



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM ÚČINNOSTI KOROZNĚ INHIBIČNÍCH LÁTEK VE SPRÁVKOVÝCH HMOTÁCH A OPTIMALIZACE JEJICH DÁVKOVÁNÍ

STUDYING THE EFFECTIVENESS OF CORROSION-INHIBITING SUBSTANCES IN THE REPAIR
MATERIALS AND OPTIMIZATION OF THEIR DOSAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL KROČA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Michal Kroča
Název	Studium účinnosti korozně inhibičních látek ve správkových hmotách a optimalizace jejich dávkování
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- MATOUŠEK, M., DROCHYTKA, R.: Atmosférická koroze betonů. 1. vydání. Praha: IKAS, 1998, 171 stran, IBSN 80-902558-0-9.
- ŠVEHLA, V. Disertační práce, VUT FAST Brno
- TARANZA, L.; DROCHYTKA, R. Verification of the efficiency of anti-corrosion systems for reinforced concrete constructions in a laboratory environment. Applied Mechanics and Materials. 2013. 2013(1). p. 876 - 879. ISSN 1662-7482.
- Články a internetové odkazy z oblasti inhibitorů koroze a sanačních hmot

Zásady pro vypracování

Působení agresivního prostředí v různé skupenské podobě na železobetonové konstrukce má za následek degradaci krycí vrstvy betonu a následně korozi zabudované ocelové výztuže. Životní cyklus takto exponovaných konstrukcí se výrazně zkracuje a je nutné přistoupit k sanačnímu zákroku, který konstrukci navrátí původní vlastnosti. Správným návrhem betonové směsi za použití vhodných přísad a příměsí lze tomuto kroku předejít. Diplomová práce je zaměřena na testování zcela nového typu přísadového inhibitoru koroze a optimalizaci jeho dávky v betonové směsi. V závěru bude provedeno ekonomické hodnocení dosažených výsledků.

1. Rešerše stávajících přísadových inhibitorů koroze, popis, cenová kalkulace, princip jejich působení a možnosti jejich detekce.
 2. Rešerše sledující téma sanačních hmot a návrhu betonových směsí s využitím speciálních přísad
 3. Vývoj a formulace metodiky pro hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze
 4. Experimentální vývoj ověřování účinnosti nového inhibitoru koroze v porovnání s komerčními produkty
 5. Na základě dosažených výsledků provedte relevantní hodnocení naměřených výsledků a provedte finanční kalkulaci na základě optimalizace dávkování.
- Rozsah diplomové práce nejméně 60 stran včetně tabulkové a grafické přílohy.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Koroze ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích představuje riziko snížení trvanlivosti a schopnosti konstrukcí plnit požadovanou funkci, pro kterou byly navrženy.

Předmětem této práce bylo studium účinnosti nového typu inhibitoru koroze s různou koncentrací aktivní látky a jeho srovnání s komerčními produkty. Tyto inhibitory koroze byly součástí uceleného systému správkových hmot od společnosti Betosan s.r.o. a pomocí elektrických měření byl sledován jejich vliv na snížení korozní aktivity způsobené agresivním chloridovým prostředím.

Klíčová slova

koroze, ocelová výztuž, inhibitor koroze, účinnost, elektrický odpor, potenciál poločlánku

Abstract

Corrosion of steel reinforcement in concrete structures poses a risk reduction of durability and ability to perform the required function of structures for which they were designed.

The objective of this work was to study the effectiveness of a new type of corrosion inhibitor with different concentrations of the active substance and its comparison with commercial products. The corrosion inhibitors were part of a comprehensive system repair materials from Betosan s.r.o. and using the electrical measurements was studied their effect in reducing corrosion activity caused by aggressive chloride environments.

Keywords

corrosion, steel reinforcement, corrosion inhibitor, efficiency, electrical resistance, half-cell potential

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Michal Kroča *Studium účinnosti korozně inhibičních látek ve správkových hmotách a optimalizace jejich dávkování*. Brno, 2015. 97 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Michal Kroča

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc., MBA za cenné rady a připomínky poskytnuté v průběhu řešení této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Luboši Taranzovi za odborné rady a dohled nad prací.

Obsah

I. ÚVOD	5
II. TEORETICKÁ ČÁST	6
1. Železobeton.....	6
1.1 Beton.....	6
1.1.1 Kamenivo	7
1.1.2 Cement	7
1.1.3 Voda.....	7
1.1.4 Přísady.....	7
1.1.5 Příměsi.....	8
1.2 Ocelová výztuž.....	8
1.2.1 Vlastnosti oceli	8
2. Druhy agresivních prostředí působících na železobeton	9
2.1 Chemická koroze plyným agresivním prostředím.....	10
2.1.1 Koroze betonů oxidem uhličitým CO ₂ – karbonatace	10
2.1.2 Koroze betonů Oxidem siřičitým SO ₂ – sulfatace.....	11
2.2 Degradace betonů vlivem působení agresivního kapalného prostředí	12
2.2.1 Vody způsobující korozi I. typu.....	12
2.2.2 Vody způsobující korozi II. typu.....	14
2.2.3 Vody způsobující korozi III. typu.....	14
3. Koroze ocelové výztuže.....	15
3.1 Chemická koroze.....	16
3.2 Elektrochemická koroze	17
3.3 Koroze bludnými proudy.....	20
4. Ochrana proti korozi výztuže	21
4.1 Pasivita kovů	21
5. Technologie inhibitorů koroze.....	23
5.1 Anodické inhibitory	23
5.2 Katodické inhibitory	24
5.3 Adsorpční inhibitory	25
6. Princip působení migračních inhibitorů koroze	25
6.1 Účinnost inhibitorů koroze	25
III. Cíl práce	27
IV. PRAKTICKÁ ČÁST	28
A. REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH PŘÍSA DOVÝCH INHIBITORŮ KOROZE	28
1. Technologie firmy Sika produkt Sika® FerroGard®-901	28

2. Technologie firmy Cortec produkt MCI® - 2006 NS	29
3. Technologie firmy Betosan produkt Armoguard P	30
4. Technologie firmy Basf produkt RHEOCRETE® 222+	31
5. Technologie firmy Betosan produkt INH	32
6. Možnosti detekce inhibitorů koroze.....	33
6.1 Chromatografický test.....	33
6.2 Detekce inhibitorů koroze pomocí dansylchloridu	34
B. Rešerše sledující téma sanačních hmot a návrhu betonových směsí s využitím speciálních přísad.....	35
1. Materiály pro sanaci železobetonových konstrukcí.....	36
1.1 Antikorozní ochrana výztuže	36
1.1.1 Antikorozní ochrana výztuže epoxidovými pryskyřicemi	37
1.1.2 Antikorozní ochrana výztuže hydraulickými suspenzemi	37
1.2 Adhezní můstek.....	37
1.3 Správkové hmoty	38
1.3.1 Polymerbetony (polymermalty).....	38
1.3.2 Polymery modifikované betony (malty)	38
1.4 Stěrky	39
1.5 Povrchové ochranné systémy	39
1.6 Speciální materiály pro zajištění vodotěsnosti:.....	40
C. Vývoj a formulace metodiky pro hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze	41
1. Metodika prováděných prací (Etapa 1 až 5)	41
1.1 Schéma metodiky: Etapa 1 – 5.....	43
2. Návrh receptur správkových hmot s inhibitory koroze:	44
2.1 Receptura adhezního můstku.....	44
2.2 Receptura správkové hmoty pro ruční aplikaci RA2.....	45
2.3 Receptura správkové hmoty pro strojní aplikaci suchým způsobem SN2	45
2.4 Receptura správkové hmoty pro strojní aplikaci mokrým způsobem MN2	45
2.5 Receptura stěrky S2K	46
3. Výroba zkušebních těles ze správkových hmot RA2, SN2, MN2.....	46
4. Výroba zkušebních těles ze správkových hmot ADHM2, S2K	47
5. Měření elektrického odporu	48
5.1 Postup měření:.....	50
6. Měření potenciálu poločlánku podle ASTM C876 – 91	51
6.1 Postup měření:.....	52
7. Zařízení pro cyklování vzorků v agresivním chloridovém prostředí	53
8. Vizuální hodnocení ocelové výztuže.....	54

9. Vyhodnocení.....	55
D. Experimentální vývoj ověřování účinnosti nového inhibitoru koroze v porovnání s komerčními produkty.....	55
1. Etapa 1:Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených v adhezním můstku ADHM2	56
1.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:	56
1.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:	57
1.3 Porovnání s komerčními inhibitory:	57
1.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro adhezní můstek ADHM2 s inhibitory koroze	59
1.5 Závěrečné hodnocení etapy	59
2. Etapa 2:Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě pro ruční aplikaci RA2.....	61
2.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:	61
2.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:	62
2.3 Porovnání s komerčními inhibitory:	63
2.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu RA2 s inhibitory koroze	64
2.5 Závěrečné hodnocení etapy	65
3. Etapa 3:Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě pro strojní aplikaci suchým způsobem SN2	67
3.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:	67
3.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:	67
3.3 Porovnání s komerčními inhibitory:	68
3.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu SN2 s inhibitory koroze	69
3.5 Závěrečné hodnocení etapy	70
4. Etapa 4:Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě pro strojní aplikaci mokrým způsobem MN2	72
4.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:	72
4.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:	73
4.3 Porovnání s komerčními inhibitory:	74
4.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu MN2 s inhibitory koroze	75
4.5 Závěrečné hodnocení etapy	76
5. Etapa 5: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve stěrci S2K	78
5.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:	78
5.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:	78
5.3 Porovnání s komerčními inhibitory:	79

5.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro stěrku S2K s inhibitory koroze	81
5.5 Závěrečné hodnocení etapy	81
6. Optimalizace dávkování účinné látky v novém typu inhibitoru INH2, 6, 8, 12 a 16 83	
6.1 Optimalizace na základě procentuálního hodnocení nárůstu el. odporu ocelové výztuže	84
6.1.1 Vyhodnocení:	84
6.2 Optimalizace na základě procentuálního hodnocení nárůstu potenciálu poločlánku	85
6.2.1 Vyhodnocení	85
V. Závěr	86
Použitá literatura	91
Seznam zkratk a symbolů	92
Seznam obrázků	93
Seznam tabulek	95
Seznam grafů	97

I. ÚVOD

Ve stavební praxi patří železobeton mezi jeden z nejrozšířenějších stavebních materiálů, se kterým se dnes setkáváme prakticky na všech stavbách. Ať už se jedná o starší konstrukci nebo nově zhotovovaný objekt, je nutné tomuto materiálu věnovat zásadní pozornost a to nejen při odstraňování vzniklých poruch při sanačních zákrocích, ale již při jeho samotném návrhu, snahou o minimalizaci možných poruch. Jednou z častých příčin degradace železobetonové konstrukce je koroze zabudované ocelové výztuže, a to vlivem působení řady agresivních činitelů. Takto poškozená ocelová výztuž má za následek vývin tahových napětí, která mechanicky poškozují krycí vrstvu betonu. To dále vede ke vzniku prasklin a usnadnění přístupu agresivních činitelů k ocelové výztuži, až následnému odpadnutí betonové krycí vrstvy.

Důsledkem toho je nejen optické poškození konstrukce, ale taky snížení statických a užitných vlastností objektu. Takto poškozený stavební prvek či konstrukce může být z hlediska přípravy a provádění sanačních prací obtížné sanovat a to nejen z hlediska přístupu ke konstrukci, ale taky vzhledem k provozu, kterému konstrukce slouží. Tento provoz může být buď sanačními pracemi omezen, či zcela zastaven.

Abychom předešli nežádoucím poruchám a dosáhli co největší životnosti konstrukce, je nutné provést sanační zásah co nejdříve a co nejúčinněji. Z tohoto důvodu se snažíme zvolit nejen vhodný postup ale i sanační materiál, nebo komplexní systém sanačních materiálů, které budou při sanaci použity. Nabízí se použití správkových materiálů s přidanou hodnotou, kterou z hlediska ochrany ocelové výztuže před korozí tvoří inhibitory koroze.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1. Železobeton

Vzhledem ke známé skutečnosti, že pevnost betonu v tahu je v porovnání s pevností v tlaku podstatně nižší (8 - 12%) vyztužuje se část betonové konstrukce, v níž se předpokládají tahová napětí betonářskou ocelí potřebného průměru. Kombinací betonu s výztužnými vložkami se říká železový beton, který tvoří převážnou část navržených betonových konstrukcí. Vyztužením betonu betonářskou ocelí vzniká kompozitní materiál, který má zcela odlišné vlastnosti v porovnání s betonem prostým. [1], [12]

Při navrhování železobetonových výztužných konstrukcí se předpokládá bezchybné spojení obou materiálů projevující se dokonalou soudržností např. žebírkových ocelových vložek se zatvrdlým cementovým kamenem. Dokonalé obalení povrchu ocelových prutů cementovým kamenem zajistí spolupůsobení obou složek betonu a tím i dokonalý přenos namáhání mezi sebou. K poruchám způsobujícím nezajištění tohoto základního předpokladu dochází pouze nedostatečným obalením výztužných vložek cementovým kamenem v procesu výroby nebo v případě přetížení konstrukce, kdy došlo k překročení meze kluzu použité oceli a k následné tvorbě a rozvoji trhlinek. [1], [12]

1.1 Beton

Beton je kompozitní materiál, který je složen z více fází. Beton lze také chápat jako umělý kámen, který je složen ze směsi drobného a hrubého kameniva, pojiva a vody, popřípadě přísad či příměsí.[2]

Složky betonu

Základními složkami betonu jsou kamenivo, cement a voda. Doplňkovými složkami jsou přísady a příměsí. Vyztužený beton dále obsahuje betonářskou ocel (železobeton), předpínací ocel (předpjatý beton) rozptýlenou výztuž (vlákna nebo drátky). [4]

1.1.1 Kamenivo

Zaujímá 75 až 80 % objemu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí. Proto obsahuje různě veliká zrna ve vhodném poměru.[2]

1.1.2 Cement

Cement je polydisperzní partikulární látka s hydraulickými vlastnostmi. Po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost ve vodě. Hydraulické tvrdnutí je důsledkem hydratace vápenatých silikátů a aluminátů. [2]

Portlandit, který vzniká při hydrataci sám o sobě nepřispívá k vývoji pevností, protože jeho krystaly jsou ploché a nemají vláknitou morfologii. Ovšem je velmi důležitý ze dvou důvodů:

- a) Umožňuje výrobu pucolánových a struskových cementů
- b) Chrání ocelovou výztuž před korozi, protože zvyšuje pH pórového roztoku. [5], [12]

1.1.3 Voda

V betonářské technologii plní dvě funkce. Jednak hydratační (voda podmiňuje hydrataci cementu a tak spolu s cementem vytváří tuhou strukturu cementového kamene) a jednak reologickou (voda umožňuje vytvoření tvárného čerstvého betonu ve spojení s jeho složkami; kapilárními silami je zajišťována koheze a viskozitou plastičnost čerstvého betonu). [2]

Bez vody by nebylo betonu, protože cement by nehydratoval a tedy ani netvrdnul. Ovšem přebytek vody by způsobil snížení kvality betonu, jak co se týká pevností, tak trvanlivosti. [5], [12]

1.1.4 Přísady

Jsou to chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství do 5 % hmotnosti cementu za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Přísady se rozdělují na typy, které charakterizují jejich hlavní funkci (plastifikátory, retardéry, urychlující, provzdušňující, protikoroziční přísady, atd.).[2]

1.1.5 Příměsi

Jedná se většinou o práškovité látky přidávané do čerstvého betonu za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností. Dělí se na dva typy: inertní příměsi a pucolány nebo latentně hydraulické látky. Mezi příměsi řadíme zejm. popílky, strusky, pigmenty, křemičité úlety a mikrosiliku.[2]

1.2 Ocelová výztuž

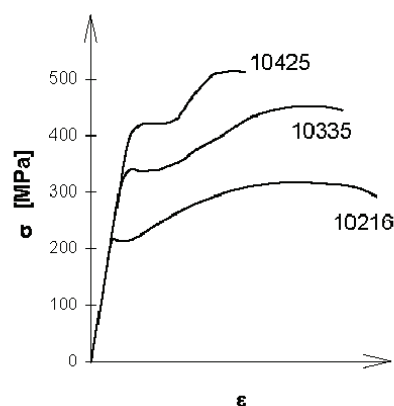
Betonářská ocel je určena k vyztužování železobetonových a předpjatých konstrukcí a zlepšuje mechanicko - fyzikální vlastnosti betonu, zejména přebírá napětí v tahu a ve smyku. [3],[12]

Používají se tyto druhy výztužných ocelí:

- **betonářská výztuž** - netuhá, měkká výztuž, prostě vložená do betonu, nevyvozuje v něm napětí, s její ohybovou tuhostí se nepočítá;
- **předpínací výztuž** - tvrdá výztuž, z patentovaných drátů, vyvozuje v konstrukci záměrně napětí;
- **tuhá výztuž** - válcované průřezy pro spřažené ocelobetonové prvky, s její ohybovou tuhostí se počítá;
- **rozptýlená výztuž** - ocelové drátky. [3], [12]

1.2.1 Vlastnosti oceli

Mechanické vlastnosti oceli znázorňuje pracovní diagram, který udává závislost poměrného protažení ϵ na velikosti napětí v tahu σ . [3], [12]



Obr. 1: Pracovní diagram oceli v tahu [3], [12]

Betonářské oceli se z hlediska chemického složení a mechanických vlastností dělí do 4 skupin:

- Mají vyšší mez průtažnosti a povrchovou úpravu pro zlepšení soudržnosti s betonem – **Uhlíkaté oceli měkké** (obsah C neudán) – vyráběné válcováním za tepla. Mají značný rozptyl hodnot a nízkou mez průtažnosti – např. ocel 10 216
- **Uhlíkaté oceli středně tvrdé** (0,1 – 0,55% uhlíku), vyráběné válcováním za tepla. ocel 10 335.
- **Legované oceli** válcované rovněž za tepla se zvláštní povrchovou úpravou a vyšší mezí průtažnosti – 10425
- **Oceli tvářené za studena** upravují se ze všech tří předchozích skupin nejčastěji, zkrucováním tyčí za studena kolem podélné osy např. 10 338 [3], [12]

2. Druhy agresivních prostředí působících na železobeton

Na stavební dílo působí řada vnějších činitelů tím, že snižuje jeho trvanlivost. Tyto činitele, které vyznačují prostředí, v němž se beton nachází, lze podle charakteru jejich účinku rozdělit na vlivy mechanické (statické a dynamické namáhání), fyzikální (změny teploty a vlhkosti, mráz, vysoké teploty, požár, elektrický proud, záření), chemické (kapalné a plynné prostředí) a biologické /makroskopické a mikroskopické)

[6]

Rozdělení agresivního prostředí

- Plynné
- Kapalné
- Tuhé – hygroskopické látky
- Biologické vlivy
- Bludné proudy
- Působení minerálů, olejů a tuků[6]

2.1 Chemická koroze plynným agresivním prostředím

Plynné agresivní látky působící na beton lze rozdělit na:

- Plyny kyselého charakteru (CO_2 , SO_2 , NO_2 , HCl , H_2S , HF)
- Ostatní plyny (NH_3 , Cl_2)

Reakce složek cementového tmelu, zejména $\text{Ca}(\text{OH})_2$, s kyselými plyny lze nazvat obecně neutralizací. [7]

2.1.1 Koroze betonů oxidem uhličitým CO_2 – karbonatace

Jedná se o projev „stárnutí“ betonu, který je soustavně napadán oxidem uhličitým z ovzduší. Rozklad probíhá na povrchu betonu a časem postupně proniká otevřenou pórovitostí do hloubky, napadá korozně ocelovou výztuž v železobetonu a konečným produktem je karbonát a především výrazné snížení pH betonu.[3]

Proces karbonatace probíhá v několika časových úsecích na sebe navazujících, s rozdílným stupněm karbonatace a s rozdílnou intenzitou působení na beton. Současně se snižuje hodnota pH, což má mimořádný význam pro korozi ocele (proto je také předepsáno minimální krytí výztuže betonem 20 až 50 mm).[3]

I. stadium:

Hydroxid vápenatý působením CO_2 se mění na uhličitán vápenatý, který zvětšuje objem o 10 % a zaplňuje póry v cementovém kamenu, tím se snižuje propustnost povrchu betonu. pH klesá na hodnotu 11.

II. stadium:

V tomto období probíhají přeměny ostatních hydratačních produktů cementu a vznikají jemnozrnné, krystalické novotvary. Klesá dále koncentrace vodíkových iontů na $\text{pH} = 9,5$. Mechanické vlastnosti betonu se příliš nemění.

III. stadium:

Nastává rekrystalizace vzniklých novotvarů a vznikají rozměrné, až 10x větší krystaly kalcitu a aragonitu. Pevnosti betonu klesají a také hodnota pH na 8.

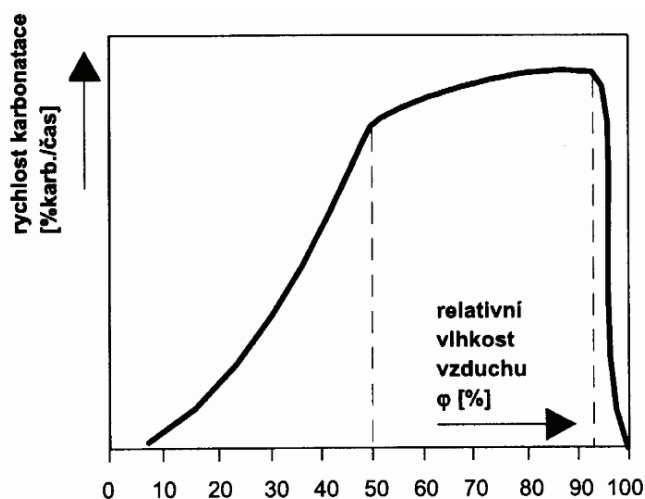
IV. stadium:

Nastává téměř úplná karbonatace, kdy hrubé krystaly kalcitu prostupují celou strukturou cementového kamene. Výrazně se snižuje soudržnost betonu s povrchem ocele a pevnost betonu. $\text{pH} < 8$ [3]

Vliv vlhkosti na rychlost karbonatace

Vyplnění porů vodou brání hlubšímu pronikání plynů do vnitřních částí betonu, i když se ve vodě rozpouštějí, jak je tomu právě u CO₂.

Přítomnost určité vlhkosti v betonu je podmínkou, aby karbonatace jakožto iontová reakce mohla probíhat. Úplně vysušený beton s CO₂ a podobně i s jinými plyny vůbec nereaguje. [6]



Obr. 2: Obecná závislost rychlosti karbonatace na relativní vlhkosti vzduchu. [6]

2.1.2 Koroze betonů Oxidem siřičitým SO₂ – sulfatace

Oxid siřičitý SO₂ se vyskytuje v běžném vzduchu v koncentracích do 50 μg·m³. V současné době jsou odsířeny velké zdroje SO₂ a v lokálních topeništích domácností se spaluje uhlí tříděné, mimo jiné, s ohledem na obsah síry. Proto tzv. sulfatace betonu vlivem působení SO₂ z ovzduší je v dnešní době korozní děj, který není plošně významný, a uplatňuje se pouze místně. [7]

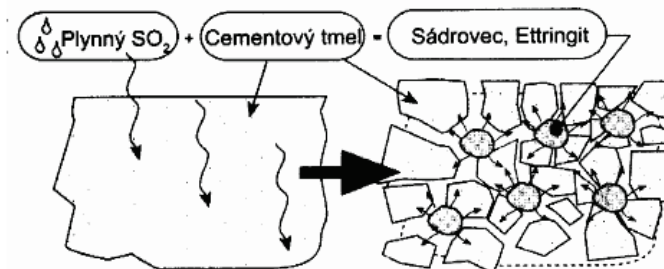
Oxid siřičitý neutralizuje Ca(OH)₂:



a dále se hemihydrát siřičitanu vápenatého CaSO₃ · 1/2 H₂O oxiduje na síran:



Konečným produktem působení SO_2 na beton je sádrovec. Dále může vznikat rovněž ettringit $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ a monosulfát $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Všechny uvedené korozní produkty mají větší molární objem než látky, ze kterých vznikly, což vede ke vzniku a působení vysokých tlaků a poruchám betonu. [7]



Obr. 3: Mechanismus rozrušení betonu příčinou působení SO_2 a H_2O – sulfatace [6]

2.2 Degradace betonů vlivem působení agresivního kapalného prostředí

Koroze betonu probíhá nejlépe v kapalném prostředí. Mezi nejčastější kapaliny, které přicházejí do styku s betony konstrukcí spodní stavby, pilot a dalších jsou různé typy vod. Dalšími korozními médii, které řadíme do kapalin, jsou minerální tuky a oleje. Třetí oblastí koroze může být působení biologických vlivů, kterou ovšem můžeme přirovnat k některému typu koroze, způsobené agresivními vodami. [6]

Z hlediska vlivu prostředí rozlišujeme:

- Zda jde o tekoucí vodu či stojatou.
- Zda jde o jednostranný nebo všestranný tlak vody.
- Zda jde o prostředí s normální, vyšší nebo nižší teplotou.
- Zda jde jen o jeden z agresivních činitelů nebo působí ve vzájemné synergii [6]

Agresivní vody mohou způsobit tři typy koroze, které se od sebe navzájem liší a vyznačují se jinou mírou poškození betonu: [6]

2.2.1 Vody způsobující korozi I. typu

Vody způsobující korozi I. typu jsou takové, které beton vyluhují, tzn. vody měkké mající malou přechodnou i trvalou tvrdost. Tvrdost Přechodná či uhličitánová je dána obsahem kyselých uhličitánů vápenatých a hořečnatých, jejichž rozpustnost je však omezoována určitým obsahem oxidu uhličitého. Jestliže jeho množství ve vodě

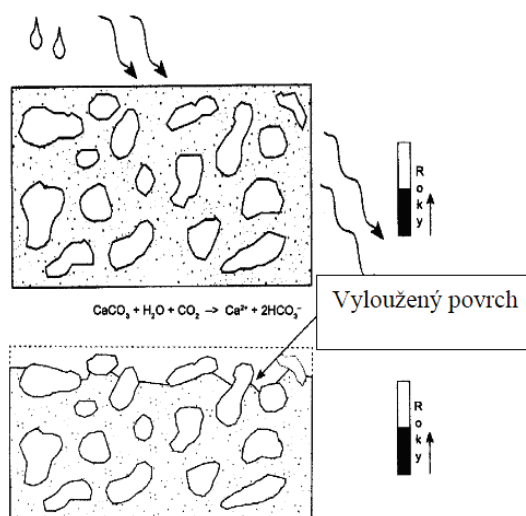
poklesne, dochází k rozkladu kyselých uhličitánů a jejich vyloučení ve formě „normálních“ uhličitánů. To se projeví poklesem tvrdosti vody. Z tohoto důvodu rozlišujeme ve vodě obsažený CO₂ na celkový, volný odpovídající a agresivní. [Naopak při zvýšení obsahu oxidu uhličitého ve vodě dochází vlivem CO₂ k tomu, že CaCO₃ přechází postupně do roztoku $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

Hladové vody zpočátku rychle vyluhují v betonu obsažený Ca(OH)₂, později pomaleji dochází k rozkladu zhydratovaných křemičitanů a hlinitanů. Tato skutečnost vede k poklesu pH, což nepříznivě působí na korozi výztuže, ale i na stabilitu některých zhydratovaných slínekových minerálů, jako např. 2Ca·SiO₂·nH₂O.

