

# **Expertné posúdenie reálnej koróznej odolnosti zvarovaných sietí v gabionových konštrukciách**

Posúdenie trvanlivosti zvarovaných sietí s koróznou ochranou Zn a Zn+Al použitých na stavbách realizovaných v období 1993 až 2008. Porovnanie výsledkov terénnych skúšok a odhadu trvanlivosti koróznej ochrany podľa normy STN EN 10 223-8 z roku 2014.

## **Záverečná správa výskumnej úlohy**

Rozpracovaná správa – zverejnená na všeobecnú diskusiu a oponentúru.

### **Riešitelia:**

Ing. Eduard Vašík

Ing. Radovan Baslík, CSc.

**Text, tabuľky, obrázky a prílohy © Eduard Vašík a Radovan Baslík**

Bratislava, 31. marca 2020

## Obsah

### 1 Úvod

### 2 Predmet a cieľ výskumu

### ***Teoretická časť***

#### 3 Súčasný stav riešenej problematiky

##### 3.1 Kovové výrobky – zvarované siete

###### 3.1.1 Typy

###### 3.1.2 Povlaky

###### 3.1.3 Vlastnosti

###### 3.1.4 Použitie zvarovaných sietí v stavebných konštrukciách

##### 3.2 Identifikácia korózneho prostredia

###### 3.2.1 Atmosférické prostredie - atmosféra

###### 3.2.2 Geologické prostredie – zeminy

###### 3.2.3 Voda

###### 3.2.4 Porovnanie atmosférického a geologického prostredia

##### 3.3 Korózia zvarovaných sietí

###### 3.3.1 Atmosférická korózia

###### 3.3.1.1 Korózne zaťaženie dažďom ( „kyslé dažde“ )

###### 3.3.1.2 Vytváranie bielej korózie

###### 3.3.2 Pôdna korózia

###### 3.3.2.1 Pôvod a typ horniny

###### 3.3.2.2 Mineralizácia

###### 3.3.2.3 Vlhkosť zeminy

###### 3.3.2.4 Merný (elektrický) odpor zeminy

###### 3.3.2.5 Hodnota pH zeminy

###### 3.3.2.6 Oxidačno-redukčný (redoxný) potenciál zeminy

###### 3.3.2.7 Obsah chloridov

###### 3.3.2.8 Obsah síranov

###### 3.3.2.9 Vodivosť

###### 3.3.2.10 Obsah organických látok

###### 3.3.3 Korózia vo vode

###### 3.3.3.1 Podzemná voda

###### 3.3.3.2 Odpadové vody

###### 3.3.4 Korózia spôsobená posypovými soľami

###### 3.3.5 Korózia spôsobená kontaktom s betonárskou oceľou

###### 3.3.6 Vplyv poškodenia siete na jej koróziu

###### 3.3.7 Vplyv korózneho prostredia na usporiadanie gabionových konštrukcií

##### 3.4 Skúšobné metódy súvisiace s trvanlivosťou zvarovanej siete

###### 3.4.1 Skúšky drôtov a sietí

###### 3.4.1.1 Vizuálna kontrola

###### 3.4.1.2 Navíjacia skúška

###### 3.4.1.3 Centricita povlaku

###### 3.4.1.4 Plošná hmotnosť povlaku

###### 3.4.1.5 Korózna odolnosť

###### 3.4.2 Skúšky zemín

###### 3.4.3 Skúšky konštrukcií

##### 3.5 Trvanlivosť sietí z drôtov v gabionových konštrukciách

###### 3.5.1 Súčasný metódy stanovenia trvanlivosti zvarovaných sietí

###### 3.5.2 Požiadavky na trvanlivosť

## ***Praktická časť***

### **4 Postup a metódy výskumu**

#### **4.1 Odbery vzoriek**

#### **4.2 Laboratórne skúšky – skúšobné metódy**

##### **4.2.1 Skúšky drôtu**

###### **4.2.1.1 Vyhodnotenie kontrolných skúšok vykonaných výrobcom**

###### **4.2.1.2 Vizuálna kontrola**

###### **4.2.1.3 Zostatková plošná hmotnosť povlaku**

###### **4.2.1.4 Výbrus rezu drôtu**

###### **4.2.1.5 Odolnosť v soľnej komore**

##### **4.2.2 Skúšky zemín**

###### **4.2.2.1 Zisťovanie pH zeminy**

###### **4.2.2.2 Zisťovanie merného odporu (resistivity) zeminy**

#### **4.3 Prehľad dodávok a parametrov zvarovaných sietí na skúmané stavby**

##### **4.3.1 Kvalitatívne parametre gabionového materiálu v rokoch 1993 – 2000 (Zn)**

##### **4.3.2 Kvalitatívne parametre gabionového materiálu v rokoch 2004 – 2009 (Zn+5%Al)**

### **5 Výsledky a vyhodnotenie výsledkov skúšok vzoriek s povlakom Zn**

#### **5.1 Výsledky vizuálnej kontroly skúšobných vzoriek**

#### **5.2 Výsledky skúšok drôtov**

#### **5.3 Výsledky skúšok zemín**

#### **5.4 Hodnotenie atmosférického prostredia v mieste gabionových konštrukcií**

#### **5.5 Vyhodnotenie skúšok kontaktných zásypových zemín**

#### **5.6 Vyhodnotenie sietí s povlakom Zn**

##### **5.6.1 Úbytok hrúbky povlaku Zn – Metodika 1**

##### **5.6.2 Úbytok hrúbky povlaku Zn – Metodika 2**

###### **5.6.2.1 Úbytok hrúbky povlaku Zn v atmosfére**

###### **5.6.2.2 Analýza výsledkov úbytku hrúbky povlaku Zn v atmosfére a porovnanie s platnými normami**

###### **5.6.2.3 Úbytok hrúbky povlaku Zn v zemine**

###### **5.6.2.4 Analýza výsledkov úbytku hrúbky povlaku Zn v zemine a porovnanie s platnými normami**

##### **5.6.3 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére**

###### **5.6.3.1 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére podľa platných noriem**

###### **5.6.3.2 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére podľa výskumu a platných noriem**

##### **5.6.4 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zvarovaných sietí v zemine**

### **6 Výsledky a vyhodnotenie výsledkov skúšok vzoriek s povlakom Zn+Al**

### **7 Závery a odporúčania**

#### **Zoznam použitej literatúry**

#### **Zoznam príloh**

## 1 Úvod

Z teórie elektrochemického mechanizmu atmosférickej korózie vyplýva, že rozhodujúcim predpokladom jeho vzniku je prekročenie minimálnej vlhkosti potrebnej na vytvorenie vrstvičky elektrolytu a prítomnosť znečisťujúcich zložiek atmosféry, hlavne kyselinotvorných ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ), alebo ich solí (chloridy, sírany). Z technického hľadiska je významná hodnota 60% relatívnej vlhkosti, pod ktorou prakticky ku korózii nedochádza.

Pôsobením prvej vznikajúcich korózných spodín však dochádza k vytvoreniu korózne aktívnej povrchovej vrstvičky elektrolytu už pri 3% relatívnej vlhkosti. Zrejmou príčinou je hydroskopičnosť chloridu zinočnatého. Hydroskopičnosť korózných spodín patrí k dôležitým činiteľom, ktoré určujú rýchlosť atmosférickej korózie.

Pri odvodzovaní rýchlosti korózie je potrebné vždy uvažovať o komplexnom systéme „kov-korózna splošina-atmosféra/pôda“, pričom hlavne atmosféra je nestacionárna, čo je rozdiel voči pôdnemu prostrediu, ktoré sa javí relatívne stabilné z tohto pohľadu. Z dôvodu nestacionárneho stavu a zjavných rozdielov atmosféra-pôda, nebola doteraz spracovaná úplná teória, ktorá by jednoznačne spojila tieto spomenuté činitele a vedecky podložila zákonitosti dlhodobého priebehu korózie.

Rýchlosť korózie bude preto rozdielna napríklad v blízkosti vodných tokov a nádrží a vo vzdialenosti napríklad 2 km od nich. Väčšina autorov, ktorí vykonali dlhodobé skúšky korózne odolnosti v rôznych typoch atmosféry konštatujú, že v priemyselných oblastiach sú podstatne väčšie rozdiely v odolnostiach kovových výrobkov, ako v oblastiach vidieckych, prímorských alebo pôdnych. To isté platí aj pre lokality v blízkosti komunikácií a železníc. Prach a tuhé nečistoty majú pravdepodobne značný vplyv na atmosférickú koróziu predovšetkým v jej počiatočnom štádiu. Rozdiel bude i v priebehu korózie v pôde, ktoré sa javí stabilnejšie z dlhodobého hľadiska.

Na teoretický odhad korózne agresivity atmosféry voči kovovým povlakom sa v roku 1995 použila STN 03 8204 [1]. Táto norma obsahuje teoretické spojnicové monogramy na stanovenie ustálenej rýchlosti korózie a odhad životnosti zinkových povlakov na základe úbytkov Zn. Na základe uvedených znalostí z obdobia rokov 1993 – 2000 boli pre gabiony na území SR a ČR realizované skúšky podľa DIN 50 021 [2] a STN EN 9227 [3] v chloride sodnom. Na základe výsledkov týchto skúšok sa stanovil teoretický prevod dosiahnutých hodín pri laboratórnych skúškach do reálneho času.

Na základe dostupnosti laboratórnych skúšok korózne odolnosti z rokov 1995 a 1998 sme v spolupráci s odborným laboratórnym pracoviskom odobrali vzorky zvarovaných sietí zo stavieb



realizovaných v rokoch 1993-1998. Vzorky sietí sa odobrali zo vzdušnej strany gabionového objektu a z hĺbky 1,0 m v zásype, obr.1. Súčasne sa odobrali vzorky zeminy z výkopu. Tie sa zabalili na mieste odberu do plastových fólií a označili sa. Vzorky pôdy sa uzavreli do šraubovanej plastovej nádoby, aby sa uchovala ich vlhkosť a originálny stav v čase odberu.

Obr.1 Vzorka odberu z gabionového objektu na konkrétnej lokalite

## 2 Predmet a cieľ výskumu

Prezentuje sa záverečná správa rozpracovanej výskumnej úlohy. Cieľom výskumnej úlohy je zhodnotenie reálnej životnosti zvarovaných sietí v období 1993 – 2018 (2019) zabudovaných do gabionových konštrukcií pri komunikáciách, železničiach, vodných nádržiach a tokoch a vyhodnotenie teoretického predpokladu z roku 1995-1998 definovaného na základe laboratórnych skúšok podľa DIN 50 021 a kvalitatívnych parametrov z rokov 2005-2009 uvedených výrobcom drôtu a sietí v jednotlivých dodávkach sietí v danom období.

Výskum sa uskutočnil z osobnej iniciatívy autorov a za podpory zahraničného renomovaného laboratória.

## *Teoretická časť*

### 3 Súčasný stav riešenej problematiky

#### 3.1 Kovové výrobky – zvarované siete

##### 3.1.1 Typy

Gabion je podľa prijatého názvoslovia kompozitný konštrukčný prvok skladajúci sa z gabionového koša/matraca a prírodného lomového kameňa požadovaných rozmerov a kvality, pričom obidva komponenty musia mať preukázanú trvanlivosť, ktorá presahuje požadovanú životnosť stavebnej konštrukcie.

Z gabionov sa zostavujú gabionové konštrukcie, ktoré sa používajú na sanáciu zosuvov, zastavenie erózie alebo výplň eróziou zničených brehov vodných tokov alebo stavieb, alebo svahov, ochranné určenie rôzneho druhu, gravitačné oporné múry v násypoch dopravných stavieb, zárubné múry, obklady klincovaných svahov a ako lícové opevnenie vystužených horninových konštrukcií. Zvarovaná sieť, prednostne v súčasnosti už používaná na montáž gabionov stavebníkovým postupom, sa vyrába obvykle z pevného oceľového drôtu korozívne chráneného ZnAl zmesou. V minulosti sa štandardne používal čistý zinok - Zn. Oboma typmi sa budeme v ďalšom zaoberať a tvoria podstatu tejto práce terénneho posúdenia koróznej odolnosti v časovom rozstupe 10 – 20 rokov.

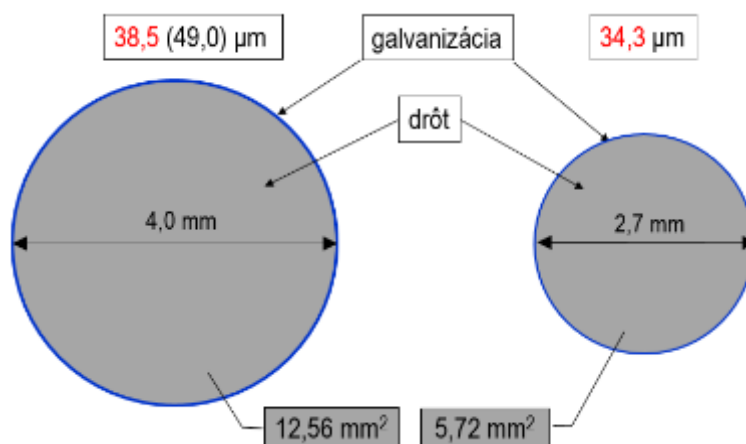
Zvárané siete sa v súčasnosti vyrábajú s okami 100/100, 100/50, 50/100, 50/50 a 100/25 mm, obr.2.



Obr.2 Príklad zvarovaných sietí na gabionové objekty

V SR a ČR sa na výrobu zvarovaných sietí obvykle používa drôt s priemerom 4,0 mm, ale často sa využíva ponuka zvarovní drôtov s priemerom 3,0 a 3,5 mm. Investori na západ od „východného

bloku EU“ majú štandardne v ponuke siete z drôtu s priemerom 4,5 a 3,8 mm. Dôležitosť priemeru drôtu si preberieme v nasledujúcich kapitolách. Predbežne možno konštatovať, že vyšší priemer drôtu dáva predpoklad zvýšenej trvanlivosti siete na gabiony, a tým funkčnosti gabionového objektu ako náhrady železobetónových múrov, obr.3.



Obr.3 Porovnanie priemerov drôtu používaného pre gabionové siete (naľavo drôt zvarovanej siete, napravo drôt pletenej siete)

### 3.1.2 Povlaky

Oceľ používaná na zvarované siete a gabiony je štandardná a ako taká podlieha koróznemu zaťaženiu. Keď chceme zabrániť koróznym škodám a zvýšiť trvanlivosť ocele, v našom prípade vyrobený drôt/zváranú sieť, musíme drôt ochrániť protikoróznou vrstvou – povlakom. Pretože sa očakáva vyššia trvanlivosť, na ochranu drôtu určeného pre gabionové siete sa využíva žiarové zinkovanie. V súčasnosti sa na Slovensku a v Česku od roku 2005 používa protikorózna zmes Zn+5%Al. V poslednej dobe je snaha o štandardné použitie i zmesi Zn+10%Al.

