

Nové mapy korozní agresivity České republiky

Up-dated maps of atmospheric corrosivity for Czech Republic

Kreislová K.¹, Geiplová H.¹, Škořepová I.², Škořepa J.¹, Majtás D.³

¹ SVÚOM s.r.o., Praha

² ČGS, Praha

³ UTAM-CET v.v.i., Telč

E-mail: kreislova@svuom.cz

Atmosférická koroze a klasifikace agresivity atmosféry je dlouhodobým předmětem studia SVÚOM. Ve spolupráci s ČGS byly v roce 2001 vytvořeny mapy korozních rychlostí a korozních tříd pro uhlíkovou ocel, patinující ocel, zinek, měď, bronz a hliník. Tento článek uvádí aktuální přístup k modelování atmosférické koroze v České republice, který je založen na modifikovaných funkcích zahrnujících klimatická data, znečištění ovzduší a nově i vliv rozmrazujících solí v okolí dálnic.

The atmospheric corrosion and classification of atmospheric corrosivity is long-term subject of study of SVÚOM. In co-operation with ČGS the maps of atmospheric corrosion rates and corrosivity categories were created for carbon steel, weathering steel, zinc, copper, bronze and aluminium in 2001. The paper presents actual approach to modelling atmospheric corrosion for the Czech Republic which is based on modified dose-response functions including climatic data, air pollution and newly the effect of de-icing salts around the highways.

ÚVOD

Znalost podmínek působícího atmosférického prostředí je důležitá pro odhad i posouzení vznikajícího znehodnocení kovových konstrukčních materiálů a povlaků i pro volbu účinného ochranného opatření. Pro tyto materiály a povrchové úpravy byly normou ČSN EN ISO 9223 *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosféry – Klasifikace, stanovení a odhad* zavedeny tzv. stupně korozní agresivity atmosféry. Stupeň korozní agresivity atmosféry je technickým údajem, který má základní význam pro výběr materiálů a ochranných opatření pro atmosférická prostředí s přihlédnutím ke konkrétnímu použití, zejména k požadované provozní životnosti. Stupně korozní agresivity jsou definovány korozními úbytky standardních vzorků (specifikovaných v ČSN EN ISO 9226) po prvním roce expozice.

Klasifikace korozní agresivity atmosféry definovaná normou ČSN EN ISO 9223 je následně použita i v dalších normách pro predikci životnosti kovů a povlaků, pro volbu protikorozní ochrany a dále i jako podklad pro urychlené korozní zkoušky protikorozních ochranných povlaků, např. ČSN EN ISO 9224, ČSN EN ISO 14713, ČSN EN ISO 12944, revidovaná ČSN ISO 2063, ČSN EN 10233, ČSN EN 10169, atd.. Tato klasifikace je založená na stanovení ročních korozních úbytků kovového materiálu (uhlíková ocel, zinek,

měď, hliník) v dané lokalitě a přiřazení těchto hodnot do intervalu pro určitý stupeň korozní agresivity. Ovšem tento způsob, i když velmi přesný, je z hlediska praxe velmi časově náročný a vyžaduje i kvalifikované pracovníky.

Jednou z metod odvození stupně korozní agresivity pro danou lokalitu, region, apod. jsou rovnice pro výpočet korozních úbytků jednotlivých konstrukčních kovů z environmentálních údajů lokality (průměrné roční údaje teploty, relativní vlhkosti, koncentrace SO₂, depozice chloridů, popř. i dalších složek atmosférického prostředí). Tyto rovnice byly odvozeny z empirických evropských i celosvětových zkušebních programů. Na základě těchto rovnic byly již v r. 2001 vytvořeny mapy ČR pro roční korozní úbytky a korozní agresivitu pro uhlíkovou ocel, zinek, měď, bronz a hliník, a následně i mapa pro nízkolegované oceli se zvýšenou odolností k atmosférické korozi. Mapy jsou využívány odbornou veřejností při přípravě výstavby nových objektů nebo obnově povrchových úprav. V současných podmínkách ČR jsou údaje o korozních rychlostech přesnější než stupeň korozní agresivity. Dále je možné na základě ročních korozních úbytků predikovat i dlouhodobé korozní úbytky materiálů/povlaků podle ČSN EN ISO 9224 *Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosféry – Směrné hodnoty pro stupně korozní agresivity*, popř. stanovit zbytkovou životnost materiálů nebo povlaků.