Průběh koroze I. typu je ovlivněn tím, zda jde o vodu stojatou, či proudící, zda působí pod tlakem a zda jde o vodu teplou, či studenou. U stojatých vod se předpokládá zreagování sloučenin ve vodě s povrchem betonu za výtvořem určité ochranné vrstvičky. U tekoucích vod k ustavení tohoto rovnovážného stavu nedojde, protože ochranné povlaky jsou odplavovány a k povrchu betonu přichází stále nová korodující voda.[6]

Vody a kapaliny způsobující korozi I. typu

- Vyluhují, tzn. vody měkké, mající malou přechodnou i trvalou tvrdost
- Tvrdost přechodná či uhličitánová je dána obsahem kyselých uhličitánů vápenatých i hořečnatých
- Ve vodě obsažený CO₂: celkový, volný, odpovídající, a agresivní [6]



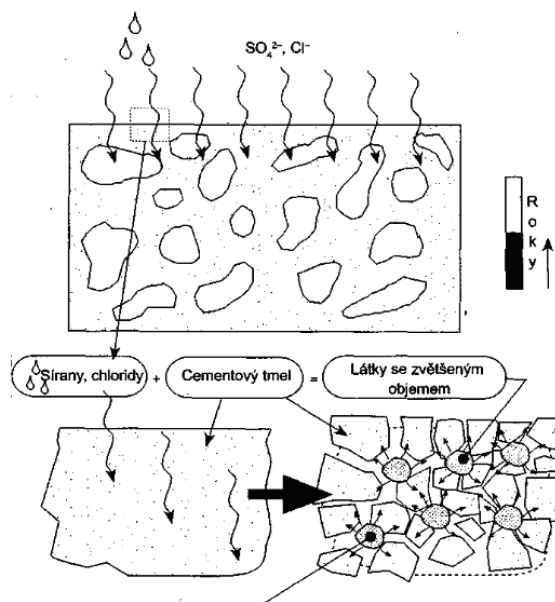
Obr. 4: Schematické znázornění působení kapaliny způsobující korozi I. typu dochází k vyloužení povrchu betonu [6]

2.2.2 Vody způsobující korozi II. typu

Vody způsobující korozi II. typu jsou takové, které s cementovým tmelem vytvářejí snadno rozpustné sloučeniny, a které buď jádro betonu obalují nebo se zvolna vodou uvolňují, patří sem kyseliny, louhy a jejich rozpustné soli. Jedná se zejména o roztoky obsahující ionty SO_4^{-2} , Cl^- , Mg^{2+} , $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{NH}_4)^-$. V přírodních vodách je to např. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Ve vodách průmyslových jsou to převážně sírany: amonný, měďnatý, hlinitý, železitý. [6]

2.2.3 Vody způsobující korozi III. typu

K těmto typům vod patří zejména vody s různými sloučeninami, které vlivem reakce s cementovým tmelem tvoří látky se zvětšeným objemem, což se zpočátku projevuje zvýšením pevnosti a hutnosti a tím i nepropustností betonu. Další zvětšování jejich objemu však vede ke vzniku trhlinek až k úplnému rozrušení betonu. Jedná se o vody obsahující různé druhy síranů a chloridů. Tyto roztoky dobře smáčejí beton, takže rychleji a hlouběji pronikají do betonu a rozdělují se do dvou kategorií: slabé agresivní – více než 300 mg soli/litr a pH menší než 6. Velmi agresivní – více než 1000 mg soli/litr a pH menší než 5. [6]



Obr. 5: Schematické znázornění kapaliny způsobující korozi III. typu [6]

3. Koroze ocelové výztuže

Koroze obecně je nezáměrné poškozování látek. Koroze kovů spočívá v jejich oxidaci látkami z okolního prostředí, ve kterém se nacházejí. Ročně se znehodnotí asi 3% produkce železa. I přes všechna legislativní opatření je v průmyslových oblastech koroze mnohonásobně rychlejší, než v prostředí s čistým ovzduším. Na korozi oceli má největší vliv vlhkost okolního prostředí, neboť vlhký vzduch způsobí úbytek asi $200 \text{ g Fe/m}^2 \cdot \text{rok}$ u uhlíkové oceli. U slabě legovaných ocelí je tato hodnota 6 až 7x menší. Korozi kovů lze rozdělit podle několika hledisek, např. podle typu děje nebo podle charakteristických projevů. [7],[12]

Rozdělení podle typu děje koroze:

- Chemická
- Elektrochemická
- Bludnými proudy [7], [12]

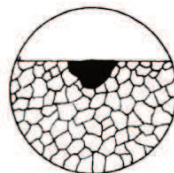
Podle charakteristických projevů jsou koroze:

Rovnoměrná – nejrozšířenější, projevuje se stejnoměrným úbytkem kovu po celém povrchu

Nerovnoměrná – projevuje se napadením pouze určité části povrchu kovu a může být: [7], [12]

- **Důlková**

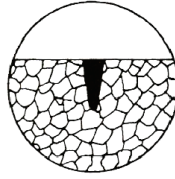
Projevuje se velkým počtem korozních jamek na povrchu kovu. Obvykle vzniká pod narušenými antikorozními nátěry nebo pod korozními produkty. Je omezena na malé plošky a proniká rychle do hloubky. [2], [12]



Obr. 6: Důlková koroze [8], [12]

- **Bodová**

Nachází se na ojedinělých místech povrchu u kovů s přirozenou ochranou oxidovou vrstvou (hliník, speciální oceli apod.) [2], [12]



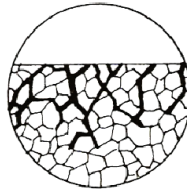
Obr. 7: Bodová koroze [8], [12]

- **Laminární**

Projevuje se terasovitým oddělováním vrstev kovu [2], [12]

- **Mezikrystalová**

Vzniká v kovu na rozhraní krystalů kovů působením mikročlánků. Tento druh koroze je neobyčejně nebezpečný, neboť při něm dochází k vnitřní destrukci mezikrystalických vazeb, aniž by na povrchu bylo cokoliv patrné. [2], [12]



Obr. 8: Mezikrystalová koroze [8], [12]

- **Transkrystalová koroze**

Probíhá mimo rozhraní krystalů i ve vlastních krystalech. [2], [12]

- **Selektivní koroze**

Probíhá u slitin kovů, kde koroze napadá méně odolné složky slitiny. [2], [12]

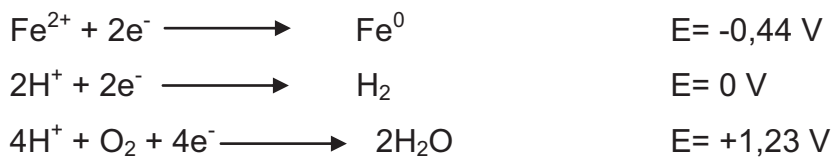
3.1 Chemická koroze

Chemická koroze kovů probíhá především v plynném prostředí za vyšších teplot (250 až 300 °C) a v elektricky nevodovém prostředí kapalném. Nejvýznamnějším prostředkem, v němž jsou kovové materiály napadány, je vzdušný kyslík. Při jeho působení na kovy za vyšších teplot probíhá několik dílčích pochodů, jejichž důsledkem je vznik korozních produktů (oxidů) na povrchu kovu, Chemická koroze může probíhat také v přítomnosti jiných plynů, např. sirovodíku, oxidu siřičitého a oxidu uhličitého. Chemická koroze materiálů stavebních konstrukcí není běžná, rozšířenější je narušování kovů procesy elektrochemickými.[9]

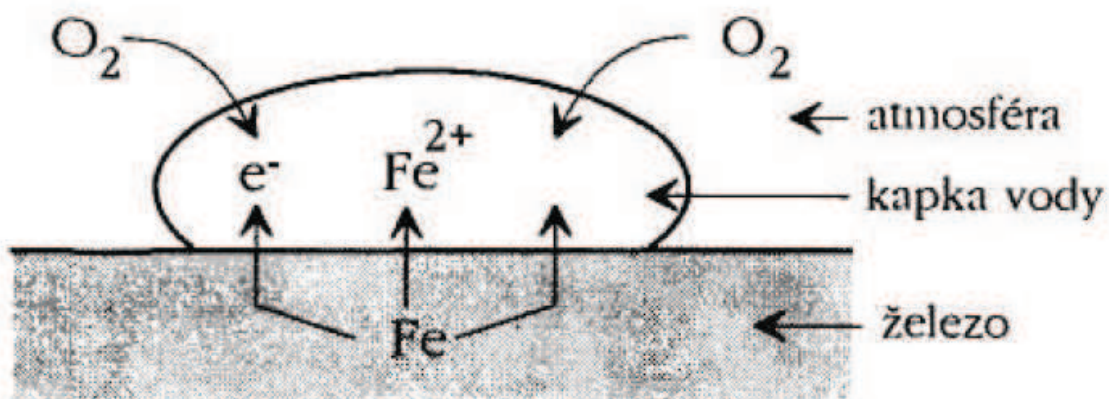
3.2 Elektrochemická korozie

Podstatou elektrochemické korozie je tvorba lokálních článků, vzniklých rozdílem potenciálů při styku dvou různých kovů nebo v důsledku rozdílných koncentrací kovu. Kovy se oxidují uplatněním vlivu vzdušného kyslíku, vlhkosti kyselotvorných oxidů apod. [7], [12]

Průběh dějů je demonstrován na příkladu korozie železa. Porovnejme standardní redoxní potenciály pro tyto možné elektrodové děje:



Z porovnání hodnot standardních redoxních potenciálů vyplývá, že se železo chová jako silné redukční činidlo, přičemž uvolněné elektrony přijme kyslík. [7], [12]

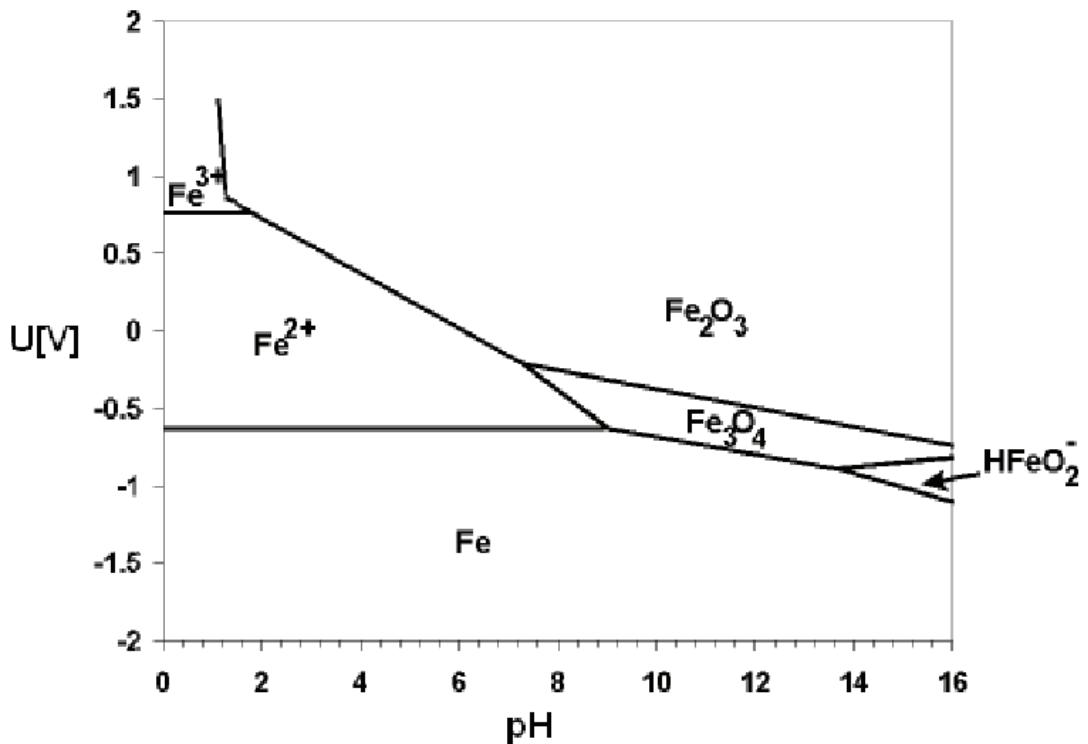


Obr. 9: Schéma elektrochemické korozie železa [7], [12]

V kapičce vody umístěné na povrchu železa se rozpustí molekula kyslíku a proběhne poloreakce redukce kyslíku na vodu. Vznikne lokální katoda, na kterou jsou dodány elektrony z poloreakce, která proběhne na lokální anodě. Obě elektrody jsou vodivě spojeny železem na straně jedné a roztokem na straně druhé. V kapičce vody vznikl lokální galvanický článek zodpovědný za korozí železa. V místě lokální anody pak korozie pokračuje do hloubky materiálu. [7], [12]

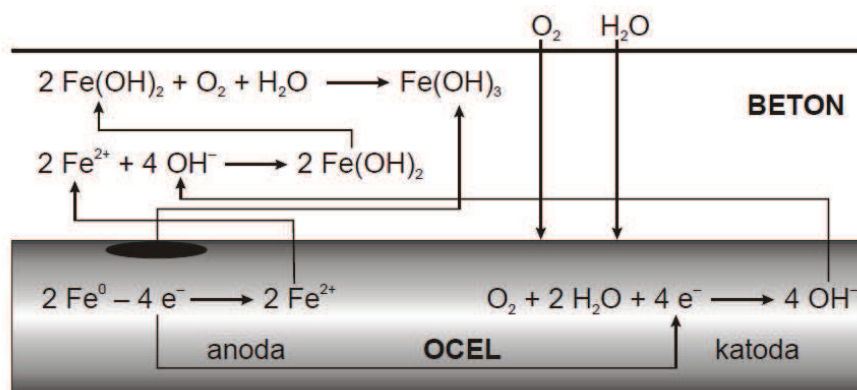
Korozie železa a tedy i ocelové výztuže betonu, závisí na koncentraci hydroxidových iontů v okolí výztuže. Podle Pourbaixova diagramu (Obr. 10), ocel nekoroduje, pokud je na ní záporné napětí < -600mV, při vyšším napětí je korozie závislá na pH. V rozmezí pH 9 až 13 (proto je výhodné použít ke zjištění neutralizace

– karbonatace OH^- iontů roztok fenolftaleinu v etanolu), se na povrchu oceli vytvářejí stálé a pevně lpící povlaky oxidů a hydroxidů, které brání přechodu atomů kovu do vyšších oxidačních stavů. Korozní rychlost je v tomto případě nižší než $0,1\mu\text{m}$ za rok. Za stav, kdy výztuž „nekoroduje“ se považuje průměrná rychlost 1 až $2\mu\text{m}$ za rok. [7], [12]



Obr. 10: Pourbaixův diagram [7], [12]

Elektrochemické korozní reakce výztuže mohou být znázorněny elektrickým obvodem. Katoda a anoda jsou vodivě spojeny elektrolytem na straně jedné a kovovou výztuží na straně druhé. Korozí oceli probíhá podle schématu korozí v přítomnosti rozpuštěného kyslíku (Obr. 11). [7], [12]



Obr. 11: korozí ocelové výztuže v betonu [7], [12]

Korozi oceli v betonu lze popsat rovnicemi:

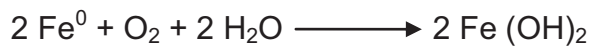
Anoda:



Katoda:



Sumární rovnice:



Následná oxidace:"



Rozhodující faktor pro korozi výztuže je přítomnost kyslíku a vlhkosti na katodě a její rychlost je řízena difúzí kyslíku a vlhkosti krycí vrstvou betonu. Korozi výztuže významnou měrou ovlivňují procesy v okolním betonu (krycí vrstvě), které vedou ke snížení koncentrace hydroxidových iontů. Jde zejména o působení kyselých plynů z atmosféry na cementový tmel betonu (CO_2 , SO_2 , NO_x). [7], [12]

Významnou měrou ovlivňuje korozi výztuže přítomnost vodou rozpustných chloridů, způsobující destrukci pasivační vrstvy na oceli. Chloridové ionty jsou pouze katalyzátorem reakce. [7], [12]

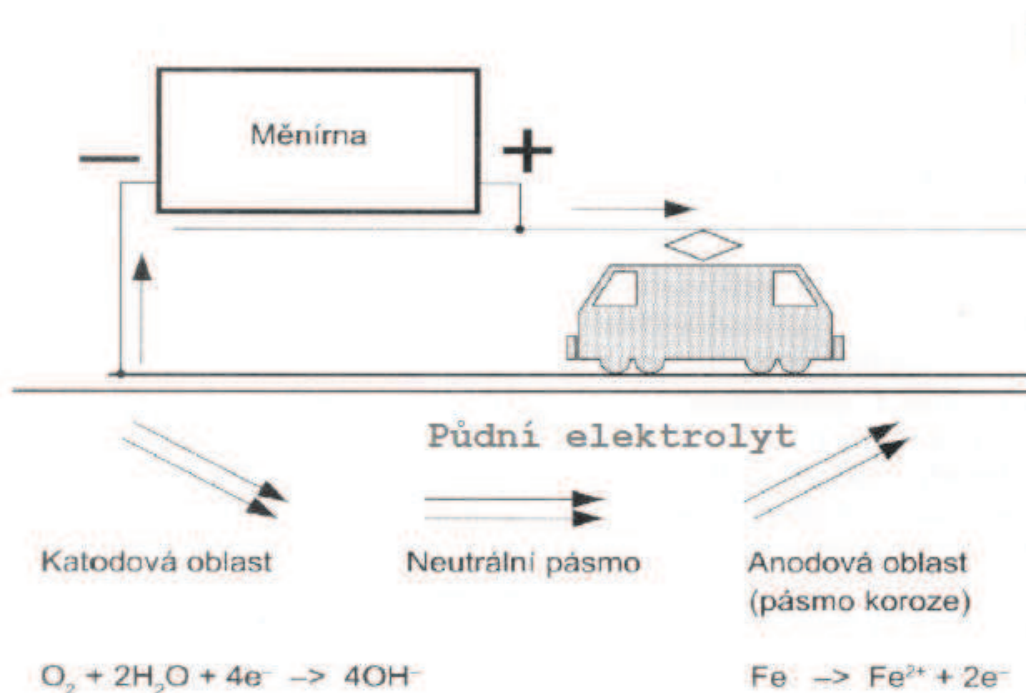
Chloridy způsobují korozi výztuže u silničních staveb, protože chlorid sodný, někdy chlorid vápenatý, se používají jako rozmrazovací prostředky při zimní údržbě komunikací. Přestože vozovky na mostech se nesmí ošetřovat chloridovými prostředky, jsou chloridy v betonu mostních konstrukcí nacházeny, a to vlivem aerosolu, který se při přejezdu vozidel nad silnicí tvoří a je unášen na mostní konstrukci. [7], [12]

Transport chloridových iontů k výztuži je difúzní proces. Je – li koncentrace chloridů na povrchu betonu vyšší než v jeho struktuře, pak koncentrační gradient vyvolává jejich tok do porézního materiálu difúzí. [7], [12]

V přítomnosti chloridů nebo jiných iontů v betonu výztuž koroduje i při vysokých hodnotách pH v závislosti na poměru daného iontu ke koncentraci hydroxidových iontů v pórovém roztoku, neplatí tedy Pourbaixův diagram. [7], [12]

3.3 Koroze bludnými proudy

Koroze bludnými proudy se vyskytuje na výztuži železobetonových konstrukcí, umístěných v blízkosti drah elektrizovaných stejnosměrným proudem, i když střídavý proud není z úvah o bludných proudech zcela vyloučen. Tam, kde se využívá kolejí jako zpětného vodiče, může docházet k přechodu proudu do okolního prostředí, pokud se toto chová jako elektrolyt (pórový roztok). Z elektrolytu pak teče stejnosměrný proud, který může dosahovat velmi vysoké intenzity, do výztuže, kde v místě vstupu rozhoduje o charakteru a rychlosti katodové reakce a v místě, kde se vrací do elektrolytu, je rozhodující pro anodickou reakci, tj. rozpouštění kovu. Tento proud se nazývá „bludným proudem“. [7], [12]



Obr. 12: Schéma koroze bludnými proudy [6], [12]

Katodická oblast – proudy vstupují do výztuže, nedochází ke korozi.

Neutrální oblast – bludné proudy se vrací zpět do původního elektrického obvodu, výrazné korozní jevy. [6], [12]

Je-li **anodická oblast** koncentrována na malé ploše výztuže (v místě porušení betonu) je porušení korozi značné. Přibližně lze konstatovat, že proud o hodnotě 1 A „rozpustí“ za 1 rok až 10 kg železa. [6], [12]

4. Ochrana proti korozi výztuže

Proti korozi kovových částí lze postupovat různými způsoby:

- Volba vhodného konstrukčního materiálu
- Úprava struktury a složení materiálu, včetně zvláštního zpracování
- Vhodná kombinace materiálů, zamezující vznik elektrolytické koroze. Nutno vyhnout se spojení kovů, vytvářejících el. Články (Cu – Zn nebo Fe – Al)
- Povrch kovu, vystavený klimatickému namáhání a vlhkosti, nesmí mít póry a dutiny
- Použití inhibitorů koroze (látek odstraňujících rozpuštěný kyslík)
- Úprava korozního prostředí např. snížením vlhkosti vzduchu
- Odstranění bludných proudů v blízkosti kovových konstrukcí
- Povrchová úprava kovu. Tato se provádí buď leštěním, častěji však nanášením ochranné vrstvy na povrch ohroženého materiálu. [2], [12]

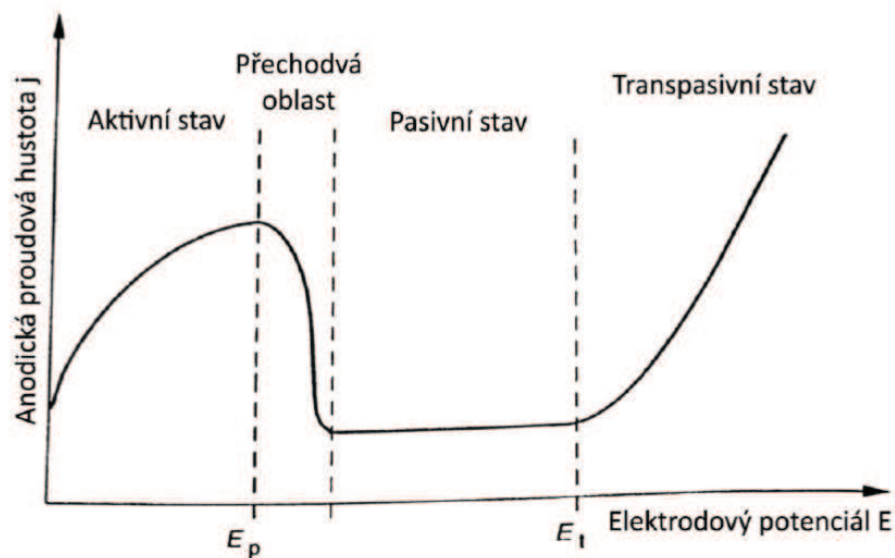
4.1 Pasivita kovů

V průběhu korozního procesu v aktivním stavu mohou vznikat korozní produkty jednoduché nebo komplexní ionty kovu rozpuštěné v korozním prostředí. V závislosti na složení kovu, prostředí a na potenciálu mohou také vznikat korozní produkty tuhé, které mohou intenzivně potlačovat průběh dílčí anodické reakce kovu, a tím učinit povrch tohoto kovu pasivním proti další korozi, tzn. povrch lze převést do pasivního stavu. [8], [12]

Průběh elektrochemických reakcí a popis korozních vlastností kovu nebo slitiny v široké oblasti potenciálů poskytuje potenciostatická polarizační křivka, změřená v uvažovaném korozním prostředí. Tato polarizační křivka udává informace o možnostech ochrany proti korozi v daném systému kov – elektrolyt. [8], [12]

Schematickou polarizační křivku znázorňuje Obr. 9. V oblasti aktivního stavu se kov vyskytuje bez přítomnosti tuhých korozních produktů. Po dosažení hodnoty E_p (v závěru přechodové oblasti) dosahuje kov plné pasivity a u některých pasivovatelných kovů může docházet ke snížení korozní rychlosti tak, že prakticky odpovídá úplné odolnosti kovu. K přechodu kovu z aktivního do pasivního stavu je třeba překonat kritickou pasivační proudovou hustotu, která odpovídá hodnotě při dosažení E_p . Čím je její hodnota menší, tím snáze kov do pasivního stavu přechází.

U slitin se tato hodnota snižuje přísadou dobře pasivovatelných kovů, tj. u korozivzdorných ocelí především chrom nad 12%, dále pak molybden a nikl. Využitelnou oblastí pasivity se vyznačují jen některé kovy např. chrom, hliník, titan, zirkonium a hořčík. Pasivní vrstvy těchto kovů mají nečastěji oxidický charakter, mohou však vznikat i vrstvy solné. Jiné kovy jsou pasivní jen v omezené oblasti pH. Odolnost kovu v pasivním stavu především závisí na rychlosti rozrušování pasivní vrstvy v daném prostředí a podmínkách. Při dalším růstu potenciálu a překročení hodnoty E_t dochází ke korozi v transpasivním stavu. [8], [12]



Obr. 13: Polarizační křivka anodického děje pasivovatelného kovu [8], [12]

E_p = pasivační potenciál, tj. korozní potenciál, při němž hodnota korozního proudu dosahuje vrcholu a nad nímž je oblast potenciálů, kde je kov v pasivním stavu, tzn. stav kovu, u kterého dochází ke snížení korozní rychlosti vytvořenou pasivační vrstvou. [8], [12]

E_t = transpasivační potenciál, tj. potenciál, nad nímž je kov v transpasivním stavu, tzn. stav kovu, který je polarizován na hodnotu potenciálu nad oblastí pasivního stavu a je charakterizován výrazným vzestupem korozního proudu a to bez výskytu bodové koroze. [8], [12]

5. Technologie inhibitorů koroze

Vzhledem k neustálému působení korozního prostředí na stavební konstrukce, potažmo stavební materiály, je potřeba zajistit jejich dostatečnou odolnost a tím i přiměřenou trvanlivost konstrukce. Druh ochrany proti postupné degradaci stavebních materiálů se určuje zejména s ohledem na účel užití a požadovanou životnost konstrukce, následně pak vstupují do návrhu i další aspekty. K zajištění korozní odolnosti materiálů existují dva základní obecné postupy, kterými můžeme ovlivnit trvanlivost a odolnost materiálů. V první řadě se jedná o zvýšení odolnosti samotného materiálu (primární ochrana). Další variantou je pak aplikace tzv. sekundární ochrany (vhodný typ nátěru, stěrky apod.). [2],[12]

Inhibitor je látka, která přidána do korozního prostředí v malé koncentraci působí výrazné snížení korozní rychlosti. Účinná koncentrace těchto látek se obvykle pohybuje v mezích od 0,1 do 10 g l⁻¹. [10]

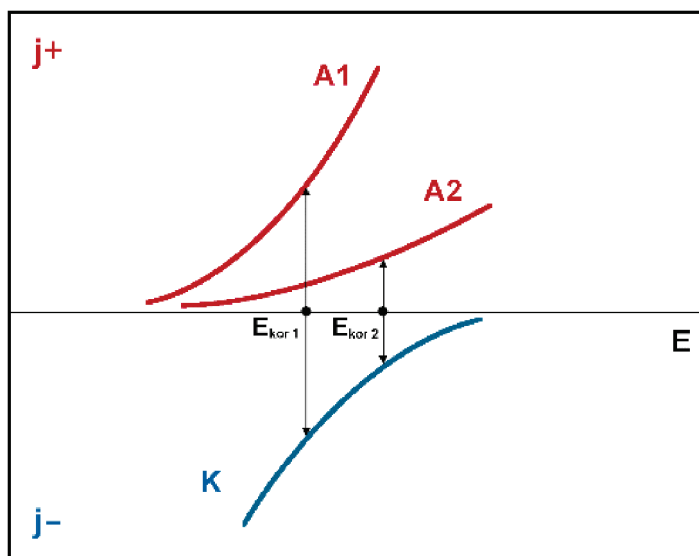
Z hlediska praktického použití inhibitorů koroze, lze použít rozdělení na:

- **Primární inhibitory** - jsou určeny k použití do betonové směsi ve formě přísad při výrobě betonu
- **Sekundární inhibitory** – jedná se o inhibitory ve formě nátěrů nebo správkových hmot, určených především k sanaci již zhotovené konstrukce.[12]

Korozní rychlost kovových materiálů lze ovlivnit úpravou prostředí, ve kterém korozní děj probíhá. Mezi tyto úpravy patří i použití inhibitorů koroze kovů. Inhibitor je látka, která přidána v malé koncentraci do prostředí snižuje korozní rychlost. Existuje velké množství látek, které mají inhibiční účinky a je možno je rozdělit na následující skupiny: [12]

5.1 Anodické inhibitory

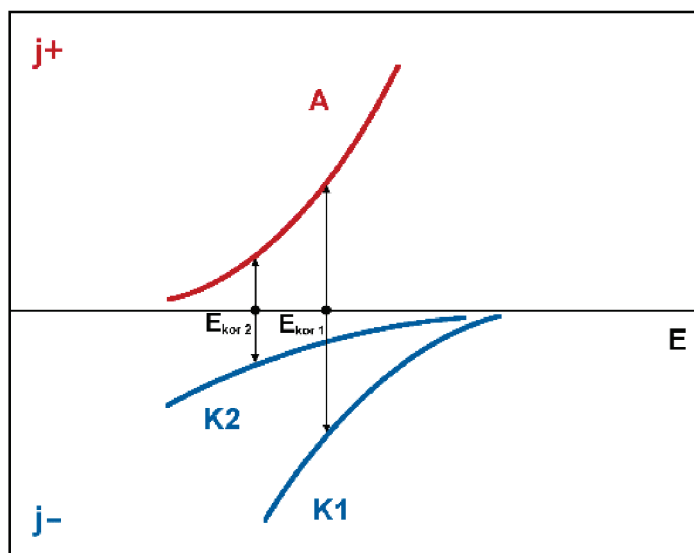
Jsou to látky, které brzdí anodickou (korozní) reakci. Tyto látky se používají hlavně v neutrálních roztocích a obvykle působí vznik nerozpustných produktů, které chrání povrch před další korozi (např. pasivní vrstva). Tyto látky musí být přítomny v dostatečném množství, neboť při poklesu koncentrace pod určitou hodnotu koroze naopak podporují a způsobují nerovnoměrné napadení povrchu. Mezi tyto látky patří dusitany, benzoany, chromany, fosforečnany, křemičitany. [11], [12]



Obr. 14: Vliv anodického inhibitoru pro kov korodující v aktivním stavu [11], [12]

5.2 Katodické inhibitory

Zpomalují průběh katodické (depolarizační) reakce. V neoxidačních kyselinách takto působí při korozi sloučeniny antimonu a arzenu, které brzdí vylučování vodíku. V neutrálních roztocích vytvářejí vápenaté a zinečnaté ionty, spolu s produkty koroze vrstvy, které brzdí kyslíkovou depolarizaci. Takto působí polyfosforečnany. [11], [12]



Obr. 15: Vliv katodického inhibitoru pro kov korodující v aktivním stavu [11], [12]

5.3 Adsorpční inhibitory

Brzdí korozní reakce (anodickou i katodickou) adsorpcí na povrchu kovu. Jedná se obvykle o organické látky, které obsahují skupiny s dusíkem a sírou např. aminy, merkaptany. Jejich hlavní uplatnění je při moření kovů. Někdy jsou mezi inhibitory řazeny také látky k odstranění nežádoucích příměsí z roztoku (tzv. destimulátory), nejčastěji kyslíku z vody (hydrazin). Látky k odstranění kyslíku jsou účinné jen tam, kde je redukce kyslíku řídicí reakcí korozního děje. Obvykle se používá směs inhibitorů zvláště v systémech, kde je více kovů, případně aby se účinek různých druhů inhibitorů doplňoval a zesiloval. Působení inhibitoru je často vázáno na určitý korozní systém (kov – prostředí) a ovlivněno je jak koncentrací prostředí, tak i teplotou. [11], [12]

6. Princip působení migračních inhibitorů koroze

Tyto inhibitory koroze penetrují k ocelové výztuži, na jejímž povrchu vytváří ochranný film, který nahrazuje hydroxylové skupiny a chloridové ionty z povrchu výztuže. Inhibitor koroze tímto omezuje přístup kyslíku na katodě a rozpouštění železa na anodě. Dnešní inhibitory koroze využívají dvojího efektu. Působí jak v anodické, tak v katodické oblasti korozního článku, při relativně malé koncentraci.[13]

6.1 Účinnost inhibitorů koroze

Za posledních 15 let lze napočítat více než 160 odborných statí, článků a dokumentů zabývajících se problematikou inhibitorů. Ze závěrů lze dovodit, že:[13]

- Aplikace povrchových inhibitorů mohou prodloužit životnost železobetonové konstrukce tím, že oddalují iniciační fázi koroze a redukují rychlost koroze, pokud tato již začala a pokud jsou splněny určité podmínky.
- Inhibitory koroze účinkují vytvořením ochranné vrstvy na výztuži.
- Zvyšují hranici obsahu chloridových iontů potřebných pro start koroze.
- Nahrazují chloridové ionty na povrchu výztuže.[13]

Literatura také dává veliký důraz na účinnost inhibitorů, která je ovlivněna těmito parametry:

- množství chloridových iontů na povrchu výztuže,
- rozsah karbonatace, pokud jsou chloridy přítomny,
- rozsah koroze,
- propustnost betonu,
- úroveň vlhkosti.[13]

V rámci rozsáhlého projektu SAMARIS byly provedeny nejprve laboratorní zkoušky samotných ochranných technologií (inhibitorů) v roztocích a následně byly provedeny zkoušky na vyztuženém betonu. Výsledky zkoušek samotných inhibitorů ukazují, že: [13]

- Amino-alkoholy účinně omezují korozi.
- Poměr mezi obsahem chloridů a množstvím inhibitorů je velmi důležitý.
- Účinnost inhibitoru silně závisí na rozsahu koroze výztuže.
- Inhibitor tvoří chemicky vázanou povrchovou vrstvu. [13]

Při testování na hotových vzorcích vyztuženého železobetonu byly potvrzeny výše uvedené body, ale konkrétně se ukázalo, že:

- Inhibitory jsou účinné za podmínek, kdy obsah chloridů není extrémně vysoký a pokud koroze není příliš rozvinuta.
- Pokud už je rozsah koroze značný, inhibitory koroze jsou méně účinné, a proto je nutné zvolit vhodnou strategii údržby konstrukce.
- Absolutní hodnota obsahu chloridů je méně důležitá než kombinace obsahu chloridů s rozsahem koroze.
- Nebyla prokázána škodlivost amino-alkoholů u betonu. [13]

III. Cíl práce

Tato práce je zaměřena na problematiku koroze ocelové výztuže v železobetonu, sanační materiály a na účinnost inhibitorů koroze. Cílem diplomové práce je vývoj a ověření účinnosti nového typu inhibitoru koroze INH od společnosti Betosan s.r.o. v různých koncentracích účinné látky.