Hrúbka zinkového povlaku sa meria v μm alebo sa stanovuje z plošnej hmotnosti (g/m²). Napríklad povlak s hrúbkou 100 μm teoreticky zodpovedá plošnej hmotnosti okolo 720 g/m².

Norma STN EN 10 223-8 [4] uvádza pre zvarované siete určené pre gabionové konštrukcie dve kvalitatívne triedy, a to:

zliatina Zn+5%Al ..... odolnosť min. 1000 hod. (čl. 7.6.1)

progresívne kovové povlaky (Zn+5%Al+MM) ..... odolnosť min. 2000 hod. (čl. 7.6.2)

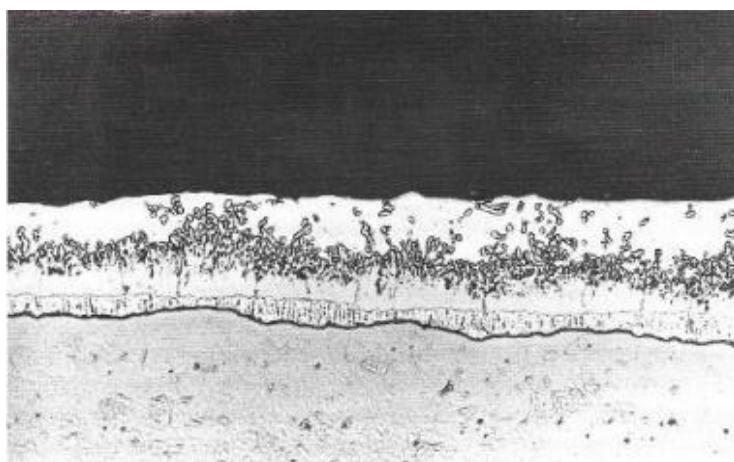
Vyššie uvedená norma jasne označuje, že jediným dôležitým kvalitatívnym parametrom protikorózneho ochrany je odolnosť zistená exaktne v laboratóriu podľa STN EN ISO 9227 alebo alternatívne podľa STN EN ISO 6988 [5]. V minulosti sa ako jediný kvalitatívny parameter využívala plošná hmotnosť povlaku vyjadrená g/m², stanovená podľa noriem STN 1548 (neplatná) [6] a STN EN 10 244-2 [7].

Pre bežné priemyselné alebo súkromné použitie je možné samozrejme využiť lacnejší pôvodný spôsob ochrany, a to povlak Zn s odolnosťou min. 500 hod. podľa STN EN ISO 9227 (pozn. do roku 2019 pripúšťal i cestársky predpis ČR pod označením TKP 30 [8]). Na Slovensku došlo ku zmene v roku 2014 na min. 1000 hod. TKP 31 [9].

V súčasnosti vývoj korózneho ochrany drôtov preukázal, že dôležité je nielen množstvo, ale najmä kvalita a rovnomernosť/centricita povlaku. Ako vhodná skúška sa stále používa skúška v chloride sodnom vykonávaná do času objavenia sa červenej korózie v rozsahu 5% plochy drôtu podľa STN EN ISO 9227.

V našej práci budeme skúmať počiatočne parametre zvarovaných sietí stavieb z rokov 1995-1998 a z rokov 2006-2008, a to plošnú hmotnosť povlaku aj koróznú odolnosť zistenú v TSUS SR v danom období a dnešný stav protikorózneho povlaku v prípade Zn po 20-tich rokoch a v prípade Zn+5%Al po 10-tich rokoch.

Žiarové zinkovanie znamená, že oceľ po predpísanej úprave povrchu a ponorením do vane s roztaveným zinkom (alebo zmesou ZnAl) sa leguje na povrchu a pokrýva zinkovým povlakom. Predpokladom je, že povrch pred zinkovaním je kovovo čistý. Pri kontinuálnom zinkovaní drôtu, sa predchádzajúca úprava robí žíhaním (zohriatím na požadovanú teplotu). Drôt sa ťahá cez priechodnú pec a žíha sa oxidáciou a následne sa vedie v ochrannom plynovom prostredí do zinkového kúpeľa. Počas ponorenia sa tvoria legujúce povlaky a vytvára sa zmes FeZn, obr. 4, (takzvaná vrstva tvrdého zinku) a následne sa nanáša vrstva buď čistého Zn alebo zmes ZnAl podľa potreby a požiadavky odberateľa. Vznikne tak rovnomerný, neporézny, pevne držiaci a oderuvzdorný ochranný protikorózný povrch.



Obr.4 Priechny rez oceľového drôtu s ochranným povlakom – Fe/FeZn/Zn(ZnAl)

U špeciálnych ocelí, napríklad na výrobu drôtu do gabionových konštrukcií, sa tvorí rýchlejšie legovaná vrstva a vzniká abnormálne hrubý, legovaný povlak FeZn. Keď na legovaných vrstvách zostane čistá zinková vrstva, povlak vykazuje lesklý povrch často s vytlačeným zinkovým kvetom.

V dôsledku technologického pokroku pri žiarovom zinkovaní a vzhľadom na nezohľadňovanie rôzneho pomeru hrúbky legovanej vrstvy FeZn voči hrúbke povlaku z čistého zinku (alebo zmesi ZnAl) možno konštatovať, že hodnota odolnosti v hodinách stanovená v laboratóriu normovanou skúškou je nepresná a často zavádzajúca. Preto ju možno považovať len za orientačnú informáciu. V STN EN 10 223-8 sa zaviedla povinnosť hodnotenia kvality protikoróznej ochrany na základe odolnosti podľa STN EN ISO 9227 alebo STN EN ISO 6988 a to na úrovni min. 1000 alebo min. 2000 hod. podľa náročnosti gabionového objektu a jeho stavebnotechnického určenia, resp. návrhovej životnosti v danom koróznom prostredí objektu.

Tvrdosť legovanej vrstvy FeZn je vyššia ako ocele, v čom tkvie veľká odolnosť zinkových povlakov pri oderoch a vrypoch. Vo všeobecnosti sú však takéto medzikovové spojenia krehké a citlivé na ohyb. Pri zvýšenom namáhaní môžu vzniknúť trhliny, či dokonca dôjsť k odlúpnutiu protikorózneho povlaku. Tu tkvie i mimoriadna prednosť zvarovaných sietí pre gabionové konštrukcie, vzhľadom na vplyv legovanej vrstvy na odolnosť zvaru a odstránenie problematického dvojzákrutu z pohľadu praskania zinkovej vrstvy a porušenia povlaku pri výrobe sietí na gabiony.

### 3.1.3 Vlastnosti

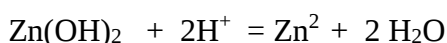
Zvarovaná sieť používaná na gabionové koše-bloky je výrazne odlišná od zastaraných systémov s pletenou šesťuholníkovou sieťou. Pevnosť siete/mreže pri ťahových testoch, ako jedna z dôležitých vlastností na určenie chovania sa gabionov, je u zvarovaných sietí výrazne lepšia s ohľadom na využitie gabionov ako náhrady železobetónových gravitačných oporných konštrukcií hlavne v cestnom a mostnom staviteľstve. Prednosti zvarovanej siete vo výraznej miere začali využívať i architekti v rámci IBV a DBV.

Ďalším parametrom dôležitým pre stabilitu gabionu je deformačná odolnosť a tuhosť mriežky siete pri zaťažení v rôznych smeroch.

Zvarované siete sa používajú ako výstuž do betónu. Je jednoznačne praxou preukázaná prospešnosť vystuženia oporných múrov takýmto typom siete a nie napríklad pletenou šesťuholníkovou sieťou, čo by znamenalo istý predpoklad zlomenia – prasknutia železobetónovej dosky. Vykonávané skúšky na overenie ťahových vlastností zvarovaných sietí jednoznačne preukazujú vhodnosť práve pre gabiony používané ako alternatíva železobetónových múrov a konštrukcií hlavne v cestárskej praxi, IBV alebo DDV.

Stručne povedané, zvarované siete sú v porovnaní s pletenými sieťami v gabionových konštrukciách zásadne odlišné výrobky, ktoré preukazujú svoje vlastnosti v úplne rozdielnych situáciách použitia. Bližšie sa možno o posudzovaní a vyhodnotení skúšok rôznych typov sietí dozvedieť v [10] a [11]. Zvarované siete vysokej kvality môžu nepomerne lepšie uplatniť svoje vlastnosti v podmienkach obvyklých oporným a zárubným múrom, obkladom torkrétov a obytných budov resp. na architektonické úpravy terénu. To znamená tam, kde sa očakáva a vyžaduje vystuženie kamennej výplne gabionov a dosiahnutie potrebnej pevnosti a najmä tvarovej stability. Na rozdiel od pletených sietí charakteristických prednostne ohybnosťou a extrémnou pretvárnosťou či tvarovou nestabilitou.

Na základe termodynamických vlastností by sa mohlo zdať, že zinková vrstva podlieha koróznym vplyvom omnoho viac ako oceľ. Avšak v skutočnosti je zinok (ZnAl) odolnejší než Fe. Vysvetlenie pre tento paradox je v koróznej reakcii Zn, ktorá je určovaná tvorbou pevných koróznych zlúčenín obmedzujúcich postup korózie. Ako primárny produkt sa tvorí hydroxid zinočnatý, ktorý rovnako ako po odštiepení vody vznikajúci oxid zinočnatý, má amfotérny charakter a rozpúšťa sa, či už v kyselinách podľa vzorca :



alebo v zásadách podľa vzorca :



Rýchlosť korózie Zn zodpovedá v podstate rýchlosti rozpúšťania krycej vrstvy. Vzrastá preto s klesajúcim pH faktorom a tiež výrazne s rastúcim pH faktorom.

Vo vodách vzniká z primárneho korózneho produktu hydroxid zinočnatý, ktorý spoločne s oxidom uhličitým podľa vzorca:



vytvára bázičný uhličitan zinočnatý, ktorý svojou skladbou zodpovedá prírodnému minerálu hydrozinkitu a tvorí veľmi dobré ochranné krycie vrstvy.

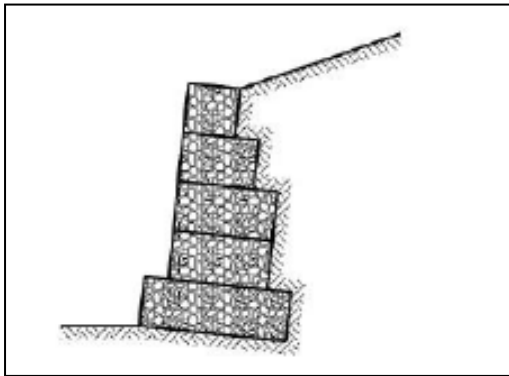
### 3.1.4 Použitie zvarovaných sietí v gabionových konštrukciách

Predmetom záverečnej správy sú zvarované siete a ich primárne použitie v gabionových konštrukciách, osobitne v oporných konštrukciách. Oporné gabionové konštrukcie majú funkciu

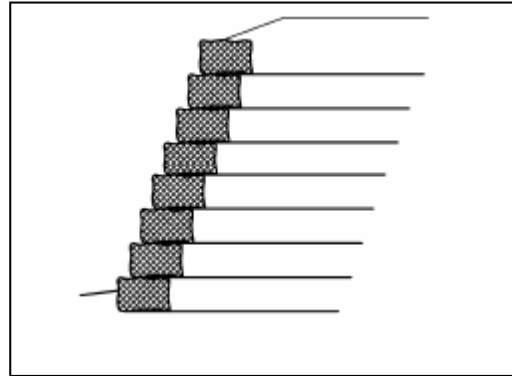
oporných múrov a sú vždy v kontakte so zeminou zásypu. Často sú to trvalé konštrukcie, keď sa podľa STN EN 1990, tab.2.1 [12] očakáva ich informatívna návrhová životnosť 100 rokov.

Realizujú sa dva základné typy oporných múrov s gabionovými košmi, a to:

- oporný múr z gabionov – celý objem gravitačného múru je zhotovený z gabionov, obr.5a
- vystužený oporný múr s gabionmi na líci a geosyntetickou alebo oceľovou výstužou v zásype, obr.5b



a/ oporný múr z gabionov [9]



b/ vystužený oporný múr s gabionmi na líci [13]

Obr.5 Aplikácie oporných múrov s gabionovými košmi

Každý výrobok/materiál/hmota použitý v trvalých oporných múroch z gabionov (obr.5a) aj vo vystužených oporných múroch s gabionmi na líci (obr.5b) musí mať trvanlivosť väčšiu ako je požadovaná životnosť celej konštrukcie. Kovové siete gabionových košov korodujú, takže je dôležité poznať časový priebeh ich korózie a ich stav počas životnosti konštrukcie, a to nielen na povrchu ale aj vnútri konštrukcie.

Okrem konštrukcií uvedených v obr.5 sa gabiony a dielce zo zváraných sietí používajú aj v ďalších typoch konštrukcií.

### **Oporné múry gravitačné**

**Funkcia, účel:** Zachytávanie aktívnych tlakov hornín zo zásypu. Prenos všetkých stálych a premenných zaťažení, napr. doprava, dynamické zaťaženia.

**Použitie:** Násypy dopravných stavieb (pozemné komunikácie, železnice). Stabilizačné múriky na svahoch s plošným zosuvom. Súčasť terénnych úprav pri vyrovnávaní výškových rozdielov na svahoch v okolí drobných stavieb, napr. rodinné domy, obytné súbory, čerpace stanice, parkoviská.





### ***Zárubné múry***

Funkcia, účel: Zachytávanie menších zemných tlakov, ako v prípade gravitačných oporných múrov.  
 Použitie: Zabezpečenie odkopov (zárezov) prírodných svahov.

### ***Obkladové konštrukcie***

Funkcia, účel: Estetická, povrchová úprava zvláštnych zemných konštrukcií.  
 Použitie: Obklad betónových múrov, kotvených alebo klincovaných svahov.



### ***Vystužené oporné múry***

Funkcia, účel: Sklon líca od 70° do 90°. Zachytávanie aktívnych tlakov hornín zo zásypu. Prenos všetkých stálych a premenných zaťažení, napr. doprava, dynamické zaťaženia.

