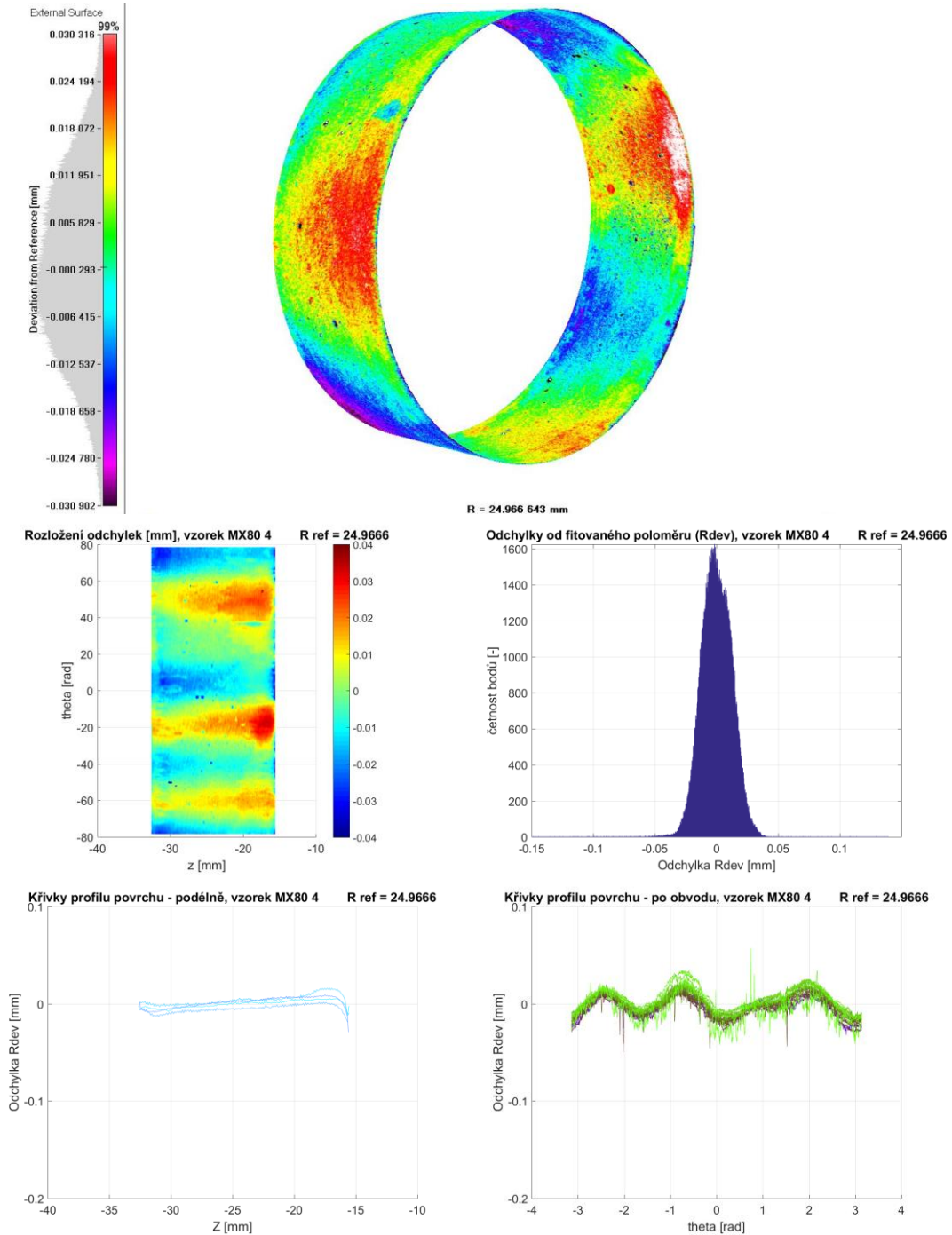
Obr. 11-308 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_BaM_Fe_2_10 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