Předmětem této práce je tedy zpracování rešerše přísadových inhibitorů koroze dostupných na českém trhu, princip jejich působení a možnosti detekce inhibitorů koroze v betonu. Další část práce si klade za cíl vytvořit přehled používaných sanačních hmot. V další části práce je cílem vývoj a formulace metodiky pro hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze v různých koncentracích účinné látky a ověření vlivu koncentrace účinné látky na zabránění vzniku koroze ocelové výztuže. Na základě této metodiky bude dále provedeno hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze INH zabudovaného v uceleném systému sanačních hmot od společnosti Betosan s.r.o. a porovnání s komerčními inhibitory koroze Sika® FerroGard® - 901 od společnosti Sika CZ s.r.o. a inhibitoru koroze MCI® - 2006 NS od společnosti Cortec.

Závěrem práce bude realizováno hodnocení dosažených výsledků a finanční kalkulace na základě dávkování účinné látky pro nový typ inhibitoru koroze.

IV. PRAKTICKÁ ČÁST

A. REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH PŘÍSADOVÝCH INHIBITORŮ KOROZE

1. Technologie firmy Sika produkt Sika® FerroGard®-901

Charakteristika výrobku:

Sika® FerroGard®-901 je tekutá přísada na bázi aminoalkoholů určená pro železobeton a maltu. Působí jako ochrana před korozi pro ocelovou armaturu zalitou v betonu. Použitím této přísady se zvyšuje životnost exponovaných částí staveb. Ovlivňuje elektrochemický funkční průběh dílčí anodické a katodické reakce. Výrobek působí jednak vytvořením filmu na povrchu oceli (katoda) a zabraňuje rozpouštění kovu vytvořením obtížně rozpustných kovů (anoda). [14]

Typické vlastnosti:

Tab. 1: Parametry produktu Sika® FerroGard®-901 [14]

Vzhled	Zelená kapalina
Balení	Obaly po 180 kg, kanystř 25 kg
pH	10 ± 1,0
Hustota	1,06 kg/l
Dávkování	3,0 – 4,0 % hmotnosti cementu
Skladovatelnost	12 měsíců, chraňte před mrazem a přímým slunečním zářením.
Cena	121 Kč/kg

Použití:

Sika® FerroGard®-901 je vhodný zvláště pro železobeton, jenž je vystaven silnému nebezpečí koroze. Výrobek chrání zejména před korozi způsobenou chloridy. [14]

Oblasti použití:

- betonové silnice, průmyslová zařízení, stropy garáží, venkovní schodiště, inženýrské stavby pozemního a podzemního stavitelství (mosty, tunely, opěrné zdi) [14]

Výhody:

- působí jako ochrana před korozi pro ocel obsaženou v betonu, zejména před působením chloridů
- chrání beton před ničivými účinky koroze ocelové armatury
- nemá vliv na vlastnosti čerstvého a zatvrdlého betonu
- Sika® FerroGard®-901 je kombinací organických a anorganických inhibitorů [14]

Aplikace:

Sika® FerroGard®-901 se přimíchává do záměsové vody nebo se přidá současně s vodou do míchačky. Lze jej také na místě přidat do míchačky k předem smíchanému betonu. Přitom je bezpodmínečně nutné dodržet dobu míchání s betonem minimálně 1 minutu na m³. Před vylitím je nutné beton vizuálně zkontrolovat, zda má stejnoměrnou konzistenci. Sika® FerroGard®-901 nesmí být přimícháván do suchého cementu. S použitím přípravku jsou vyráběny vysoce kvalitní betony. Všeobecná pravidla pro výrobu a zpracování betonu musí být dodržena, také u betonu s přísadou Sika®FerroGard®-901. Je nutné rovněž dodržovat optimální ošetření čerstvého betonu. [14]

2. Technologie firmy Cortec produkt MCI® - 2006 NS

Charakteristika výrobku:

MCI® - 2006 NS je příměs do betonu v práškové formě, která obsahuje jak organické, tak i anorganické sloučeniny s obsahem migračních inhibitorů koroze. Poskytuje vynikající ochranu ocelové výztuži, stejně jako dalším kovovým prvkům, zapuštěným do betonu. Výrobek skvěle chrání proti korozi způsobené karbonatací, agresivním vzdušným prostředím, nebo útoky chloridů. [15]

Typické vlastnosti:

Tab. 2: Parametry produktu MCI® - 2006 NS [15]

Vzhled	našedlý prášek
Balení	2,3 kg, 22,7kg a 45,3 kg
pH	11,5 – 13 (1% roztok)
Skladování	24 měsíců
Dávkování	0,6 kg/m ³
Cena	1180 Kč/kg

Použití:

- Veškeré konstrukce ze železobetonu, prefabrikovaného betonu, předpjatého betonu, dodatečně předpjatého betonu a betonu používaného v námořním stavitelství
- Mosty, dálnice a komunikace z železobetonu, které jsou vystaveny korozivnímu prostředí (karbonatace, posypovým solím a atmosférickým vlivům)
- Veškeré konstrukce z železobetonu v přímořských oblastech
- Při torkretování může být přidáván do vody či do suché směsi
- Může být přidán do malt přímo u výrobce pro zajištění jejich antikorozního účinku [15]

Výhody:

- Významné prodloužení životnosti železobetonových konstrukcí. Chrání před škodlivými vlivy koroze tím, že proniknou i tím nejhutnějším betonem
- Výrobek není toxický ani jinak zdraví škodlivý
- Výrobek nemá vliv na základní charakteristiky betonové směsi
- Koncentrace chloridů nemá vliv na spotřebu výrobku
- Neobsahuje dusitan vápenatý
- Rozpustné ve vodě a nehořlavý, snadná manipulace
- Chrání výztuž jak v její anodické tak i katodické oblastí
- Migruje betonem, kde vyhledává a následně chrání zapuštěné kovy
- Schváleny podle Standartu NSF 61 pro styk s pitnou vodou [15]

3. Technologie firmy Betosan produkt Armoguard P

Charakteristika výrobku:

Armoguard P je tekutá přísada (vodný neutrální koncentrát na bázi tenzidů a aminů) do sanačních malt a železobetonu. Dlouhodobě ochraňuje ocelovou výztuž uloženou v betonu, nezpůsobuje změny struktury betonu, nesnižuje paropropustnost, prodlužuje výrazně životnost železobetonu v agresivních podmínkách, jednoduchá aplikace, přísada se přidává do záměsové vody, je nehořlavá a neovlivňuje mechanické vlastnosti betonu. Může být škodlivý pro vodní organizmy. [16]

Typické vlastnosti:

Tab. 3: Parametry produktu Armoguard P [16]

Vzhled	bezbarvá kapalina
Balení	v PE kanystrech o hmotnosti 10kg
Hustota	1030 kg/m ³
pH	10,4 ± 0,5
Dávkování	2,5 – 4,0% hmotnosti cementu
Skladování	při teplotě +5 až +40 °C, doba skladovatelnosti 12 měsíců, chránit před mrazem
Cena	333 Kč/kg

Použití:

Armoguard P se používá jako preventivní ochrana proti korozi železobetonových staveb jako jsou např. průmyslové objekty, mosty, opěrné zdi, venkovní schodiště apod. Zejména zabraňuje škodlivému působení chloridů, ale i dalších vlivů, které mohou vyvolat korozi výztužných vložek. [16]

Aplikace:

Příspěvek se přimíchává buď do záměsové vody nebo současně s vodou do míchačky. [16]

4. Technologie firmy Basf produkt RHEOCRETE® 222+

Charakteristika výrobku:

RHEOCRETE® 222+ je ekologická antikorozi příprava, poskytující dvě úrovně ochrany proti korozi a to z hlediska působení atmosférických vlivů, tak působení chloridů. To ji řadí mezi nejúčinnější antikorozi přípravy. [17]

Typické vlastnosti:

Tab. 4: Parametry produktu RHEOCRETE® 222+ [12]

Vzhled	Bílá kapalina
Balení	v barelech 1000 l, 208 l, 25 l
Hustota	0,98 – 0,99 g/cm ³
pH	11,6
Dávkování	5 l/m ³
Skladování	při teplotě min +5, doba skladovatelnosti 12 měsíců, chránit před mrazem, slunečním zářením a extrémními teplotami
Cena	128 Kč/kg

Použití:

RHEOCRETE® 222+ prodlužuje životnost jakýchkoliv železobetonových konstrukcí a to i konstrukcí vystavených působení chloridů, zejména pak v přímořských oblastech. [17]

Aplikace:

Pří sada RHEOCRETE® 222+ se přidává do záměsové vody, neměla by být smíchávána s jinými přísadami před dávkováním do míchačky. [17]

5. Technologie firmy Betosan produkt INH

Tento inhibitor koroze s označením INH byl testován v různých koncentracích účinné látky a to 2, 6, 8, 12 a 16 %. Dále je značen jako INH2, 6, 8, 12, 16 dle koncentrace účinné látky, kterou značí číslice uvedená za označením).

Charakteristika výrobku:

Jedná se o nově vyvinutý inhibitor koroze s přítomností aminoskupin, pro který v současnosti nejsou dostupné technické ani bezpečnostní listy. V současnosti se neuvažuje o samostatném prodeji tohoto inhibitoru koroze, ale jen jako součást sanačních hmot, kde bude tvořit jejich přidanou hodnotu ve vztahu k omezení či vzniku koroze ocelové výztuže.[18]

Typické vlastnosti:

Tab. 5: Parametry produktu Betosan INH [19]

Vzhled	Bílý jemný prášek
Sypná hmotnost	1,06 g/cm ³ (20°C)
Dávkování	3 – 4 % z hmotnosti cementu

Použití:

Hlavní funkcí tohoto inhibitoru koroze bude jeho postupné uvolňování ze sanačních hmot a migrace k ocelové výztuži, s cílem zpomalit nebo zastavit korozi ocelové výztuže v sanovaných železobetonových konstrukcích.[18]

Aplikace:

Inhibitor koroze Betosan INHIB16 se dávkuje v množství 3 – 4 % z hmotnosti cementu. V případě, že není již součástí suché směsi je potřeba provést důkladné rozmísení v suché složce mícháním min. 3 minuty (v závislosti na objemu materiálu). Přidávání do již smísené směsi s vodou se nedoporučuje a to z důvodu jeho práškové formy, kdy může dojít k ovlivnění zpracovatelnosti a nedokonalému rozmísení. [19]

6. Možnosti detekce inhibitorů koroze

Jedná se o metody stanovení přítomnosti inhibitorů koroze v betonové matrici. Za pomoci detekčního činidla dochází k definované reakci s účinnou látkou obsaženou v inhibitech koroze.

6.1 Chromatografický test

Jedná se o zkušební metodu společnosti Sika, která je schopna určit přítomnost inhibitorů na bázi aminoalkoholů.

Postup zkoušení

Dlátěm nebo vyvrtávacím vrtákem se odejme vzorek betonu s inhibitorem koroze (dále označen jako M) o velikosti cca 1 cm³, z jakéhokoliv místa a hloubky. Pro analýzu je potřeba mít nulový vzorek /dále označen jako (O), z jakéhokoliv neošetřeného betonu. Následně se oba vzorky betonu rozdrtí na velikost částic 1 mm a méně. Takto vzniklé prášky se nasypou do malých skleněných skleniček do výšky 4 mm. Lahvičky označíme (M) a (O). Do injekční stříkačky se nasaje 1 ml destilované vody a vyprázdnění do skleněné lahvičky s práškem tak, aby voda byla přibližně o 1 mm výše než prášek. Lahvičky se uzavřou, protřepou po dobu 30s a nechají ustát půl hodiny i déle.

Dalším krokem je nasátí zkalené vody injekční stříkačkou a její vyprázdnění přes mikrofiltr. Přefiltrovaná kapalina se zachytí do čisté skleněné lahvičky. Pro jednotlivé vzorky je třeba použít čistou stříkačku, aby nedošlo ke kontaminaci vzorků. Výsledkem jsou dva kapalně vzorky (M) a (O), které se odeberou mikropipetou. Mikropipeta s odebraným vzorkem se přikládá na bílou chromatografickou destičku a kapalina se nechá vytéci z pipety tak, aby skvrna vytékající kapaliny nepřesáhla 5

mm v průměru. Kapalina se dává na chromatografickou destičku v 5 – 6 krocích, přičemž mezi jednotlivými kroky musí být vysušena horkovzdušným dmychadlem. V dalším kroku po vysušení všech vzorků se nanese ve velmi tenké vrstvě detekční roztok A, tento se opět vysuší a nanese se ve velmi tenké vrstvě testovací roztok B. Opět se vysuší a sleduje se zbarvení chromatografické desky.

U vzorku obsahujícího aminoalkoholy dojde ke změně barvy z bílé na červenohnědou.[12]

6.2 Detekce inhibitorů koroze pomocí dansylchloridu

V rámci projektu FR-TI3/290 „Ucelený systém materiálů nové generace pro sanace železobetonových konstrukcí s využitím technologie inhibitorů koroze“ je vyvíjena nová metoda pro stanovení přítomnosti inhibitorů koroze na bázi aminoalkoholů a amino skupin.[18]

Princip metody

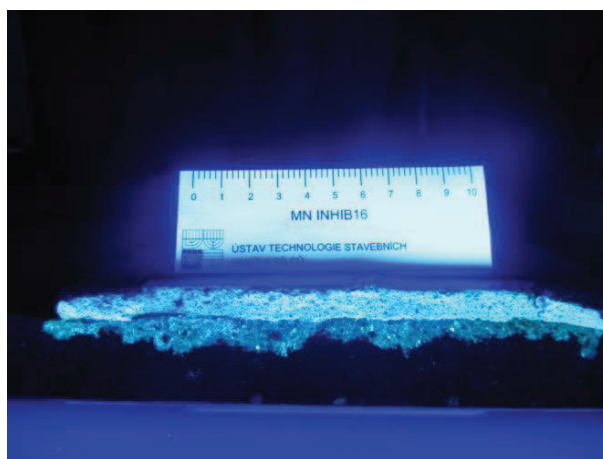
Dansylchlorid (Dns-Cl) je derivatizační činidlo, které poskytuje deriváty s aminy i některými fenoly. Reaguje jak s primárními, tak sekundárními aminokyselinami za vzniku příslušných sulfonamidů s absorpčním maximem při 298 nm. Dansylderiváty fluoreskují při hodnotě vlnové délky $\lambda = 470$ do 530 nm s excitačním zářením od $\lambda = 340$ do 380 nm.[18]

Metoda je založena na reakci aminových skupin s činidlem dansylchlorid v alkalickém prostředí. Výsledkem chemické reakce jsou fluorescenční produkty, které je možné spatřit pouhým okem při nasvícení ultrafialovým světlem s příslušnou vlnovou délkou.[18]

Využití této metody v terénu na konstrukcích není vhodné, jelikož dansylchlorid je ve své podstatě sůl, která má na silikátové stavební materiály všeobecně negativní vliv. Tato metoda je tedy vhodná spíše pro laboratorní účely a to v případě, kdy nejsou zkušební vzorky na silikátové bázi dlouhodobě testovány pomocí dansylchloridu. [18]



Obr. 16: Vzorek s obsahem dansylchloridu pro stanovení přítomnosti inhibitoru koroze INH16



Obr. 17: Průkazní zkouška přítomnosti inhibitoru koroze INH16 pomocí dansylchloridu, nasvíceno UV lampu

B. Rešerše sledující téma sanačních hmot a návrhu betonových směsí s využitím speciálních přísad.

Vlivem agresivních činitelů, či nedodržením technologických postupů při zpracování a ošetřování betonové směsi v době jejího zrání, dochází s odstupem času k nežádoucím porušením železobetonových konstrukcí.

Následkem tohoto vzniká potřeba sanovat takto poškozené konstrukce, s cílem ochránit je před dalšími škodlivými vlivy, zlepšit jejich vzhled a prodloužit jejich životnost. Pro tyto účely byly vyvinuty celé řady sanačních hmot a jejich systémů od různých společností, zabývajících se danou problematikou. Tato část práce si klade za cíl přiblížit a zpracovat přehled dostupných technologií a materiálů pro sanace železobetonových konstrukcí na českém trhu.

Stěžejní pro správnou sanaci je odhalit příčinu, která způsobuje degradaci konstrukce. V případě nalezení příčiny je pak nutné, vybrat správnou metodu, popřípadě kombinaci více metod, jak účinně danou příčinu odstranit. K tomu je dále nutné zvolit vhodný materiál pro danou aplikaci.

1. Materiály pro sanaci železobetonových konstrukcí

Při výběru musíme dokonale znát všechny vlastnosti materiálů, protože ty jsou základem kvalitní sanace. Materiály se musí vyznačovat vzájemnou kompatibilitou, neboť by mělo dojít k dokonalému spolupůsobení stávajícího a správkového materiálu.[20]

Jeden z největších problémů správkových materiálů jsou jejich objemové změny ve vztahu k podkladu. Relativní objemové změny vyvolávají vnitřní napětí ve správkových hmotách i uvnitř původní hmoty. Vysoká vnitřní pnutí mohou následně vyvolat vznik tahových trhlinek, ztrátu únosnosti, odlupování vrstev nebo vydrolování. Je tudíž třeba věnovat zvláštní pozornost všem materiálovým vlastnostem a vhodně tak regulovat vzájemné objemové změny. Základními příčinami objemových změn je smršťování v průběhu zrání (zejména jemnozrnější materiály, resp. materiály s vyšší dávkou záměsové vody) a dále vysoký součinitel teplotní roztažnosti. [20]

Pro sanaci železobetonových konstrukcí se používají tyto materiály:

- materiály pro antikorozi ochranu výztuže (konzervace výztuže),
- adhezni můstek (spojovací můstek, penetrace původního betonu),
- správkové hmoty,
- materiály povrchových ochranných systémů,
- speciální materiály pro zajištění vodotěsnosti,
- injektážní a výplňové hmoty.[21]

1.1 Antikorozi ochrana výztuže

Cílem antikorozi ochrany výztuže je zabránit přístupu vody a kyslíku k povrchu kovu, a tak eliminovat vznik elektrochemické koroze. Antikorozi ochrana výztuže obvykle vytváří na jejím povrchu hutný celistvý povlak se zvýšenou alkalitou.

Její aplikace je nezbytná zejména v těch případech, kdy nově nanášené správkové vrstvy nemohou být aplikovány v takové tloušťce, která je nezbytná k vytvoření účinné krycí vrstvy (minimálně 20mm). [20]

1.1.1 Antikorozi ochrana výztuže epoxidovými pryskyřicemi

Jako antikorozi ochranu výztuže lze použít epoxidové pryskyřice, tyto vynikají výbornou soudržností jak s ocelovou výztuží, tak s betonovým podkladem, kdy vytvářejí i velmi dobrý adhezní můstek pro další nanášené vrstvy. Adhezi lze zlepšit poprášením čerstvého nátěru křemičitým pískem.[22]

1.1.2 Antikorozi ochrana výztuže hydraulickými suspenzemi

Většinou se jedná o použití suspenzí na bázi cementu s přísadou makromolekulárních disperzí, (např. akrylátů) s vodním součinitelem $v/c = 0,35 - 0,40$. Dvěma nátěry vznikne cca 1 mm silná vrstva, která dobře přilne k podkladu. Účinnost takového nátěru je určena jeho zásaditostí, kdy v zásaditém prostředí nemůže výztuž korodovat a současně se zastavuje již započatá koroze.[22]

1.2 Adhezní můstek

Dostatečného spojení lze dosáhnout nanesením správkového materiálu přímo na řádně předupravený podklad. Pro používání spojovacích prostředků (tzv. adhezních můstků) existují speciální hmoty, vyznačující se poměrně vysokou tekutostí. Účelem použití adhezního můstku je snadnější pronikání do otevřené pórové struktury betonu a jeho následné chemické provázání se správkovým materiálem. Pro jednoznačnou kompatibilitu musí tyto materiály splňovat jednoznačnou kompatibilitu se správkovým materiálem i s podkladem. [21]

Nejčastěji se používají tři hlavní typy adhezních můstků:

- cementové malty
- polymercementové suspenze
- polymerové hmoty (epoxidy, případně i akryláty). [21]

1.3 Správkové hmoty

Úkolem správkových hmot je reprofilovat betonové konstrukční prvky do původního tvaru, resp. obnovit nebo zvětšit tloušťku krycí vrstvy nad výztuží, případně staticky zesílit konstrukci. Správková hmota slouží především k obnově trvanlivosti betonových prvků a k jejich vzhledovému uvedení do původního stavu.[sanace]

Správkové hmoty se člení podle složení do čtyř skupin:

- cementové malty a betony (CC),
- polymercementové, malty a betony (PCC) – malty pro betony modifikované polymerními přísadami (např. akryláty, polyvinyl acetáty a jejich kopolymery),
- polymermalty a polymerbetony (PC) – malty a betony, jejichž pojivem jsou výhradně polymerní pryskyřice (např. epoxidy, PUR, PES, SI),
- injektážní hmoty a zálivky – nejběžněji jsou to malty na bázi portlandského cementu, pro speciální aplikace jsou to epoxidové pryskyřice. [sanace]

1.3.1 Polymerbetony (polymermalty)

Jde o materiál, který je tvořen makromolekulární reaktivní pryskyřicí a minerálním plnivem (kamenivem). Pojivá – vazná matrice není tedy tvořena hydratovaným cementem, ten však může být použit jako jedna z frakcí minerálního plniva. Nejčastěji se používají polymerbetony na bázi epoxidů, v menší míře polymetakrylátu, polyuretanu apod. K vytvrzení většiny těchto pryskyřic může dojít jen přidáním tužidla. Množství tužidla k pryskyřici i jeho chemické složení může podstatně ovlivňovat vlastnosti výsledného polymeru.[22]

1.3.2 Polymery modifikované betony (malty)

Základ těchto materiálů tvoří cement s kamenivem a polymery se přidávají pouze jako přísada ke zlepšení fyzikálně mechanických vlastností. Jde většinou o akryláty a epoxidy ve formě redispergovatelného prášku nebo vodou mísitelné (emulgovatelné) pryskyřice.[22]

1.3.3 Cementové malty

Tyto malty lze využít pro sanační práce s přísadou plastifikátorů, z důvodu dosažení lepší zpracovatelnosti při co nejnížší dávce vody. K dosažení dobré soudržnosti s podkladem je potřeba použít adhezní můstek. Cementová malta ovšem rychleji karbonatuje, a tak při tloušťkách pod 2 cm nezaručuje dlouhodobou ochranu ocelové výztuže. Nevýhodou je velká náchylnost k tvorbě trhlin a nízká soudržnost s podkladem. [22]

1.4 Stěrky

Jedná se o hmoty nanášené v tloušťkách několika milimetrů na reprofilované povrchy, s cílem vyrovnat opravovanou plochu s okolním povrchem, vyplnit větší póry v sanační maltě a překrýt styčnou spáru mezi původním betonem a sanovanou oblastí.

Jako plnivo se obvykle používá křemenný písek o frakci 0 – 1 mm. Většinou se používají cementové suspenze modifikované polymery. Použití čistě polymerních suspenzí stěrek je méně časté. Do vyrovnávacích suspenzí se někdy přidávají i jemná skelná nebo umělohmotná vlákna, aby se zabránilo tvorbě smršťovacích trhlinek.[22]

1.5 Povrchové ochranné systémy

Povrchové ochranné systémy vytvářejí na povrchu sanované betonové konstrukce doplňující bariéru proti průniku nežádoucích médií, zejména k ocelové výztuži. Jedná se především o průnik oxidu uhličitého a vody, může se však jednat i o celé spektrum dalších agresivních médií podle konkrétní expozice železobetonového prvku. Současné povrchové systémy barevně sjednocují povrch opravované betonové konstrukce a zlepšují její celkový vzhled.[sanace]

Vzhledem k omezené časové účinnosti povrchových ochranných systémů nelze je považovat za plnohodnotnou náhradu dostatečně tlusté krycí vrstvy betonu nebo správkové hmoty nad výztuží.[20]

Druhy povrchových ochranných systémů:

- **impregnace** povrchu prováděná bezpigmentovými a bezplnidlovými nízkoviskózními látkami je charakteristická spotřebou 100 – 200 g·m⁻² nátěrového média. Vzhledem k této spotřebě nedojde k uzavření všech pórů, tedy dojde jen k částečnému zmenšení průniku tekutých látek do betonu, hlavním efektem je zpevnění povrchu. [22]
- **hydrofobní impregnace** se provádí speciálními roztoky, které se vsáknou do ošetřovaného povrchu a brání průniku netlakové srážkové vody do povrchových vrstev konstrukce a současně jsou propustné pro vodní páru. Nejběžněji se používají silikony (silany a siloxany).[21]
- **Nátěry** se provádí nanášením filmotvorného materiálu na betonový povrch. K dispozici je mnoho organických a anorganických povlaků. Slouží pro omezení absorpce vody, difúze vodních par i difúze agresivních kapalin a plynů povrchem betonu, jako jsou např. ochrana proti chloridům a oxidu uhličitému.[21]

1.6 Speciální materiály pro zajištění vodotěsnosti:

- **Nanášení elastomerových membrán**- hydroizolační folie (termosetové kapaliny, polymery, vytvrzované kapaliny nebo předem natvarované materiály)
- **Krystalizační nátěrové hmoty**- jejich reakcí s vodou se vytváří nerozpustné krystaly, čímž se beton trvale zacelí proti průsakům vody a jiných kapalin
- **Injektážní a výplňové hmoty**- (cementová suspenze, polyuretanová pryskyřice, akrylátová pryskyřice, epoxidová pryskyřice) vytváří v konstrukci zábranu proti kapalinám, použití pro utěsnění trhlin a spár proti průniku vody a par. [21]

C. Vývoj a formulace metodiky pro hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze

Pro vývoj a hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze bylo využito cyklační zařízení s agresivním chloridovým prostředím (3% roztok NaCl). Vyrobená zkušební tělesa ze správkových hmot od společnosti Betosan s.r.o., se zakomponovanými inhibitory koroze, byla podrobena zatěžování v pravidelných intervalech po dobu 7 měsíců.