Použitie: Násypy dopravných stavieb (pozemné komunikácie, železnice). Samostatné mostné opory a krídla. Súčasť terénnych úprav pri vyrovnávaní výškových rozdielov na svahoch v okolí drobných stavieb, napr. rodinné domy, obytné súbory, čerpacie stanice, parkoviská.



### ***Vystužené strmé svahy***

Funkcia, účel: Sklon líca od 45° do 70°. Zachytávanie aktívnych tlakov hornín zo zásypu. Prenos všetkých stálych a premenných zaťažení, napr. doprava, dynamické zaťaženia.

Použitie: Násypy dopravných stavieb (pozemné komunikácie, železnice) za vopred stanovených priestorových podmienok. Súčasť terénnych úprav pri vyrovnávaní výškových rozdielov na svahoch v okolí drobných stavieb, napr. rodinné domy, obytné súbory, čerpacie stanice, parkoviská.



### ***Prehrádzky, priehrady a priečne výhony vodných tokov***

Funkcia, účel: Slúžia na reguláciu dynamických vodných tokov, ktoré unášajú pevné častice a usadeniny. Blokujú tok, menia jeho prietokové vlastnosti. Priečne gabionové výhony sú konštrukcie, ktoré vyčnievajú do riečneho kanála alebo ústia, narúšajú tok a presmerovávajú ho od brehu rieky, na ktorom sú gabionové výhony vybudované.

Použitie: Vodné toky. Nádrže, rezervoáry, poldre.



### ***Architektonické konštrukcie***

Funkcia, účel: Alternatívy stavebných hmôt a materiálov v architektúre a stavebníctve.

Použitie: Gabionové ploty. Vytvorenie terénnych alebo dekoratívnych úprav v záhradách, parkoch, terasách. Obklady stien a budov. Stavby skladov so širokým sortimentom prírodného výplňového kameniva resp. iného vhodného materiálu (sklo, tehly, drevo, ...)



### ***Protihlukové alebo protivetrové steny a valy***

Funkcia, účel: Zníženie intenzity hluku od nežiaducich rušivých elementov, ako ihriská alebo pozemné komunikácie. Zabránenie prieniku zvukových vln od zdroja hluku a ochrana proti nárazom vetra.

Použitie: Protihlukové steny pozdĺž diaľnic, ciest a železničných tratí. Protivetrové steny.



### 3.2 Identifikácia korózneho prostredia

Pre gabiony v konštrukciách na obr. 4 predstavuje korózne prostredie atmosféra a zemina zásypu.

#### 3.2.1 Atmosférické prostredie - atmosféra

Norma STN EN ISO 12 944-2 rozlišuje 6 základných klasifikácií korózneho agresivity vonkajšieho prostredia, [14]. Tab. 1 je prevzatá z uvedenej normy, ale upravená pre atmosférické prostredie, v ktorom sa môžu nachádzať gabionové konštrukcie na Slovensku a sú predmetom tohto výskumu. V tabuľke sa napr. neuvádzajú stupne C5 a CX, pretože sú v našom prípade nepoužiteľné.

Tab.1 Klasifikácia korózneho agresivity atmosférického prostredia a pôdy podľa STN EN 12 944-2

| Prostredie                        | Stupne korózneho agresivity | Príklad typického exteriérového prostredia                              |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Vonkajšie atmosférické prostredie | C1 - veľmi nízka            | -                                                                       |
|                                   | C2 - nízka                  | Atmosféry s nízkou úrovňou znečistenia                                  |
|                                   | C3 - stredná                | Priemyselné a mestské atmosféry s miernym znečistením oxidom siričitým. |
|                                   | C4 - vysoká                 | Priemyselné prostredie.                                                 |
| Pôda                              | Im3                         | Oceľové výrobky uložené v zemi                                          |

Stupne korózneho agresivity prostredia C1 až CX sa stanovili na základe rýchlosti korózie (úbytok kovu vystaveného účinkom prostredia v určitej lokalite) a kombináciou s charakteristikami daného atmosférického prostredia.

#### 3.2.2 Geologické prostredie - zeminy

Koróziu agresivitu zeminy určuje v prvom rade jej mineralogické zloženie. V zeminách sa nachádzajú prvotné minerály, ktoré prechádzajú do zemín z magmatických hornín v priebehu mechanického zvetrávania a druhotné minerály, ktoré vznikajú po rozpade prvotných minerálov v priebehu chemického zvetrávania. Horninotvorné minerály v zeminách obsahujú okrem hlavných (štruktúrnych) prvkov aj stopové (prímesné) prvky, ktoré sú zdedené od materských hornín, alebo sú vnášané do zeminy cez atmosféru alebo prírodnými vodami.

Podrobnejšie informácie o geologickom prostredí sú v kapitole 3.3.2 a časti „Druh zeminy a jej horninové zloženie“.

Všetky doteraz publikované poznatky o koróznom prostredí pôsobiacom na siete gabionových konštrukcií informujú len o vplyve atmosférického prostredia, pretože zohľadňujú len súčasné požiadavky na trvanlivosť iných kovových výrobkov. Je to spôsobené tým, že pre životnosť väčšiny

rôznych kovových konštrukcií (napr. mosty, haly, stožiare, veže, zvodidlá) je mimoriadne dôležité poznať trvanlivosť kovových materiálov v kontakte s prostredím, kde sa nachádzajú, a tým je predovšetkým atmosféra.

V norme STN EN ISO 12 944-2 sa rozlišujú aj 3 stupne agresivity pre vodu a pôdu. Pre účely nášho výskumu je použiteľný stupeň Im3, ktorý je určený pre pôdu a kovové konštrukcie uložené v pôde, tab.1.

Pri návrhu gabionových konštrukcií statik alebo projektant nezohľadňuje v súčasnosti vplyv horninového prostredia na životnosť týchto konštrukcií. To možno považovať za vážny nedostatok.

### 3.2.3 Voda

Na gabionové konštrukcie môže pôsobiť zrážková (atmosférická), povrchová a podpovrchová voda.

Zrážková voda vo forme dažďa alebo odtekajúcej zrážkovej vody pôsobí na povrch gabionových konštrukcií priamo. Odtok zrážkových vôd z povrchu terénu je rýchly, kontakt s minerálmi v zeminách je krátky, takže sú slabo mineralizované s veľmi nízkym obsahom cudzorodých látok (plynné a tuhé znečisteniny) pochádzajúcich z ovzdušia, ich celková mineralizácia je hlboko pod 100 mg/l a ich pH sa pohybuje v rozmedzí 5 až 6.

Povrchové vody sú stojaté alebo tečúce. Gabionové konštrukcie prichádzajú do kontaktu s povrchovými vodami v prípadoch, keď stoja na brehoch nádrží alebo sú umiestnené priamo v korytách potokov, riek a kanálov.

Podpovrchové vody vznikajú infiltráciou zrážkových a podpovrchových vôd do zeme. Nás zaujímajú obyčajné podzemné vody a to len v prípadoch, keď sa môžu dostať cez zásyp alebo podložie až ku gabionovej konštrukcii. Osobitný je prípad, keď sa do zásypu použijú ťažené zeminy, ktoré sú viac mineralizované. Preto je dôležité poznať, z akého regiónu a konkrétnej lokality pochádza zemina použitá do zásypu gabionovej konštrukcie.

### 3.2.4 Porovnanie atmosférického a geologického prostredia

Je dôležité poznať rozdiely medzi atmosférou a pôdou, pretože gabiony sa nachádzajú na rozhraní týchto dvoch zásadne odlišných prostredí. Je to potrebné aj preto, aby bolo možné stanoviť typ kontrolných skúšok a porovnať hodnoty jednotlivých charakteristík. V tab.2 sa porovnáva atmosférické a pôdne prostredie. Uvádza sa, či sa konkrétna vlastnosť overuje, alebo neoveruje.

Tab. 2 Porovnanie atmosférického a pôdneho prostredia

| Vlastnosť                                    | Atmosférické prostredie | Pôdne prostredie    |
|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Vlhkosť                                      | ÁNO                     | ÁNO                 |
| Stupeň nasýtenia vodou                       | -                       | ÁNO                 |
| Prítomnosť vody s voľnou hladinou            | ÁNO (vodný tok, plocha) | ÁNO (podzemná voda) |
| Teplota                                      | ÁNO                     | ÁNO                 |
| Merný (elektrický) odpor - resistivita       | -                       | ÁNO                 |
| Hodnota pH                                   | -                       | ÁNO                 |
| Oxidačno-redukčný (redoxný) potenciál        | -                       | ÁNO                 |
| Obsah síranov                                | -                       | ÁNO                 |
| Obsah oxidu siričitého                       | ÁNO                     | -                   |
| Výfukové plyny                               | ÁNO                     | -                   |
| Obsah chloridov                              | ÁNO                     | ÁNO                 |
| Obsah organickej hmoty, častíc               | -                       | ÁNO                 |
| Prítomnosť pôdných mikroorganizmov, baktérií | -                       | ÁNO                 |
| Prítomnosť blúdivých prúdov                  | -                       | ÁNO                 |

Z tab.2 je vidieť, že atmosférické a pôdne prostredie sú aj z hľadiska overovaných vlastností celkom odlišné. To sa premieta do typu, intenzity a rýchlosti korózie kovových výrobkov umiestnených len v atmosfére alebo len v pôde. Je to veľmi závažná skutočnosť pretože upozorňuje na to, že rovnaký výrobok, napr. oceľová sieť s určitým kovovým povlakom, môže inak korodovať v atmosférickom a inak v pôdnom prostredí. Prakticky to znamená, že napríklad, ak sa použije v celej konštrukcii rovnaký výrobok, tak na určitom mieste v konštrukcii môže byť predimenzovaný a na inom mieste poddimenzovaný z protikorózneho hľadiska.

### 3.3 Korózia zvarovaných sietí

Jednotlivé časti gabionových konštrukcií zo zvarovaných sietí sú v kontakte s atmosférou, výplňou gabionov a zeminou v zásype. Bodový kontakt a poškodenie povlaku sietí od kameninovej výplne gabionov a následná korózia v mieste kontaktu sú dôležité u plastových povlakov zvarovaných a pletených sietí. V prípade zvarovaných sietí len s kovovým povlakom je dôležitá atmosférická korózia na líci a vnútri gabionovej konštrukcie a pôdna korózia zadnej časti gabionovej konštrukcie, ktorá je v kontakte so zeminou zásypu. Do úvahy prichádza aj prevzdušnené pôdne prostredie.

#### 3.3.1 Atmosférická korózia

Pri úvahách o koróznom pôsobení atmosféry na zinkové povlaky musíme posúdiť dve východiskové situácie. A to či sa jedná o oceľové siete na gabiony úplne nové (čerstvé výrobky) alebo už o zinkové povrchy, ktoré boli nejakú dobu na vzduchu, pretože sa líšia vo vzťahu ku chemickému zloženiu a tiež koróznymi reakciami.

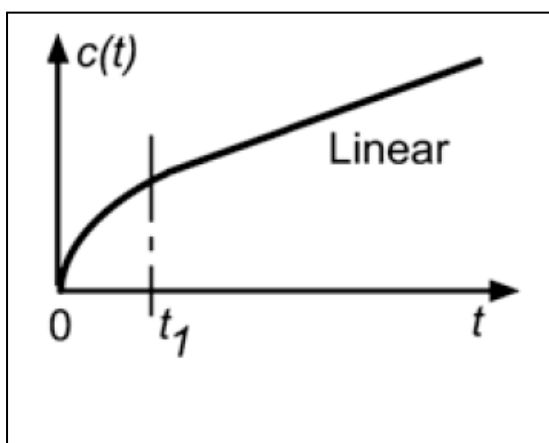
Čerstvo nanesené zinkové povlaky majú plochu s minimálnymi nečistotami. Na vzduchu sa tvorí primárny oxid zinku, ktorý vplyvom vzdušnej vlhkosti prechádza do hydroxidu zinku a spolu s oxidom uhličitým zo vzduchu tvorí bázičný uhličitán zinku. Tieto produkty sú ťažko rozpustné a vytvárajú tak ochrannú vrstvu. To znamená, že čerstvo vyrobené drôty a následne siete určené pre gabiony sa majú riadne uskladniť aby vetrali. Rýchlosť korózie krátko uskladnených oceľových sietí a ihneď zabudovaných do gabionových konštrukcií s ochrannou zinkovou vrstvou je vyššia v počiatočnom období, než u dlhšie uskladnených výrobkov.

Medzi rýchlosťami korózie na začiatku a po vytvorení ochrannej vrstvy nie je žiaden vzťah, takže z krátkodobého pokusu v laboratóriu sa nesmie urobiť záver k dlhodobej reakcii. Extrapolácia nie je dovolená taktiež vzhľadom na rozdielne dlhodobé zaťaženie koróziou v čase a vplyvom ročných období.

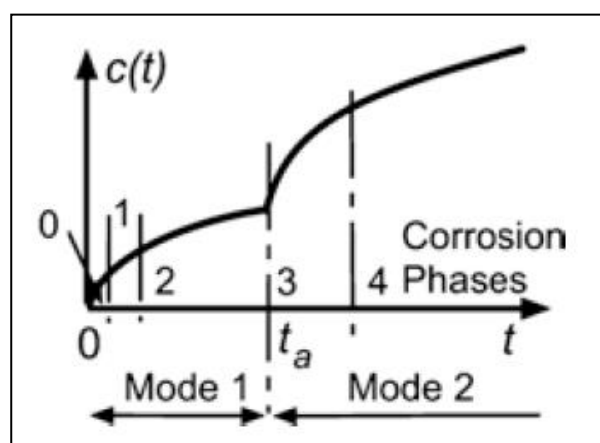
Vytváranie ochranných vrstiev sa deje podľa existujúcich pomerov od niekoľko dní po niekoľko mesiacov. Na suchom vzduchu vznikne ochranná vrstva asi za 100 dní pri relatívnej vlhkosti 33% asi za 14 dní a pri 75% vlhkosti asi za 3 dni. V priebehu času sa dočasná ochranná vrstva stráca a ako ochranná vrstva slúži zinkový povlak. Postupné ubúdanie (strata) zinkového povlaku možno na základe dlhodobého pozorovania považovať za rovnomerný proces. Po spotrebovaní krycieho povlaku zinku nastáva obdobný proces aj s legovanou fázou FeZn. Podľa doterajších sledovaní vykazujú legované fázy priaznivejšie korózne reakcie ako samotný krycí povlak zinku. Niekedy sa legované fázy zafarbia do hnedočervena i keď je povrch ocele stále chránený vrstvou zinku. Príčina tohto javu nebola doteraz vysvetlená.