Metodika tvorby map korozních rychlostí a korozní agresivity

Systematický výzkum atmosférické koroze probíhá od r. 1930, ale první mapy atmosférických korozních rychlostí nebo úbytků v jednotlivých zemích vznikly až v 1970 letech. V současné době neexistuje jednotná norma, směrnice ani jiný dokument doporučující metodu pro tvorbu korozních map:

- v rámci programu UN ECE ICP byl v r. 2004 vypracován *Mapping manual*, kde je kapitola 4 věnována kovům. Manuál byl revidován v r. 2014, ale pro kovové materiály nedošlo k významným změnám. Mapování je založeno na aplikaci rovnic znehodnocení definovaných v rámci dlouholetých atmosférických zkoušek na síti stanic v Evropě. Tyto rovnice znehodnocení zahrnují i jiné parametry prostředí než parametry zavedené normou ČSN EN ISO 9223.
- velmi podrobné jsou národní normy Austrálie AS 4312 *Atmospheric corrosivity zones in Australia* a Nového Zélandu NZS 3404 *Steel structure standard*, obsahující národní i lokální mapy, které vycházejí z klasifikace korozní agresivity podle ISO 9223 a doplňují expozici vzorků na rozsáhlé síti národních stanic.
- v současné době je v rámci ISO 156/WG 4 řešen úkol na zpracování směrnice pro mapování ISO/AWI TR 19735 *Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guidelines for mapping areas of increased risk of corrosion*.

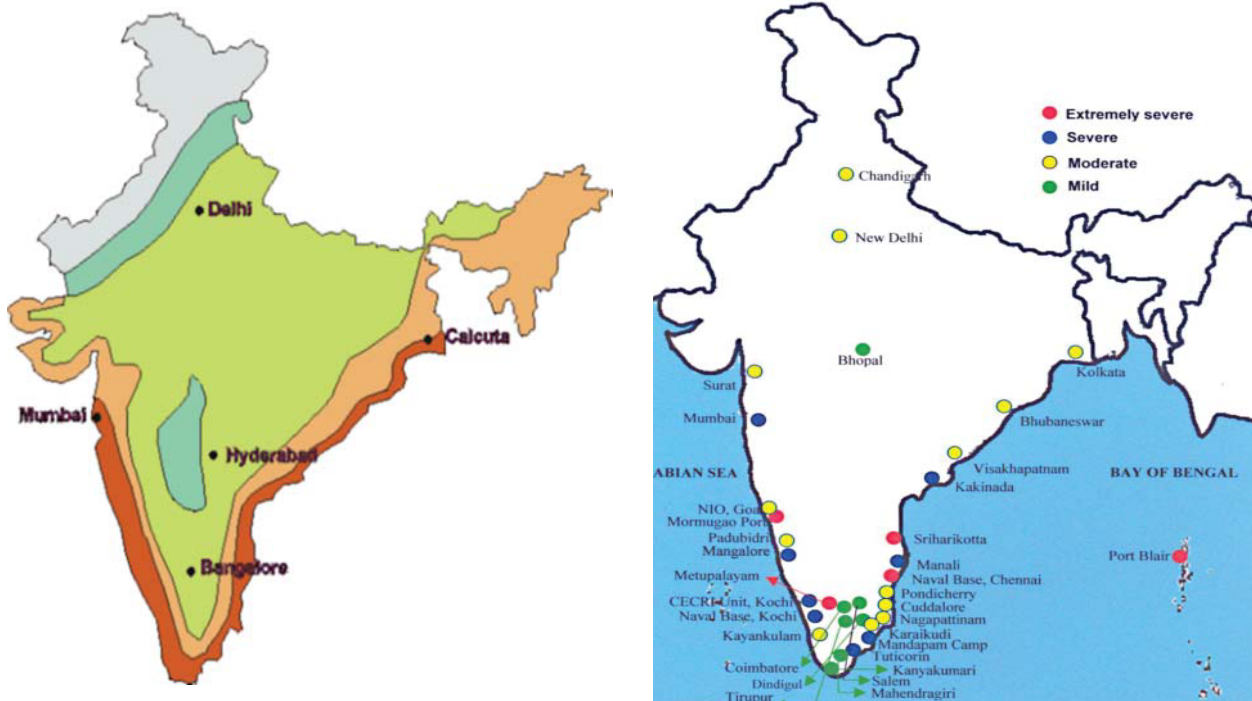
V jednotlivých zemích byly a jsou použity různé přístupy, které se i měnily s rozšiřováním znalostí, metodik, sítě atmosférických stanic, exponovaných materiálů, databáze výsledků, atd. (Obr. 1) [1-6].