Aby bylo možné sledovat průběžně míru koroze ocelové výztuže, a tedy i účinnost inhibitorů koroze, byla během této doby prováděna pravidelná měření v intervalu jednoho měsíce. Tato měření byla prováděna metodou měření elektrického odporu a metodou měření poločlánkových potenciálů podle ASTM C 876-91. Po ukončení měření (po 7 měsících zatěžování) bylo provedeno mechanické rozpůlení vzorků a fotograficky zaznamenán stav ocelové výztuže.

1. Metodika prováděných prací (Etapa 1 až 5)

Ve spolupráci s firmou Betosan s.r.o. byly provedeny zatěžovací zkoušky uceleného systému správkových hmot s obsahem nového typu inhibitoru koroze v agresivním chloridovém prostředí.

Jedná se o tyto správkové hmoty:

- adhezni můstek s pracovním označením ADHM2
- správkové hmoty pro:
 - ruční aplikaci, pracovní značení SH - RA2
 - strojní aplikaci suchým způsobem, pracovní označení SH - SN2
 - strojní aplikaci mokřím způsobem, pracovní označení SH - MN2
- stěrková hmota, pracovní označení S2K

Dále byly použity tyto inhibitory koroze:

- INH od společnosti Betosan s.r.o., dále značen jako INH2, (6, 8, 12, 16) podle koncentrace účinné látky, kterou značí číslice na konci označení
- Sika® FerroGard®-901 od společnosti Sika CZ, s.r.o., dále značen jako 901
- MCI® - 2006 NS od společnosti Cortec, dále značen jako MCI – 2006 NS

Cílem je ověření účinnosti nového inhibitoru koroze INHIB16 v závislosti na koncentraci účinné látky a to v množství 2, 6, 8, 12 a 16 %. Dále pak porovnání nového typu inhibitoru s komerčními produkty.

Etapa 1: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených v adhezním můstku ADHM2

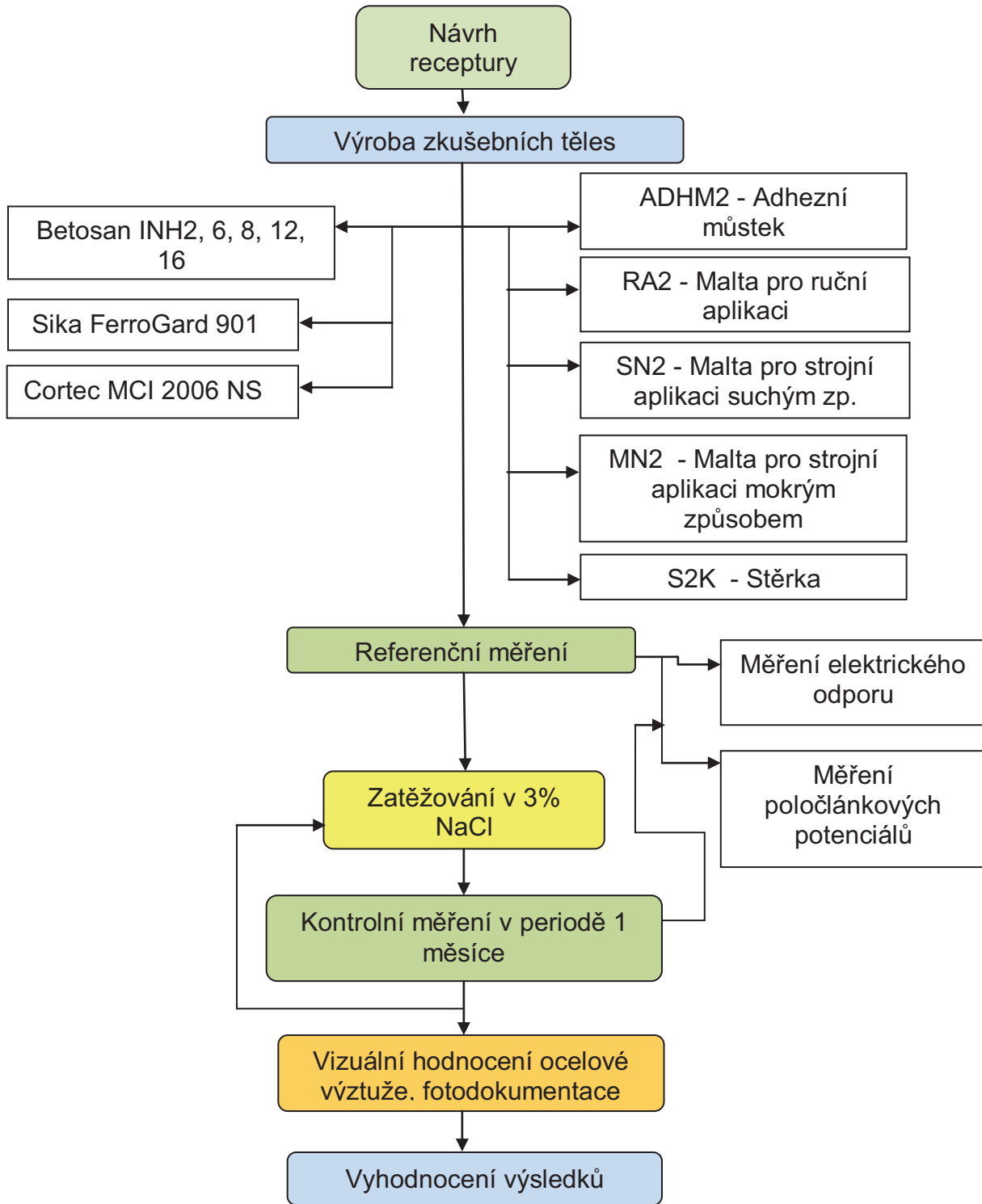
Etapa 2: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě RA2

Etapa 3: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě SN2

Etapa 4: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě MN2

Etapa 5: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve stěrce S2K

1.1 Schéma metodiky: Etapa 1 – 5



Obr. 18: Schéma metodiky práce

2. Návrh receptur správkových hmot s inhibitory koroze:

Návrh použitých receptur pro výrobu zkušebních vzorků vychází z uvedených receptur, které při návrhu a ověřování vlastností sanačních hmot s obsahem nového typu inhibitoru vypracoval a uvedl Ing. Luboš Dražil ve své diplomové práci: *Nové typy kompozitů pro sanaci stavebních konstrukcí s důrazem na zvýšení korozní odolnosti výztuže*, na kterou tato práce navazuje.

V rámci všech sanačních hmot, se kterými se ověřovala účinnost nového typu inhibitoru koroze (INH) v závislosti na koncentraci účinné látky, byla zvolena vždy stejná hmotnostní dávka inhibitoru koroze.

Pro výrobu zkušebních těles s komerčními inhibitory koroze, byly tyto inhibitory koroze dávkovány dle parametrů uváděných výrobcem.

Receptura pro výrobu betonových těles následně opatřených adhezním můstkem nebo stěrkou obsahujících inhibitory koroze, byla převzata z disertační práce Ing. Vladimíra Švehly.

Veškeré použité receptury jsou dále uvedeny v jednotlivých etapách hodnocení účinnosti inhibitorů koroze.

2.1 Receptura adhezního můstku

Tab. 6: Receptury adhezního můstku a betonu pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze

Adhezní můstek (ADHM2)	Suchá složka [g]	Tekutá složka [g]	inhibitor [g]	voda [g]
ADHM2 - REF	500	150	-	15
ADHM2 – INH2, 6, 8, 12, 16	500	150	3,82	15
ADHM2 - 901	500	150	3,82	11,18
ADHM2 - MCI 2006 NS	500	150	0,26	15
Beton	Kamenivo 2 – 4 mm [g]	Cement [g]	voda [g]	
	1400	400	225	

2.2 Receptura správkové hmoty pro ruční aplikaci RA2

Tab. 7: Receptury správkové hmoty RA2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze

Správková hmota pro ruční aplikaci (RA2)	Suchá složka [g]	inhibitor [g]	voda [g]
SH - RA2 - REF	1600	-	240
SH - RA2 – INH2, 6, 8, 12, 16	1600	7	264,6
SH - RA2 - 901	1600	7	233
SH - RA2 - MCI 2006 NS	1600	0,66	240

2.3 Receptura správkové hmoty pro strojní aplikaci suchým způsobem SN2

Tab. 8: Receptury správkové hmoty SN2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze

Správková hmota pro strojní aplikaci suchým způsobem (SN2)	Suchá složka [g]	inhibitor [g]	voda [g]
SH - SN2 - REF	1600	-	233
SH - SN2 – INH2, 6, 8, 12, 16	1600	7	251
SH - SN2 - 901	1600	7	226
SH - SN2 – MCI 2006 NS	1600	0,66	233

2.4 Receptura správkové hmoty pro strojní aplikaci mokřím způsobem MN2

Tab. 9: Receptury správkové hmoty MN2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze

Správková hmota pro strojní aplikaci mokřím způsobem (MN2)	Suchá složka [g]	inhibitor [g]	voda [g]
SH - MN2 - REF	1600	-	251
SH - MN2 – INH2, 6, 8, 12, 16	1600	7	260
SH - MN2 - 901	1600	7	244
SH - MN2 - MCI 2006 NS	1600	0,66	251

2.5 Receptura stěrky S2K

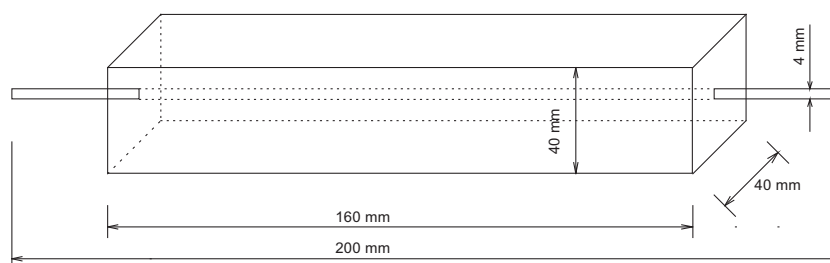
Tab. 10: Receptury stěrky S2K pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze

Stěrka (S2K)	Suchá složka [g]	Tekutá složka [g]	inhibitor [g]	voda [g]
S2K - REF	600	96	-	38,4
S2K – INH2, 6, 8, 12, 16	600	96	3,2	42,6
S2K - 901	600	96	3,2	35,2
S2K - MCI 2006 NS	600	96	3,2	38,4
Beton	Kamenivo 2 – 4 mm [g]	Cement [g]	voda [g]	
	1400	400	225	

3. Výroba zkušebních těles ze správkových hmot RA2, SN2, MN2

Po odvážení jednotlivých složek dle receptur, jsme nasypali dávku suché směsi do nádoby míchačky. V případě, že se jednalo o přípravu vzorku s práškovým inhibítorem koroze, jsme tento nejdříve přidali do suché směsi a provedli míchání nízkými otáčkami z důvodu homogenizace suché směsi. Pokud jsme přidávali tekutý inhibitor koroze, byl tento přidáván hmotnostně k dávce záměsové vody. Následně jsme přidali dávku záměsové vody a provedli míchání nízkou rychlostí po dobu 30 sekund. Po této době bylo provedeno míchání vysokou rychlostí po dobu 30 sekund, pak jsme setřeli maltu ze stěn míchací nádoby a následně pokračovalo míchání vysokou rychlostí po dobu 60 sekund.

Okamžitě po zamíchání byly pro zkoušení účinnosti inhibitorů koroze zhotoveny tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm se zabudovanou betonářskou výztuží (o průměru 4 mm a délce 200 mm) a to tak, aby ocelová výztuž vyčnívala ze zkušebního tělesa alespoň 1,5 cm na každou stranu.



Obr. 19: Rozměry zkušebního tělesa

Aby bylo možné tato tělesa vyrobit, bylo potřeba upravit ocelové trojformy a to osazením na místo původních ocelových čel, čely dřevěnými s vyvrtanými otvory pro umístění ocelové výztuže do podélné osy uprostřed vzorku.

Před samotným umístěním ocelové výztuže do forem ošetřených odbedňovacím olejem, bylo potřeba očistit ocelovou výztuž od případné mastnoty či nečistot a to z důvodu dokonalého spojení matrice a ocelové výztuže. K čištění bylo použito tkaniny, navlhčené denaturovaným lihem. Při vkládání ocelové výztuže byl kladen důraz na to, aby nedošlo k znečištění výztuže odbedňovacím olejem.

Pro zhutňování malty ve formách nemohl být použit zhutňovací stůl a to z důvodu rozjíždění formy s dřevěnými čely a vyjíždění ocelové výztuže z otvorů ve dřevěných čelech. Proto bylo veškeré hutnění provedeno ručně, následujícím postupem:

Do připravené formy s osazenou ocelovou výztuží se nanasla první vrstva malty do poloviny výšky, následně byla forma ručně 15 x spouštěna na pevnou podložku z výšky cca 5 centimetrů. Poté byla doplněna druhá vrstva malty s mírným přesahem formy a zhutněna dalšími 15 rázy. Následně bylo provedeno setření a zahlazení povrchu malty pomocí ocelové špachtle. Formy byly následně na druhý den odformovány a zkušební tělesa byla řádně označena.

Před vložením těles do cyklačního zařízení, byla vyčnívající výztuž ze zkušební vzorku omotána technickou lepicí páskou a ta zatavena horkovzdušnou pistolí. Takto byla ocelová výztuž relativně dobře chráněna před nežádoucí korozí.

4. Výroba zkušebních těles ze správkových hmot ADHM2, S2K

Protože se jedná o materiály, které jsou určeny pro nanášení na podkladní beton v tenké vrstvě, byly tyto správkové hmoty nanášeny na zkušební tělesa, vyrobené z betonu o rozměrech 40 x 40 x 160 mm se zabudovanou ocelovou výztuží.

Pro přípravu betonových těles byl použit cement Cem II/B – S 32,5 a kamenivo frakce 0 – 4 mm Žabčice, které bylo přeseťováno na síť na frakci 2 – 4 mm s cílem, vytvořit pórovitější strukturu a docílit tak snadnějšího pronikání látek podmiňujících korozí zabudované ocelové výztuže. Tato betonová tělesa byla vyrobena postupem popsaným výše (viz předchozí kapitola č. 3).

Takto vyrobená betonová tělesa byly po 28 denním zrání opatřeny vrstvou adhezního můstku a stěrky s obsahem inhibitorů koroze. Míchání bylo opět provedeno podle postupu uvedeného výše (viz předchozí kapitola č. 3).

Před samotným nanášením adhezního můstku nebo stěrky, byly betonové tělesa navlhčeny a zbaveny prachu pomocí navlhčené tkaniny. Následně byly jednotlivé správkové hmoty nanášeny pomocí ocelové špachtle nebo štětce tak, aby byl vzorek po celé své ploše dokonale potažen, včetně hran a místa prostupu ocelové výztuže

Před vložením těles do cyklačního zařízení, byla vyčnívající výztuž ze zkušební vzorku omotána technickou lepicí páskou a ta zatavena horkovzdušnou pistolí. Takto byla ocelová výztuž relativně dobře chráněna před nežádoucí korozi.

5. Měření elektrického odporu

Princip této metody je založen na předpokladu, že ocelová výztuž podléhající korozi zmenšuje svůj objem a tím se zvyšuje její odpor proti procházejícímu proudu. Měření elektrického odporu výztuže je možno provádět buď nepřímým měřením vycházejícím z Ohmova zákona nebo přímo pomocí ohmetru pracujícího na základě Thomsonova můstku.[23], [12]

Elektrický odpor je jednou z vlastností materiálu závislé na délce a průřezu. Platí vztah:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} (\Omega) \quad (1)$$

Kde: ρ - měrný odpor elektrického vodiče, ocel cca 0,098 - 0,0,15 [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$] při teplotě 20°C

l - délka elektrického vodiče [m]

S - průřez elektrického vodiče [mm^2] [23], [12]

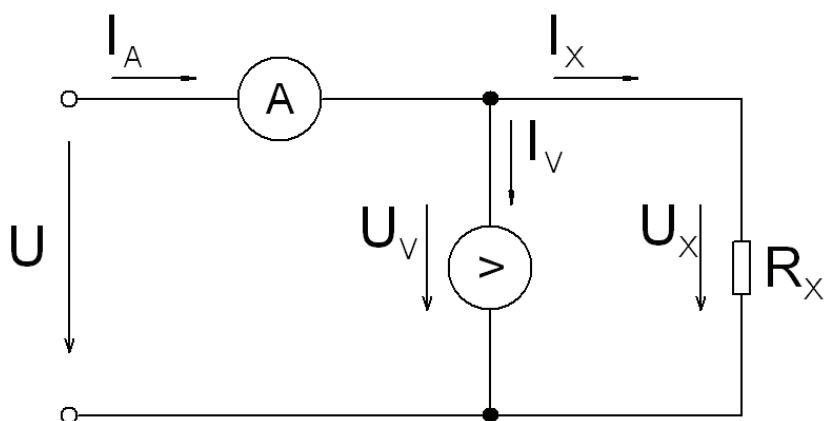
Nepřímé měření elektrického odporu využívá výpočet elektrického odporu dle Ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I} \quad (2)$$

kde R - měřený odpor (Ω)

U - úbytek napětí (V)

I - proud (A) [23], [12]



Obr. 20: Schéma zapojení [[23], [12]]

Měření se provádí diskrétními přístroji, digitálním voltmetrem a ampérmetrem, napájení je stabilizovaným stejnosměrným zdrojem. [23], [12]

Metoda měření elektrického odporu je vhodná zejména pro rovnoměrnou korozi, při které dochází k rovnoměrnému zmenšování průřezu vzorku po celé jeho délce. Tato metoda vyžaduje poměrně pracnou úpravu zkušebních vzorků oceli. Je vhodnější použití vzorků s malým průřezem, které mají větší odpor. Metoda klade poměrně vysoké nároky na přesnost a citlivost měřícího zařízení. [23], [12]

Použité elektrické přístroje:

Stabilizovaný stejnosměrný zdroj – Tesla BK 127

Voltmetr – Agilent 34410A – digit, stolní multimetr

Ampérmetr – MASTECH MY 64

Vliv teploty na velikost elektrického odporu:

- vliv teploty okolí na hodnotu el. odporu byl eliminován tím, že vzorky byly v prostoru, kde bylo prováděno měření, uloženy vždy den před samotným měřením.

- dalším vlivem je teplota výztuže při měření a projevuje se zde teplotní činitel odporu, který činí pro železo 0,0062 (1/°C), hodnoty se přepočítají na 20 °C podle vzorce:

$$R_{20} = \frac{R_x}{1+0,0062 \cdot (t_x-20)} [\Omega] \quad (3)$$

Kde: t_x – teplota ocelové výztuže [°C]

R_x – naměřený odpor vzorku [Ω] [23]

5.1 Postup měření:

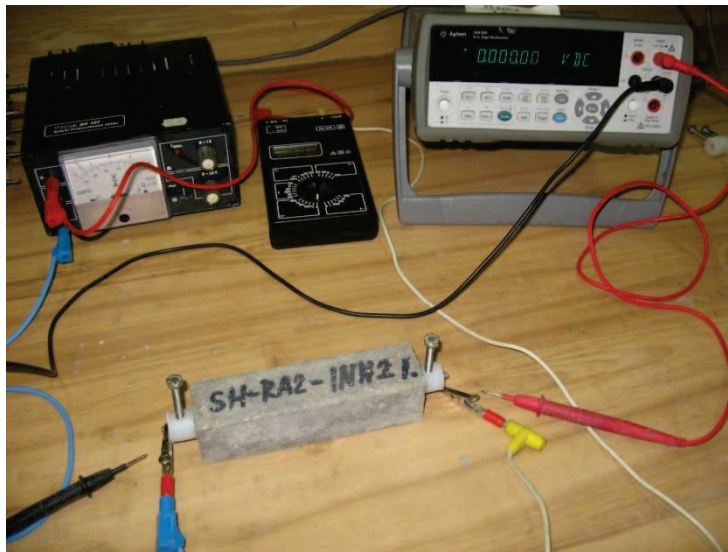
Před umístěním vzorků do cyklačního zařízení bylo provedeno referenční měření el. odporu ocelové výztuže a potenciálu poločlánku. Následně byly vzorky zatěžovány v cyklačním zařízení s 3% roztokem NaCl. Další měření byla prováděna v intervalu jednoho měsíce, viz postupy měření.

Vzorky bylo potřeba po vyndání z cyklačního zařízení nejprve nechat oschnout. Za tímto účelem byly vzorky rovnoměrně rozloženy na paletě po dobu 3 dnů. Následně bylo provedeno odstranění zatavené izolační pásky z ocelové výztuže, vyčnívající ze zkušebních těles, kterou chránila před korozi. Popřípadě pokud bylo potřeba, byla výztuž očištěna od rzi ocelovým kartáčem.

Před samotným měřením jsme, změřili teplotu okolního prostředí a zapojili stejnosměrný zdroj a příslušná měřidla dle schématu uvedeného na obr. 18. Následně jsme na konce vyčnívající výztuže ze vzorku nasunuly objímky z izolačního plastového materiálu, které byly opatřeny nerezovým šroubem o průměru 6 mm. Tyto šrouby sloužily po dotažení jako přípojný svorky pro voltmetr. Na vyčnívající výztuž z objímek jsme připojili kladný a záporný pól stejnosměrného zdroje, který byl nastaven tak, aby obvodem procházel elektrický proud o hodnotě 1 A. Poté jsme na hlavy šroubů přiložili přípojný vodiče voltmetru a po ustálení jsme odečetly hodnotu elektrického napětí, kterou jsme si zaznamenali.

Při měření jsme dbali na to, aby proud procházel obvodem po co nejkratší dobu a to z důvodu zahřívání ocelové výztuže, kdy změna teploty ocelové výztuže vlivem

procházejícího el. proudu má vliv na velikost odporu měřené ocelové výztuže. Dále jsme pokračovali dle postupu uvedeného níže v kapitole 6.1.

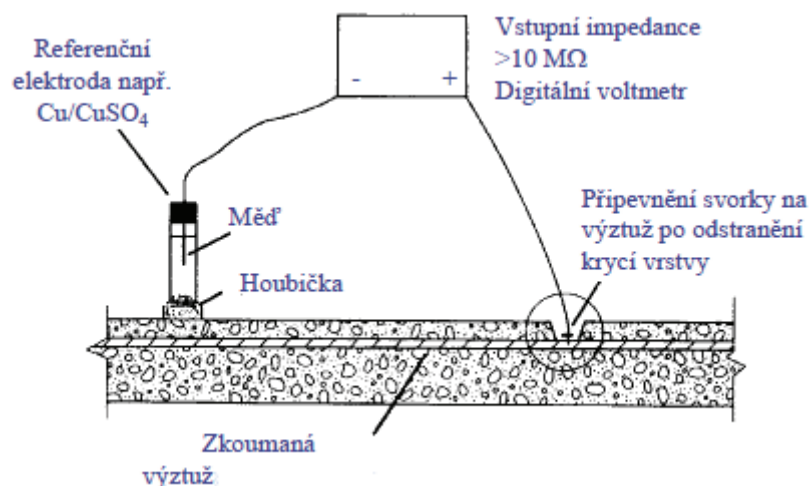


Obr. 21: Sestava pro měření el. odporu

6. Měření potenciálu poločlánku podle ASTM C876 – 91

Při korozi oceli v betonu existuje rozdíl potenciálů mezi anodickými oblastmi poločlánků a katodickými oblastmi poločlánků na oceli. Tento rozdíl lze snímat umístěním poločlánku měď – síran měďnatý na povrchu betonu a měřením rozdílů potenciálu mezi ocelovou výztuží a mokrou houbou na betonovém povrchu. Referenční článek připojuje betonový povrch k voltmetru o vysoké impedanci, který je rovněž elektricky připojen k rohoži na síti mřížky a zobrazují se jako rozdělení spádu potenciálů. Obecně se měření potenciálů poločlánky interpretují takto:[25]

- Hodnota nad -0,20 V indikuje 90% pravděpodobnost nulové koroze.
- Mezi -0,20 až -0,35 V je korozní aktivita nejistá
- Hodnota pod -0,35 V indikuje s více než 90% pravděpodobností, že ke korozi dochází. [25]



Obr. 22: Schéma měření metodou poločlánkových potenciálů [24]

Když se naměří kladné hodnoty, znamená to obvykle, že je k dispozici nedostatečné množství vlhkosti v betonu a hodnoty jsou neplatné. Tyto zkoušky neindikují stupeň koroze, měření pouze prokazují potenciál pro korozi v době měření. Tyto poločlánkové metody nedokáží odhalit korozi v dodatečně předpínaných kabelech a také nedokáží korozi zjišťovat, když ocelová výztuž není napojena na voltmetr. Nicméně poločlánková měření bývají často užitečná, protože jejich provádění je snadné a výsledky lze dodávat rychle a při poměrně nízkých nákladech.[25]

6.1 Postup měření:

Toto měření následovalo vždy 3 dny po měření elektrického odporu. Po tyto 3 dny byly vzorky ponořeny ve vodě, aby se zajistila jejich dostatečná vlhkost pro měření potenciálu poločlánku. Před ponořením do vody bylo nutné ocelovou výztuž opatřit vrstvou vazelíny, aby nedocházelo k její korozi. Před samotným měřením byly vzorky vytaženy z vodního uložení, ocelová výztuž očištěna od vazelíny a vzorky umístěny na tkaninu, aby z nich byla odstraněna přebytečná voda. Mezitím jsme sestavili soupravu pro měření potenciálu poločlánku podle ASTM C876 – 91. Následně jsme připojily kladný pól přístroje k jednomu konci vyčnívající ocelové výztuže a referenční elektrodu s Cu/CuSO₄ jsme postupně přiložili na tři místa v podélné ose vzorku a to na oba kraje a střed vzorku. Takto jsme získali vždy tři hodnoty potenciálu poločlánku pro každý vzorek. Během měření jsme dbali na to, aby pěnová houbička referenční elektrody zůstávala vždy navlhčena.

Po ukončení měření jsme ocelovou výztuž vzorků ošetřili technickou lepicí páskou, kterou jsme zatavili horkovzdušnou pistolí a vložili opět do cyklačního zařízení s agresivním chloridovým prostředím, o koncentraci 3 % NaCl, na dobu jednoho měsíce. Po této době bylo měření el. odporu a potenciálu poločlánku opět opakováno celkem 7 krát.



Obr. 23: Souprava pro měření potenciálu poločlánku

7. Zařízení pro cyklování vzorků v agresivním chloridovém prostředí

Zařízení pro cyklování vzorků v agresivním chloridovém prostředí je plně automatické s cílem urychlit degradaci správkových hmot a korozi ocelové výztuže. Průběh degradace (koroze ocelové výztuže) jednotlivých vzorků je průběžně sledován v časových intervalech jednoho měsíce, kdy následně probíhá měření vzorků metodou měření elektrického odporu ocelové výztuže a metodou měření potenciálu poločlánku. [18]

Zařízení je tvořeno dvěma, nad sebou umístěnými objemnými nádržemi vyrobenými ze speciálně upraveného plastu, který je odolný vůči působení agresivních chemikálií. Horní nádrž je rozdělena na tři patra pro uložení zkušebních těles tvaru hranolu o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Ve spodní části horní nádrže je osazen výpustný ventil s časováním pro vypuštění agresivní kapaliny, kterou je 3% roztok NaCl, do spodní nádrže. Po vyprázdnění horní nádrže je automaticky zahájen proces sušení při 50 °C za pomoci tepelného ventilátoru, který je umístěn v horní

části horní nádrže. Po zvoleném časovém intervalu je kapalina za pomoci čerpadla přečerpávána zpět do horní nádrže za současného vypnutí tepelného ventilátoru. Jednotlivé cykly máčení vzorků v agresivní kapalině a sušení tepelným ventilátorem se automaticky střídají po 12 hodinách. [18]



Obr. 24: Cyklační zařízení

8. Vizuální hodnocení ocelové výztuže

Po ukončení měřicího cyklu, který trval 7 měsíců, bylo provedeno odkrytí ocelové výztuže ve zkušebních vzorcích, za účelem optického zhodnocení koroze ocelové výztuže. To je možné provést dvěma způsoby. Je možné použít plochý sekáč a kladivo, kdy plochým sekáčem opatrně nasekneme rysku v celé délce zkušebního tělesa přesně nad výztuží a to z obou stran tak, aby před dokončením obou rysek nedošlo k odprýsknutí části vzorku. Následně proces opakujeme v krajích vzorku a uprostřed (nebo dle potřeby) z obou stran s větší razancí úderu na plochý sekáč, až dojde k rozpůlení vzorku v podélné ose ocelové výztuže. Takto můžeme rozpůlit zkušební těleso na dvě části, což se nemusí vždy zcela podařit.