Priebeh korózie v atmosfére opisujú rôzne matematické modely, pričom model známy ako „power-law model“ sa prezentoval už v roku 1923 [59]. Intenzívnym a podrobným výskumom priebehu korózie na povrchu rôznych kovov a zohľadnením všetkých vonkajších vplyvov sa postupne dospelo k ďalším matematickým modelom. Dva z nich sú graficky predstavené na obr.6, kde:

$t$  - čas  
 $t_1$  - časový úsek  
 $c(t)$  - rýchlosť korózie  
 $B$  - empirická konštanta vo vzorci na výpočet rýchlosti korózie  
 coating life - trvanlivosť povlaku ( náter farbou alebo iný organický povlak )  
 initial rate - počiatočná rýchlosť korózie (dotyčnica v čase  $t_1$ )  
 long-term - dlhodobá korózia  
 transition - čas prechodovej fáze  
 alternatives - alternatívy priebehu korózie  
 mode - režim, typ korózie  
 corrosion phase – etapa korózie



a/



b/

Obr.6 Modely priebehu korózie kovov [59].

V začiatkoch skúmania procesu korózie kovov sa predpokladalo, že hrúbka skorodovanej vrstvy narastá konštantne, takže aj rýchlosť korózie je konštantná, rovnomerná, čomu zodpovedá priamka. Postupne sa zistilo, že logaritmická krivka je vhodnejšia na znázornenie priebehu dlhodobej korózie. Na obr.6a je krivka zložená z logaritmickú a priamkovú časť, čo predstavuje dva korózne mechanizmy. Tento matematický model sa často používa na znázornenie priebehu atmosférickej korózie. Viacfázová (bi-modálna) krivka na obr.6b zobrazuje krátkodobú aj dlhodobú koróznú stratu rôznych kovov (napríklad  $ZnAl + Fe$ ). Viacfázový model na obr.6b sa javí ako vhodný na vyhodnotenie výsledkov nášho výskumu, pretože zobrazuje v prvej fáze napr. logaritmický úbytok ochranného povlaku a intermetallickej vrstvy na oceľovom drôte a v druhej fáze napr. nelineárny úbytok oceľového jadra drôtu.

Jednotlivým stupňom koróznej agresivity atmosféry sa podľa STN EN ISO 9223 [15] priraduje teoretická ustálená rýchlosť korózie nechránenej uhlíkovej ocele a zinku v prvom roku korózie, tab.3. Priemerný úbytok zinkového povlaku podľa STN EN ISO 14713-1 [16] je v tab.4.

Tab.3 Rýchlosť korózie v atmosfére podľa STN EN ISO 9223

| Stupeň korózne agresivity | Riziko korózie | Nechránená uhlíková oceľ                     |                                            | Zinok                                        |                                         |
|---------------------------|----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                           |                | Rýchlosť korózie v prvom roku ( $r_{corr}$ ) | Ustálená rýchlosť korózie Fe ( $r_{lin}$ ) | Rýchlosť korózie v prvom roku ( $r_{corr}$ ) | Ustálená rýchlosť korózie ( $r_{lin}$ ) |
|                           |                | ( $\mu m/rok$ )                              | ( $\mu m/rok$ )                            | ( $\mu m/rok$ )                              | ( $\mu m/rok$ )                         |
| C1                        | Veľmi nízke    | $\leq 1,3$                                   | $\leq 0,1$                                 | $\leq 0,7$                                   | $\leq 0,05$                             |
| C2                        | Nízke          | 1,3 – 25,0                                   | 0,1 – 1,5                                  | 0,1 – 0,7                                    | 0,05 – 0,5                              |

|           |                |              |             |                  |                  |
|-----------|----------------|--------------|-------------|------------------|------------------|
| <b>C3</b> | <b>Stredné</b> | 25,0 – 50,0  | 1,5 – 6,0   | <b>0,7 – 2,1</b> | <b>0,5 – 2,0</b> |
| C4        | Vysoké         | 50,0 – 80,0  | 6,0 – 20,0  | 2,1 – 4,2        | 2,0 – 4,0        |
| C5        | Veľmi vysoké   | 80,0 – 200,0 | 20,0 – 90,0 | 4,2 – 8,4        | 4,0 – 10,0       |

Tab.4 Rýchlosť korózie zinkového povlaku podľa STN EN ISO 14 713-1

| <b>Stupeň koróznej agresivity atmosféry</b> |                       |                                                 |
|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Označenie</b>                            | <b>Riziko korózie</b> | <b>Úbytok hrúbky zinkového povlaku (µm/rok)</b> |
| C1                                          | Veľmi nízke           | ≤ 0,1                                           |
| <b>C2</b>                                   | <b>Nízke</b>          | <b>0,1 – 0,7</b>                                |
| <b>C3</b>                                   | <b>Stredné</b>        | <b>0,7 – 2,0</b>                                |
| C4                                          | Vysoké                | 2,0 – 4,0                                       |
| C5                                          | Veľmi vysoké          | 4,0 – 8,0                                       |

V STN EN ISO 9224, Príloha A sa uvádzajú korózne straty povrchu vybraných kovov pre teoreticky čas expozície až 20 rokov v atmosférickom prostredí so stupňom koróznej agresivity C1 až CX, tab. 5 a tab.6, [17].

Tab.5 Maximálne korózne straty Zn v g/m<sup>2</sup> podľa STN EN ISO 9224, tab.A.1

| <b>Kov</b>    | <b>Stupeň koróznej agresivity</b> | <b>Doba expozície (roky)</b> |             |              |
|---------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|--------------|
|               |                                   | <b>1</b>                     | <b>10</b>   | <b>20</b>    |
| Uhlíková oceľ | C1                                | 10,0                         | 33,0        | 48,0         |
|               | C2                                | 200,0                        | 668,0       | 958,0        |
|               | C3                                | 400,0                        | 1334,0      | 1916,0       |
|               | C4                                | 650,0                        | 2167,0      | 3114,0       |
| Zinok         | C1                                | 0,7                          | 4,6         | 8,0          |
|               | <b>C2</b>                         | <b>5,0</b>                   | <b>32,0</b> | <b>57,0</b>  |
|               | <b>C3</b>                         | <b>15,0</b>                  | <b>97,0</b> | <b>171,0</b> |
|               | C4                                | 30,0                         | 195,0       | 343,0        |

Tab.6 Maximálne korózne straty Zn v µm podľa STN EN ISO 9224, tab.A.2

| <b>Kov</b>    | <b>Stupeň koróznej agresivity</b> | <b>Doba expozície (roky)</b> |             |             |
|---------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|
|               |                                   | <b>1</b>                     | <b>10</b>   | <b>20</b>   |
| Uhlíková oceľ | C1                                | 1,3                          | 4,3         | 6,2         |
|               | C2                                | 25,0                         | 83,0        | 120,0       |
|               | C3                                | 50,0                         | 167,0       | 240,0       |
|               | C4                                | 80,0                         | 267,0       | 383,0       |
| Zinok         | C1                                | 0,1                          | 0,6         | 1,1         |
|               | <b>C2</b>                         | <b>0,7</b>                   | <b>4,5</b>  | <b>8,0</b>  |
|               | <b>C3</b>                         | <b>2,1</b>                   | <b>13,6</b> | <b>24,0</b> |
|               | C4                                | 4,2                          | 27,3        | 48,0        |

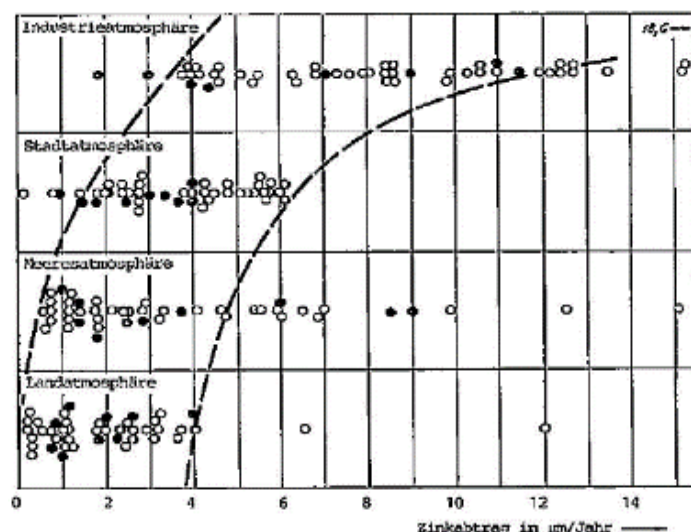
Po analýze informácií z literatúry a informácií v STN EN ISO 9224 sa riadime údajmi v tab.A.2, takže pri vyhodnocovaní výsledkov výskumu používame na stanovenie časového úbytku kovových povlakov logaritmickú závislosť, čo aj odporúčame.

Pre určité technické aplikácie sa pre stupne agresivity môžu použiť všeobecnejšie smerné hodnoty korózie definované v intervaloch priemerných korózných rýchlostí. Priemerné korózne rýchlosti až do 10 rokov sa považujú za korešpondujúce k expozičnému času (terénna expozícia).

### 3.3.1.1 Korózne zaťaženie dažďom ( „kyslé dažde“ )

V priebehu minulých desaťročí boli vykonané skúšky na objektoch zo žiarovo zinkovanej ocele. Na obr.7 je vyhodnotenie z viacej ako 200 písomných prác [18], [19] s výsledkami úbytkov hmoty kovových povlakov.

Lokálne odlišnosti, rovnako ako podmienky skúšok sú len veľmi ťažko porovnateľné a z toho dôvodu sa musia rozdiely v úbytkoch hmoty hodnotiť s 10% rozptylom.



Obr.7 Úbytky hmoty kovových protikorózných povlakov vo svete v rôznych korozívnych prostrediach

Kyslíčnik siričitý v atmosfére sa mení a je možné vysledovať značné rozdiely v úbytkoch hmoty ochranného povlaku v rámci ročných období, kde v zimnom období, vzhľadom na vyššiu relatívnu vlhkosť a najvyšší obsah siričitanov v ovzduší (kúrenie), je úbytok najmarkantnejší. Okrem vplyvov ročných období prichádzajú do úvahy ešte zmeny teploty a dažď. Výsledky poukazujú na zanedbateľný vplyv dažďa a kolísajúcich teplôt v úzkom rozhraní. Niektoré sledovania napríklad preukázali po dlhoročných terénnych skúškach, že k zvýšenej korózii dochádza v noci a skoro ráno.

Z vyhodnotenia terénnych skúšok spred 30-tich rokov bolo stanovené ubúdanie hmoty ochranného povlaku nasledovne [19]:

- v priemyselnej atmosfére od 4 do 13  $\mu\text{m}$  / rok, stredná hodnota 8,0  $\mu\text{m}$  / rok
- v mestskej atmosfére od 1 do 6  $\mu\text{m}$  / rok, stredná hodnota 3,5  $\mu\text{m}$  / rok
- v prírodnej pevninskej atmosfére od 1 do 4  $\mu\text{m}$  / rok, stredná hodnota 1,5  $\mu\text{m}$  / rok

V mestských oblastiach a oblastiach s predpokladom výskytu tzv. „kyslých dažďov“ v dôsledku znečistenia ovzdušia a zvýšenej koróznej agresivity dažďovej vody, má význam používať dodatočné pokrytie žiarovo zinkovanej ocele povlakom Titán-Zn [20]. V prípade odpadových a splaškových vôd je vhodné aplikovať dodatočný povlak z umelej hmoty, ktorý sa v literatúre označuje ako „Duplex“ systém (zinok+povlak).

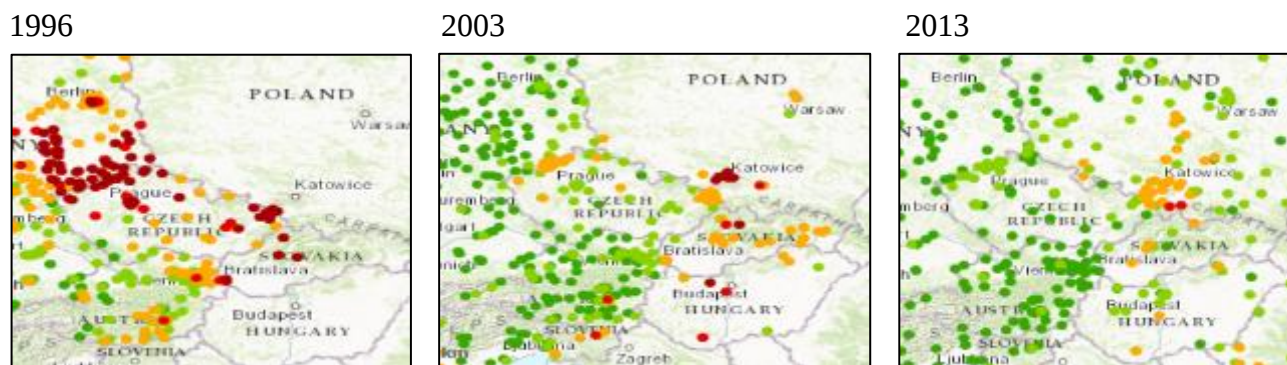
### 3.3.1.2 Kritéria koróznej agresivity atmosféry– znečistenie sírnymi zlúčeninami a salinitou

Jedným z rozhodujúcich činiteľov na určenie koróznej agresivity atmosféry je doba ovlhčenia, úroveň znečistenia oxidom siričitým ( $\text{SO}_2$ ) a vzdušnou salinitou. Úroveň tohto znečistenia sa meria v súlade s ustanoveniami normy STN EN ISO 9225. Iné druhy znečistenia (oxidy dusíku  $\text{NO}_2$ , priemyselný prach, chlór, sírovodík, rozmrazovacie prostriedky, a pod.) môžu tiež vyvolať korózne javy, ale pre svoju lokálnu alebo časovú vyhranenosť nie sú zväčša používané ako klasifikačné kritériá [15]. Rozhodujúcimi kritériami na určenie koróznej agresivity atmosféry (vidiecka, mestská, priemyselná, prímorská) sú uvedené dve – sírne zlúčeniny a salinita.

Salinita alebo slanosť označuje koncentráciu minerálnych látok (solí) vo vzduchu (alebo v pôde). Hodnotí sa v g/L roztoku (morská voda má 35g/L = salinita 35‰).

Oxid siričitý je bezfarebný plyn pri vyšších koncentráciách je to štipľavý zápach, inak nepozorovateľný. Je obsiahnutý vo výfukových plynch spaľovacích motorov a vzniká aj pri spaľovaní fosílnych palív. Taktiež sa vo väčšom množstve môže vyskytnúť v oblastiach, kde sa spracúva ruda obsahujúca síru a v blízkosti uhoľných elektrární a priemyselných teplární.