Také v ČR vznikaly různé mapy:

- 1970 – není zavedena klasifikace stupňů korozní agresivity,
 - regionální imisní situace SO₂ byla zpracována v izoliniích podle úrovně vypouštěných emisí a vzdálenosti od zdroje,
 - vytvoření sítě měřících bodů, kde byly exponovány vzorky kovů.
- 1990 – zavedena klasifikace základních environmentálních parametrů TOW,
 - koncentrace SO₂, salinita,
 - zavedeny programy pro tvorbu map.

Jednou z metod tvorby map je expozice vzorků standardních kovů v síti atmosférických stanic dostatečně husté pro následné vytvoření mapy. Příkladem takových map jsou mapy korozních úbytků, resp. korozní agresivity pro zinek vypracované v UK (Millennium Map) a v Polsku – Obrázek 3. Tvorba a aktualizace těchto map není snadná.

Jiný postup byl aplikován např. ve Vietnamu, kde byly vytvořeny mapy tzv. klasifikovaných intervalů environmentálních parametrů podle ISO 9223:1992 a následně z nich vytvořeny mapy korozní agresivity.



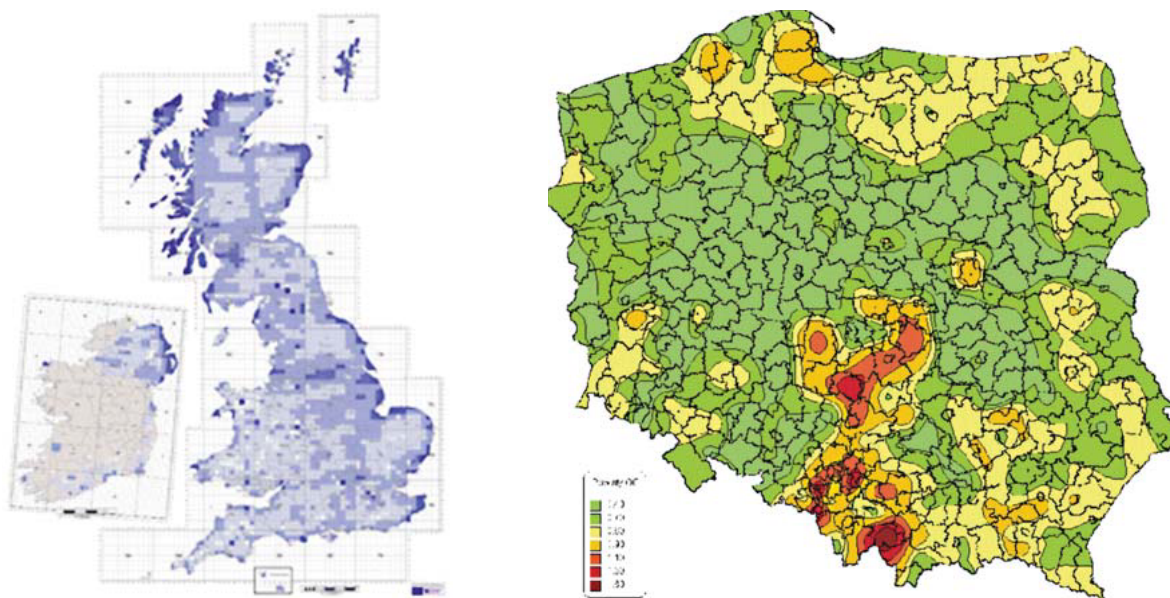
Obr. 1. Příklady korozních map Indie vytvořených v letech 1968 a 2004