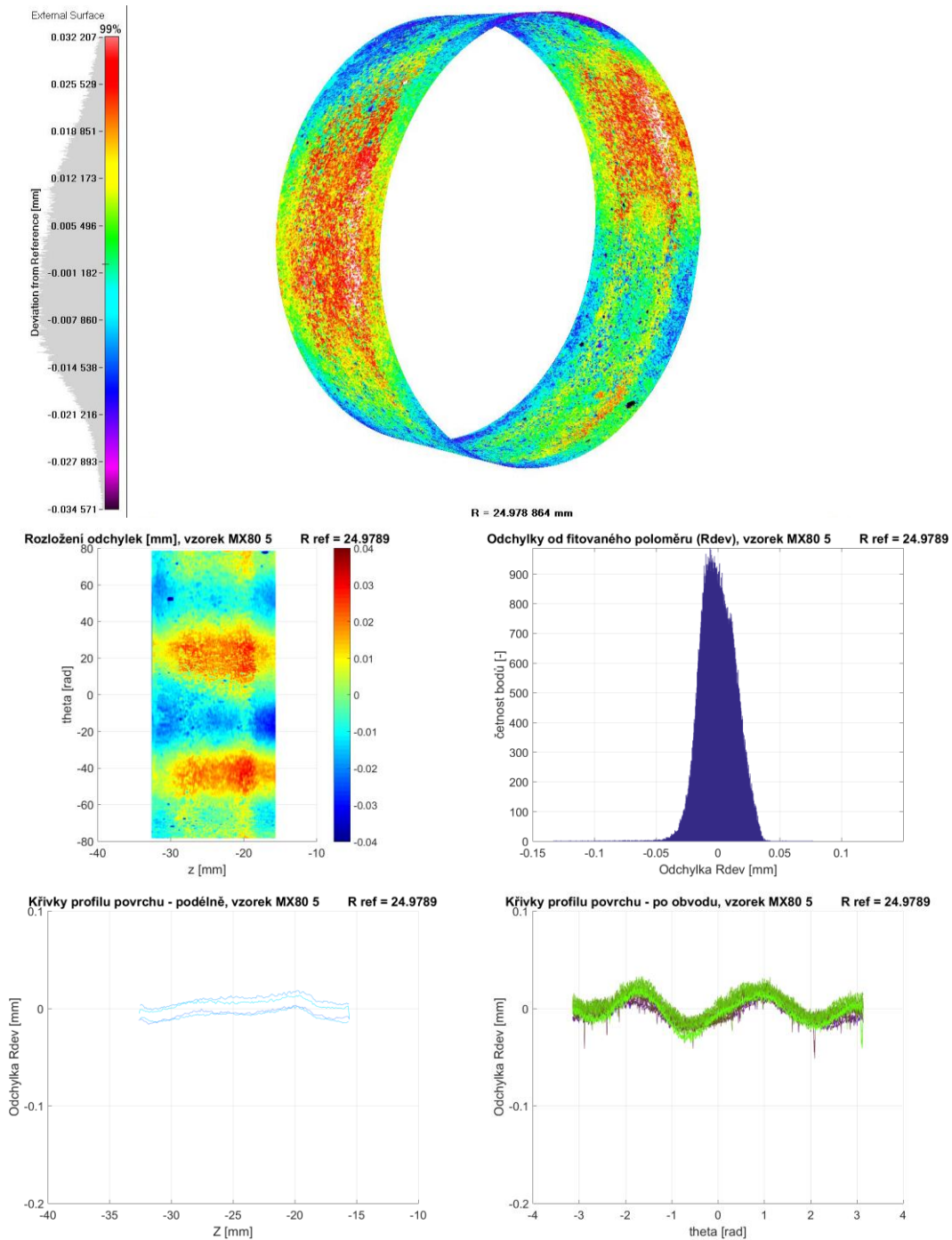
Obr. 11-309 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_02 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



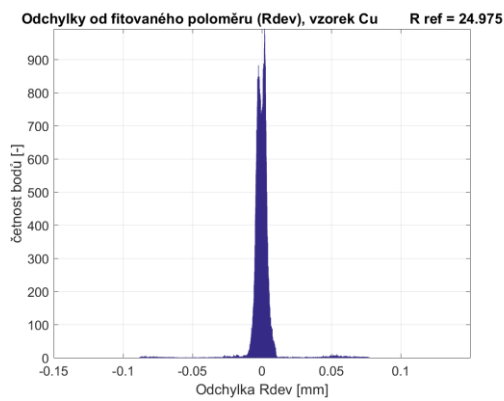
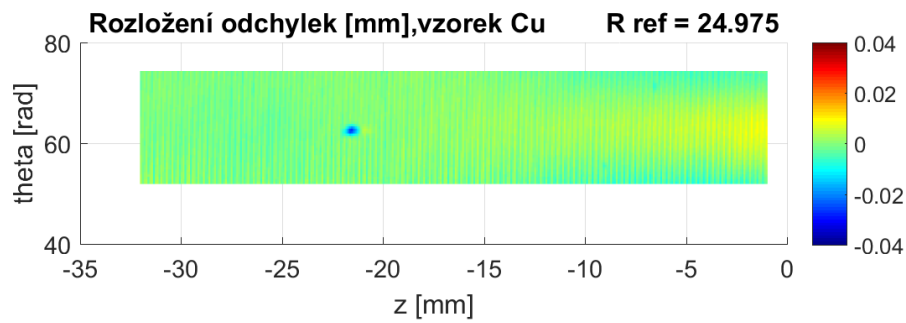
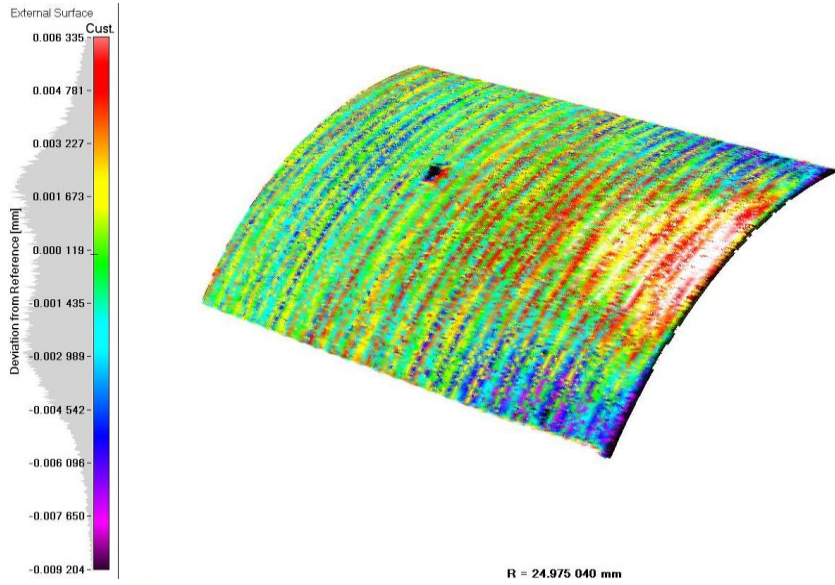
Obr. 11-310 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_03 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchytky od ideálního válce po výšce a obvodu