Na obr. 8 je znázornené znečistenie ovzdušia na území strednej Európy. Zelené body môžeme približne priradiť prostrediu C2, oranžové prostrediu C3 a červené prostrediu C4. Je vidieť, že kvalita ovzdušia sa za posledné roky výrazne zlepšuje, čo má vplyv na rýchlosť korózie kovových výrobkov.



Obr. 8 Vývoj koncentrácie SO<sub>2</sub> na Slovensku a v Čechách v období 1996 – 2013

### 3.3.1.3 Vytváranie bielej korózie

Zinkové povlaky, hlavne tie, ktoré neboli na vzduchu alebo neboli uskladnené pri dostatočnom prívode vzduchu a nemajú ochrannú kryciu vrstvu, sú citlivé na kondenzovaný vodu. V tom prípade sa vytvárajú hydroxidy zinku, ktoré nemôžu reagovať na bázičné uhličitany. Dochádza relatívne rýchlo k tvorbe produktov zinkovej korózie a síce k bielym sypkým vrstvám, obr.9, ktoré sú ako ochrana neúčinné [18], [21], [22]. K obdobnému procesu môže dôjsť v prípade, ak dažďová voda nemôže odtiecť a drôt sa nevysuší v dostatočne krátkom čase. Z uvedeného dôvodu sme pri zbere vzoriek pristúpili i k odberu sietí z horizontálnych plôch gabionov – krycích sietí poslednej rady objektu.

Rovnako k poškodeniu bielou koróziou môže dôjsť pri nevhodnom uskladnení na stavbe alebo pri doprave, a to hlavne pri zmenách teploty. Z osobnej praxe môžeme potvrdiť, že pri preprave sietí zo zvarovne do oblasti východnej Moravy v období rokov 1997-1998 sme museli tento problém riešiť. Bolo rozhodnuté, že siete pre gabionové objekty je nevyhnutné prevážať v oplachovaných kamiónoch, a to jednak aby sa zabránilo vzniku bielej korózie a využil sa čas i na tvorbu pozitívnych ochranných vrstiev.



Obr. 9 Príklad bielej korózie na pozinkovanom drôte

Treba sa vážne zamyslieť a spozornieť pri kontrole drôtového materiálu pre gabiony transportovaného loďami a používaného na území SR a ČR práve z dôvodu skrytého alebo pozorovateľného poškodenia cievok drôtu alebo gabionových sietí. Drôt môže byť poškodený aj v návine cievky.

### 3.3.2 Pôdna korózia

Na všetky kovové predmety a zariadenia uložené v pôde pôsobia tieto typy korózie jednotlivo alebo aj súčasne:

- elektrochemická korózia (reakcia kovov s agresívnou pôdnou vlhkosťou),
- biologická korózia (zvyšuje agresivitu pôdnej vlhkosti pôsobením mikroorganizmov),
- korózia blúdovými prúdmi.

Žiarovo zinkovaný drôt a zvárané siete na gabiony sa štandardne používajú v cestom staviteľstve na výstavbu gabionových konštrukcií, ktoré sú v kontakte s pôdou. Korózne reakcie sú určené povahou geologického zloženia pôdy a elektrochemickými prúdmi. Dôležitý je vplyv jednosmerného a striedavého prúdu.

Posúdenie korózneho pôsobenia pôdy sa vykonáva obdobne ako u ocele v atmosfére. Skúsenosti zo skúšok vykonávaných vo svete, hovoria, že **rýchlosť korózie pozinkovanej ocele klesá v čase podstatne intenzívnejšie pri vytvorení ochrannej vrstvy než u nepozinkovanej ocele** [19].

Stanovuje sa časová závislosť úbytku hrúbky Zn povlaku :

$$\begin{aligned} - t < t_0 & \quad S(t) = W_0 \cdot t \\ - t > t_0 & \quad S(t) = W_0 \cdot t_0 + W_{\text{lin}} (t - t_0) \end{aligned}$$

kde:

$S$  – úbytok hrúbky povlaku Zn vplyvom korózie v čase  $t$

$t$  – doba pokusu (dĺžka uloženia drôtu v zemine)

$t_0$  – hodnoty získané za krátke obdobie (predpokladáme 0-5 rokov)

$W_0$  – počiatočná rýchlosť úbytku Zn povlaku, čas do  $t_0$

$W_{\text{lin}}$  – lineárna rýchlosť úbytku Zn povlaku pre stacionárnu koróziu po čase  $t_0$

Odobraté vzorky pre potreby nášho výskumu (Príloha 2) nevykazovali miestne korózne poškodenia povrchu. Taktiež vyhodnotením zeminy sa javí ako najvhodnejšie umiestnenie gabionov do korózneho prostredia „nízka“, „stredná“ a „stredná až vyššia“ agresivita. Cestné zemné konštrukcie a vystužené zemné konštrukcie by mali takémuto predpokladu vyhovovať.

V dokumente FHWA-NHI-10-024 [54] sa opisujú oporné konštrukcie, ktoré podľa dokumentu „Geosyntetika. ...“ [66] označujeme ako oporné múry s kotveným lícovým opevnením (OMkLO). V týchto múroch sa do zásypu vkladajú kovové ťahové prvky s funkciou kotvy, ktoré sú prichytené k lícovému opevneniu, čo sú zvyčajne betónové prefabrikáty. V dokumente [65] sa prezentujú tri typy týchto kovových prvkov, obr. 10.



Obr.10 Príklady kovových ťahových prvkov v OMkLO

V dokumente FHWA-NHI-10-024 sa uvádza maximálna rýchlosť straty materiálu umiestneného v zemi so strednou korozivitou s vyhovujúcimi elektrochemickými vlastnosťami použitou na zásyp kovovej výstuže (pásiky, tyče, rebríky):

- zinkový povlak, prvé dva roky ..... 15  $\mu\text{m}/\text{rok}$
- zinkový povlak, ďalšie roky do vyčerpania..... 4  $\mu\text{m}/\text{rok}$
- uhlíková oceľ..... 12  $\mu\text{m}/\text{rok}$ .

Uvedené hodnoty na rýchlosť korózie v zemi niekoľkonásobne prekračujú hodnoty rýchlosti korózie v atmosfére uvedené v európskych normách (pozri kap. 3.3.1). Podľa týchto hodnôt by bol Zn povlak s hrúbkou 50  $\mu\text{m}$  spotrebovaný v zemi už do desiatich rokov. To sa v praxi ukázalo, že je diskutabilné. Zaujímavé je aj vzájomné porovnanie rýchlosti korózie uvedené v tomto dokumente, napr.:

- rýchlosť korózie zinkového povlaku v prvých dvoch rokoch je v porovnaní s ďalšími rokmi **3,75 x väčšia**
- rýchlosť korózie zinkového povlaku je v porovnaní s uhlíkovou oceľou **3 x pomalšia**

Problém s uvedenými hodnotami je v tom, že nie sú stanovené minimálne hodnoty a presnejšie kritériá na určenie hodnôt medzi min. a max. rýchlosťou straty materiálu. Hodnoty v americkom dokumente platia na kovové prvky (pásiky, tyče, rebríky) s plošnou hmotnosťou zinkového povlaku min. 605  $\text{g}/\text{m}^2$  použitú v trvalých, aj extrémnych, vystužených oporných konštrukciách s dlhodobou životnosťou.

V britskej norme BS 8006-1:2010 [61] sa uvádza požiadavka na minimálnu hrúbku galvanizovaného povlaku 70  $\mu\text{m}$  v súlade s STN EN ISO 1461 na povrchu kovovej výstuže.

Kovové prvky (pásiky, tyče, rebríky) v OMkLO musia spoľahlivo a dlhodobo a s patričnou vysokou bezpečnosťou plniť funkciu kotvy. Kovové prvky sú trvalo vložené do zásypu, sú nedostupné, bez možnosti výmeny v prípade stabilitných problémov. Preto sú požiadavky na min. plošnú hmotnosť alebo hrúbku ochranného povlaku týchto kovových prvkov prísne, aby sa spoľahlivo zabezpečilo, že aj pri uvedenej rýchlosti korózie ostáva na výstuži dostatočný ochranný povlak aj na konci návrhovej životnosti opornej konštrukcie, ktorá má mať podľa STN EN 1990 informatívnu návrhovú životnosť 100 rokov.

Publikácia FHWA-NHI-10-024 je však jediný nám známy dokument, ktorý stanovuje úbytok zinkového povlaku na kovovom výrobku umiestnenom v umelom zásype vystuženej horninovej konštrukcie, takže je vhodné ich brať do úvahy. Treba však zohľadniť, že kontakt kovová výstuž/zemina v predpise FHWA je odlišný od kontaktu sietí gabionovej konštrukcie/zemina.

V certifikáte BBA 18/H276 [62] uvádza spoločnosť Reinforced Earth Company Ltd. informácie o výstužných kovových pásikoch:

- hot-rolled pásiky s rozmermi 4,0 a 5,0 x 40, 45, 50 mm (hrúbka x šírka) z galvanizovanej ocele podľa STN EN 10025,
- na povrchu je galvanizácia s minimálnou hrúbkou zinkového povlaku 70  $\mu\text{m}$  podľa STN EN ISO 1461 (pozn. Rovnaká min. hrúbka zinkového povlaku 70  $\mu\text{m}$  a min. plošná hmotnosť 505  $\text{g}/\text{m}^2$  sa uvádza aj v prEN 1997-3 s odvolávkou na STN EN ISO 1461.).

V pôdnom prostredí môžu byť gabionové siete zaťažované bludnými prúdmi z cudzích zdrojov jednosmerného prúdu alebo zariadení katódovej protikorózneho ochrany. V prípade takéhoto zaťaženia je zaujímavý priebeh korózie, kde korózný potenciál (napätie) sa nachádza podľa [25] na  $U_H = -0,75\text{V}$ . Ochranný katódový potenciál je  $U_H = -0,9\text{V}$ . Môže však kolísať na žiarovo zinkovaných povrchoch v pôdnom prostredí medzi -0,5 V a -0,8 V [26]. Výsledky ukazujú, že k vytváraniu krycej vrstvy sú potrebné nielen zemné alkalické soli, ale predovšetkým uhličitany. Bližšie sa problematikou

katódovej ochrany a bludnými prúdmi nebudeme zaoberať, keďže vzorky získané pre túto prácu sú predovšetkým zo stavieb súvisiacich s pozemnými komunikáciami.

Korózia v pôde, ako fyzikálno-chemická reakcia medzi kovom a zemným prostredím, sa označuje ako elektrochemická, pretože pôda (zemina) je elektricky vodivé prostredie. Gabiony v gabionovej konštrukcii sa plnia najčastejšie kameňom alebo hrubozrnným drveným kamenivom, takže všetky zvarované siete gabionových košov sú v kontakte s týmto materiálom. Okrem lícovej plochy a niekedy bočnej steny, sú všetky iné časti oporných gabionových konštrukcií zo zvarovaných sietí v kontakte so zeminou v zásype (obsype, nadnásype a pod.). Napriek tomu, že v geotechnike sa v súvislosti s opornými alebo vystuženými horninovými konštrukciami používa termín hornina, v tejto výskumnej správe sa používajú termíny zemina alebo pôda. Z toho následne vyplýva termín pôdna korózia, ktorý používajú chemici a ekológovia.

Pôdna korózia v pôdnej atmosféra je výsledkom súčasne prebiehajúcich elektródových reakcií mnohých makročlánkov a mikročlánkov. V prípade, že prevládajú mikročlánky, je korózia rovnomerne rozložená po celom povrchu kovu. Pri prevládajúcich vplyvoch makročlánkov, napr. pri rozdielnom prevzdušnení, bude mať korózia lokálny charakter a viac bude skorodovaný prevzdušnený povrch [27]. Z toho vyplýva, že povrch predných, bočných a horných stien zo zvarovaných sietí v gabionoch v kontakte s kamenivom bude rozdielne skorodovaný, ako steny v gabionoch, ktoré sú v kontakte so zeminou zásypu. Tam by mal byť stupeň korózie menší a korózia povrchu drôtov by mala byť nerovnomerne rozložená. To je však len všeobecné konštatovanie, ktoré vyplýva z prevzdušnenia zeminového prostredia, bez uváženia iných vplyvov.

Hodnotenie pôdnej korózie je zložitá. Ide o prostredie veľmi nehomogénne, ktoré obsahuje tuhú, kvapalnú a plynnú skupenskú fázu. V dostupnej literatúre [27], [28], [29] sú informácie väčšinou o pôde ako o prírodnom prostredí a o korózii rôznych kovov v geologickom prírodnom prostredí. Nie sú to informácie o korózii v horninách v umelých zemných konštrukciách, akými sú napr. násypy dopravných stavieb.

Korózia v zemine a tvorba ochranného uhličitanového povlaku Zn (ZnAl) v značnej miere závisí od prítomnosti, množstva a prevzdušnenia vzduchových pórov na kontakte zemina/kov.

Spôsob stanovenia stupňa agresivity pôdy sa uvádzal v norme STN 03 8375 [30] podľa hodnoty obsahu chloridov, vlhkosti, stupňa nasýtenia a hodnoty pH. Norma však bola k 1.6.2006 zrušená bez náhrady, no napriek tomu sa stále v literatúre cituje. V tab.7 sa uvádzajú kritériá agresivity prostredia podľa uvedenej normy.

Tab. 7 Kritériá agresivity podľa chemizmu vody a pôdy na ocelové výrobky (podľa STN 03 8375)

| Agresivita prostredia | Reakcia pH | V horninách |                           | Vo vodách                                                                   |                                                 | Charakteristika prostredia                                                                                    |
|-----------------------|------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |            | Obsah S (%) | Obsah Cl <sup>-</sup> (%) | Obsah SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + Cl <sup>-</sup> (mg.l <sup>-1</sup> ) | Agresívne CO <sub>2</sub> (mg.l <sup>-1</sup> ) |                                                                                                               |
| Veľmi nízka I.        | 6,5 až 8,5 | <0,1        | <0,02                     | <100                                                                        | 0                                               | Výrobok je nad hladinou podzemnej vody alebo je trvale uložený vo vode veľmi nízkej alebo stredne agresívnej. |
| Stredná II.           | 8,5 až 14  | 0,1 až 0,2  | 0,02 až 0,05              | 100 až 200                                                                  | 0                                               | Stupeň nasýtenia zeminy vodou v rozsahu 50 až 95 %.                                                           |
| Zvýšená III.          | 6,0 až 6,5 | 0,2 až 0,3  | 0,05 až 0,1               | 200 až 300                                                                  | 5                                               | Stupeň nasýtenia zeminy vodou v rozsahu 50 až 95%. Vplyv kapilárnej vzliňavosti vody zeminou.                 |
| Veľmi vysoká IV.      | <6,0       | >0,3        | >0,1                      | >300                                                                        | 5                                               | Časté kolísanie hladiny podzemnej vody v oblasti uloženia potrubia                                            |

|  |  |  |  |  |  |                                                                                       |
|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  | (zeminy striedavo vlhčené a prevzdušňované), vplyv kapilárnej vzĺnavosti vody zeminou |
|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------|

Pri hodnotení koróznej agresivity pôdy na základe indexu korózneho rizika ( $I_{CR}$ ) možno použiť tab.8 [28].