Fig. 1. Examples of India corrosion maps created in 1968 and 2004



Obr. 2. Příklad map atmosférické koroze v ČR vypracované v 70. letech

Fig. 2. Examples of Czech Republic maps of atmospheric corrosivity created in 1970ties



Obr. 3. Příklad korozních map zinku založených na expozici vzorků (UK a Polsko)

Fig. 3. Examples of corrosion maps for zinc based on samples exposure (the UK and Poland)

Pro tvorbu map korozních úbytků kovů nebo korozní agresivity atmosféry lze využít rovnice znehodnocení [7, 8]. Tyto rovnice byly odvozeny na základě rozsáhlých zkušebních programů, ale vycházejí z odlišných modelů podle toho v jaké době a v jakém měřítku (počtu a rozmístění zkušebních stanic) byly programy realizovány:

$$r_{\text{corr}} = r_{\text{wet}}(T, RH, SO_2, Cl^-)$$

$$r_{\text{corr}} = r_{\text{dry}}(T, RH, SO_2, NO_2, O_3) + r_{\text{wet}}(\text{Rain}, H^+)$$

$$r_{\text{corr}} = r_{\text{dry}}(T, RH, SO_2, NO_2, O_3, HNO_3, PM_{10}) + r_{\text{wet}}(\text{Rain}, H^+)$$

Rovnice znehodnocení pro odvození korozní agresivity uvedené v ČSN EN ISO 9223 zahrnují pouze parametry T , RH , SO_2 , Cl^- . Rovnice znehodnocení od-

vozené z později realizovaných programů zahrnují i další parametry ovlivňující atmosférickou korozi jako je množství a pH srážek a koncentrace dalších složek znečištění ovzduší.

Obecně lze postup tvorby map korozní agresivity na základě rovnic znehodnocení popsat v několika krocích:

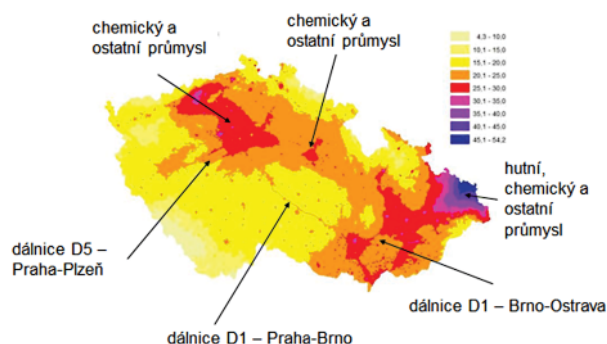
- výběr vhodné rovnice znehodnocení a její verifikace,
- volba měřítka pro tvorbu mapy na základě dostupnosti vstupních údajů,
- zpracování základních environmentálních údajů do map vstupních parametrů,
- výpočet korozních úbytků – roční a/nebo dlouhodobé hodnoty,
- stanovení korozní agresivity na základě vypočtených ročních hodnot.