Obr. 11-311 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_04 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



Obr. 11-312 Profilometrie vzorku uhlíkové oceli MaCoTe_AN_MX80_Fe_2_05 po odmoření. Nahoře 3D vizualizace, uprostřed povrchová mapa a histogram odchylek od ideálního válce, dole odchylky od ideálního válce po výšce a obvodu



Obr. 11-313 Profilometrie vzorku měděného nástřiku MaCoTe_AN_MX80_Cu_2_01

11.37 Nejhojnější mikroorganismy použité pro mikrobiologické analýzy v roce 2017

V tabulce Tab. 11-52 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je uveden přehled detekovaných mikroorganismů v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitů.

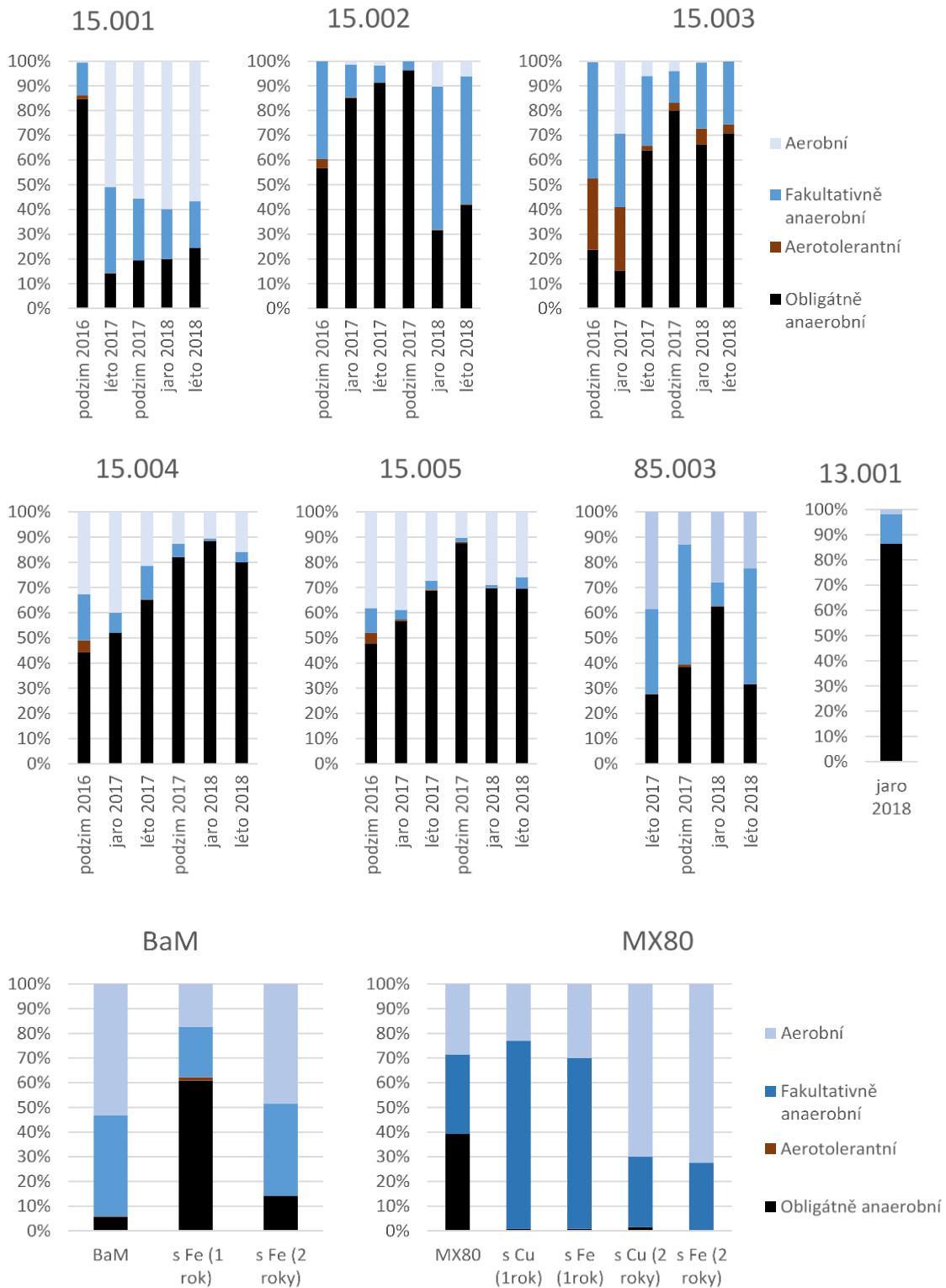
Tab. 11-52 Názvy nejhojnějších OTU byly přiřazeny podle veřejně dostupné databáze GenBank nástrojem BLAST. Tabulka obsahuje nejpřesnější možné zařazení. Pokud nebyl k dané OTU nalezen pojmenovaný mikroorganismus, je ponecháno číslo OTU se zařazením na úrovni kmene či domény. Odstín výplně v jednotlivých polích odpovídá počtu sekvencí daného OTU ve vzorku (čím tmavší, tím více zastoupeny)