Tab.8 Hodnotové parametre prírodného prostredia pre hodnotenie koróznej agresivity pre modelové územie Záhorskej nížiny (krátené)

| Hodnotené parametre |                            | agresivita prostredia               |                                                                                 |                                  |                     |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|
|                     |                            | nízka                               | stredná                                                                         | zvýšená                          | veľmi vysoká        |
| geologické          | Typ kvartéru               | eolické a štrkové sedimenty, spraše | proluviálne, pieskovcové, jemnozrnné, deluviálne sedimenty, pieskovcové horniny | fluviálne a chemogénne sedimenty | organické sedimenty |
| fyzikálne           | Merný odpor ( $\Omega/m$ ) | >100                                | 50 - 100                                                                        | 23 - 50                          | 0 - 23              |
| geochemické         | pH                         | >9                                  | 5,5 - 9                                                                         | 4 - 5,5                          | <4                  |
|                     | Vodivosť ( $\mu S/cm$ )    | 40 - 100                            | 100 - 200                                                                       | 200 - 500                        | >500, <40           |
|                     | Agresívny $CO_2$ (mg/l)    | 0                                   | <5                                                                              | 5 - 10                           | >10                 |
|                     | Mineralizácia (mg/l)       | 150 - 500                           | 500 - 700                                                                       | 40-150, 700-1000                 | 0-40, >1000         |
|                     | Chloridy (mg/l)            | <30                                 | 30 - 100                                                                        | 100 - 150                        | >150                |
|                     | Sírany (mg/l)              | <200                                | 200 - 500                                                                       | 500 - 1000                       | >1000               |

V STN 14475, tab.B.1 sa uvádzajú elektro-chemické vlastnosti sypaniny použitej s kovovými výstužami. Informácie platia pre kovové pásiky, tyče, rebríky a siete použité vo funkcii výstuže vo vystužených horninových konštrukciách.

Prírodné prostredie sa v našom výskume objavuje v týchto prípadoch:

- gravitačný oporný múr z gabionov, ktorý je v kontakte s prírodným svahom, prostredím,
- gravitačný oporný múr z gabionov, ktorý je v kontakte s prírodným svahom a elektrickou dopravnou traťou
- vystužený oporný múr s gabionmi na líci, ktorý je v kontakte s prírodným svahom, prostredím,
- vodná prehrádzka (zapustená do terénu).

Je však potrebné pripomenúť, že technicky správne navrhnutá konštrukcia by nemala byť nikdy v priamom kontakte s prírodným prostredím. Medzi konštrukciou a prírodným prostredím sa vždy musí nachádzať dostatočne účinná drenážna vrstva, ktorá pritekajúcu podzemnú vodu spoľahlivo odvedie mimo konštrukciu. To platí aj o spoľahlivom odvedení povrchových vôd mimo konštrukciu.

V tab. 9 sme zhrnuli všetky činitele, ktoré vplyvajú na koróziu v prírodnom prostredí a označili sme tie, ktoré sú dôležité pre koróziu sietí v gabionových konštrukciách.

Tab.9 Vlastnosti prírodného prostredia a hornín v násypoch, ktoré ovplyvňujú koróziu sietí gabionových konštrukcií

| Charakteristika, vlastnosť                         | Dôležitosť pre koróziu sietí v gabionovej konštrukcii | Poznámka                    |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Pôvod a typ horniny prírodného prostredia a zásypu | Veľmi dôležitá                                        | Overuje sa najmä u zásypu   |
| Mineralizácia                                      | Veľmi dôležitá                                        | Overuje sa u podzemnej vody |
| Vlhkosť                                            | Veľmi dôležitá                                        | Overuje sa u pôdy           |
| Merný elektrický odpor                             | Veľmi dôležitá                                        | Overuje sa u pôdy           |
| Hodnota pH (hornina)                               | Veľmi dôležitá                                        | Overuje sa u pôdy           |
| Hodnota pH (voda)                                  | Dôležitá                                              | Overuje sa u podzemnej vody |
| Oxidačno-redukčný potenciál                        | Dôležitá                                              | Overuje sa u pôdy           |

|                                        |                |                                                         |
|----------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------|
| Vodivosť                               | Veľmi dôležitá | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Teplota                                | Dôležitá       | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Rozpustný O <sub>2</sub>               | Dôležitá       | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Agresívny CO <sub>2</sub>              | Dôležitá       | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Obsah chloridov                        | Veľmi dôležitá | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Obsah síranov                          | Veľmi dôležitá | Overuje sa u podzemnej vody                             |
| Obsah organickej hmoty                 | Veľmi dôležitá | Overuje sa u pôdy                                       |
| Blúdivé prúdy                          | Dôležitá       | Vonkajší faktor, vyžaduje úpravu konštrukcie.           |
| Prúdenie podzemnej a presakujúcej vody | Dôležitá       | Voda sa nedostane do kontaktu s gabionovou konštrukciou |

V ďalšej časti sa budeme venovať len charakteristikám označeným v tab.9 ako „veľmi dôležitá“.

### 3.3.2.1 Pôvod a typ horniny

Horniny sa skladajú z viacerých minerálov a podľa spôsobu vzniku sa rozdeľujú na vyvreté (napr. melafýr, andezit, čadič, granit, porfýrit), premenené (napr. kremenec) a usadené (napr. vápenec, dolomit, pieskovec, štrk, piesok, íl). Každá z týchto hornín sa môže nachádzať v zásype gabionovej konštrukcie, a to podľa toho v akej lokalite je gabionová konštrukcia postavená a aká životnosť stavebného gabionového objektu sa požaduje. Geológia uvádza, že podľa typu horniny môže byť prostredie zásypu kyslé s pH < 7, neutrálne 7,0 až 7,8 alebo alkalické pH > 7,8.

Na geologickej mape Slovenska možno označiť oblasti a konkrétne lomy, odkiaľ môže pochádzať zemina do zásypu gabionovej konštrukcie, ktoré sú pre danú oblasť typické. Slovensko je geologicky veľmi pestré, takže jednotlivé oblasti sa od seba líšia a majú typické mineralogické zloženie zemín. Táto skutočnosť by sa mala uvažovať pri vyhodnotení vzoriek zemín zo stavieb v jednotlivých oblastiach, čo ale tiež znamená, že z každej takej typickej oblasti by sme mali mať vzorky zo stavieb gabionových konštrukcií. Pre potreby tejto expertíznej práce sa uskutočnili laboratórne skúšky zemín z oblasti Bratislava – Trenčín – Žilina – Martin - Dolný Kubín.

Je potrebné povedať, že okrem spoločnej oblasti Beskyd a Karpát sa geologické prostredie v Čechách odlišuje od toho slovenského.

### 3.3.2.2 Mineralizácia

Mineralizácia zeminy, ktorá je priamo v kontakte s niektorou časťou gabionovej konštrukcie ovplyvňuje koróziu sietí gabionových konštrukcií. Mineralizácia zeminy závisí od druhu a množstva minerálov prítomných už vo vytlačenej a použitej zemine zásypu, alebo dodatočne prinesených povrchovou alebo podzemnou vodou do zeminy v okolí gabionovej konštrukcie.

Mineralizácia zeminy sa určuje na vodnom výluhu zeminy. Celková mineralizácia je súčet hmotnostných koncentrácií tuhých látok rozpustených vo vode. Ak na zeminy použijeme kritériá stanovené na mineralizáciu podzemných vôd, tak:

- 50 až 500 mg/l – slabo mineralizovaná
- 500 až 1500 mg/l – stredne mineralizovaná
- viac ako 1500 mg/l – silne mineralizovaná

Väčšina podzemných vôd má hodnoty mineralizácie v rozsahu 300 až 500 mg/l.

Celková mineralizácia podzemnej vody spolu s hodnotou pH, obsahom CO<sub>2</sub>, síranov a chloridov sa používa na vyhodnotenie stupňa agresivity podzemnej vody na betón a kovovú výstuž.

O význame a vplyve mineralizácie zeminy na priebeh korózie kovových výrobkov, ktoré sú v kontakte s horninovým prostredím je veľmi málo informácií. V žiadnom aktuálnom predpise sa

nenachádzajú požiadavky na mineralizáciu zeminy ani prípadné opatrenia na ochranu kovových popr. gabionových konštrukcií nachádzajúcich sa v horninovom prostredí. Výnimku tvorí norma STN EN 12501-2 [34], ktorá definuje obsah sulfidov ( $< 10 \text{ mg/kg}$ ), ktoré svojimi hydroxidovými zlúčeninami vytvárajú priaznivé podmienky ku korózii. Najrozšírenejší je pyrit. Obdobne pôsobia i mineralogické zlúčeniny chloridov.

S ohľadom na zameranie tohto výskumu a nedostupnosť informácií, tejto problematike sa nebudeme vo výskumnej správe bližšie venovať.

### 3.3.2.3 Vlhkosť zeminy

Korózna agresivita pôdy je závislá najmä od vlhkosti. V zemine sa vyskytuje štruktúrna voda, vodná para, viazaná voda, gravitačná voda a ľad. Vyhodnocuje sa stav zeminy, či je suchá, vlhká alebo zamrznutá. Vlhkosť zeminy predstavuje podiel hmotnosti vody, ktorá sa odstráni vysušovaním pri  $105^\circ\text{C}$  k hmotnosti pevných častíc v určitom objeme zeminy.

V literatúre nájdeme informácie, že na koróziu ocelových výrobkov mala vlhkosť zeminy vplyv vtedy, keď bola v rozpätí 50 až 60%.

Vlhké ílovité zeminy s číslom plasticity  $I_p > 10$  v kontakte s povrchom drôtu predstavujú špecifické riziko. Vďaka svojej lepivosti prilnú ku kovovému povrchu a zabránia tvorbe ochrannej vrstvy kyslíčnika Zn. Zvýši sa tým rýchlosť korózie drôtu gabionov.

### 3.3.2.4 Merný (elektrický) odpor zeminy – rezistivita zeminy

Korózna agresivita pôdy sa orientačne stanovuje podľa jej merného (elektrického) odporu v  $\Omega\cdot\text{m}$ , tab.10. Stanovenie merného odporu pôdy je pomerné podrobne rozpracované a sú spracované nielen laboratórne, ale aj terénne skúšky, ktoré sú vhodnejšie a presnejšie. Je to preto, pretože znalosti o mernom odpore zeminy/podložia sú nevyhnutné pre výpočet a návrh uzemňovacích sústav. Stanovenie merného odporu zeminy je základnou charakteristikou korózneho prieskumu.

Tab.10 Príklady klasifikácie korózneho agresivity zeminy podľa jej merného odporu

| Informačný zdroj     | Merný odpor ( $\Omega\cdot\text{m}$ ) | Charakteristika zeminy  |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| BS 1377-3 [57]       | $> 100$                               | Mierne korózne          |
|                      | 50 až 100                             | Stredne korózne         |
|                      | 10 až 50                              | Korózne                 |
|                      | $< 10$                                | Veľmi korózne           |
| STN 03 8375 [30]     | $> 100$                               | Nízka agresivita        |
|                      | 50 až 100                             | Stredná agresivita      |
|                      | 23 až 50                              | Zvýšená agresivita      |
|                      | $< 23$                                | Veľmi vysoká agresivita |
| FHWA-NHI-09-087 [31] | $> 100$                               | Nekorózne               |
|                      | 50 až 100                             | Mierne korózne          |
|                      | 20 až 50                              | Stredne korózne         |
|                      | 7 - 20                                | Korózne                 |
|                      | $< 7$                                 | Veľmi korózne           |
| ASTM G187-12a [32]   | $> 100$                               | Veľmi mierne korózne    |
|                      | 50 až 100                             | Mierne korózne          |
|                      | 20 až 50                              | Stredne korózne         |
|                      | 10 až 20                              | Korózne                 |
|                      | 5 až 10                               | Veľmi korózne           |

V rôznej literatúre sa uvádza merný odpor rôznych typov zemín, tab.11. Je vidieť, že dôležitý je typ zeminy, vlhkosť a obsah organických látok, čo sa premieta do veľkého rozptylu merného odporu pre jeden typ zeminy.

Tab.11 Merný odpor zemín

| Druh pôdy (zeminy)               | Merný odpor ( $\Omega.m$ ) |
|----------------------------------|----------------------------|
| Rašelinové pôdy                  | 9 - 45                     |
| Nepriepustný íl                  | 10 - 90                    |
| Ílovitá a ílovito-hlinitá zemina | 30 - 100                   |
| Hlinitá zemina                   | 50 - 140                   |
| Piesčitá hlina                   | 150 - 250                  |
| Vlhký piesok                     | 200 - 300                  |
| Štrk                             | 300 - 500                  |
| Suchý piesok, suchý štrk         | 1000 - 3000                |
| Kamenivo                         | viac ako 3000              |

Merný odpor pôdy sa mení podľa typu a zloženia pôdy (obsah solí), prítomnosti a množstva vody, od tlaku a teploty, takže je závislý od počasia a ročného obdobia. Najmenší je v lete po trvalých dažďoch a najväčší v zime a za suchého obdobia. Zmeny merného odporu v priebehu roka môžu dosahovať až 50% jej hodnoty.

Napríklad v STN 33 2000-5-54, v tab.D.54.1 sa uvádza merný odpor rozličných druhov pôdy, [33], tab.12.