Podklady pro tvorbu nových map korozní agresivity

Mapy korozních úbytků, rychlostí a korozní agresivity ČR vytvořené v r. 2001 byly zpracovány v gridu 2×2 km [9, 10]. Vstupní klimatické údaje (průměrná roční teplota, průměrná roční relativní vlhkost) byly do rovnic znehodnocení použity jako tzv. 30 normály. Použití těchto hodnot mělo stabilizovat vypočtené hodnoty a minimalizovat vliv rozdílů těchto hodnot v jednotlivých letech. Hodnoty znečištění ovzduší byly použity aktuální – průměrné za poslední 3 roky (1998-2000).

Prvním krokem při aktualizaci korozních map ČR byl výběr vhodné rovnice znehodnocení a její úprava na aktuální podmínky ČR [11-13]. Rovnice znehodnocení po jednotlivé kovy byly modifikovány na podmínky ČR, tj. byly porovnány skutečné a vypočtené korozní úbytky, a následně verifikovány koeficienty v těchto rovnicích.

Při tvorbě současných verzí map byly aktualizovány údaje o klimatických podmínkách ČR a údaje o úrovních znečištění korozními stimulatory. Od roku 1995 se významně změnila situace ve znečištění ovzduší ČR, nejvýznamnější změny nastaly v průmyslových lokalitách. Zároveň dochází i ke změně klimatických podmínek, i když v menším měřítku. Např. slunce svítí v severočeském regionu častěji než ve druhé polovině minulého století, kdy bylo v roce cca o 18 slunečných dní méně než nyní. Jedním z důvodů může být snížení znečištění ovzduší. Severní Čechy se během posledních padesáti let oteplily o $0,7^{\circ}\text{C}$. V r. 2014 byla průměrná roční teplota na stanicích Praha rovná $10,0^{\circ}\text{C}$ – při výpočtech korozních úbytků dle rovnic znehodnocení se toto projeví použitím jiné funkce teploty v rovnicích. V severočeském pohraničí jsou prudší dešťové srážky než v 60. nebo 70. letech minulého století – roční srážky stouply srážek o 50 mm, cca 7%. Proto byly do nových map použity klimatické údaje jako průměrné hodnoty za 3 roky (2012-2014). Nově bylo do map zařazeno i korozní namáhání vyvolané depozicí chloridů

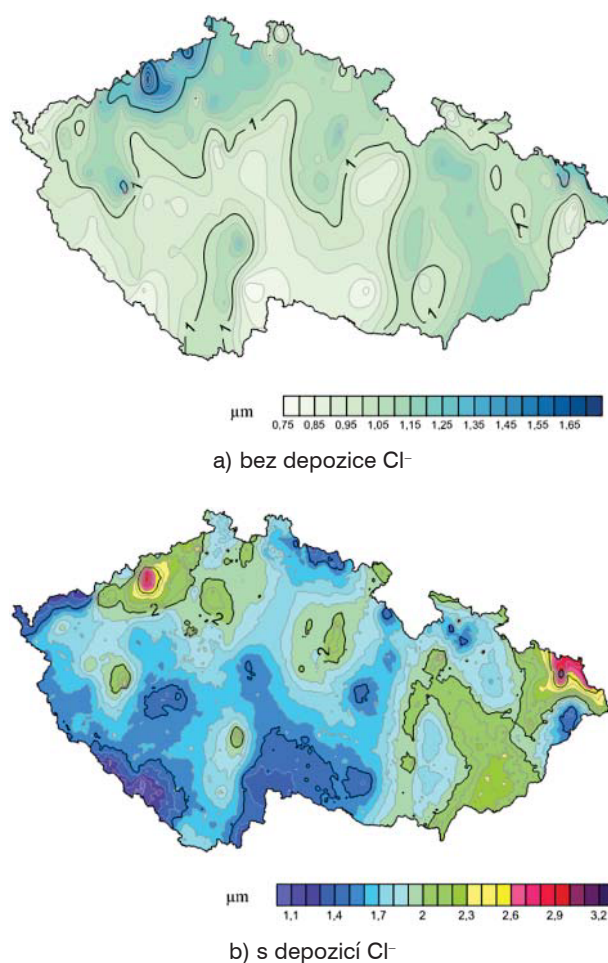


Obr. 4. Distribuce PM10 v letech 2013-14
Fig. 4. PM10 distribution in years 2013-14