Klasifikace	15.001_11_2016	15.002_11_2016	15.003_11_2016	15.004_11_2016	15.005_11_2016	15.002_4_2017	15.003_4_2017	15.004_4_2017	15.005_4_2017	15.001_7_2017	15.002_7_2017	15.003_7_2017	15.004_7_2017	15.005_7_2017	85.003_7_2017	BaM_původní	BaM-Fe-1rok	MX80-Cu-1rok	MX80-Fe-1rok
Alkaliphilus sp.	8538	34	53	20	1698	6719	41	52	9684	169	4114	68	4	5166	212	304	4556	0	49
Erysipelothrix sp.	680	8266	6585	2437	616	1979	4044	655	196	38	756	8152	489	114	36	2	46	78	0
Methanobacterium flexile	1597	4107	1344	154	3059	522	647	136	519	259	3871	11546	2248	3832	526	6	81	0	2
Thermaerobacter sp.	0	1	1	2681	7532	1	59	1413	7976	0	0	1	861	3972	232	0	5	19	0
Desulfotomaculum sp.	611	824	468	282	1	4034	899	145	0	1	3742	6385	144	2	11	8	627	0	0
Gelria glutamica	0	0	3	7778	11	0	195	5553	2	1	0	0	4380	0	29	1	0	0	0
Magnetobacterium sp.	11	0	939	168	277	3217	2933	923	1083	936	993	3425	1093	681	343	0	17	0	0
Pseudomonas fluorescens	0	39	58	0	0	32	18	5	2	0	0	21	0	0	54	121	530	7750	7978
Anaerovirgula sp.	261	1	4959	913	855	1	4903	0	147	17	0	844	29	74	16	21	123	0	0
Silanimonas lenta	0	0	0	0	0	0	16	4	0	10802	227	1487	42	25	154	1	0	0	0
Peptococcaceae	0	0	1307	1	0	0	415	0	0	1	0	7047	10	2	9	0	0	101	9
Thermacetogenium sp.	0	0	0	2755	5	0	81	1754	1	0	0	0	3403	0	21	0	0	0	0
Rhodoferax sp.	0	0	1	2	4	3	2444	1151	394	23	0	856	198	2	12	240	26	0	0
Acetobacterium submarinus	4	0	1	17	1	0	160	1944	18	2	0	2437	1870	52	100	2	6	0	0
Gracilibacter sp.	33	94	251	29	3031	69	132	37	1731	405	17	205	12	377	21	0	0	0	0
Anaerovorax sp.	0	3986	31	13	1	1181	100	4	0	2	177	65	0	0	0	0	0	0	0
Roseococcus sp.	1	2	4	8	19	2	19	12	5	4357	64	544	14	8	74	1	0	0	0
Acetoanaerobium sp.	33	3459	338	99	154	652	43	9	51	103	102	56	9	5	0	0	1	0	0
Thermanaeromonas sp.	0	0	0	22	0	0	61	1657	0	0	0	0	3244	2	33	0	0	0	0
Thermaerobacter sp.	0	0	0	720	1	0	81	2619	4	0	0	0	1445	0	7	0	0	0	0
Rhodocyclaceae	24	54	23	7	23	20	113	74	43	2256	40	290	36	21	121	0	8	1	0
Chlorobiales	34	81	320	1	113	219	101	10	53	1636	126	284	5	31	16	0	0	0	0
Thermaerobacter sp.	0	0	0	1967	3	0	13	490	0	0	0	0	392	0	5	0	0	2	0
Alkaliphilus sp.	2341	11	15	5	398	4	0	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Sphingomonas melonis	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0	0	25	96	941	1610
Lutispora thermophila	0	495	5	0	0	1588	3	12	0	0	499	4	0	0	0	0	0	0	0

Geosporobacter ferrireducens	95	1441	26	42	44	655	3	29	5	9	95	12	8	12	2	5	61	0	0
Pseudomonas geniculata	0	0	0	0	0	8	3	3	3	1	0	11	1	1	0	4	85	894	1182
Thiobacillus thioparus	16	0	2	2	0	0	3	2	3	0	0	1	1	1	1379	763	13	0	0
Bradyrhizobium yuanningense	0	0	0	0	0	0	3	2	0	114	0	6	0	0	25	321	92	716	715
Desulfotomaculum sp.	14	129	124	77	555	13	16	1	426	0	2	80	1	483	23	2	24	0	0
OTU44 (Nitrospirae)	0	0	0	56	30	0	1	71	210	0	0	0	13	2	1379	0	0	0	0
Streptomyces sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1584	0	2	0	0
Magnetobacterium sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1309	0	0	0	0
OTU54 (Chloroflexi)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	919	238	0	0
OTU58 (Nitrospirae)	3	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1021	0	0	0	0
Arthrobacter humicola	4	8	5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	13	430	500	0	31
Syntrophaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	953	0	0	0	0
Nocardioides sp.	1	0	3	0	0	0	6	20	16	0	0	8	12	0	0	624	159	0	0
OTU68 (Archaea)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	884	0	0	0	0
Nitrosomonas sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	806	63	0	0
Anaerolineae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	579	128	0	0
Ralstonia pickettii	1	2	0	2	5	2	7	2	0	0	2	8	1	1	7	178	364	0	0

11.38 Zhodnocení mikroorganismů z hlediska nároků na kyslík (rok 2018)

Na Obr. 11-314 je zobrazeno zhodnocení mikroorganismů v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitů z hlediska jejich nároku na kyslík.