Tab.12 Merný odpor zeminy podľa STN 33 2000-5-54

| Typ podložia                   | • Merný odpor ( $\Omega.m$ ) |
|--------------------------------|------------------------------|
| Vlhký zhutnený zásyp           | 50                           |
| Nezhutnený zásyp, piesok, štrk | 500                          |
| Kompaktná kamenistá pôda       | 3000                         |
| Humus                          | 10 - 150                     |
| Mäkký až tuhý plastický íl     | 50                           |
| Pevný íl                       | 100 - 200                    |
| Ílovitý piesok                 | 50 - 500                     |
| Kamenistá pôda - prekrytá      | 300 - 500                    |
| Kamenistá pôda - obnažená      | 1500 - 3000                  |
| Vápenec (mäkký až kompaktný)   | 100 - 5000                   |
| Zvetraný granit a pieskovec    | 100 - 600                    |

V norme STN EN 12501-2 [34] zameranej na legované železné materiály sa uvádzajú požiadavky na zásypový materiál s korozivitou (v kontakte s nízkoalegovanými a legovanými železnými materiálmi):

- merný odpor:  $> 100 \Omega.m$
- hodnota pH: 6 až 9
- sulfidy:  $< 10 \text{ mg/kg}$

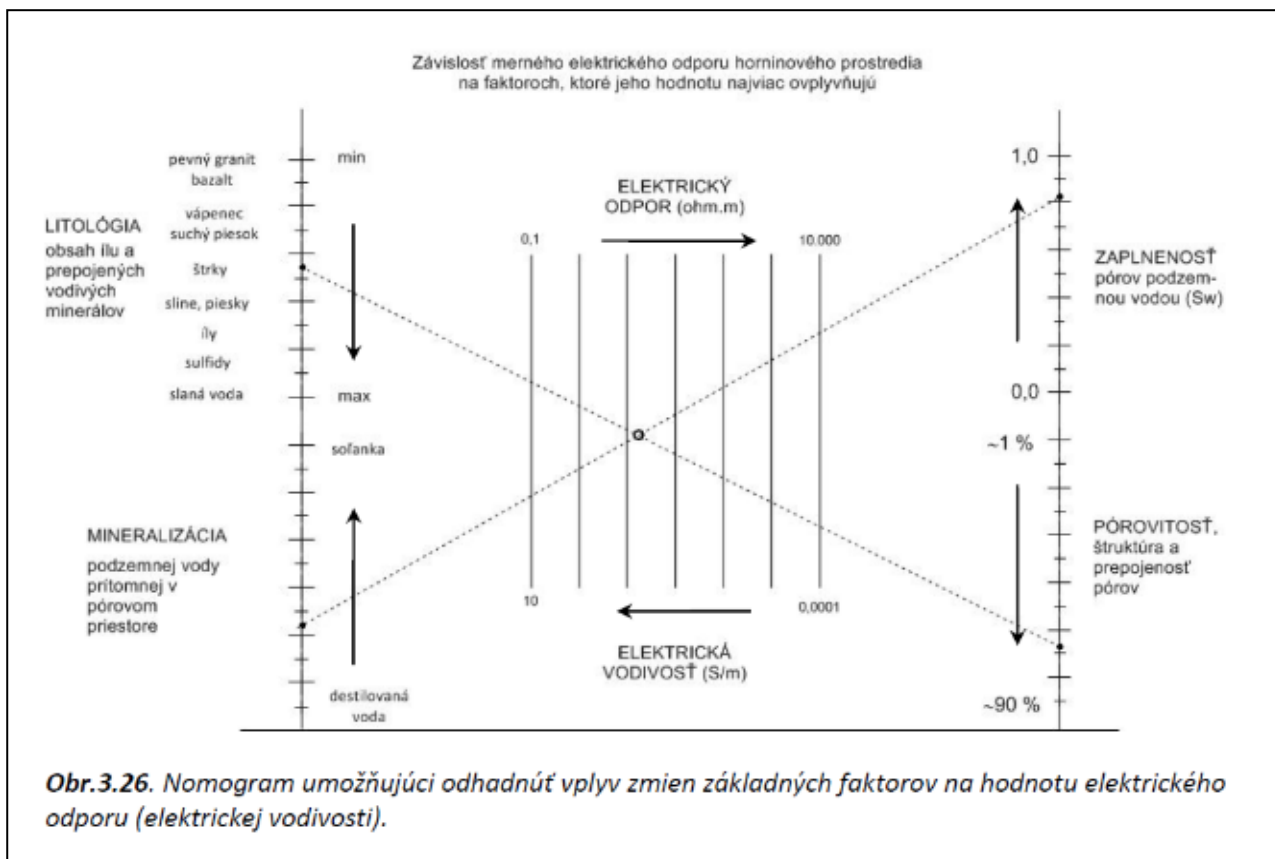
V predmetnej norme sa však nenachádzajú hodnoty odporúčané pre ochranné povlaky Zn a ZnAl, takže z pohľadu nášho výskumu ju považujeme len za podpornú a orientačnú.

V TKP č.31, tab.2 sa uvádza, že merný (elektrický) odpor sypaniny, do ktorej sa ukladá kovová výstuž by mal byť  $> 50 \Omega.m$ . To je podľa tab.10 hodnota pre mierne až stredné korózne prostredie. Sú to zeminy a vyšším podielom jemných častíc, vďaka ktorým má zemina v okolí kovových výrobkov vyššiu vlhkosť. Je to rozdiel v porovnaní s dokumentom firmy Reinforced Earth, ktorá uvádza požiadavku na merný odpor zeminy v kontakte s kovovou výstužou v ich systéme len  $> 30 \Omega.m$ .

Veľký rozdiel v požiadavkách je spôsobený tým, že v STN EN 12501-2 je požiadavka  $> 100 \Omega.m$  stanovená na zeminu v kontakte s nízkoalegovanými a legovanými železnými materiálmi bez povrchovej ochrany a požiadavka  $> 30 \Omega.m$  platí na kovovú výstuž (pásiky) s hrubým zinkovým povlakom s plošnou hmotnosťou  $\geq 1000 \text{ g.m}^{-2}$ . Z toho je zrejmé, že merný odpor  $> 30 \Omega.m$  je

pravdepodobne kritérium pre zeminu s koróznym zatriedením stredným až vyšším a vyšším pri aplikácii hodnotenia podľa STN [34] .

V literatúre [35] sa prezentuje spôsob stanovenia merného odporu zemín na základe štyroch charakteristík, obr.11.



Obr. 11 Nomogram na stanovenie merného odporu zemín

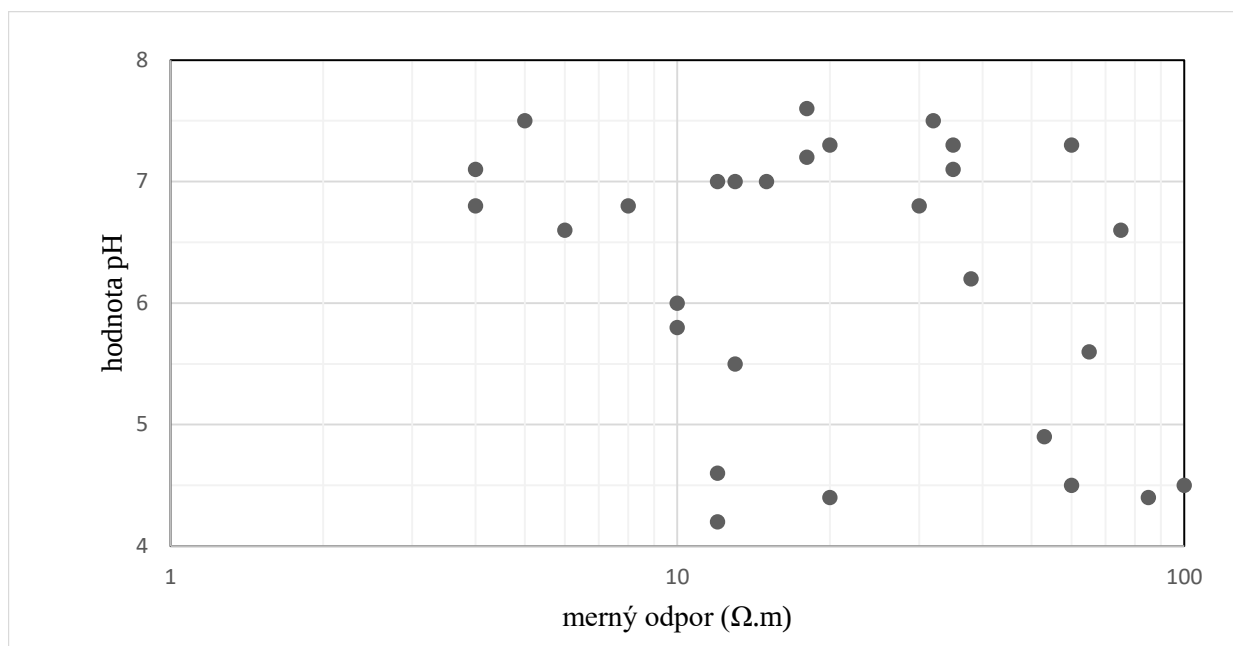
### 3.3.2.5 Hodnota pH zeminy

Hodnota pH zeminy je dôležitá, pretože ovplyvňuje rozpustnosť látok v zemine. V kyslých zeminách sa znižuje rozpustnosť mnohých prítomných látok, napr. zlúčenín Ca, Mg, K a Na. Hodnota pH sa sleduje predovšetkým u podzemnej vody, kedy sa stanovuje jej agresivita a vplyv na betónové konštrukcie a kovové konštrukcie. Zisťovanie hodnoty pH zeminy nie je obsahom štandardného inžiniersko-geologického prieskumu. Výnimkou je sypanina do násypu a bloku vystuženej zeminy, keď je zemina v kontakte s kovovými výrobkami s funkciou výstuže.

Podľa hodnoty pH sa v literatúre najčastejšie uvádza, že zemina je:

- pH < 4,5 silne kyslá
- < 5,2 kyslá
- < 6,4 slabo kyslá
- 6,5 - 7,4 neutrálna
- 7,5 - 7,9 slabo alkalická, zásaditá
- 7,9 - 8,5 stredne alkalická
- 8,5 - 9,0 silne alkalická

Niektoré pramene uvádzajú, že neutrálne až mierne alkalické prostredie je vhodné z pohľadu korózie kovových materiálov a má  $7,0 < \text{pH} < 8,4$ . Podľa týchto prameňov, koróziu kovových materiálov spôsobuje kyslé prostredie, tj. s  $\text{pH} < 7,0$ .



Obr.12 Závislosť merný odpor/hodnota pH pre rôzne zeminy (ilustračný príklad).

Vo FHWA-NHI-09-087 sa konštatuje, že prípustný rozsah pH zemín pre kovovú výstuž je  $\text{pH} = 5$  až 10. V TKP č.31, tab.2 sa tiež uvádza (pravdepodobne je to prevzaté), že hodnota pH sypaniny, do ktorej sa ukladá kovová výstuž vo vystuženej horninovej konštrukcii by mala byť v rozsahu 5 až 10. Z praktického hľadiska je uvedený rozsah príliš veľký, pretože krajné hodnoty, a to  $\text{pH} < 6,4$  a  $\text{pH} > 8,4$  sú problematické a nemali by byť z dôvodu korózneho pôsobenia prípustné. Väčšina hornín zabudovaných do násypov alebo zásypov v kontakte s gabionovými konštrukciami spĺňa uvedený široký rozsah hodnoty a možno ich charakterizovať ako slabo alebo stredne alkalické. Taký typ zemín netvorí pre kovové siete gabionov korózne prostredie. Horniny, ktoré sme odobrali ako vzorky mali hodnoty pH v rozsahu 7,5 – 8,7, takže z tohto pohľadu ich považujeme za štandardné – nie sú problematické.

Merný odpor a hodnota pH sú dve najdôležitejšie charakteristiky, ktoré vyjadrujú koróznú agresivitu horninového prostredia, ktoré je v kontakte s posudzovanými konštrukciami. Nie je veľa dostupných informácií o vzťahu merný odpor/hodnota pH. Vo FHWA-NHI-09-087 sa uvádza táto závislosť, obr.12. Na grafe je zaujímavé, že väčšina zemín sa nachádza v rozpätí merného odporu 20 až 50  $\Omega.m$ , čo charakterizuje stredne korózne prostredie. Tieto zeminy by podľa slovenského predpisu TKP č.31, 2014 [9] nevyhovovali na zásyp kovových výrobkov s funkciou výstuže.

Korozivitu zemín uvádza STN EN 12501-2, tab.2 ako korózne namáhanie zemín na základe kombinácie hodnoty pH a merného odporu. V našej tab.13 je prepis grafu uvedeného v norme.

Tab. 13 Korozivita zemín podľa STN EN 12501-2 v kontakte s nízkoalegovanými a legovanými železnými materiálmi bez ochranného Zn, ZnAl povlaku

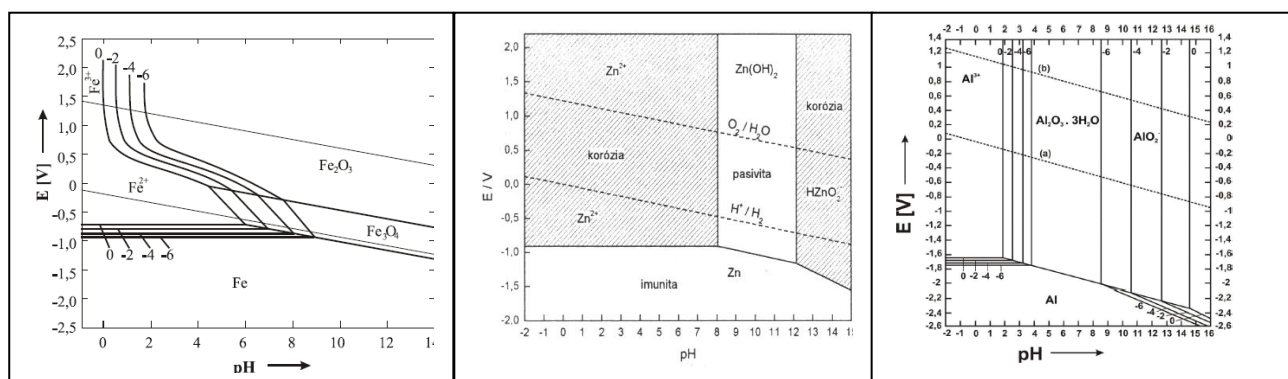
| Hodnota pH   | Merný odpor ( $\Omega.m$ ) | Korozivita zeminy |                   |  |  |  |
|--------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--|--|--|
| 3,5 až < 4,5 | <45                        | Vyššia            |                   |  |  |  |
|              | >45                        |                   | Stredná až vyššia |  |  |  |
| 4,5 až 5,5   | <45                        | Vyššia            |                   |  |  |  |
|              | 45 až 50                   |                   | Stredná až vyššia |  |  |  |

|                                |            |        |                   |         |                   |        |
|--------------------------------|------------|--------|-------------------|---------|-------------------|--------|
|                                | >45        |        |                   | Stredná |                   |        |
| 5,5 až 6,0<br>(9,5 až<br>10,5) | <10        | Vyššia |                   |         |                   |        |
|                                | 10 až 50   |        | Stredná až vyššia |         |                   |        |
|                                | 50 až 100  |        |                   | Stredná |                   |        |
|                                | >100       |        |                   |         | Stredná až nižšia |        |
| 6,0 až 9,5                     | <10        | Vyššia |                   |         |                   |        |
|                                | 10 až 30   |        | Stredná až vyššia |         |                   |        |
|                                | 30 až 100  |        |                   | Stredná |                   |        |
|                                | 100 až 200 |        |                   |         | Stredná až nižšia |        |
|                                | >200       |        |                   |         |                   | Nižšia |

Pri hodnotení korozivity zemín v kontakte s kovovými materiálmi treba upozorniť na to, že podľa našich zistení je k dispozícii len STN EN 12501-2 pre nízkolegované a legované železné materiály. Pre kovové materiály s povlakom Zn a inými povlakmi podobný dokument nie je k dispozícii. Takže možno predpokladať, že pre tieto iné kovové prvky alebo ich zlúčeniny bude hodnotenie zemín z pohľadu korozívneho pôsobenia iné. Podľa teórie ochranných Zn povlakov je reakcia na zinok a jeho zlúčeniny menšia-nižšia.