z posypových solí používaných při zimní údržbě vozovek. Vliv posypových solí je velmi významný, ale protože není k dispozici dostatek údajů o tzv. suché depozici chloridů, byly použity údaje o koncentraci PM10 (Obr. 4). Z analýz bylo zjištěno, že PM10 obsahuje cca 7 % chloridů. Na Obr. 5 jsou mapy korozních úbytků zinku vytvořené bez vlivu chloridů a s vlivem chloridů. Pro všechny kovy byly mapy korozních úbytků porovnány s výsledky exponovaných vzorků na 5 atmosférických stanic v ČR.

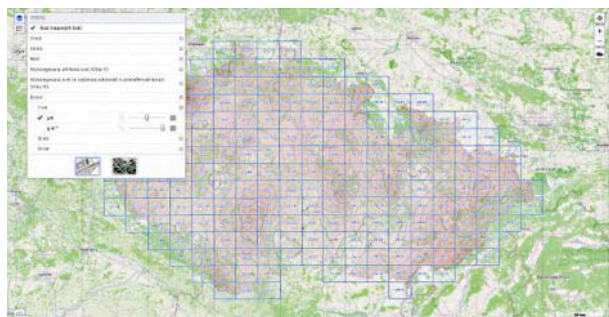
Z map ročních korozních úbytků byly vytvořeny mapy korozní agresivity přiřazením odpovídajících intervalů podle ČSN EN ISO 9223 (Obr. 6).

Korozní úbytky i stupně korozní agresivity jsou v mapách vypočteny a modelovány pro čtverce 1×1 km. Mapy jsou propojeny s GIS, takže umožňují přesnou geografickou identifikaci sledovaného území, lokality, apod. Mapy byly vytvořeny softwarem Surfer 12, což je mapovací program, který dokáže zpracovat nerovnoměrně rozmístěná prostorová data X, Y, Z do pravidelného

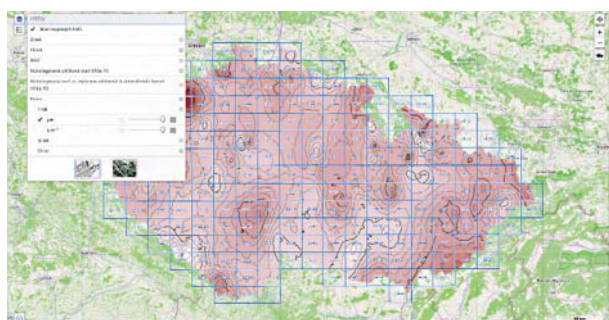


Obr. 5. Příklad aktuálních map ČR pro roční korozní úbytky zinku ($\mu\text{m a}^{-1}$)
Fig. 5. Examples of actual Czech Republic maps for yearly corrosion loss of zinc ($\mu\text{m a}^{-1}$)

gridu a poměrně rychle a snadno vykreslit odpovídající mapové výstupy. Z gridu je možné vykreslovat různé typy map, od map konturových, vektorových, reliéfových, 3D prostorových map až po mapy povodí. Navíc lze z těchto map vyhodnotit také profily. Ve správci objektů je možné mapy mezi sebou vzájemně propojovat a vytvořit novou mapovou kompozici. Rovněž tak je možné do mapy vkládat popisky a barevnou stupnici. Po označení se dají mapové vrstvy nebo barevné stupnice ve správci vlastností editovat.



a) 50 %



b) 100 %

Obr. 6. Příklad nastavení intenzity zbarvení vrstvy
Fig. 6. Examples of intensity levels of layer colouring

Možnosti aplikace

Korozní mapy jsou dostupné na www.korozni-mapy.cz po zaregistrování. Po vstupu do on-line aplikace se objeví přehledné menu, kde v horní liště je možnost prohlížení jednotlivých map. Součástí vstupní nabídky je i manuál pro uživatele.