Obr. 11-314 Nároky na kyslík v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitu

11.39 Zhodnocení mikroorganismů z hlediska trofických strategií (rok 2018)

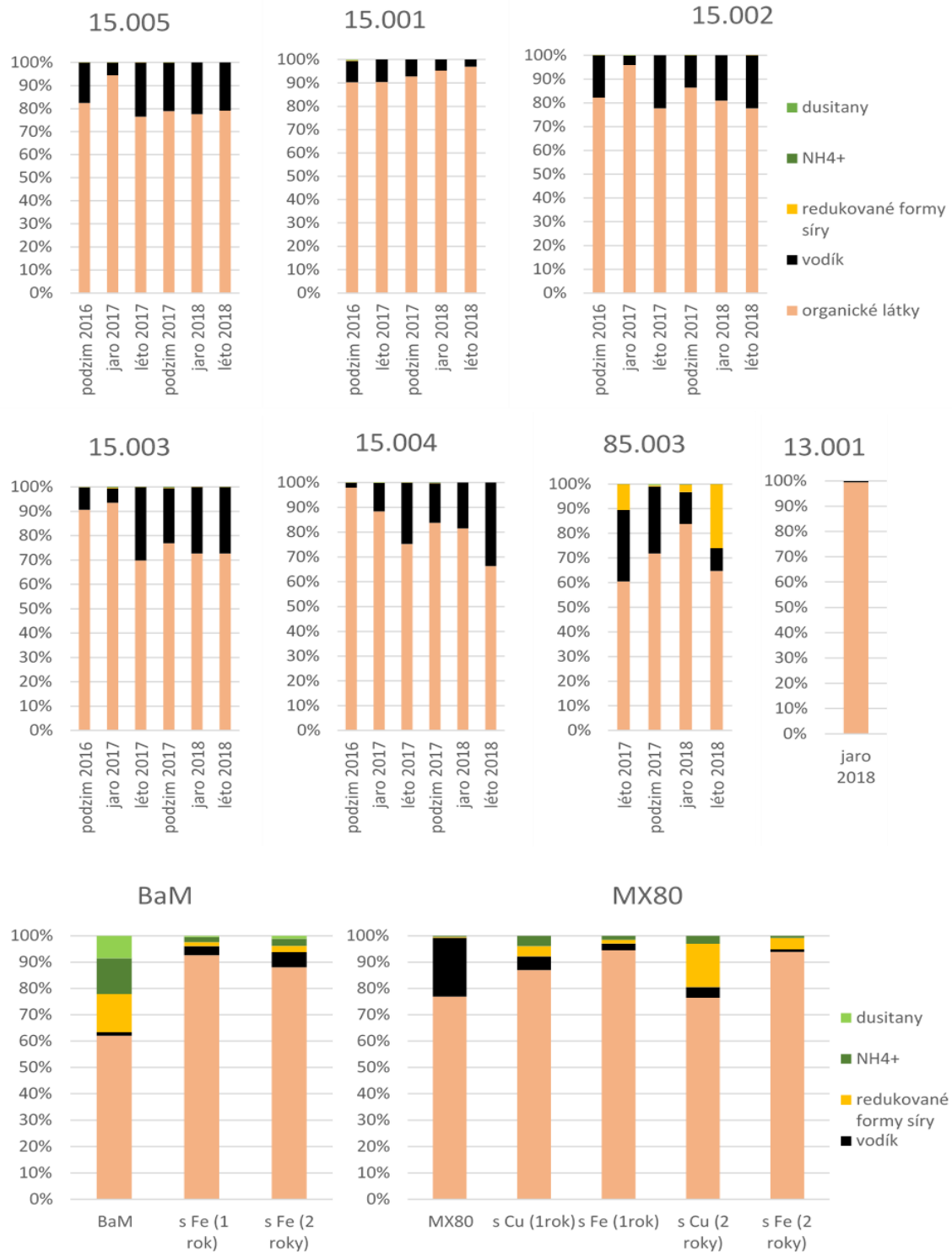
Na Obr. 11-315 je zobrazeno zhodnocení mikroorganismů v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitů z hlediska jejich trofické strategie



Obr. 11-315 Zastoupení různých trofických strategií v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů

11.40 Zhodnocení mikroorganismů z hlediska donorů elektronů (rok 2018)

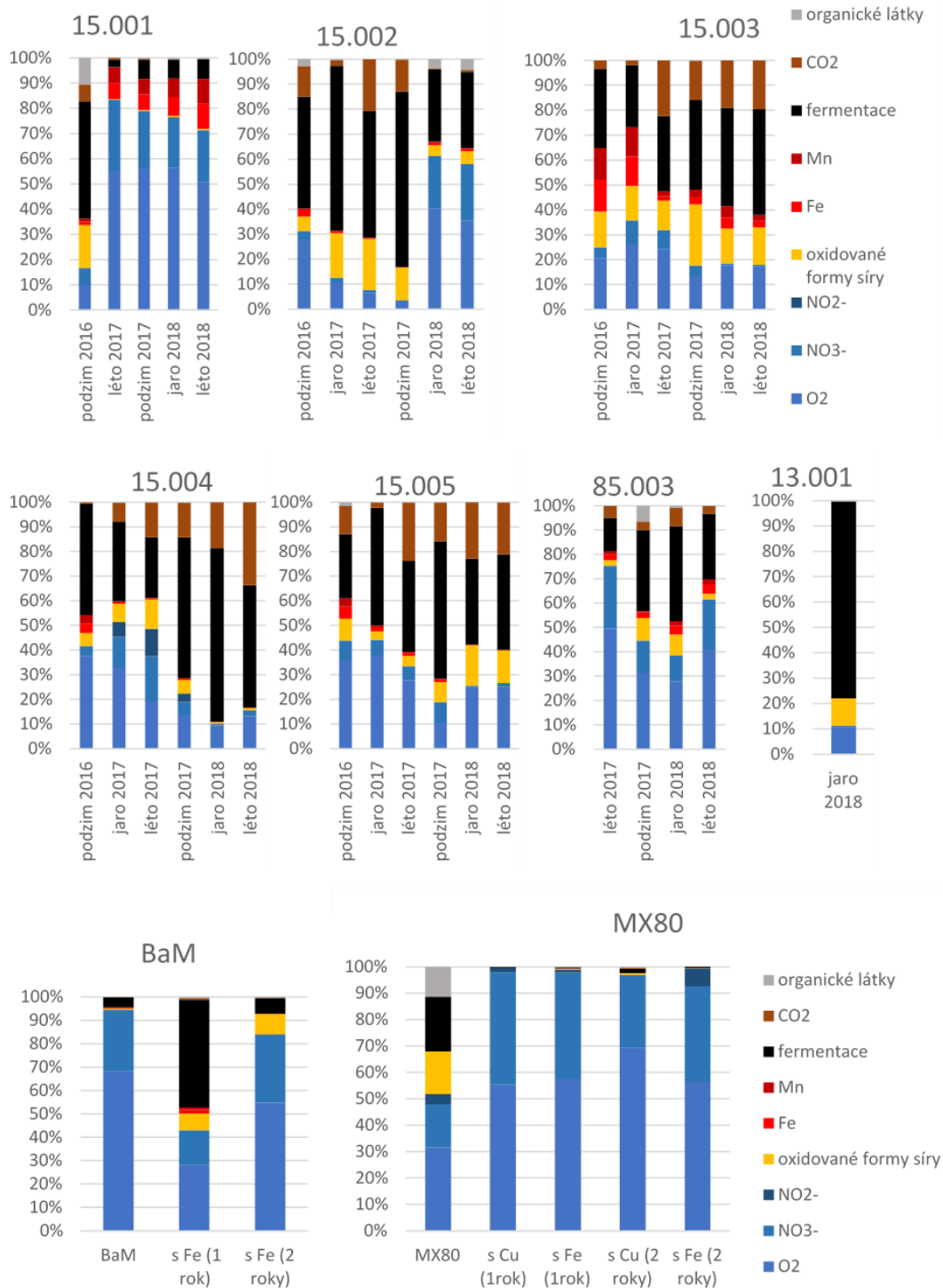
Na Obr. 11-316 je zobrazeno zhodnocení mikroorganismů v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitů z hlediska využívaných donorů elektronů



Obr. 11-316 Využívané donory elektronů v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů

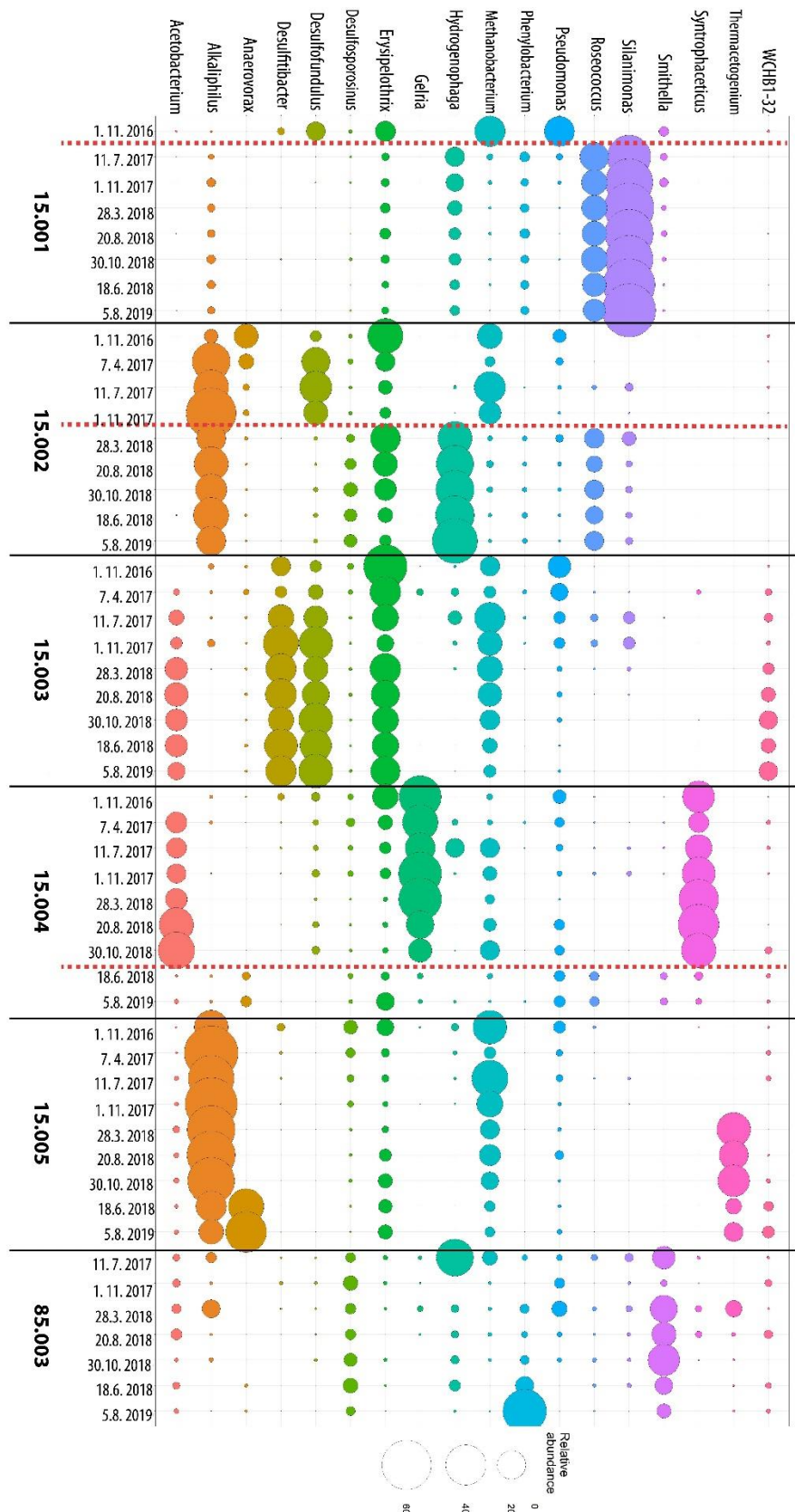
11.41 Zhodnocení mikroorganismů z hlediska terminálních akceptorů elektronů (rok 2018)