Dalším výhodnějším a rychlejším způsobem je vzorky rozpúlit na zkušebním lisu za pomoci dvou břitů umístěných z obou stran vzorku přesně nad výztuží. Takto docílíme dokonalého rozpúlení vzorků s minimem odpadu.

9. Vyhodnocení

Vyhodnocení naměřených výsledků bylo provedeno procentuálním vyjádřením nárůstu koroze ocelové výztuže po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí a to pro naměřené hodnoty el. odporu ocelové výztuže a hodnoty potenciálu poločlánku. Jako základ pro výpočet sloužila vždy první referenční hodnota, ke které byl procentuálně vyjádřen nárůst koroze udané poslední naměřenou hodnotou. K tomu to výpočtu byly použity hodnoty uvedené v tabulkách el. odporu a potenciálu poločlánku viz (ETAPY 1 – 5).

D. Experimentální vývoj ověřování účinnosti nového inhibitoru koroze v porovnání s komerčními produkty

Etapa 1 - 5: - Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12 a 16 s koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12 a 16 % a komerčních inhibitorů, pro jednotlivé správkové hmoty.

V rámci těchto etap bylo realizováno hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze, od společnosti Betosan s.r.o., s koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12 a 16 %. Dále bylo provedeno srovnání nového typu inhibitoru koroze s komerčními inhibitory koroze od společností Sika a Cortec.

Zkušební tělesa byla vyrobena ze správkových hmot, od společnosti Betosan s.r.o., které tvoří ucelený sanační systém pro železobetonové konstrukce. Hodnocení účinnosti inhibitoru koroze bylo provedeno pomocí měření elektrického odporu a měření potenciálu poločlánku a to vždy na třech tělesech od každé receptury. Výslednými hodnotami jsou pak aritmetické průměry naměřených hodnot el. odporu ocelové výztuže a potenciálu poločlánku.

S komerčními produkty byl porovnáván nový typ inhibitoru koroze INH2 - 16, který pro danou správkovou hmotu dosáhl nejmenšího procentuálního nárůstu koroze ocelové výztuže. Výsledky jsou uvedeny v pěti etapách, kdy každá etapa

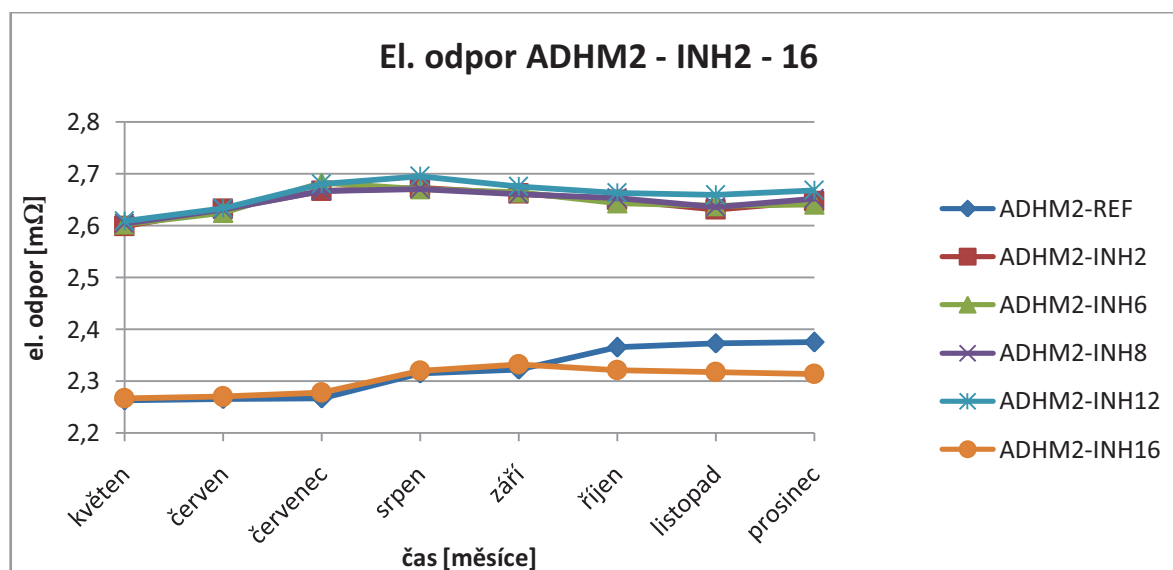
udává výsledky pro danou sanační hmotu s obsahem inhibitoru koroze INH2 – 16 a komerčních inhibitorů koroze.

1. Etapa 1: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených v adhezním můstku ADHM2

1.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:

Tab. 11: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	El. Odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
ADHM2-REF	2,263	2,266	2,267	2,315	2,322	2,365	2,373	2,375	4,95
ADHM2-INH2	2,599	2,632	2,667	2,673	2,662	2,650	2,631	2,647	1,86
ADHM2-INH6	2,602	2,625	2,683	2,670	2,664	2,644	2,638	2,641	1,49
ADHM2-INH8	2,604	2,631	2,667	2,670	2,660	2,654	2,636	2,652	1,84
ADHM2-INH12	2,609	2,633	2,681	2,695	2,675	2,663	2,659	2,668	2,25
ADHM2-INH16	2,267	2,27	2,278	2,32	2,332	2,321	2,318	2,314	2,07

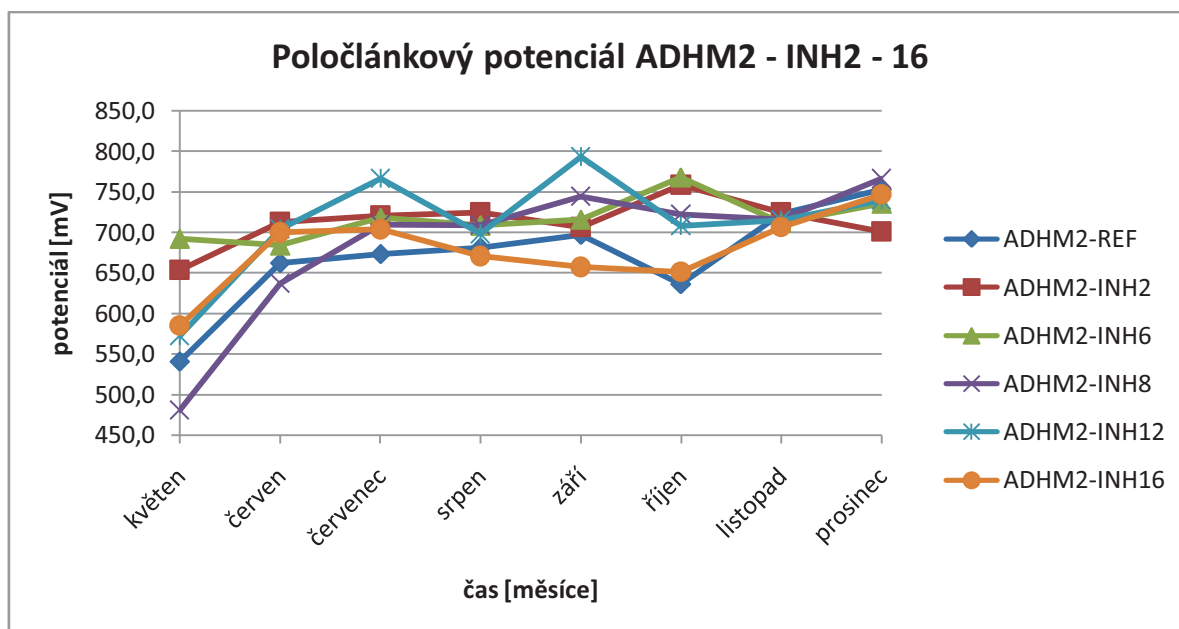


Graf. 1: El. odpor ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

1.2 Výsledky měření potenciálu poločlásku:

Tab. 12: hodnoty potenciálu poločlásku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trávci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibítorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločláskový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
ADHM2-REF	540,9	662,3	673,6	681,1	697,1	636,1	723,1	753,5	39,30
ADHM2-INH2	653,4	712,6	720,9	724,4	706,8	758,8	724,6	701,3	7,33
ADHM2-INH6	692,8	684,2	718,4	708,7	716,2	768,3	711,9	735,8	6,21
ADHM2-INH8	481,0	637,3	709,7	709,3	744,3	722,6	715,9	766,3	59,32
ADHM2-INH12	572,6	704,1	766,6	698,3	793,8	708,4	715,7	739,9	29,23
ADHM2-INH16	584,8	700,0	703,9	670,8	657,3	651,2	706,7	747,1	27,75

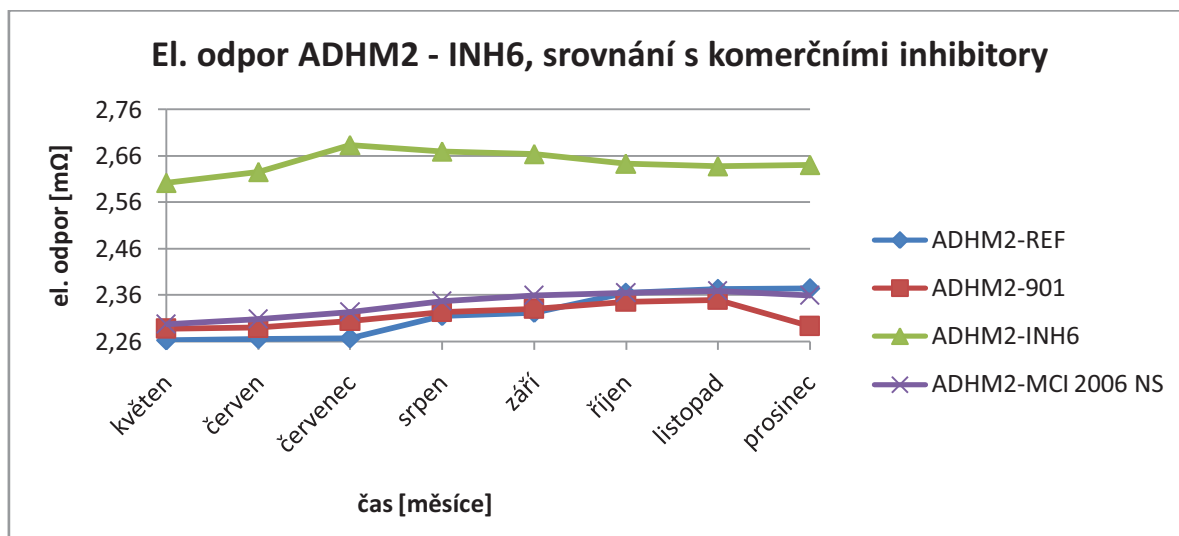


Graf. 2: Potenciál poločlásku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trávci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibítorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

1.3 Porovnání s komerčními inhibitory:

Tab. 13: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání ADHM2 - INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

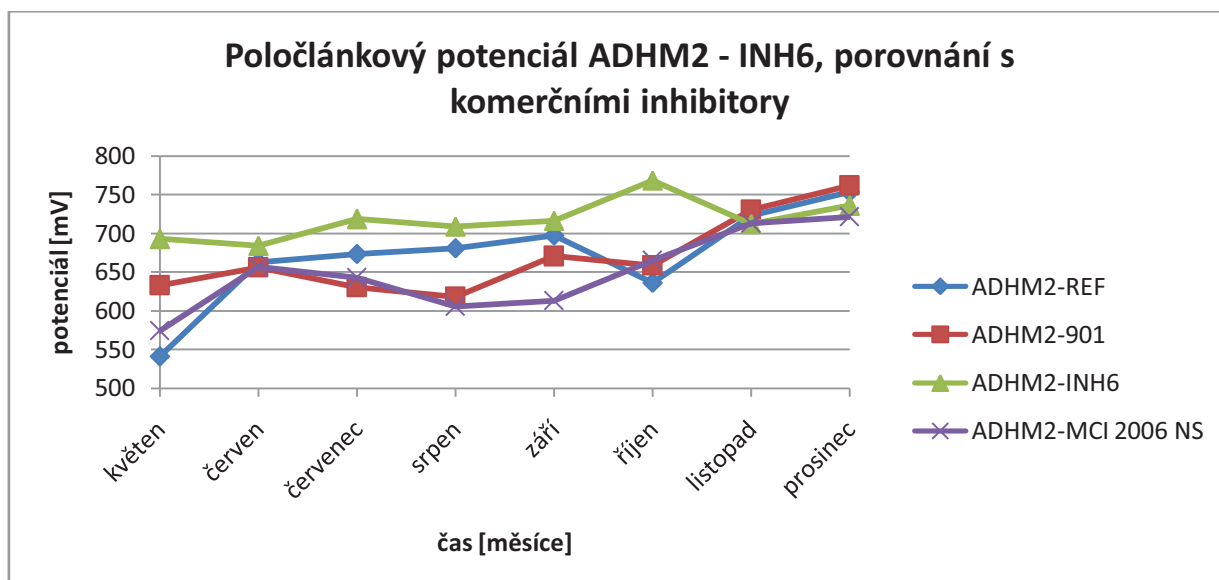
Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
ADHM2-REF	2,263	2,266	2,267	2,315	2,322	2,365	2,373	2,375	4,95
ADHM2-901	2,288	2,290	2,304	2,324	2,331	2,346	2,350	2,293	0,22
ADHM2-INH6	2,602	2,625	2,683	2,670	2,664	2,644	2,638	2,641	1,49
ADHM2-MCI 2006 NS	2,298	2,309	2,324	2,347	2,36	2,365	2,369	2,36	2,70



Graf. 3: El. odpor ocelové výztuže, srovnání ADHM2 - INH6 a komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Tab. 14: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání ADHM2 - INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
ADHM2-REF	540,9	662,3	673,6	681,1	697,1	636,1	723,1	753,5	39,30
ADHM2-901	632,8	655,7	630,1	617,8	670,4	658,1	730,7	761,6	20,35
ADHM2-INH6	692,8	684,2	718,4	708,7	716,2	768,3	711,9	735,8	6,21
ADHM2-MCI 2006 NS	574,3	657,1	642,7	605,5	613	665	713	721,3	25,60

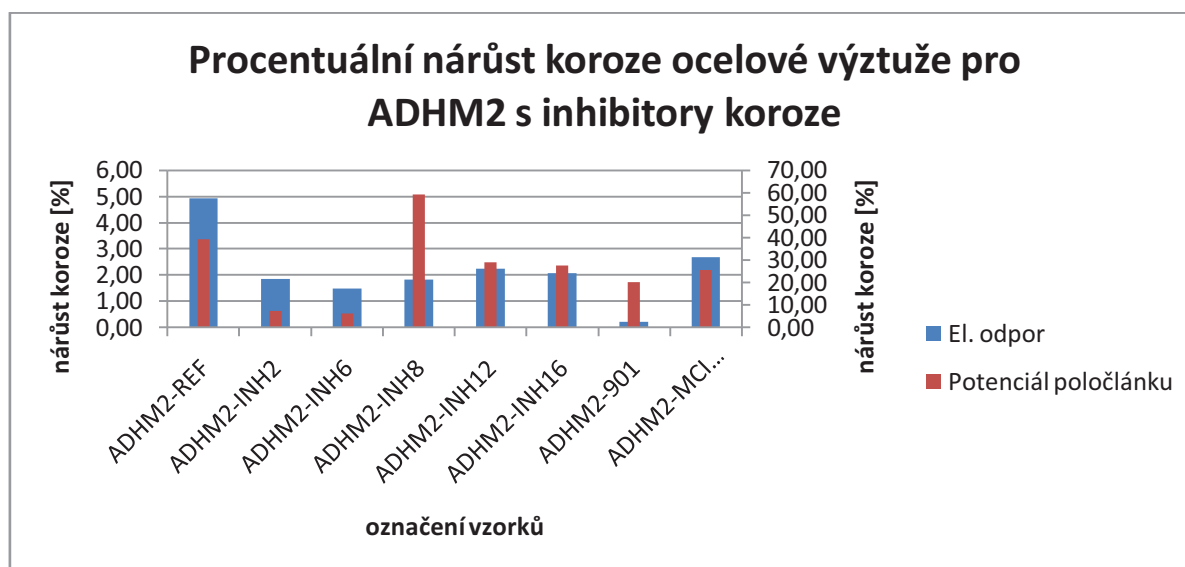


Graf. 4: Potenciálu poločlánku, srovnání ADHM2 - INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

1.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro adhezni můstek ADHM2 s inhibitory koroze

Tab. 15: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro ADHM2 s inhibitory koroze

Procentuální vyjádření nárůstu koroze		
Označení vzorku	El. odpor	Potenciál poločlátku
	[%]	[%]
ADHM2-REF	4,95	39,30
ADHM2-INH2	1,86	7,33
ADHM2-INH6	1,49	6,21
ADHM2-INH8	1,84	59,32
ADHM2-INH12	2,25	29,23
ADHM2-INH16	2,07	27,75
ADHM2-901	0,22	20,35
ADHM2-MCI 2006 NS	2,70	25,60



Graf. 5: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro adhezni můstek ADHM2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.

1.5 Závěrečné hodnocení etapy

Z procentuálního hodnocení je patrné, že k nejmenšímu nárůstu koroze ve správkové hmotě ADHM2 s inhibitory koroze došlo:

Podle procentuálního vyjádření el. odporu ocelové výztuže došlo k nejmenšímu nárůstu koroze u vzorku ADHM2 - INH6, jako možná alternativa se pak nabízí vzorek ADHM2 – INH8 a INH2. Tyto inhibitory se nacházely mezi hodnotami komerčních inhibitorů koroze.

Podle procentuálního vyjádření potenciálu poločlánku došlo k nejmenšímu nárůstu koroze ocelové výztuže u vzorku ADHM2 – INH6 a INH2. Tyto hodnoty byly nižší než u komerčního inhibitoru koroze Sika FerroGard - 901 a inhibitoru koroze MCI - 2006 NS od společnosti Cortec.

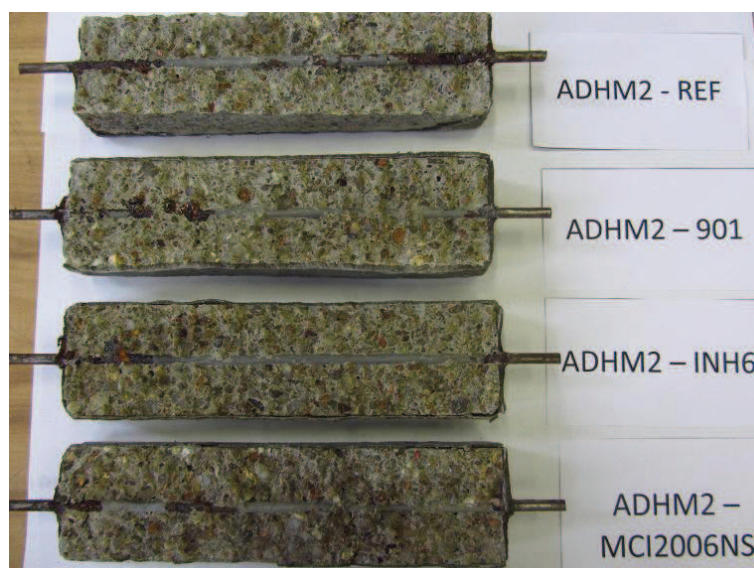
Vzorek s inhibitorem INH8 vykazoval vyšší nárůst koroze než vzorek referenční bez inhibitoru. To mohlo být způsobeno vyšším obsahem chloridových iontů ve vzorcích.

Na níže uvedených obrázcích (obr. 25 a obr. 26) je provedeno vizuální hodnocení stavu ocelové výztuže, které se shodovalo s naměřenými výsledky. Tento stav byl zaznamenán po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí.

Fotografie:



Obr. 25: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.



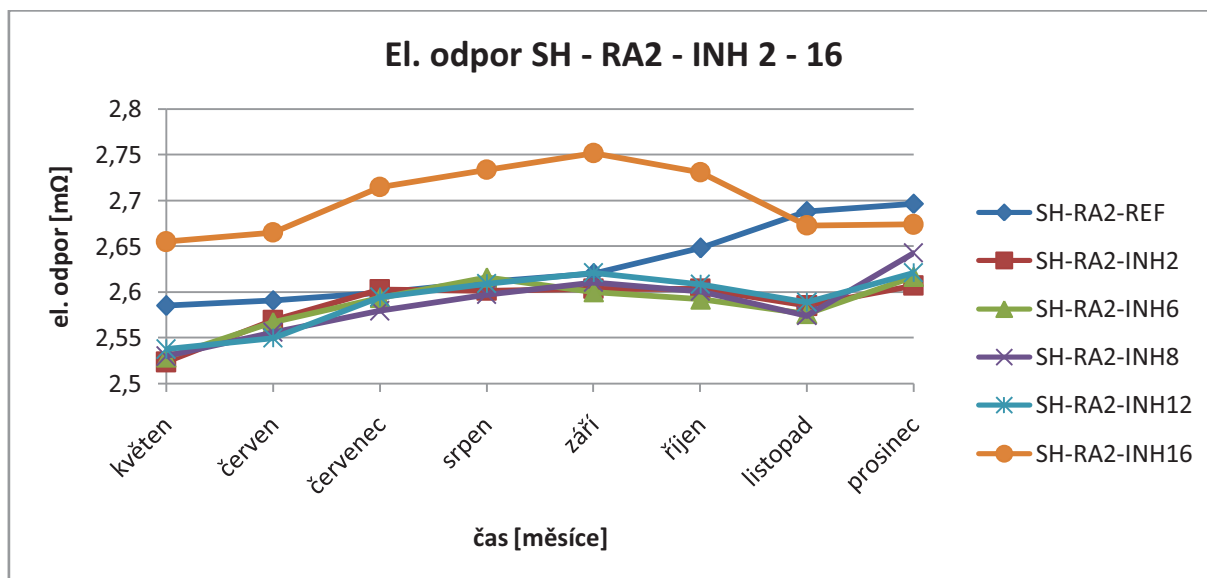
Obr. 26: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených adhezním můstkem ADHM2 s inhibítorem koroze INH6 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.

2. Etapa 2: Hodnocení účinnosti inhibitoru **INH2**, **6**, **8**, **12**, **16** a komerčních inhibitorů obsažených **ve správkové hmotě pro ruční aplikaci RA2**

2.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:

Tab. 16: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, ve správkové hmotě RA2 s inhibítorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-RA2-REF	2,585	2,591	2,599	2,611	2,62	2,648	2,688	2,697	4,33
SH-RA2-INH2	2,523	2,569	2,603	2,602	2,604	2,603	2,585	2,607	3,32
SH-RA2-INH6	2,529	2,567	2,594	2,616	2,600	2,592	2,576	2,617	3,49
SH-RA2-INH8	2,530	2,556	2,579	2,597	2,611	2,601	2,574	2,643	4,48
SH-RA2-INH12	2,537	2,550	2,594	2,609	2,621	2,609	2,589	2,621	3,30
SH-RA2-INH16	2,655	2,665	2,715	2,734	2,752	2,731	2,673	2,674	0,72

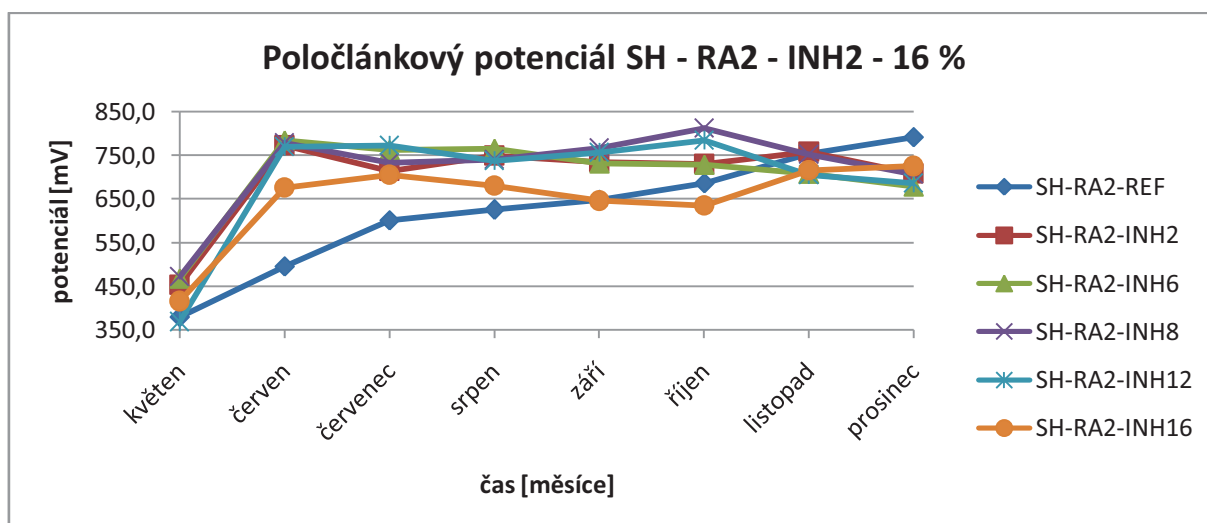


Graf. 6: El. odpor ocelové výztuže ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem koroze INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

2.2 Výsledky měření potenciálu poločlánu:

Tab. 17: Hodnoty potenciálu poločlánu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánuvý potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-RA2-REF	380,3	495,9	601,7	625,5	648,5	687,0	753,3	792,1	108,28
SH-RA2-INH2	453,2	772,9	714,1	749,0	734,6	729,9	758,0	708,7	56,36
SH-RA2-INH6	467,9	784,7	763,2	765,6	731,8	728,6	708,9	679,7	45,26
SH-RA2-INH8	472,0	778,9	733,8	740,4	767,3	812,8	752,9	707,0	49,79
SH-RA2-INH12	368,9	770,1	772,7	738,3	756,4	784,7	705,4	685,9	85,93
SH-RA2-INH16	415,8	676,3	705,3	681,1	646,2	634,9	715,6	725,3	74,43

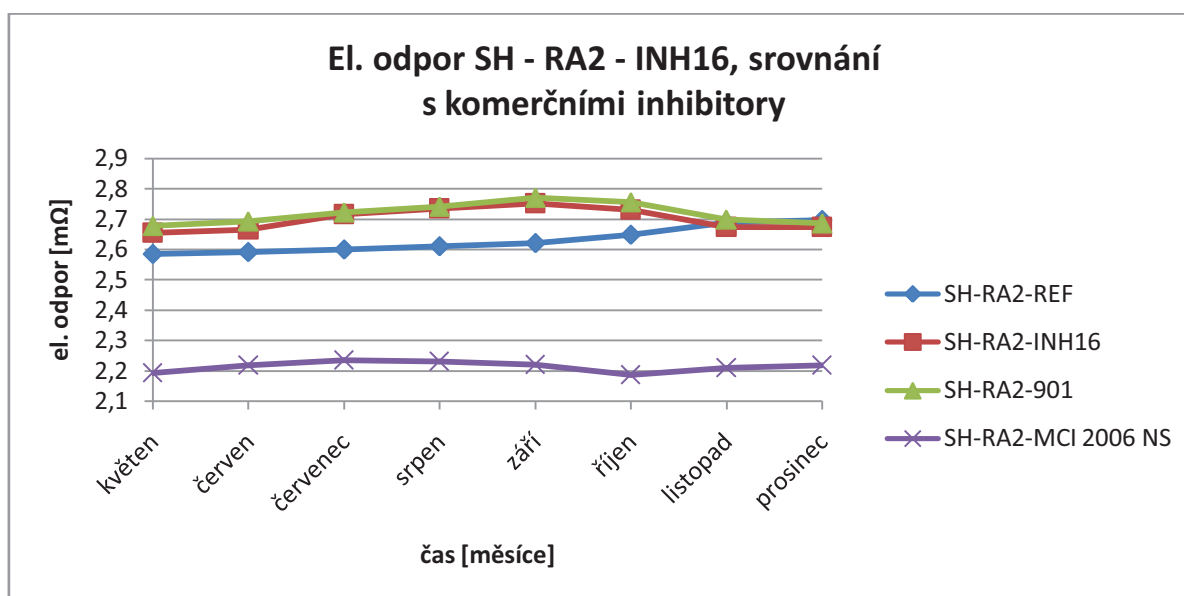


Graf. 7: Potenciál poločlánu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

2.3 Porovnání s komerčními inhibitory:

Tab. 18: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SH - RA2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze

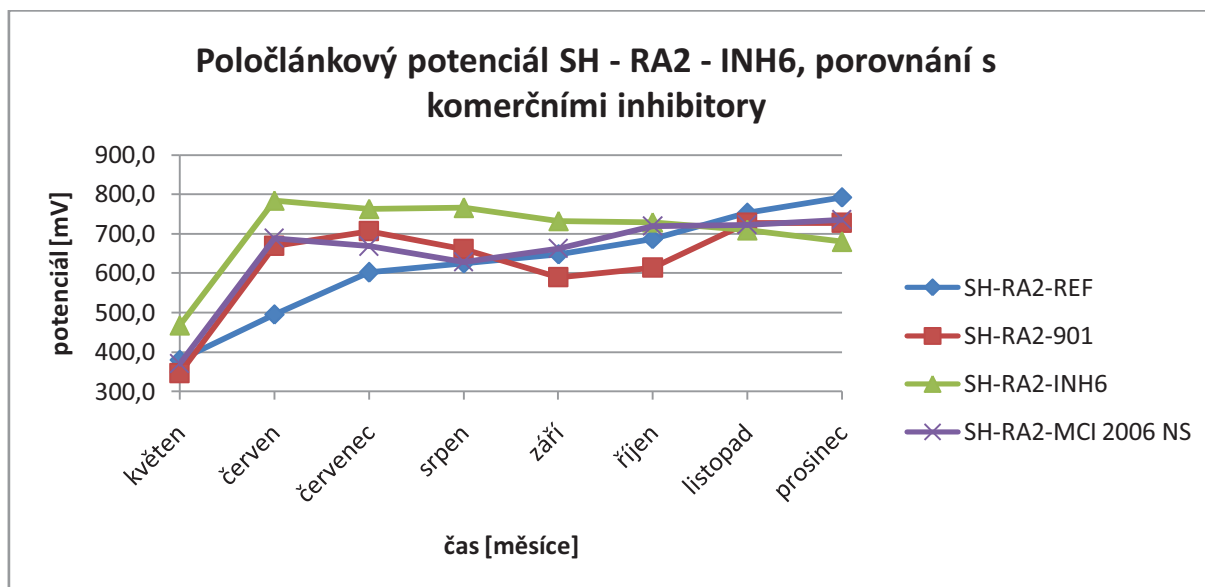
Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-RA2-REF	2,585	2,591	2,599	2,611	2,62	2,648	2,688	2,697	4,33
SH-RA2-INH16	2,655	2,665	2,715	2,734	2,752	2,731	2,673	2,674	0,72
SH-RA2-901	2,677	2,693	2,722	2,741	2,771	2,756	2,699	2,686	0,34
SH-RA2-MCI 2006 NS	2,193	2,217	2,235	2,23	2,22	2,186	2,209	2,218	1,14



Graf. 8: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - RA2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Tab. 19: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání SH - RA2- INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-RA2-REF	380,3	495,9	601,7	625,5	648,5	687,0	753,3	792,1	108,28
SH-RA2-901	346,1	669	705,9	661,5	589,05	613,5	727,5	727,7	110,26
SH-RA2-INH6	467,9	784,7	763,2	765,6	731,8	728,6	708,9	679,7	45,26
SH-RA2-MCI 2006 NS	370,9	689,1	668,3	627,9	662,2	719,3	722,9	736,2	98,49

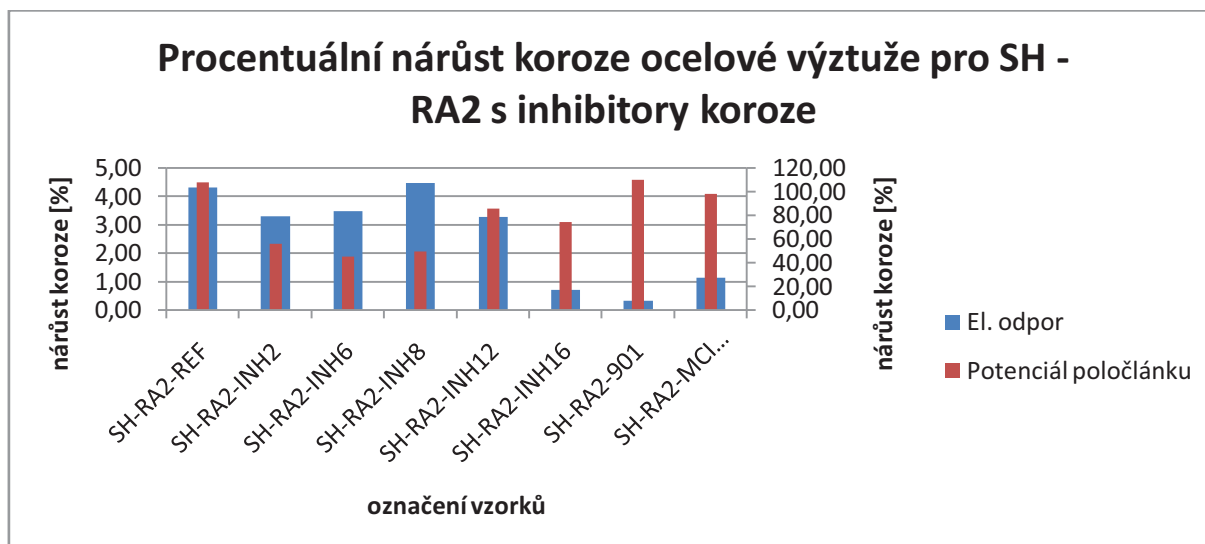


Graf. 9: Potenciál poločlánku, srovnání SH - RA2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

2.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu RA2 s inhibitory koroze

Tab. 20: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitory koroze

Procentuální vyjádření nárůstu koroze		
Označení vzorku	El. odpor	Potenciál poločlánku
	[%]	[%]
SH-RA2-REF	4,33	108,28
SH-RA2-INH2	3,32	56,36
SH-RA2-INH6	3,49	45,26
SH-RA2-INH8	4,48	49,79
SH-RA2-INH12	3,30	85,93
SH-RA2-INH16	0,72	74,43
SH-RA2-901	0,34	110,26
SH-RA2-MCI 2006 NS	1,14	98,49



Graf. 10: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu RA2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.

2.5 Závěrečné hodnocení etapy

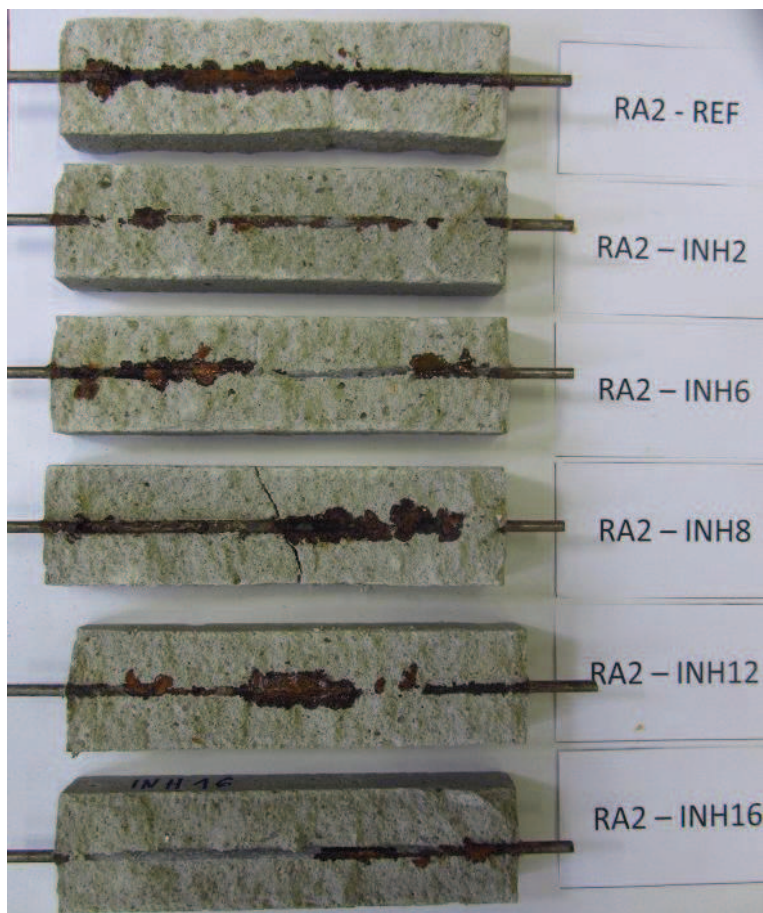
Z procentuálního hodnocení je patrné, že k nejmenšímu nárůstu koroze ve správkové hmotě RA2 s inhibitory koroze došlo:

Podle procentuálního vyjádření el. odporu ocelové výztuže došlo k nejmenšímu nárůstu koroze u vzorku RA2 - INH16, jako možná alternativa se pak nabízí vzorek RA2- INH12, který ovšem na rozdíl od INH16 vykázal vyšší nárůst koroze než komerční inhibitory koroze MCI 2006 NS od společnosti Cortec a inhibitor koroze Sika FerroGard - 901. U ocelové výztuže ve správkové hmotě RA2 byla koroze poměrně hodně rozšířená, to dokazuje i fotodokumentace. Podle procentuálního vyhodnocení vykázal vzorek s INH8 vyšší nárůst koroze než vzorek referenční bez inhibitoru. To mohlo být způsobeno nepřesností měření, nebo pravděpodobněji větší korozi ocelové výztuže v oblasti, kde vyčnívala ze zkušebního vzorku.

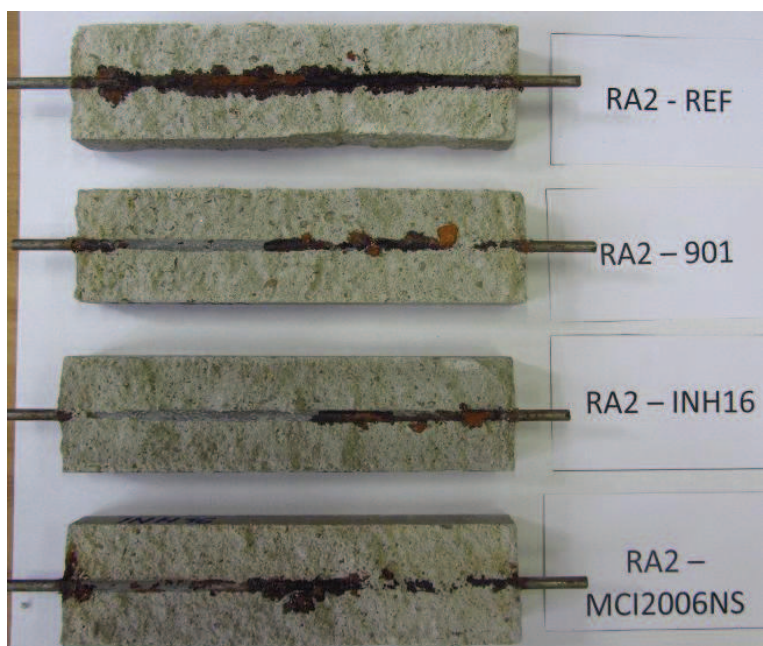
Podle procentuálního vyjádření potenciálu poločlánku došlo k nejmenšímu nárůstu koroze ocelové výztuže u vzorku RA2 – INH6, dále pak u vzorku INH8. Tyto vzorky vykázaly hodnoty nižší než komerční inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901, které byly blízké svými hodnotami referenčnímu vzorku bez obsahu inhibitoru koroze. To mohlo být způsobeno vyšším obsahem chloridových iontů ve vzorcích.

Na níže uvedených obrázcích (obr. 27 a obr. 28) je provedeno vizuální hodnocení stavu ocelové výztuže, které se shodovalo s naměřenými výsledky. Tento stav byl zaznamenán po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí.

Fotografie:



Obr. 27: Koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.



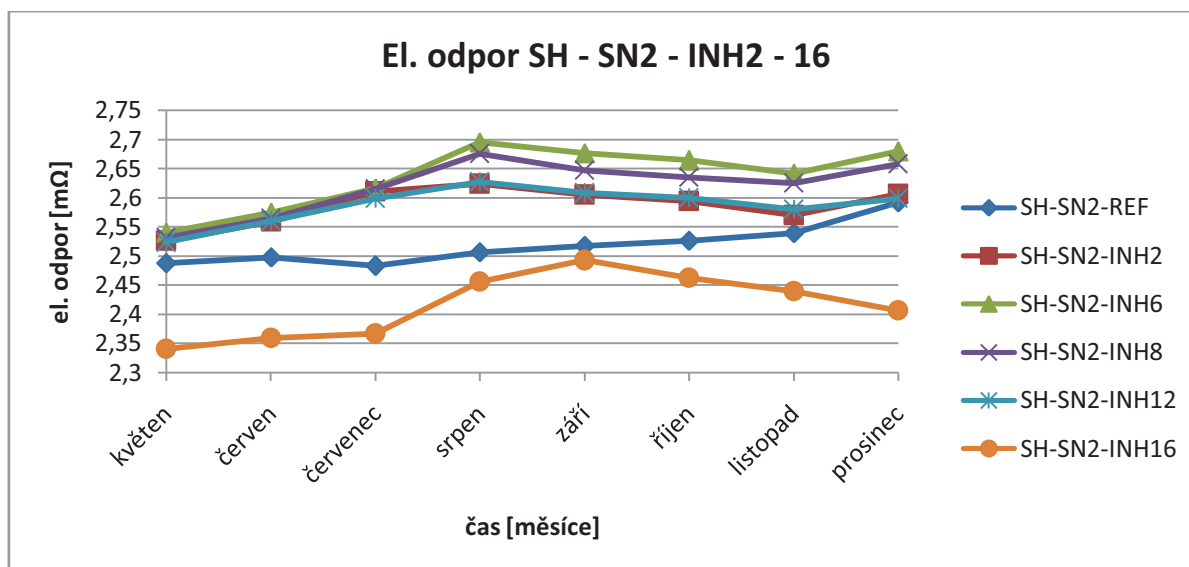
Obr. 28: Koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.

3. Etapa 3: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě pro strojní aplikaci suchým způsobem SN2

3.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:

Tab. 21: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitorem INH2 -16

Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-SN2-REF	2,488	2,498	2,483	2,507	2,518	2,526	2,54	2,592	4,18
SH-SN2-INH2	2,527	2,559	2,611	2,625	2,605	2,594	2,570	2,607	3,18
SH-SN2-INH6	2,541	2,575	2,617	2,695	2,677	2,664	2,642	2,680	5,47
SH-SN2-INH8	2,532	2,565	2,615	2,676	2,648	2,636	2,625	2,658	4,96
SH-SN2-INH12	2,524	2,560	2,599	2,627	2,608	2,600	2,580	2,599	2,99
SH-SN2-INH16	2,341	2,359	2,367	2,456	2,493	2,463	2,44	2,407	2,82

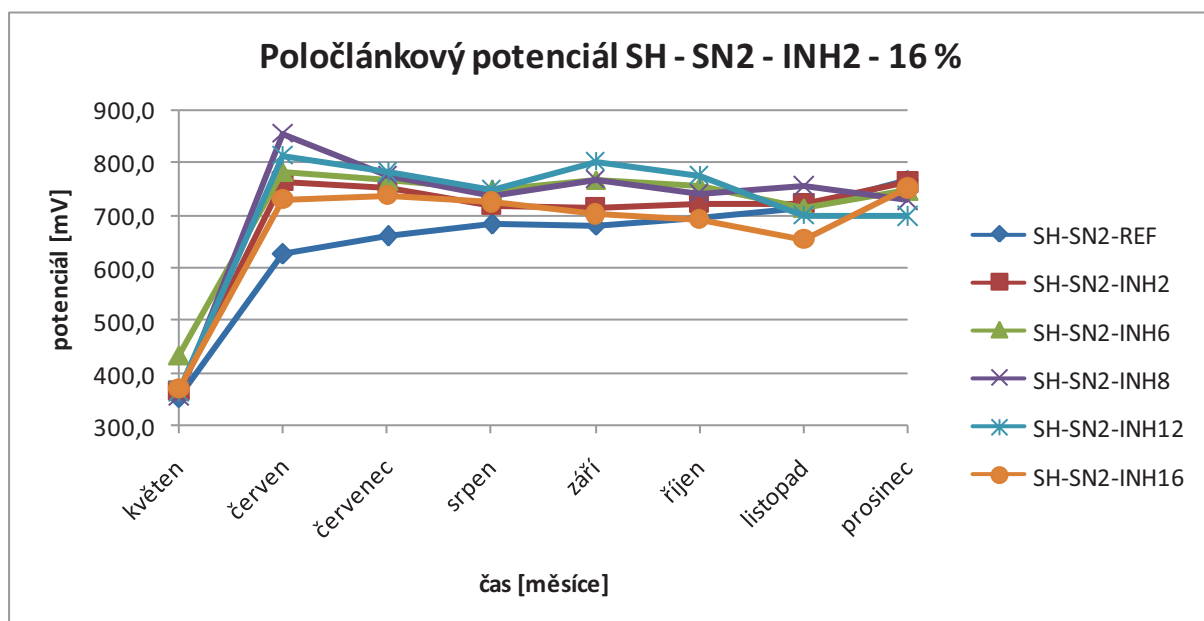


Graf. 11: El. odpor ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

3.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:

Tab. 22: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-SN2-REF	351,9	625,5	659,9	682,6	681,0	693,9	715,8	767,3	118,04
SH-SN2-INH2	365,8	764,1	753,0	720,0	715,4	721,8	723,2	762,1	108,35
SH-SN2-INH6	433,0	782,3	765,9	747,0	768,8	756,0	715,2	746,9	72,49
SH-SN2-INH8	354,1	856,4	776,4	737,2	767,0	742,3	754,6	727,7	105,49
SH-SN2-INH12	363,3	814,3	782,0	749,7	801,4	775,3	700,6	698,2	92,17
SH-SN2-INH16	369,9	731,1	737,9	724,9	701,8	693,4	654,7	750,8	102,97

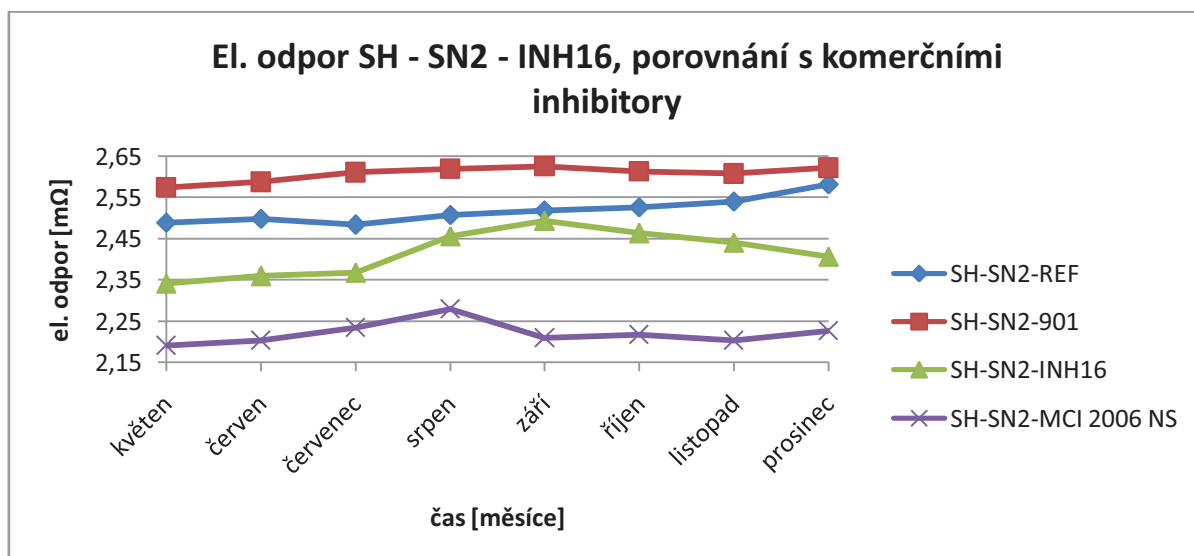


Graf. 12: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudování ve správkové hmotě SN2 s inhibiorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

3.3 Porovnání s komerčními inhibitory:

Tab. 23: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

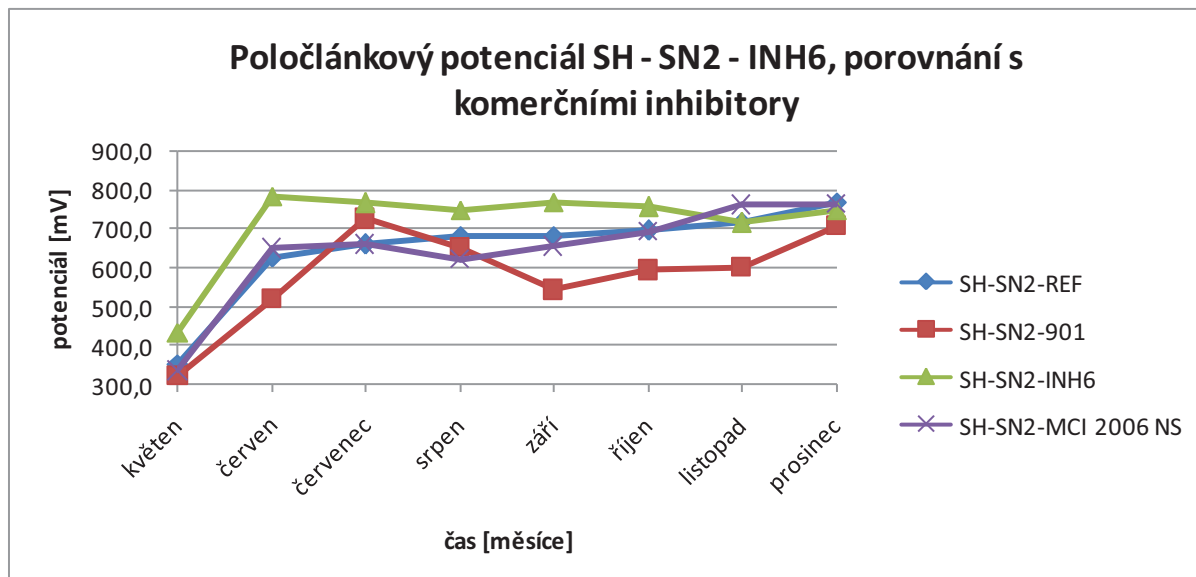
Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-SN2-REF	2,488	2,498	2,483	2,507	2,518	2,526	2,54	2,582	3,78
SH-SN2-901	2,574	2,587	2,61	2,618	2,625	2,613	2,607	2,621	1,83
SH-SN2-INH16	2,341	2,359	2,367	2,456	2,493	2,463	2,44	2,407	2,82
SH-SN2-MCI 2006 NS	2,191	2,204	2,235	2,279	2,21	2,217	2,204	2,226	1,60



Graf. 13: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - SN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Tab. 24: Hodnoty potenciálu poločlásku, srovnání SH - SN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze. v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločláskový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-SN2-REF	351,9	625,5	659,9	682,6	681,0	693,9	715,8	767,3	118,04
SH-SN2-901	322,6	517,8	725,4	652,6	542,11	592,7	599,4	708,5	119,62
SH-SN2-INH6	433,0	782,3	765,9	747,0	768,8	756,0	715,2	746,9	72,49
SH-SN2-MCI 2006 NS	334,7	649,3	658,8	620,8	654,3	691,8	761,1	764,8	128,50

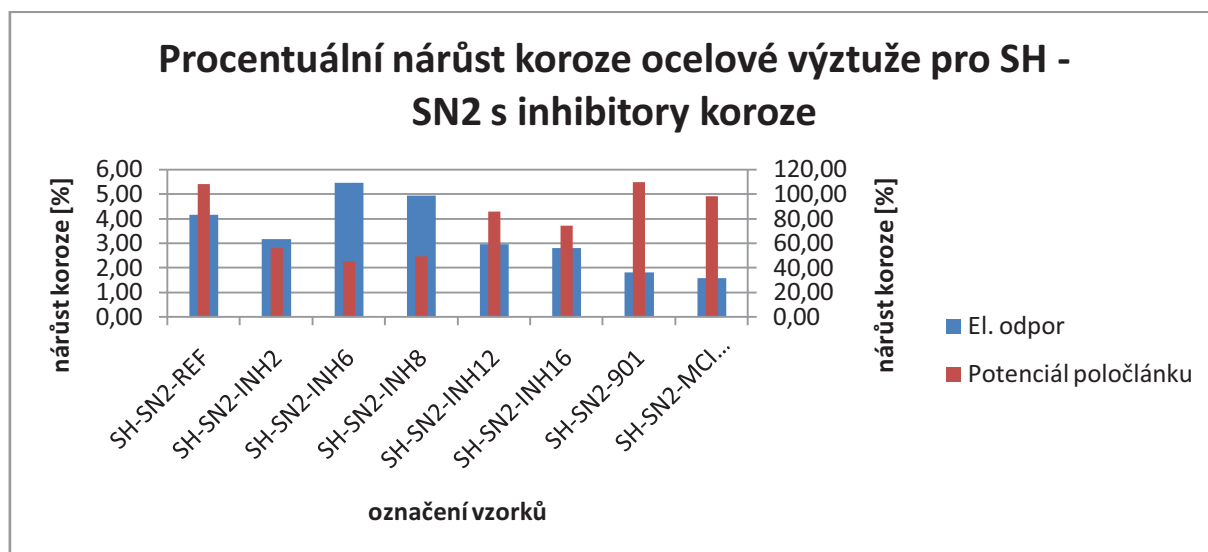


Graf. 14: Potenciál poločlásku, srovnání SH - SN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

3.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu SN2 s inhibitory koroze

Tab. 25: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - SN2 s inhibitory koroze

Procentuální vyjádření nárůstu koroze		
Označení vzorku	El. odpor	Potenciál poločlásku
	[%]	[%]
SH-SN2-REF	4,18	108,28
SH-SN2-INH2	3,18	56,36
SH-SN2-INH6	5,47	45,26
SH-SN2-INH8	4,96	49,79
SH-SN2-INH12	2,99	85,93
SH-SN2-INH16	2,82	74,43
SH-SN2-901	1,83	110,26
SH-SN2-MCI 2006 NS	1,60	98,49



Graf. 15: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu SN2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.

3.5 Závěrečné hodnocení etapy

Z procentuálního hodnocení je patrné, že k nejmenšímu nárůstu koroze ve správkové hmotě SN2 s inhibitory koroze došlo:

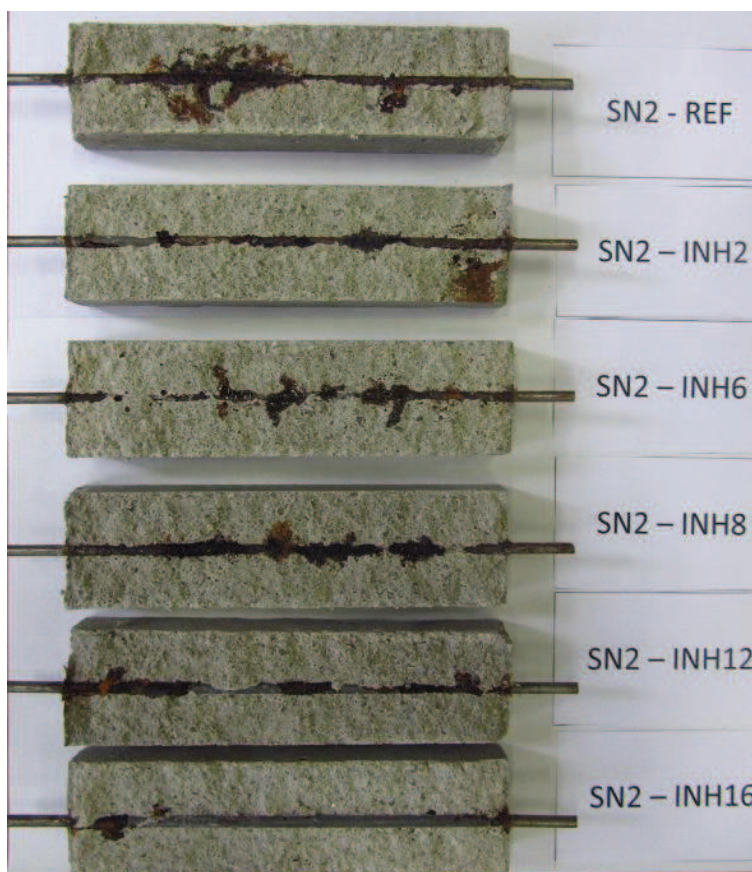
Podle procentuálního vyjádření el. odporu ocelové výztuže došlo k nejmenšímu nárůstu koroze u vzorku SN2 - INH16, jako možná alternativa se pak nabízí vzorek SN2 – INH12. Tyto inhibitory koroze vykázaly vyšší nárůst koroze než komerčními inhibitory Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901. U ocelové výztuže ve správkové hmotě SN2 byla koroze poměrně hodně rozšířená, to dokazuje i fotodokumentace. Podle procentuálního vyhodnocení vykázaly vzorky s INH6 a INH8 vyšší nárůst koroze než vzorek referenční bez inhibitoru. To mohlo být způsobeno nepřesností měření, nebo pravděpodobněji větší korozí ocelové výztuže v oblasti, kde vyčnívala ze zkušebního vzorku.

Podle procentuálního vyjádření potenciálu poločlánku došlo k nejmenšímu nárůstu koroze ocelové výztuže u vzorku SN2 – INH6, dále pak u vzorku INH8.