V nabídce jsou uvedeny kovové materiály, pro které jsou mapy zpracovány:

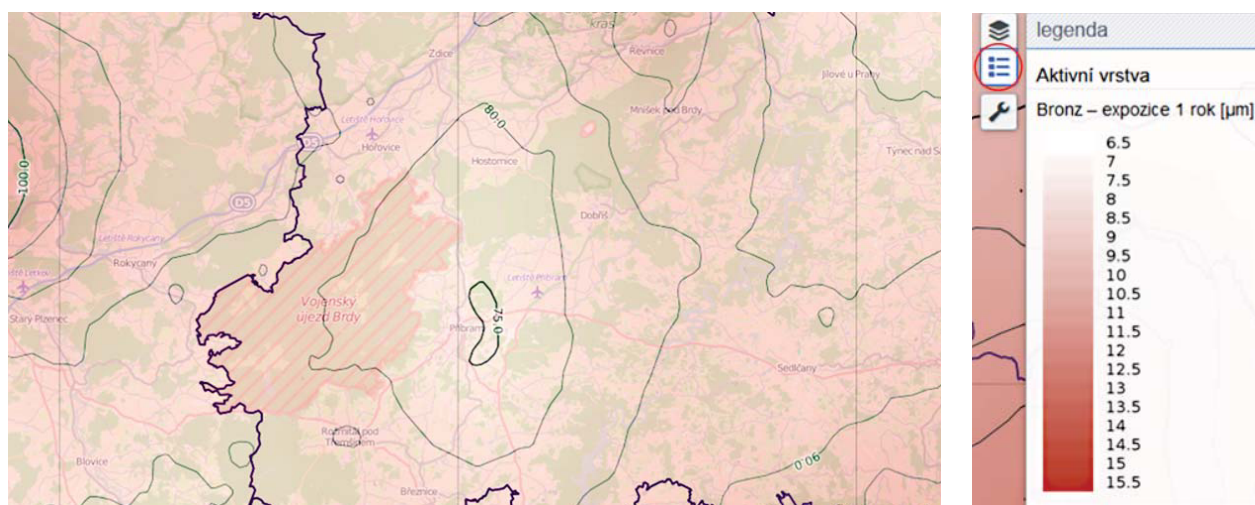
- zinek,
- hliník,
- měď,
- bronz,
- nízkolegovaná uhlíková ocel (tř. 11),
- nízkolegovaná uhlíková ocel se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi (tř. 15).

Dále je možné volit mezi typem základní mapy OSM nebo ortomapy ČÚZK a také mezi vyznačením hranice krajů nebo tzv. kladem mapových listů. Území ČR je rozděleno na 217 listů.

Po výběru kovového materiálu se nabídka rozšíří na další volbu:

- mapa korozních úbytků v časovém období (1 rok, 10 let, 20 let),
- mapa stupňů korozní agresivity podle ČSN EN ISO 9223.

Při výběru mapy korozních úbytků je možné zvolit jednotky – g m^{-2} (gram na metr čtvereční) nebo μm (mikrometry). Následně dojde k zobrazení požadované mapy. K dispozici je možnost zvýšit průhlednost vrstvy – viz příklad 50% a 100% intezity vrstvy (Obr. 6). Hodnoty korozních úbytků jsou jednak patrné z barevného odstínu vrstvy a legendy, která se zobrazí po označení ikony, a dále jsou i vyznačené ve formě isolinií, u kterých je vepsána hodnota korozního úbytku (Obr. 7).



Obr. 7. Hodnoty korozních úbytků bronzu - příklad
Fig. 7. Values of bronze corrosion loss - example

ZÁVĚR

V posledních letech se rozšiřují možnosti mapování korozních úbytků a/nebo korozní agresivity, které jsou jednou z možností predikce korozních chování kovových materiálů a povlaků a i jiných povrchových úprav pro řadu uživatelů [14].