Na Obr. 11-317 je zobrazeno zhodnocení mikroorganismů v jednotlivých vrtech a vzorcích bentonitů z hlediska využívaných terminálních akceptorů elektronů

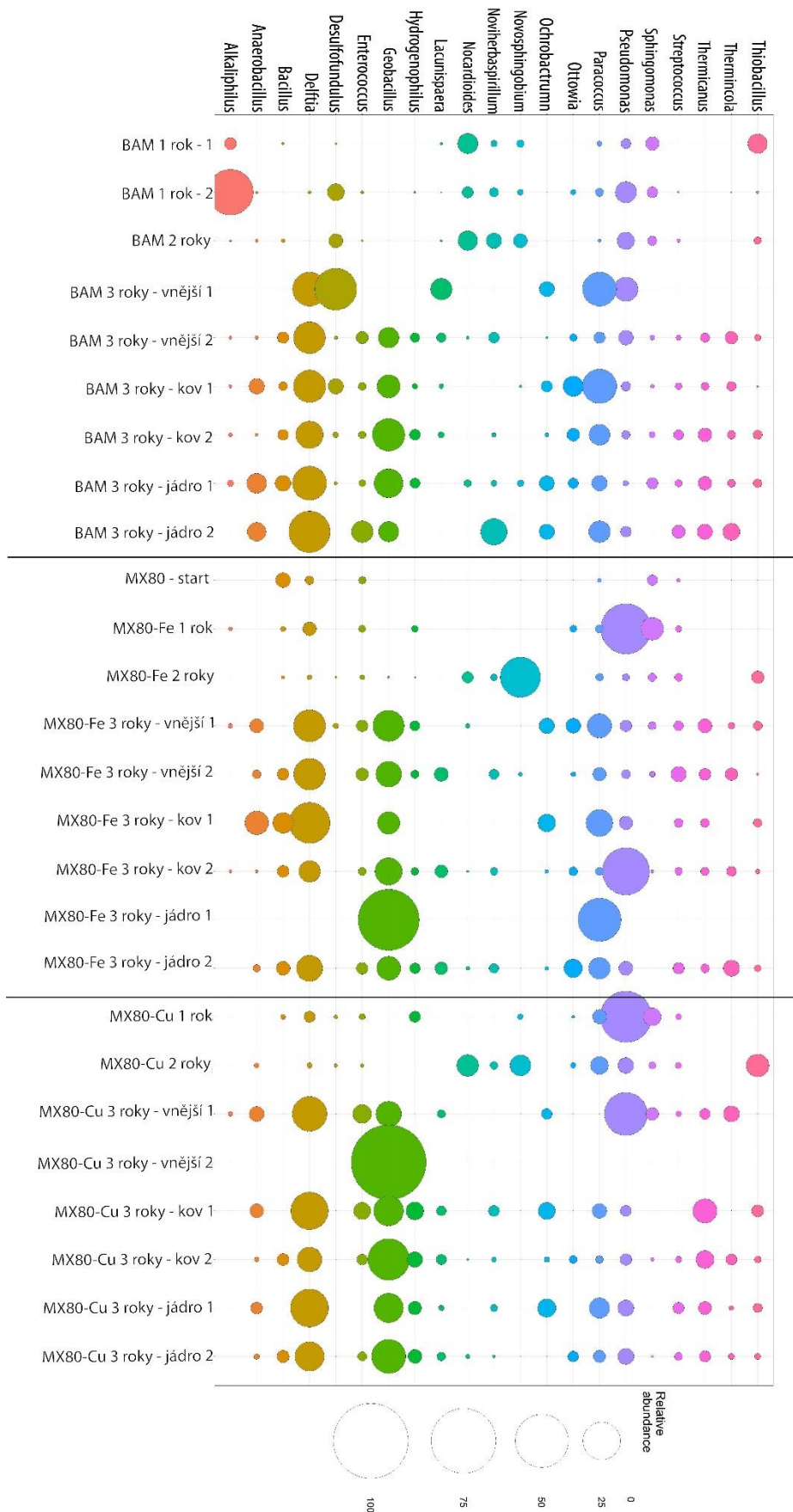


Obr. 11-317 Využívané terminální akceptory elektronů v jednotlivých vzorcích vody a bentonitů