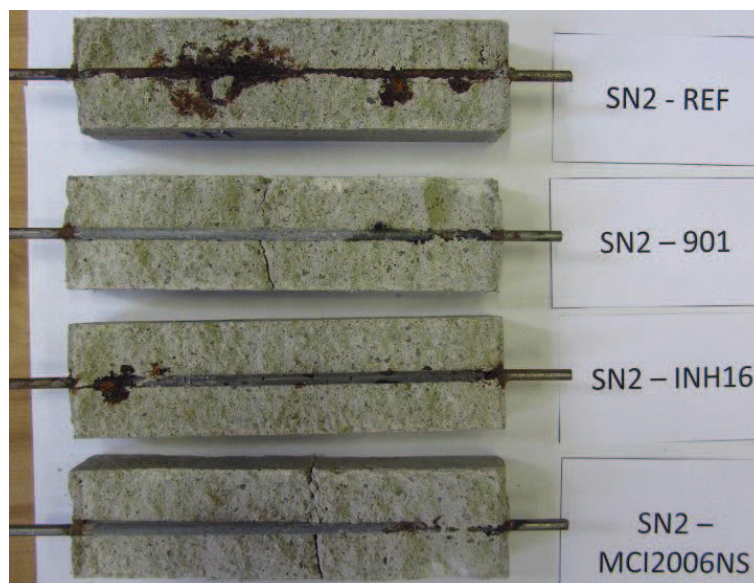
Tyto vzorky vykázaly hodnoty nižší než komerční inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901, které byly blízké svými hodnotami referenčnímu vzorku bez obsahu inhibitoru koroze. To mohlo být způsobeno vyšším obsahem chloridových iontů ve vzorcích.

Na níže uvedených obrázcích (obr. 29 a obr. 30) je provedeno vizuální hodnocení stavu ocelové výztuže, které se shodovalo s naměřenými výsledky. Tento stav byl zaznamenán po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí.

Fotografie:



Obr. 29: Koroze ocelové výztuže pro SN2 s inhibítozem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.



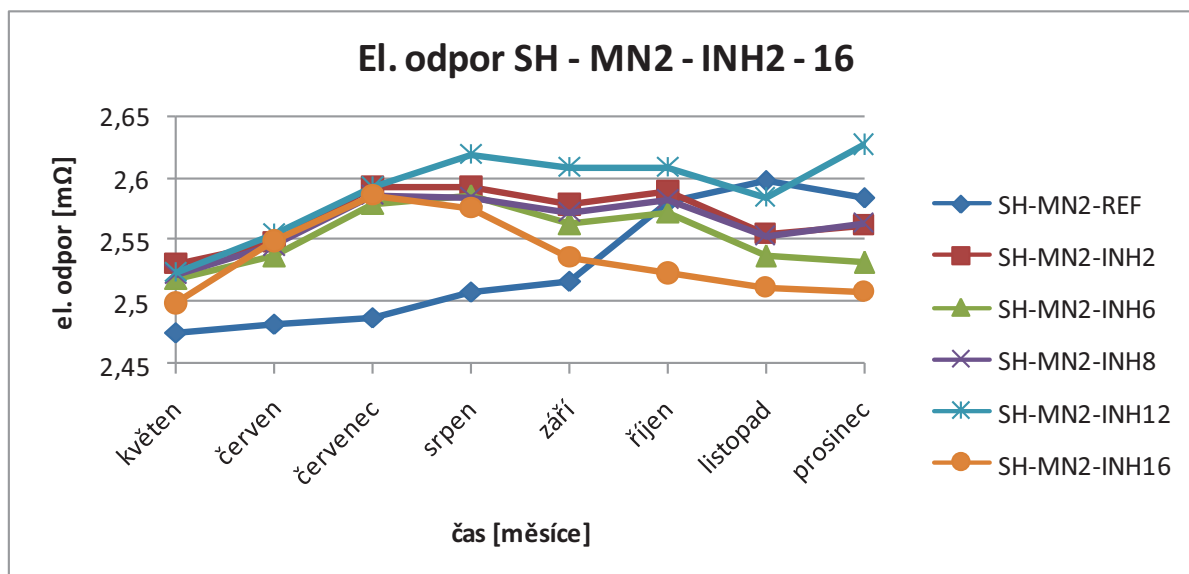
Obr. 30: Korozie ocelové výztuže pro SH - SN2 s inhibítoru korozí INH16 a komerčními inhibitory korozí MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.

4. Etapa 4: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve správkové hmotě pro strojní aplikaci mokrým způsobem MN2

4.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:

Tab. 26: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibítoru INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst korozí [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-MN2-REF	2,475	2,482	2,487	2,508	2,517	2,581	2,599	2,585	4,44
SH-MN2-INH2	2,531	2,549	2,593	2,594	2,579	2,589	2,555	2,562	1,22
SH-MN2-INH6	2,518	2,537	2,580	2,585	2,563	2,572	2,537	2,532	0,54
SH-MN2-INH8	2,522	2,545	2,587	2,585	2,573	2,583	2,553	2,564	1,68
SH-MN2-INH12	2,524	2,556	2,592	2,619	2,609	2,609	2,585	2,627	4,09
SH-MN2-INH16	2,499	2,549	2,586	2,576	2,536	2,523	2,512	2,508	0,36

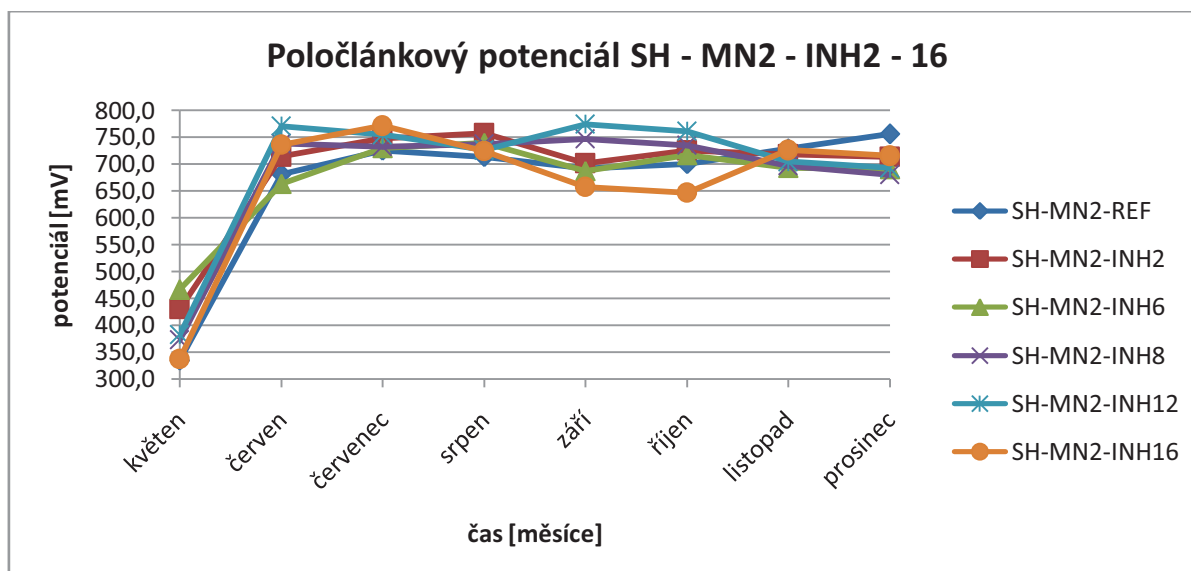


Graf. 16: El. odpor ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

4.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:

Tab. 27: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-MN2-REF	334,7	681,2	725,2	714,1	691,7	700,8	729,1	755,9	125,84
SH-MN2-INH2	429,7	714,3	747,7	757,2	702,0	725,2	718,2	713,4	66,04
SH-MN2-INH6	466,3	663,9	730,3	739,7	687,4	717,3	693,1	690,7	48,11
SH-MN2-INH8	372,8	738,1	732,7	737,7	747,4	734,9	696,6	679,9	82,38
SH-MN2-INH12	382,2	770,6	754,8	726,2	774,9	761,3	704,8	692,9	81,28
SH-MN2-INH16	336,8	736,1	771,4	724,4	658,1	647,2	726,2	715,4	112,41

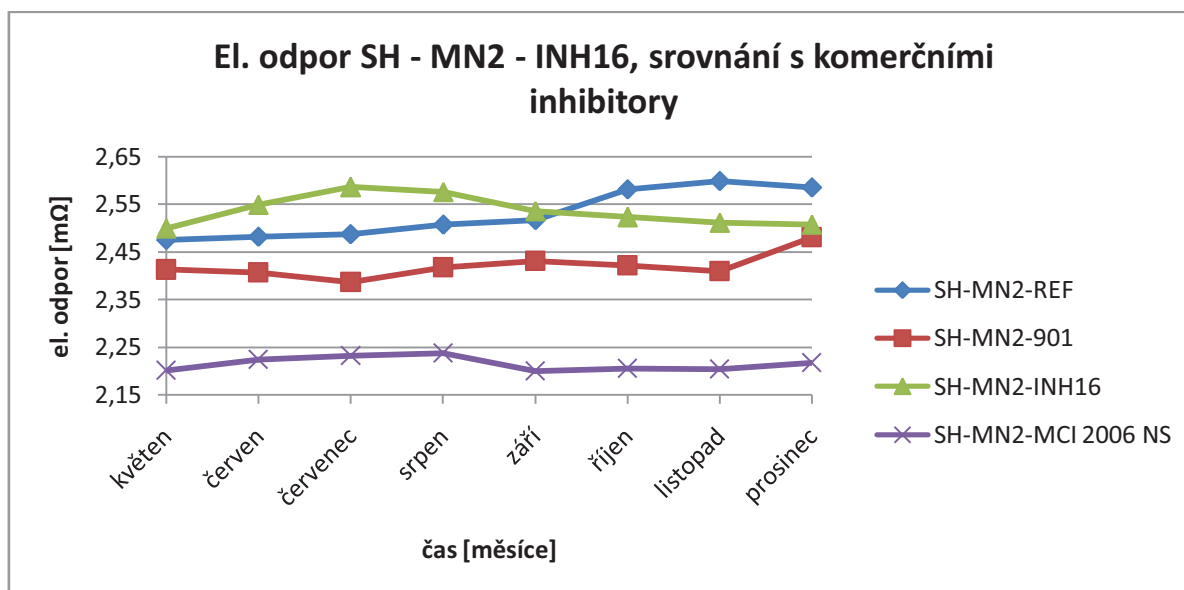


Graf. 17: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

4.3 Porovnání s komerčními inhibitory:

Tab. 28: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SH - MN2 - INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

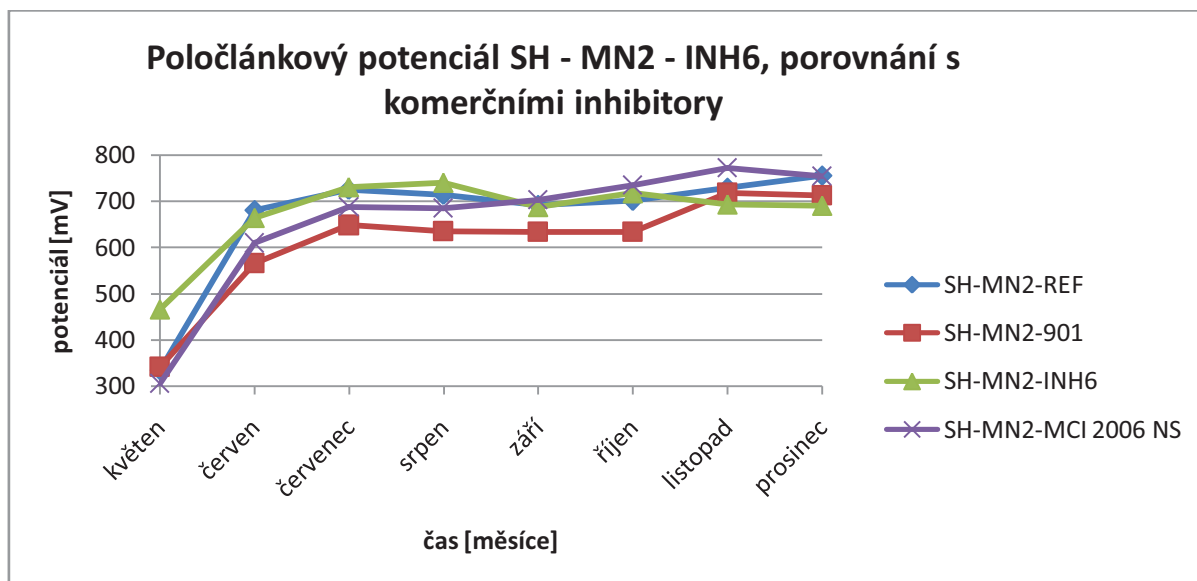
Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-MN2-REF	2,475	2,482	2,487	2,508	2,517	2,581	2,599	2,585	4,44
SH-MN2-901	2,413	2,407	2,387	2,418	2,431	2,422	2,41	2,481	2,82
SH-MN2-INH16	2,499	2,549	2,586	2,576	2,536	2,523	2,512	2,508	0,36
SH-MN2-MCI 2006 NS	2,202	2,224	2,232	2,238	2,2	2,206	2,204	2,218	0,73



Graf. 18: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - MN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Tab. 29: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání SH - MN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
SH-MN2-REF	334,7	681,2	725,2	714,1	691,7	700,8	729,1	755,9	125,84
SH-MN2-901	341,4	565,4	648,1	635,1	633,8	633,7	718,3	712,4	108,67
SH-MN2-INH6	466,3	663,9	730,3	739,7	687,4	717,3	693,1	690,7	48,11
SH-MN2-MCI 2006 NS	305,75	609,4	687,1	684,8	703,2	734,6	771,8	753,8	146,54



Graf. 19: Potenciál poločlanku, srovnán SH - MN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

4.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu MN2 s inhibitory koroze

Tab. 30: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - MN2 s inhibitory koroze

Procentuální vyjádření nárůstu koroze		
Označení vzorku	El. odpor	Potenciál poločlanku
	[%]	[%]
SH-MN2-REF	4,44	125,84
SH-MN2-INH2	1,22	66,04
SH-MN2-INH6	0,54	48,11
SH-MN2-INH8	1,68	82,38
SH-MN2-INH12	4,09	81,28
SH-MN2-INH16	0,36	112,41
SH-MN2-901	2,82	108,67
SH-MN2-MCI 2006 NS	0,73	146,54



Graf. 20: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu MN2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.

4.5 Závěrečné hodnocení etapy

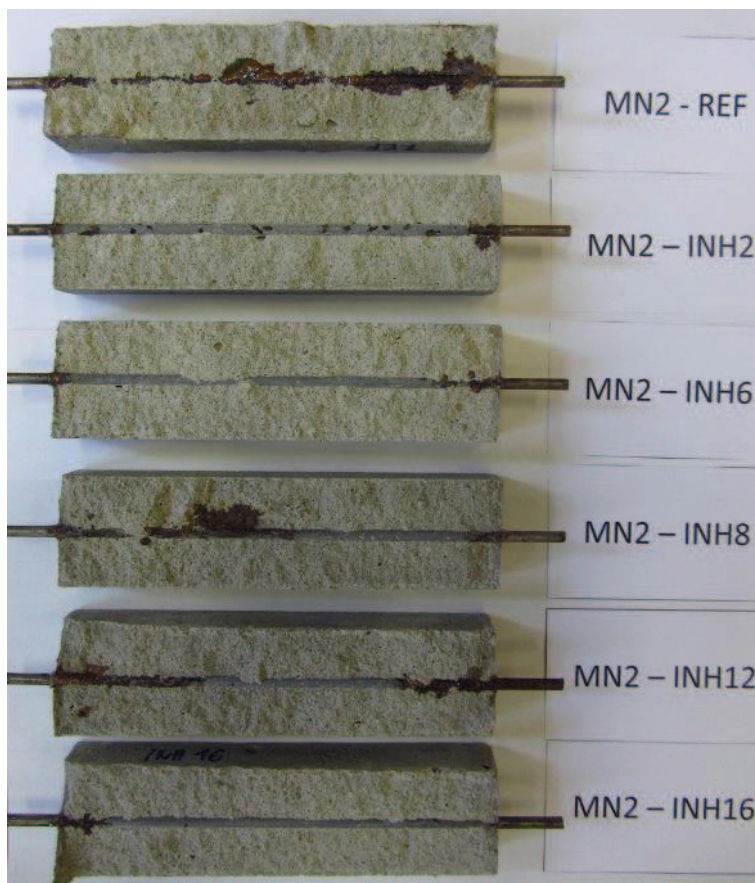
Z procentuálního hodnocení je patrné, že k nejmenšímu nárůstu koroze ve správkové hmotě MN2 s inhibitory koroze došlo:

Podle procentuálního vyjádření el. odporu ocelové výztuže došlo k nejmenšímu nárůstu koroze u vzorku MN2 - INH16, jako možná alternativa se pak nabízí vzorek MN2 – INH6. Tyto inhibitory koroze dosáhly lepších hodnot než komerční inhibitory Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard. Dále je patrné, že nárůst koroze s obsahem účinné látky byl výrazně menší než u referenčního vzorku kromě vzorku MN2 – INH12, což mohlo být způsobeno nepřesností měření, nebo pravděpodobněji větší koroze ocelové výztuže v oblasti, kde vyčnívala ze zkušebního vzorku.

Podle procentuálního vyjádření potenciálu poločlánku došlo k nejmenšímu nárůstu koroze ocelové výztuže u vzorku MN2 – INH6, dále pak ještě u vzorku s INH2. Tyto inhibitory koroze dosáhly lepších hodnot než komerční inhibitory Sika FerroGard - 901 a Cortec MCI 2006 NS, který vykazoval hodnotu koroze vyšší než referenční vzorek. To mohlo být způsobeno vyšším obsahem chloridových iontů ve vzorcích.

Na níže uvedených obrázcích (obr. 31 a obr. 32) je provedeno vizuální hodnocení stavu ocelové výztuže, které se shodovalo s naměřenými výsledky. Tento stav byl zaznamenán po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí.

Fotografie:



Obr. 31: Koroze ocelové výztuže pro SH - MN2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.



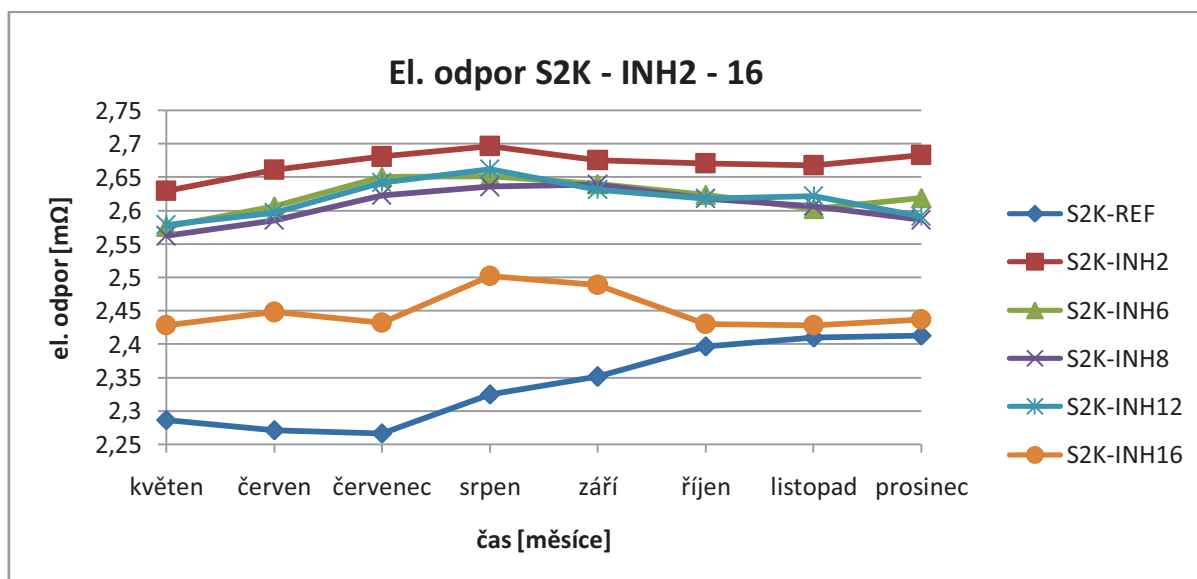
Obr. 32: Koroze ocelové výztuže pro SH - MN2 s inhibitorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.

5. Etapa 5: Hodnocení účinnosti inhibitoru INH2, 6, 8, 12, 16 a komerčních inhibitorů obsažených ve stěrce S2K

5.1 Výsledky měření elektrického odporu ocelové výztuže:

Tab. 31: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
S2K-REF	2,286	2,271	2,266	2,325	2,351	2,397	2,41	2,413	5,56
S2K-INH2	2,630	2,661	2,681	2,697	2,676	2,671	2,668	2,683	2,03
S2K-INH6	2,576	2,607	2,651	2,652	2,640	2,624	2,603	2,619	1,66
S2K-INH8	2,562	2,585	2,623	2,636	2,639	2,618	2,607	2,586	0,94
S2K-INH12	2,579	2,597	2,642	2,662	2,631	2,618	2,622	2,591	0,48
S2K-INH16	2,428	2,448	2,432	2,502	2,489	2,43	2,428	2,437	0,37

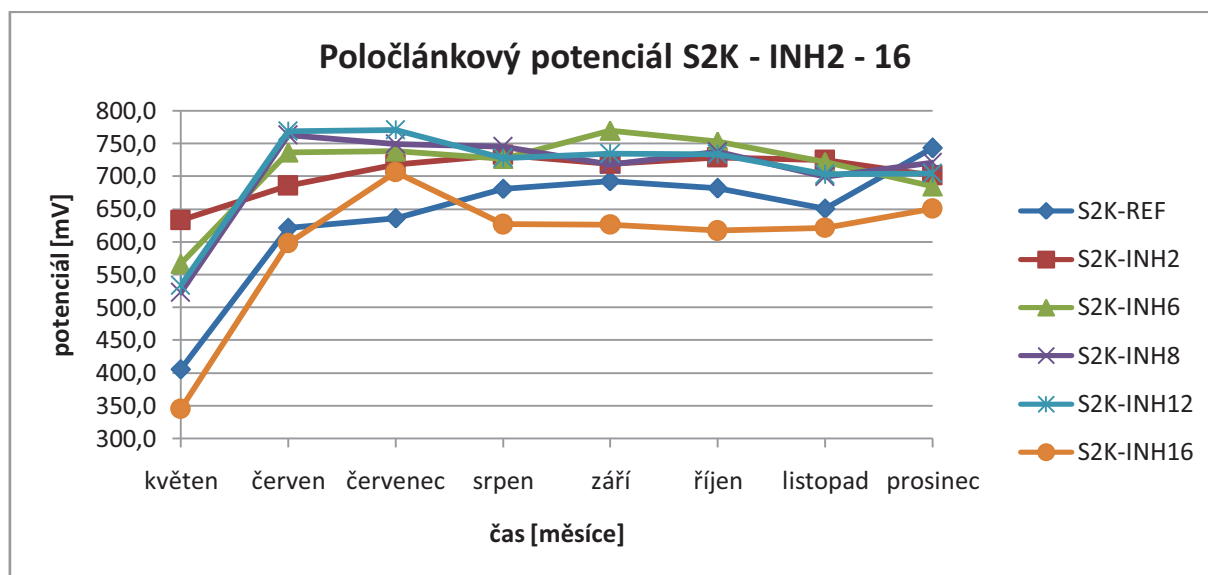


Graf. 21: El. odpor ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

5.2 Výsledky měření potenciálu poločlánku:

Tab. 32: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
S2K-REF	405,6	621,9	636,6	681,7	693,0	681,8	651,3	743,4	83,28
S2K-INH2	633,8	686,0	718,7	733,2	719,1	729,1	725,4	702,2	10,80
S2K-INH6	567,4	737,3	738,6	727,1	770,0	753,9	722,7	684,9	20,70
S2K-INH8	523,6	763,8	749,7	745,7	718,4	737,7	700,0	721,8	37,86
S2K-INH12	533,6	769,1	771,0	728,0	735,0	733,9	703,4	705,1	32,15
S2K-INH16	345,6	598,1	707,0	627,2	626,8	617,5	621,7	651,0	88,37

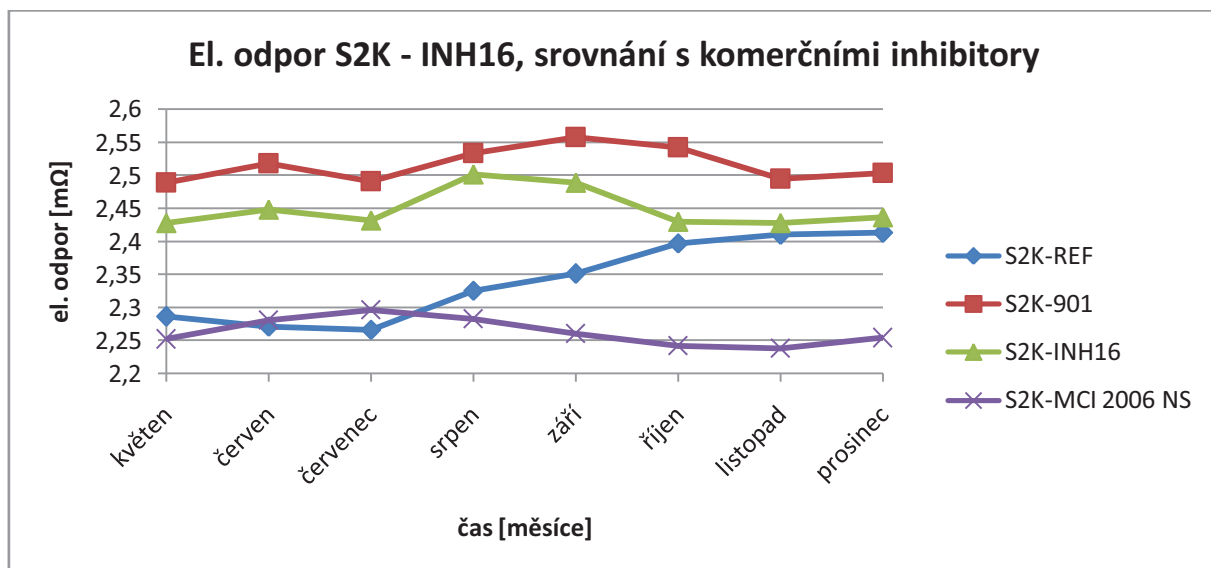


Graf. 22: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrku S2K s inhibitory INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

5.3 Porovnání s komerčními inhibitory:

Tab. 33: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání S2K – INH16 s komerčními inhibitory korze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

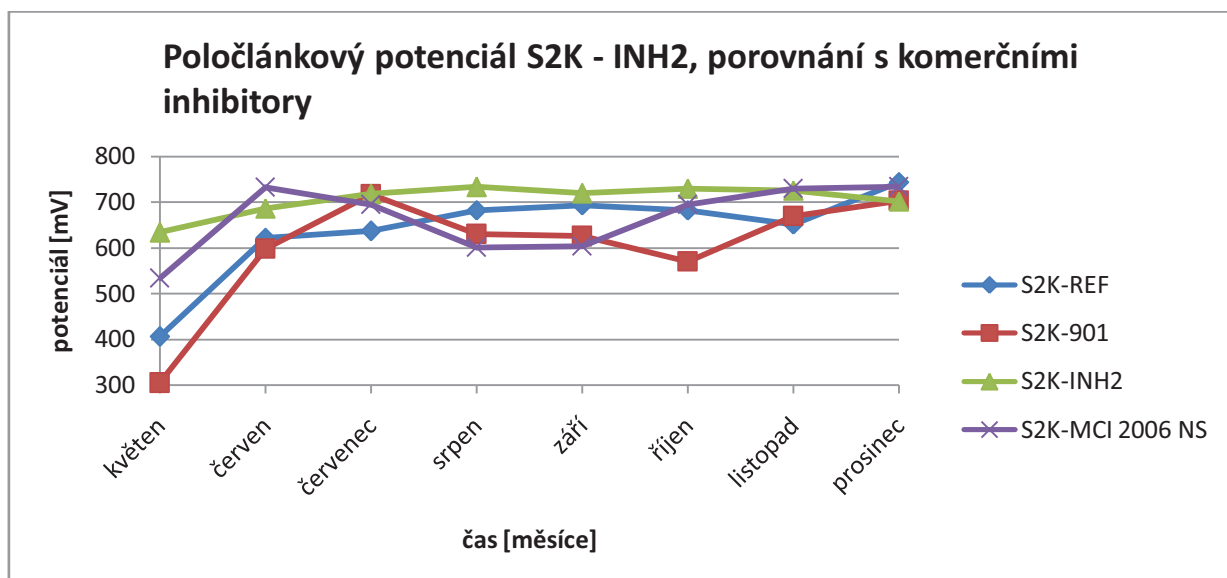
Označení vzorku	El. odpor [mΩ] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
S2K-REF	2,286	2,271	2,266	2,325	2,351	2,397	2,41	2,413	5,56
S2K-901	2,489	2,518	2,491	2,534	2,558	2,542	2,495	2,504	0,60
S2K-INH16	2,428	2,448	2,432	2,502	2,489	2,43	2,428	2,437	0,37
S2K-MCI 2006 NS	2,252	2,281	2,296	2,283	2,26	2,242	2,238	2,254	0,09



Graf. 23: El. odpor ocelové výztuže, srovnání S2K – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Tab. 34: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání S2K – INH2 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

Označení vzorku	Poločlánkový potenciál [mV] pro jednotlivé měsíce zatěžování vzorků								nárůst koroze [%]
	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	
S2K-REF	405,6	621,9	636,6	681,7	693	681,8	651,3	743,4	83,28
S2K-901	304,7	597,7	717,6	629,9	625,3	569,5	670	703	130,72
S2K-INH2	633,8	686,0	718,7	733,2	719,1	729,1	725,4	702,2	10,80
S2K-MCI 2006 NS	533,9	732,3	694,3	600,4	603,2	694,3	729,2	734,2	37,52



Graf. 24: Potenciál poločlánku, srovnání S2K – INH2 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl

5.4 Vyhodnocení koroze ocelové výztuže pro stěrku S2K s inhibitory koroze

Tab. 35: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro S2K s inhibitory koroze

Procentuální vyjádření nárůstu koroze		
Označení vzorku	El. odpor	Potenciál poločlánku
	[%]	[%]
S2K-REF	5,56	83,28
S2K-INH2	2,03	10,80
S2K-INH6	1,66	20,70
S2K-INH8	0,94	37,86
S2K-INH12	0,48	32,15
S2K-INH16	0,37	88,37
S2K-901	0,60	130,72
S2K-MCI 2006 NS	0,09	37,52



Graf. 25: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro stěrku S2K s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.