Aktuální mapy korozních úbytků a korozní agresivity nepostihují mikroklimatické vlivy a vlivy vyplývající z konstrukčního řešení objektů. Především v případě rozměrných konstrukcí a staveb může být korozní agresivita v různých částech konstrukce výrazně odlišná – část konstrukce mostu nad vodní hladinou, konstrukčně podmíněné nedostatečně provětrávané prostory, vnitřní duté prostory konstrukcí, apod. Významně se projevuje i orientace jednotlivých ploch vzhledem ke směru působení větru, slunečního záření, dešťových srážek, apod..

Nové verze map umožňují rychlejší aktualizaci v případě změn klimatických parametrů nebo úrovně znečištění.

Poděkování

Publikované výsledky jsou součástí řešení projektu OPPI č. 682 Mapy koroze programu ICT a strategické služby a MPO 3/2015.

LITERATURA

1. Zinc Millenium Map – Annual Average Atmospheric Corrosion of Zinc. UK and Republic of Ireland, 1998-2000, www.galvanizing.org.uk, (accessed 13.10.2015).
2. M.Morcillo, E. Almeida, B. Rosales, J. Uruchurtu, M. Marrocos, Corrosion y protection de metales en las Atmosferas de Iberoamerica (MICAT project), 1998, ISBN 84-930448-1-4.
3. J. Kobus, R. Lutze, Ocena ryzyka korozji atmosferycznej, *Logistyka* **2015**, 4, 4094-4098.
4. I.S. Cole, G.A. King, G.S. Trinidad, W.Y. Chan, D.A. Paterson, An Australia-wide map of corrosivity: A GIS approach, *Durability of Building Materials and Components* **1999**, 8, 901-911.
5. D. Knotkova, K. Kreisllova, S.W. Dean, ISOCORRAG International Atmospheric Exposure Program Summary of Results, ASTM Data Series 71, ASTM International, PA, USA, 2010, ISBN 978-0-8031-7011-7.
6. Z.W. Li, N.J. Marston, M.S. Jones, Update of New Zealand's Atmospheric Corrosivity Map, BRANZ Study Report 288, BRANZ Ltd., Judgeford, New Zealand, 2013.
7. V. Kucera, J. Tidblad, K. Kreisllova, D. Knotkova, M. Faller, D. Reiss, R. Snethlage, T. Yates, J. Henriksen, M. Schreiner, M. Melcher, M. Ferm, R.-A. Lefèvre and J. Kobus, UN/ECE ICP materials dose-response functions for the multi-pollutant situation, *Water, Air and Soil Pollution:Focus* **2007**, 7, 249-258.
8. MULTI-ASSESS final report, www.corr-institute.se/MULTI-ASSESS (accessed 13.10.2015).
9. K. Kreisllova, D. Knotkova, I. Skořepova, Korozní mapa ČR pro uhlíkovou ocel, ISBN 978-80-903933-1-8.
10. K. Kreisllova, D. Knotkova, I. Skořepova, Korozní mapa ČR pro zinek, ISBN 978-80-903933-4-9.
11. Kreisllová K., Koukalová A., Knotková D., Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků uhlíkové oceli v atmosférických podmínkách, *Koroze a ochrana materiálu* **2010**, 54 (1), 3 – 6.
12. Kreisllová K., Koukalová A., Knotková D., Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků zinku v atmosférických podmínkách, *Koroze a ochrana materiálu* **2011**, 55 (1), 19 – 22.
13. K. Kreisllova, D. Knotkova, Corrosion behaviour of structural metals in respect to long-term changes in the atmospheric environment, proceeding of EUROCORR 2011, 5. – 8. September 2011, Stockholm, Sweden.
14. K. Slamova, C. Peike, M. Koehl, Measurement and mapping the impact of different environmental parameters on copper corrosion in Europe, *Corrosion Science* (in print).