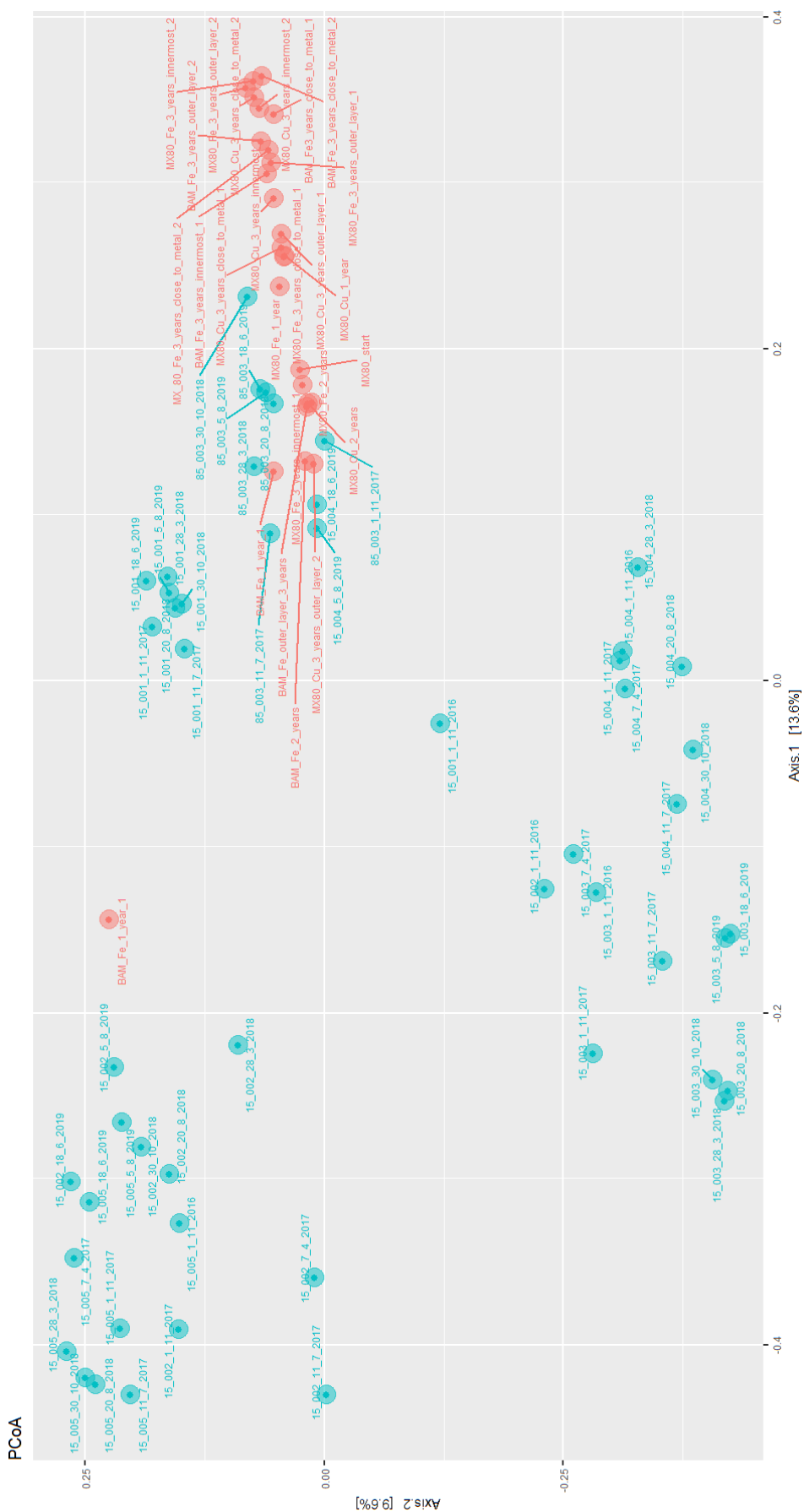
11.42 Výsledky mikrobiologických analýz rok - rok 2020



Obr. 11-318 Výsledky amplikonového sekvenování oblasti 16S rRNA – vzorky podzemní vody. Velikost barevných bodů odpovídá relativní hojnosti daného mikroorganismu ve vzorcích. Červené šrafované čáry značí vyjmutí modulu z vrtu. Zobrazeno 18 nejhojnějších taxonů.



Obr. 11-319 Výsledky amplikonového sekvenování oblasti 16S rRNA – vzorky bentonitu. Velikost barevných bodů odpovídá relativní hojnosti daného mikroorganismu ve vzorcích. Zobrazeno 21 nejhojnějších taxonů.



Obr. 11-320 Výsledky mnohorozměrné analýzy PCaA. Vzorky bentonitu jsou vyznačeny červeně, vzorky podzemních vod modře.

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