5.5 Závěrečné hodnocení etapy

Z procentuálního hodnocení je patrné, že k nejmenšímu nárůstu koroze ve správkové hmotě S2K s inhibitory koroze došlo:

Podle procentuálního vyjádření el. odporu ocelové výztuže došlo k nejmenšímu nárůstu koroze u vzorku SH - S2K- INH16, jako možná alternativa se pak nabízí vzorek SH - S2K – INH12. Tyto inhibitory koroze byly dále srovnatelné

s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901. Dále je patrné, že nárůst koroze s obsahem účinné látky se zmenšoval.

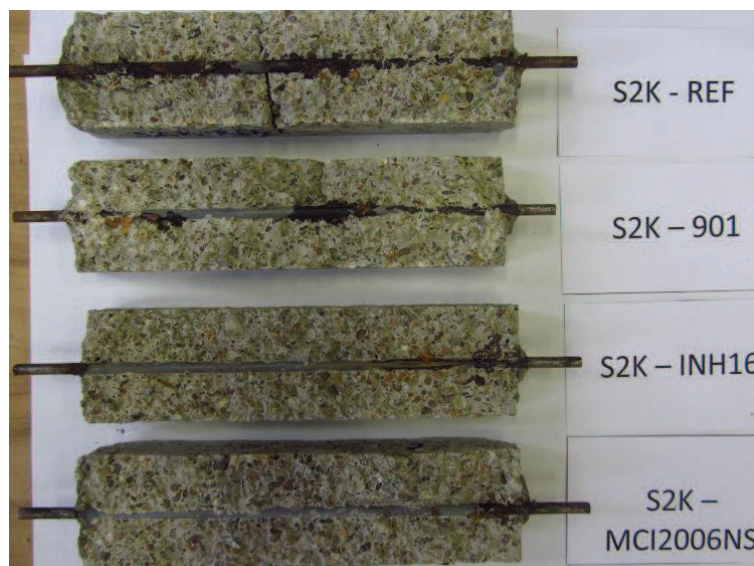
Podle procentuálního vyjádření potenciálu poločlánku došlo k nejmenšímu nárůstu koroze ocelové výztuže u vzorku SH - S2K – INH2, dále pak u vzorků s INH6, 8, a 12. Tyto hodnoty byly srovnatelné s komerčním inhibitorem Cortec MCI 2006 NS, avšak inhibitor koroze Sika FerroGard 901 vykazoval hodnotu koroze vyšší než referenční vzorek, což je způsobeno zvýšenou citlivostí této metody na přítomnost chloridů.

Na níže uvedených obrázcích (obr. 33 a obr. 34) je provedeno vizuální hodnocení stavu ocelové výztuže, které se shodovalo s naměřenými výsledky. Tento stav byl zaznamenán po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí.

Fotografie:



Obr. 33: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených stěrkou S2K s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.



Obr. 34: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených stěrkou S2K s inhibítorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.

6. Optimalizace dávkování účinné látky v novém typu inhibitoru INH2, 6, 8, 12 a 16

Na základě procentuálního vyhodnocení nárůstu koroze byla provedena optimalizace koncentrace účinné látky pro nový typ inhibitoru koroze s pracovním názvem INH od společnosti Betosan s.r.o. Dále je uváděn jen s označením INH2, 6, 8, 12, 16.

Optimalizace byla provedena zvlášť pro metodu měření el. odporu a zvlášť pro metodu měření potenciálu poločlánku. Požadavkem byl co nejmenší procentuální nárůst koroze, při co nejnižší koncentraci účinné látky obsažené v inhibitoru koroze.

Vzhledem k tomu, že výrobní ceny inhibitoru koroze nejsou veřejné, je optimalizace provedena na základě procentuálního vyjádření cen, které poskytla společnost Betosan s.r.o.:

Inhibitor koroze INH2 je brán jako 100% srovnávací základ (nejnižší cena), pak INH6 je na 106,5%, INH8 na 109,5%, INH12 na 115 % a INH16 na 121%.

6.1 Optimalizace na základě procentuálního hodnocení nárůstu el. odporu ocelové výztuže

Tab. 36: Nejlepší výsledky správkových hmot s inhibítorem koroze o různých koncentracích účinné látky

Nejmenší nárůst koroze, podle měření el. odporu v %			
Hmota	umístění	Hmota s inhibítorem	[%]
ADHM2	1.	ADHM2-INH6	1,49
	2.	ADHM2-INH8	1,84
RA2	1.	SH-RA2-INH16	0,72
	2.	SH-RA2-INH12	3,30
SN2	1.	SH-SN2-INH16	2,82
	2.	SH-SN2-INH12	2,99
MN2	1.	SH-MN2-INH16	0,36
	2.	SH-MN2-INH6	0,54
S2K	1.	S2K-INH16	0,37
	2.	S2K-INH12	0,48

6.1.1 Vyhodnocení:

Z tabulky je patrné, že nejmenšího procentuálního nárůstu el. odporu nejčastěji dosáhly vzorky s inhibítorem koroze **INH16**, který tak dosáhl prvního umístění.

Jako možná alternativa se jeví inhibitor koroze **INH12**, který jako druhý v pořadí dosahoval nejmenších hodnot procentuálního nárůstu el. odporu ocelové výztuže.

Procentuální vyjádření cen hodnocených inhibitorů:

INH12 na 115 %

INH16 na 121%.

Použití alternativy inhibitoru koroze INH12 namísto zamýšleného INH16, by při výrobě správkových hmot znamenalo 6% úsporu výrobních nákladů.

6.2 Optimalizace na základě procentuálního hodnocení nárůstu potenciálu poločlátku

Tab. 37: Nejlepší výsledky správkových hmot s inhibítorem koroze o různých koncentracích účinné látky

Nejmenší nárůst koroze, podle potenciálu poločlátku v %			
Hmota	umístění	Hmota s inhibítorem	%
ADHM2	1.	ADHM2-INH6	6,21
	2.	ADHM2-INH2	7,33
RA2	1.	SH-RA2-INH6	45,26
	2.	SH-RA2-INH8	56,36
SN2	1.	SH-SN2-INH6	45,26
	2.	SH-SN2-INH8	49,79
MN2	1.	SH-MN2-INH6	48,11
	2.	SH-MN2-INH2	66,04
S2K	1.	S2K-INH2	10,80
	2.	S2K-INH6	20,70

6.2.1 Vyhodnocení

Z tabulky je patrné, že nejmenšího procentuálního nárůstu potenciálu poločlátku nejčastěji dosáhly vzorky s inhibítorem koroze **INH6**, který tak dosáhl prvního umístění.

Jako možná alternativa se jeví inhibitor koroze **INH2**, který jako druhý v pořadí dosahoval nejmenších hodnot procentuálního nárůstu el. odporu ocelové výztuže.

Procentuální vyjádření cen hodnocených inhibitorů:

INH6 na 106,5 %

INH16 na 121%.

Použití alternativy inhibitoru koroze INH6 namísto zamýšleného INH16, by při výrobě správkových hmot znamenalo 14,5% úsporu výrobních nákladů.

Vzhledem k velkému rozptylu měřených hodnot metodou potenciálu poločlátku, který byl zřejmě způsoben přítomností chloridů, na kterou je tato měřící metoda citlivá, bylo pro závěrečné hodnocení použito pouze optimalizace podle procentuálního nárůstu el. odporu ocelové výztuže. K tomuto závěru vedlo i samotné optické zhodnocení,

které se víceméně shodovalo s procentuálním nárůstem koroze el. odporu ocelové výztuže.

V. Závěr

Cílem práce bylo provést hodnocení účinnosti nového typu inhibitoru koroze s označením INH od společnosti Betosan s.r.o. a to v různých koncentracích účinné látky (dále značen jako INH2, 6, 8, 12, 16 dle koncentrace účinné látky, kterou značí číslice uvedená za označením). Pro srovnání byly vyrobeny zkušební tělesa se zakomponovanými komerčními inhibitory koroze Sika® FerroGard®-901 od společnosti Sika CZ s.r.o. a inhibitorem koroze MCI® - 2006 NS od společnosti Cortec.

Ve zkušebních tělesech byla zabudována ocelová výztuž, na které se pomocí elektrických metod sledoval průběh koroze. Na základě dosažených výsledků byla provedena optimalizace dávkování účinné látky v novém typu inhibitoru koroze INH od společnosti Betosan s.r.o.

Pro sledování průběhu koroze byly inhibitory koroze zabudovány do uceleného systému správkových hmot od společnosti Betosan s.r.o. Jednalo se o tyto materiály s uvedeným značením:

- Adhezní můstek (ADHM2)
- Správková hmota pro ruční aplikaci (SH - RA2)
- Správková hmota pro strojní aplikaci suchým způsobem (SH - SN2)
- Správková hmota pro strojní aplikaci mokrým způsobem (SH - MN2)
- Stěrka (S2K)

Hodnocení naměřených výsledků bylo provedeno procentuálním vyjádřením nárůstu koroze ocelové výztuže po 7 měsících zatěžování v 3% chloridovém prostředí NaCl, a to pro naměřené hodnoty el. odporu ocelové výztuže a hodnoty potenciálu poločlánku. Jako základ pro výpočet procentuálního nárůstu koroze sloužila vždy první referenční hodnota, ke které byl procentuálně vyjádřen nárůst koroze udané poslední naměřenou hodnotou. K tomuto výpočtu byly použity hodnoty uvedené v tabulkách el. odporu a potenciálu poločlánku (viz. etapy 1 – 5).

Vzhledem k materiálové rozdílnosti uvedených správkových hmot a vzorků z nich vyrobených, bylo hodnocení účinnosti inhibitorů koroze provedeno vždy zvlášť v jednotlivých etapách pro danou správkovou hmotu, ve které byly inhibitory koroze obsaženy.

V 1. Etapě byla hodnocena účinnost inhibitoru koroze INH s různou koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12, a 16 %, obsaženého v adhezním můstku (ADHM2), a to i v porovnání s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901.

V rámci této etapy byl prokázán příznivý vliv všech inhibitorů koroze na omezení vzniku koroze ocelové výztuže. Na tento výsledek mohlo mít pozitivní vliv i množství cementu, obsaženého v betonových vzorcích, které byly opatřeny adhezním můstkem.

Ke vzniku koroze docházelo prakticky jen v rizikové oblasti, kde ocelová výztuž vyčnívala ze zkušebního tělesa. Tato část vzorků byla nejvíce namáhána působením agresivního chloridového prostředí. Na základě vyhodnocení naměřených hodnot a to jak pro metodu el. odporu, tak potenciálu poločlánku, se jevil jako nejlepší inhibitor koroze INH6. Co se týče optického zhodnocení, byl stav ocelové výztuže srovnatelný pro všechny použité inhibitory koroze včetně komerčních.

Ve 2. Etapě byla hodnocena účinnost inhibitoru koroze INH s různou koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12, a 16 %, obsaženého ve správkové hmotě pro ruční aplikaci RA2, a to i v porovnání s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901.

Na základě naměřených výsledků el. odporu a optického zhodnocení vycházel jako nejlepší inhibitor INH16 (obsah 16% účinné látky), který byl současně srovnatelný s komerčními inhibitory koroze. Metodou měření potenciálu poločlánku se jevil jako nejvhodnější inhibitor koroze INH6.

U ocelové výztuže ve správkové hmotě RA2 byla koroze poměrně hodně rozšířená, to dokazuje i fotodokumentace. To mohlo být způsobeno hrubozrnnější maticí správkové hmoty (srovnáváno vůči správkové hmotě SH – MN2), kterou mohlo agresivní médium snadněji penetrovat k ocelové výztuži.

Ve 3. Etapě byla hodnocena účinnost inhibitoru koroze INH s různou koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12, a 16 %, obsaženého ve správkové hmotě pro strojní aplikaci suchým způsobem SN2, a to i v porovnání s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901.

Na základě naměřených výsledků a optického zhodnocení vycházel jako nejlepší inhibitor INH16, který byl současně srovnatelný s komerčními inhibitory koroze, které dosáhly nejlepších výsledků.

Metodou měření potenciálu poločlánku se jevil jako nejvhodnější inhibitor koroze INH6.

U ocelové výztuže ve správkové hmotě SN2 byla koroze poměrně hodně rozšířená, to dokazuje i fotodokumentace. To mohlo být způsobeno hrubozrnnější matricí správkové hmoty (srovnáváno vůči správkové hmotě SH – MN2), kterou mohlo agresivní médium snadněji penetrovat k ocelové výztuži.

Ve 4. Etapě byla hodnocena účinnost inhibitoru koroze INH s různou koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12, a 16 %, obsaženého ve správkové hmotě pro strojní aplikaci mokřím způsobem MN2, a to i v porovnání s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901.

Na základě naměřených výsledků a optického zhodnocení vycházel jako nejlepší inhibitor INH16 a INH6, tyto lze současně srovnat s komerčním inhibitorem koroze MCI 2006 NS.

Metodou měření potenciálu poločlánku se jevil jako nejvhodnější inhibitor koroze INH6. Koroze ocelové výztuže nebyla u vzorků ze správkové hmoty MN2, tak výrazně rozšířena jako u vzorků ze správkové hmoty RA2 a SN2. To mohlo být způsobeno jemnozrnnější matricí, kterou mohlo agresivní médium hůře penetrovat k ocelové výztuži

V 5. Etapě byla hodnocena účinnost inhibitoru koroze INH s různou koncentrací účinné látky 2, 6, 8, 12, a 16 %, obsaženého ve stěrce S2K, a to i v porovnání s komerčními inhibitory koroze Cortec MCI 2006 NS a Sika FerroGard - 901.

Na základě naměřených výsledků el. odporu a optického zhodnocení vycházel jako nejvhodnější inhibitor koroze INH16 a INH12, tyto lze současně srovnat s komerčními inhibitory koroze.

Metodou měření potenciálu poločlátku se jevil jako nejvhodnější inhibitor koroze INH6.

Ke vzniku koroze docházelo prakticky jen v rizikové oblasti, kde ocelová výztuž vyčnívala ze zkušebního tělesa. Tato část vzorků byla nejvíce namáhána působením agresivního chloridového prostředí. Co se týče optického zhodnocení, byl stav ocelové výztuže takřka srovnatelný pro všechny použité inhibitory koroze, včetně těch komerčních.

Optimalizace využitelnosti jednotlivých metod byla provedena jednak u výsledků získané metodou měření elektrického odporu a jednak pro výsledky získané metodou měření potenciálu poločlátku. Vyhodnocení obou metod poskytlo z hlediska nárůstu koroze ocelové výztuže někdy zcela rozdílné a protichůdné výsledky.

Metoda měření potenciálu poločlátku poskytovala hodnoty, které již po prvním měsíci zatěžování značily obrovský nárůst korozní aktivity. Pro relevantní hodnocení dosažených výsledků je z časového hlediska důležitý grafický průběh naměřených hodnot, než hodnoty samotné. Předmětem sledování výsledků tedy je, zda má grafický průběh v čase rostoucí tendenci, nebo zda se nachází v ustálené oblasti nenarůstajících hodnot.

Metoda měření potenciálu poločlátku je citlivá na přítomnost chloridů ve zkoušených vzorcích. Z informací zjištěných z disertační práce Ing. Vladimíra Švehly vyplývá, že na měření potenciálu poločlátku může mít značný vliv obsah chloridových iontů, který může zkreslovat naměřené hodnoty. Z tohoto důvodu byla výsledkům této metody přisouzena menší důležitost.

Jako rozhodující byla tedy posuzována optimalizace dávkování účinné látky v novém typu inhibitoru koroze na základě výsledků měření el. odporu ocelové výztuže, které víceméně odpovídaly stavu ocelové výztuže při optickém zhodnocení.

Z provedené optimalizace vyplývá, že jako nejúčinnější byl inhibitor koroze INH16 s obsahem účinné látky 16 %. Jako možnou alternativu by pak bylo možné použít inhibitor koroze INH12 s koncentrací účinné látky 12 %, který jako druhý v pořadí dosahoval nejlepších výsledků, čímž by se dosáhlo snížení výrobních nákladů o 6 %.

Výstupem hodnocení účinnosti inhibitorů koroze v závislosti na koncentraci účinné látky je, že s vyšší koncentrací účinné látky obsažené v novém typu inhibitoru

INH docházelo k menšímu rozvoji koroze ocelové výztuže. Jako nejlepší byl tedy vyhodnocen inhibitor INH16 s koncentrací účinné látky 16 %. Tento byl z hlediska své účinnosti srovnatelný s komerčními inhibitory koroze Sika® FerroGard®-901 od společnosti Sika CZ s.r.o. a inhibitorem koroze MCI® - 2006 NS od společnosti Cortec.

Dále byl prokázán příznivý vliv inhibitorů koroze na omezení vzniku koroze ocelové výztuže a to na základě porovnání s referenčními vzorky, které tyto inhibitory koroze neobsahovaly.

Tato práce byla vypracována za podpory projektu FR-TI3/290 „Ucelený systém materiálů nové generace pro sanace železobetonových konstrukcí s využitím technologie inhibitorů koroze.

Použitá literatura

- [1] Adámek J, a kolektiv, *Stavební látky*, Modul BI01 – M03, BETON, VUT FAST Brno, str. 35
- [2] Bydžovský J., *Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích*, VUT FAST Brno 2007, str. 38 a 48
- [3] Adámek J. a kolektiv, *Stavební látky*, Modul BI01-M04, Keramika, dřevo, kovy a sklo, VUT Brno, str. 41
- [4] Pytlík P., *Technologie betonu*, 2000, ISBN 80 – 214 – 1647 - 5
- [5] Collepardi M., *Moderní beton*, 2009, ISBN 978-80-87093-75-7
- [6] Drochytka R., *Trvanlivost stavebních materiálů*, VUT FAST Brno, 2007
- [7] Rovnaníková P., Rovnaník P., Křístek R., *Stavební chemie*, Modul 3, Degradace stavebních materiálů a chemie kovů, VUT FAST Brno 2004
- [8] Němcová A., Pacal B., *Korozní zkoušení kovových materiálů*, studijní opora, VUT Brno 2010
- [9] Novák J., a kolektiv, *Nauka o materiálech 10*, Stavební materiály I, ČVUT v Praze, 1997, ISBN 80 – 01 – 01619 - 6
- [10] Inhibitory koroze kovů, [online], [cit. 22. 10. 2014], Dostupné na: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_inhibitory/index.htm
- [11] Inhibitory koroze kovů, [online], [cit. 22. 10. 2014], Dostupné na: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_inhibitory/index.htm
- [12] Kroča M., *Zkoumání působení a možnosti ověřování schopnosti různých druhů inhibitorů koroze*, Bakalářská práce, VUT FAST Brno 2013
- [13] Schönfelder D., *Účinnost migrujících inhibitorů koroze*, Sika CZ s. r. o., 25. 6. 2014, [online], [cit. 28. 10. 2014], Dostupné na: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/stavebni-chemie/ucinnost-migrujicich-inhibitoru-koroze_41260.html
- [14] SIKA, podkladní materiály firmy, 2005
- [15] CORTEC, podkladní materiály firmy, 2005
- [16] BETOSAN, podkladní materiály firmy, 2008
- [17] BASF, podkladní materiály firmy, 2009
- [18] Interní dokumenty Betosan, VUT
- [19] Dražil L. *Nové typy kompozitů pro sanaci stavebních konstrukcí s důrazem na zvýšení korozní odolnosti výztuže*, Diplomová práce, VUT FAST Brno, 2013

- [20] Bydžovský J. *Technologie sanace*, Modul 01 Technologie sanace, VUT FAST Brno, 2007
- [21] Drochytka R., Dohnálek J. Bydžovský J. Pumpr V., Dufka A., Dohnálek P. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III*, 2012, ISBN – 978 – 80 – 260 – 2210 - 7
- [22] Dohnálek J., *Praktické provádění sanací betonových konstrukcí*, studijní texty, svazek č. 1, Kapitola – Základy technologie sanací železobetonových konstrukcí, KÚ ČVUT, Praha 1999, str. 29 - 42
- [23] Švehla V., *Diagnostika koroze výztuže v železobetonových konstrukcích*, Disertační práce, VUT FAST Brno, 2005
- [24] Vaněrek J., *Trvanlivost stavebních materiálů*, přednáška VUT Brno, 2010
- [25] Peter H. Emmons H. P., Drochytka R., Jeřábek Z., *Sanace a údržba betonu v ilustracích*, 1993, ISBN0-87629-286-4

Seznam zkratek a symbolů

ADHM2 – adhezní můstek

INH – inhibitor koroze od společnosti Betosan s.r.o.

MCI 2006 NS – inhibitor koroze MCI® - 2006 NS od společnosti Cortec

MN2 – správková hmota pro strojní aplikaci mokrým způsobem

RA2 – správková hmota pro ruční aplikaci

REF – referenční směs

SN2 – Správková hmota pro strojní aplikaci suchým způsobem

901 - inhibitor koroze Sika® FerroGard®-901 od společnosti Sika CZ s.r.o.

Seznam obrázků

Obr. 1: Pracovní diagram oceli v tahu [3], [12].....	8
Obr. 2: Obecná závislost rychlosti karbonatace na relativní vlhkosti vzduchu. [6]	11
Obr. 3: Mechanismus rozrušení betonu příčinou působení SO ₂ a H ₂ O – sulfatace [6]	12
Obr. 4: Schematické znázornění působení kapaliny způsobující korozi I. typu dochází k vyloužení povrchu betonu [6]	13
Obr. 5: Schematické znázornění kapaliny způsobující korozi III. typu [6]	14
Obr. 6: Důlková koroze [8], [12].....	15
Obr. 7: Bodová koroze [8], [12].....	16
Obr. 8: Mezikrystalová koroze [8], [12]	16
Obr. 9: Schéma elektrochemické koroze železa [7], [12].....	17
Obr. 10: Pourbaixův diagram [7], [12].....	18
Obr. 11: koroze ocelové výztuže v betonu [7], [12].....	18
Obr. 12: Schéma koroze bludnými proudy [6], [12].....	20
Obr. 13: Polarizační křivka anodického děje pasivovatelného kovu [8], [12]	22
Obr. 14: Vliv anodického inhibitoru pro kov korodující v aktivním stavu [11], [12]	24
Obr. 15: Vliv katodického inhibitoru pro kov korodující v aktivním stavu [11], [12].....	24
Obr. 16: Vzorek natřený roztokem dansylchloridu pro stanovení přítomnosti inhibitoru koroze INH16.....	35
Obr. 17: Průkazní zkouška přítomnosti inhibitoru koroze INH16 pomocí dansylchloridu, nasvíceno UV lampu.....	35
Obr. 18: Schéma metodiky práce	43
Obr. 19: Rozměry zkušebního tělesa.....	46
Obr. 20: Schéma zapojení [[23], [12]	49
Obr. 21: Sestava pro měření el. odporu.....	51
Obr. 22: Schéma měření metodou poločlánkových potenciálů [24].....	52
Obr. 23: Souprava pro měření potenciálu poločlánku.....	53
Obr. 24: Cyklační zařízení	54
Obr. 25: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.	60

Obr. 26: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem koroze INH6 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.....	61
Obr. 27: Koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.....	66
Obr. 28: Koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.	66
Obr. 29: Koroze ocelové výztuže pro SN2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.....	71
Obr. 30: Koroze ocelové výztuže pro SH - SN2 s inhibitorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.	72
Obr. 31: Koroze ocelové výztuže pro SH -MN2 s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.....	77
Obr. 32: Koroze ocelové výztuže pro SH - MN2 s inhibitorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.	77
Obr. 33: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených stěrkou S2K s inhibitorem koroze INH2 -16, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.	82
Obr. 34: Koroze ocelové výztuže v betonových vzorcích opatřených stěrkou S2K s inhibitorem koroze INH16 a komerčními inhibitory koroze MCI 2006 NS a 901, po 7 měsících v 3% roztoku NaCl.....	83

Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry produktu Sika® FerroGard®-901 [14]	28
Tab. 2: Parametry produktu MCI® - 2006 NS [15].....	29
Tab. 3: Parametry produktu Armoguard P [16].....	31
Tab. 4: Parametry produktu RHEOCRETE® 222+ [12].....	31
Tab. 5: Parametry produktu Betosan INH [19].....	32
Tab. 6: Receptury adhezního můstku a betonu pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze	44
Tab. 7: Receptury správkové hmoty RA2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze.....	45
Tab. 8: Receptury správkové hmoty SN2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze.....	45
Tab. 9: Receptury správkové hmoty MN2 pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze.....	45
Tab. 10: Receptury stěrky S2K pro výrobu zkušebních těles s inhibitory koroze.....	46
Tab. 11: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	56
Tab. 12: hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	57
Tab. 13: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání ADHM2 - INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	57
Tab. 14: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání ADHM2 - INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	58
Tab. 15: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro ADHM2 s inhibitory koroze	59
Tab. 16: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	61
Tab. 17: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	62

Tab. 18: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SH - RA2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze	63
Tab. 19: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání SH - RA2- INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	63
Tab. 20: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - RA2 s inhibitory koroze	64
Tab. 21: Hodnoty elektrického odporu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitorem INH2 -16	67
Tab. 22: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.	67
Tab. 23: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	68
Tab. 24: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání SH - SN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze. v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	69
Tab. 25: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - SN2 s inhibitory koroze	69
Tab. 26: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	72
Tab. 27: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitorem koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	73
Tab. 28: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání SH - MN2 - INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	74
Tab. 29: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání SH - MN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	74
Tab. 30: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro SH - MN2 s inhibitory koroze	75
Tab. 31: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	78
Tab. 32: Hodnoty potenciálu poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	78

Tab. 33: Hodnoty el. odporu ocelové výztuže, srovnání S2K – INH16 s komerčními inhibitory korze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	79
Tab. 34: Hodnoty potenciálu poločlánku, srovnání S2K – INH2 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	80
Tab. 35: Procentuální vyhodnocení nárůstu koroze ocelové výztuže pro S2K s inhibitory koroze	81
Tab. 35: Nejlepší výsledky správkových hmot s inhibitorem koroze o různých koncentracích účinné látky	84
Tab. 36: Nejlepší výsledky správkových hmot s inhibitorem koroze o různých koncentracích účinné látky	85

Seznam grafů

Graf. 1: El. odpor ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	56
Graf. 2: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném adhezním můstkem ADHM2 s inhibitorem INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	57
Graf. 3: El. odpor ocelové výztuže, srovnání ADHM2 - INH6 a komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	58
Graf. 4: Potenciálu poločlánku, srovnání ADHM2 -INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	58
Graf. 5: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro adhezní můstek ADHM2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.	59
Graf. 6: El. odpor ocelové výztuže ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem koroze INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	62
Graf. 7: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě RA2 s inhibitorem INH2 -16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	62
Graf. 8: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - RA2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	63
Graf. 9: Potenciál poločlánku, srovnání SH - RA2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	64

Graf. 10: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu RA2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.	65
Graf. 11: El. odpor ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě SN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	67
Graf. 12: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudování ve správkové hmotě SN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	68
Graf. 13: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - SN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	68
Graf. 14: Potenciál poločlánku, srovnání SH - SN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	69
Graf. 15: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu SN2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.	70
Graf. 16: El. odpor ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl	73
Graf. 17: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované ve správkové hmotě MN2 s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	73
Graf. 18: El. odpor ocelové výztuže, srovnání SH - MN2 – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	74
Graf. 19: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro správkovou hmotu MN2 s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.	76
Graf. 20: Potenciál poločlánku, srovnání SH - MN2 – INH6 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	75
Graf. 21: El. odpor ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	78
Graf. 22: Potenciál poločlánku ocelové výztuže, zabudované v betonovém trámci opatřeném stěrkou S2K s inhibitory koroze INH2 – 16, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	79
Graf. 23: El. odpor ocelové výztuže, srovnání S2K – INH16 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	80
Graf. 24: Potenciál poločlánku, srovnání S2K – INH2 s komerčními inhibitory koroze, v průběhu 7 měsíců v 3% roztoku NaCl.....	80
Graf. 25: Procentuální nárůst koroze ocelové výztuže pro stěrku S2K s inhibitory koroze po 7 měsících zatěžování.	81