V literatúre možno získať informácie o zostavovaní E-pH diagramov (Pourbaix diagramy) prezentujúcich vzťah potenciálu kovov (E) v závislosti elektrolytu (pH) [60]. Diagramy sa zostavujú pre jednotlivé kovy a vyznačujú sa v nich oblasti imunity (neexistuje predpoklad reakcie kovu), aktivity a pasivity (vznikajú tuhé korózne produkty spomaľujúce reakciu). Na obr.12a je diagram pre systém Fe-voda, na obr.12b pre systém Zn-voda a na obr.12c, pre systém Al-voda.

Diagramy platia síce na rozpúšťanie kovu trvale umiestneného v elektrolyte, no môžu nám poslúžiť ako informácia, pri akej hodnote pH sú kovy aktívne. Diagramy na obr.13 ukazujú dôležitý poznatok, že jednotlivé kovy majú odlišnú odolnosť, takže v rôznej intenzite reagujú („korodujú“) vo vlhkom prostredí s rovnakou hodnotou pH. Znamená to, že kovy Fe, Zn a Al (sú predmetom výskumu) reagujú rôzne v prostredí s rovnakým pH. Na obr.13a je diagram pre systém Fe-voda, na obr.13b pre systém Zn-voda a na obr.13c, pre systém Al-voda.



a/

b/

c/

Obr. 13 Diagramy E-pH pre rôzne kovy

Pourbaixove E-pH diagramy sú teoretickou ukážkou korózie kovov. Prakticky sa informácie z obr.13 premietajú do rýchlosti korózie jednotlivých kovov v rôznom atmosférickom a zeminovom prostredí uvedenej v normách alebo literatúre.

### 3.3.2.6 Oxidačno-redukčný (redoxný) potenciál zeminy

V horninovom prostredí so zvýšenou koncentráciou sulfidov, oxidov a nekovových minerálov okolo vodičov uložených v zemine vznikajú v určitých prípadoch oxidačno-redukčné polia. Vtedy je zmena koncentrácie oxidačno-redukčných systémov spojená so vznikom elektrochemických polí.

Oxidačno-redukčný potenciál pôdy vyjadruje aktivitu elektrónov v zemine. Pozitívna hodnota redox-potenciálu znamená oxidačné podmienky v pôde a negatívna hodnota znamená redukčné podmienky. Pre pedológov ide o dôležitý ukazovateľ pôdneho prostredia, pretože informuje o kontaminácii pôdy rizikovými prvkami.

Vplyv oxidačno-redukčného potenciálu na stupeň pôdnej korózie a priebeh korózie kovových sietí nie je v literatúre podrobnejšie opísaný.

### 3.3.2.7 Obsah chloridov

Na koróziu ocele v pôdach má vplyv prítomnosť chloridov, keď sú rozpustené v podzemnej vode. V našom prípade, keď je podzemná voda s prípadnými škodlivými chemickými látkami spoľahlivo odvádzaná drenážnym systémom mimo konštrukciu, nie je obsah chloridov relevantný. Vo FHWA-NHI-00-087 sa konštatuje, že odporúčaný limit pre obsah chloridov je < 100 ppm.

### 3.3.2.8 Obsah síranov

Agresivitu zemín alebo podzemnej vody najmä voči betónu zapríčiňuje síranový ión  $\text{SO}_4$  [36]. Sírany sa vyskytujú často v podzemnej vode. V našom prípade, keď je podzemná voda s prípadnými škodlivými chemickými látkami spoľahlivo odvádzaná drenážnym systémom mimo konštrukciu, nie je obsah síranov relevantný. Vo FHWA-NHI-09-087 sa konštatuje, že odporúčaný limit pre obsah síranov je < 200 ppm.

### 3.3.2.9 Vodivosť

Vodivosť má priamu spojitosť s mineralizáciou a je to ukazovateľ celkového množstva rozpustených minerálov obsiahnutých vo vode. Dažďová voda má vodivosť nízku, voda odpadová alebo na dolných tokoch riek zase vyššiu. Príliš mineralizovaná voda spôsobuje problémy, pretože má vyššie korózne účinky. Vodivosť sa spája predovšetkým s podzemnou vodou, takže v našom prípade, keď je podzemná voda s prípadnými rozpustenými minerálmi spoľahlivo odvádzaná drenážnym systémom mimo konštrukciu, nie je vodivosť zeminy relevantná.

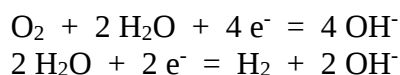
### 3.3.2.10 Obsah organických látok

Organické látky sa vyskytujú v zeminách buď ako nespevnené organické sedimenty (humus, rašelina, bahno), alebo tvoria prímes v anorganických sedimentoch (organické piesky, silty, íly) [36]. V literatúre sa uvádza, že obsah organických látok môže byť max. 1 %. V našom prípade, keď sa do zásypu gabionových konštrukcií používa väčšinou ťažená alebo drvená hornina, nie je obsah organických látok relevantný.

## 3.3.3 Korózia vo vode

Korózia zinku vo vodách sa prezentuje ako korózia kovov pri dvoch súbežne sa odvíjajúcich elektrochemických reakciách :

- anódová reakcia kovu pri vytváraní kovových iónov
$$\text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$$
- katódová redukcia oxidačného činidla vo vode ( elektrolytická redox reakcia )



Štandardný potenciál pre zinok je výrazne negatívnejší než pre železo (- 0,44 V). Z toho sa dá vyvodiť, že zinok má silnejšie korózne sklony ako železo a mal by byť schopný v kontakte so železom posunúť svoj potenciál v smere k potenciálu rovnováhy železa. Týmto by sa malo chrániť železo proti korózii. Tento postup sa nazýva katódová protikorózna ochrana (môžeme sa stretnúť aj s výrazom samoobetovanie zinku). Ďalšiu časť teórie o korózii vo vodách neuvádzame pre značnú náročnosť a nie je ani potrebná pre výskum prezentovaný v tejto správe.

### 3.3.3.1 Podzemná voda

Rýchlosť korózie v podzemných vodách a vodách všeobecne určuje prístup oxidu uhličitého rozpusteného vo vode, ktorý tvorí vodíkové ióny rozpúšťajúce krycí povlak. Mimo koncentrácie oxidu uhličitého vo vode je dôležité i množstvo prítoku vody resp. jeho periodicita. Neustály a intenzívny prítok nie je žiadúci z dôvodu zhoršenia podmienok.

Poklesom prístupu oxidu uhličitého korózia klesá. V čase prerušenia prítoku podzemnej vody dochádza ku poklesu, resp. kľudu. U podzemnej studenej vody nedochádza k lokálnej nerovnomernej korózii na rozdiel od teplej vody, kde zmena potenciálu môže spôsobiť problém nerovnomernej korózie. V studenej vode sa tvoria elektricky nevodivý hydroxid zinočnatý a bázičný uhličitan zinočnatý na rozdiel od oxidu zinočnatého tvoreného v teplej vode. Ten je polovodičom a vtedy dochádza ku zvýšeniu katódovej kyslíkovej redukci.

Prítomnosť agresívneho CO<sub>2</sub> v podzemnej vode v kombinácii s nízkym obsahom Ca+Mg môže spôsobiť problém tam, kde je nebezpečenstvo prítoku takej agresívnej podzemnej vody zo zásypu k gabionovému objektu. Agresívna podzemná voda, zvýšený prítok podzemnej vody z horninového prostredia aj prívalových dažďov sa musí pomocou vybudovaných drenážnych vrstiev a systémov spoľahlivo odvieť mimo gabionový objekt.

### 3.3.3.2 Odpadové vody

Koróziu v pôde spôsobujú aj baktérie, pričom sa prezentuje, že je to jedna z najťažších foriem povrchovej korózie potrubí uložených v pôde – mikrobiálne ovplyvnená korózia (MIC) [37].

Odpadové vody obvykle vykazujú hodnoty:

- pH faktor ..... 6,5 – 9,0
- chloridové ióny..... do 300 mg/l (vyskytujú sa aj 1000 mg/l)
- vodivosť ..... 100 ms/cm
- medené ióny .....do 0,064 mg/l (vyššie hodnoty - vznik korózie indukciou).

V našom prípade sa baktérie objavujú v odpadových vodách, ktoré môžu byť v ojedinelých prípadoch v kontakte s gabionovou konštrukciou. Sú to však špecifické prípady, ktoré sa musia pri lokalizovaní stavby brať do úvahy a musia sa prijať náležité opatrenia (stavebné úpravy), aby sa odpadové vody nedostali do gabionovej konštrukcie.

Pre účely tohto výskumu nie je prítomnosť baktérií v zemine alebo v podzemnej vode relevantná.

### 3.3.4 Korózia spôsobená posypovými soľami

Celkové množstvo chemických posypových materiálov použitých počas celého zimného obdobia nesmie prekročiť maximálnu dávku 2 kg.m<sup>-2</sup> pri počte zásahových dní nad 100. Orientačná posypová dávka závisí od momentálnych miestnych klimatických podmienok, v meste je 100 g.m<sup>-2</sup>.

V súčasnosti sa overuje chemický posyp chloridom horečnatým  $MgCl_2$ , alebo zimný posypový materiál z prírodného zeolitu. Na báze NaCl sa používajú cestné posypové soli ako kamenná soľ a priemyselná posypová soľ, ktoré sú ťažené v soľných baniach. Na báze  $MgCl_2$  sa ťaží minerál karnalýt.

Odolnosť proti korózii kovových výrobkov ošetrovaných ZnAl proti posypovým soliam obsahujúcim  $MgCl_2$  nebude horšia ako u soli s obsahom NaCl, pri aplikácii v kontakte so zvarovanými gabionmi. Mg umožňuje zmenu pH na maximálnu hodnotu  $pH=10,2$ . Všeobecne je v literatúre uvedená domnienka, že to je hlavný hnací faktor na používanie Zn-Al-Mg povlakov (pokročilé pozinkovanie), s dobrými výsledkami v soľnej hmle.

Zinkovo magnéziové povrchy sú známe ako viac odolné proti korózii, v porovnaní s čisto pozinkovanými produktami. Prítomnosť  $Mg^{2+}$  iónov v elektrolyte rovnako znižuje koróziu zinku. Tato vylepšená vlastnosť v prítomnosti  $Mg^{2+}$  iónov pripadá, resp sa prisudzuje formácii  $Mg(OH)_2$  (hydroxid horečnatý) v alkalických regiónoch.  $Mg(OH)_2$  prípadne vytvorí povlak, ktorý následne odoláva oxidácii a zmierňuje lokálne pH (blízko k 10,2), spôsobujúce nižšiu náchylnosť voči alkalickému rozpusteniu. Tato vlastnosť je zaznamenaná v prítomnosti Mg, kde vzniká  $MgCO_3$  (uhličitan horečnatý), ktorý odoberá uhlík z korózneho média a spolu s tým obmedzuje premenu hydrochloridu zinku na hydroxid karbonát zinku. Za predpokladu, že hydroxid chloridu zinku má vyššiu ochrannú odolnosť oproti hydroxid karbonát zinku, je možné konštatovať, že prítomnosť Mg napomáha k zníženiu korózie zinku. pH stabilita povrchovej vrstvy je nemenej dôležitým kritériom pri návrhu povrchových vrstiev zinku.

V TKP č.21, tab.1 sa uvádza zvýšená korózna agresivita prostredia vplyvom prítomnosti chloridov v okolí ciest, tab.14, [38].

Tab.14 Zvýšenie koróznej agresivity vplyvom depozície chloridov v okolí dopravných ciest

| materiál      | Korózna agresivita |                                          |                                       |
|---------------|--------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
|               | Voľná atmosféra    | Voľná atmosféra v okolí dopravných ciest | Zakrytá plocha pri dopravných cestách |
| uhlíková oceľ | C2                 | C3                                       | C4                                    |
| zinok         | C2 – C3            | C3 – C4                                  | C5 - CX                               |

### 3.3.5 Korózia spôsobená kontaktom s betonárskou oceľou

Pri kovovom spojení gabionov s betonárskou oceľou treba počítať so zvýšeným nebezpečím korózie. Pri kombinácii objektov z gabionov so železobetónovou konštrukciou treba dbať na vylúčenie priameho kontaktu betonárskej ocele s oceľovou sieťou chránenou žiarovým pozinkovaním. Ak sa takému kontaktu nemôžeme na stavbe vyhnúť, prichádza do úvahy hrubý povlak z dechtovo-epoxidovej živice na zníženie korózie. Taktiež je vhodná vnútorná katódová ochrana realizovaná špecializovanými firmami.

Zníženie pH hodnoty betónu zo stabilného stavu  $pH=12$  reakciami s kyselinami z vonkajšieho prostredia, môže krytá oceľ zmeniť svoj stav z pasívneho stavu do aktívneho, čo vedie k jej korózii. Vzdušný oxid uhličitý vytvára kyselinové komponenty – saturácia betónu. Rovnako pôsobia i hydráty síry a oxidu dusíka (kyslý dážď), čím oceľ môže svoj stav anódy zmeniť na katódu. Najnebezpečnejšie sú oblasti na rozhraní voda-vzduch, vzájomným pôsobením odhalenej betonárskej výstuže a ocele gabionovej konštrukcie so žiarovo zinkovým ( Zn, ZnAl ) povlakom.

### 3.3.6 Vplyv poškodenia siete na jej koróziu

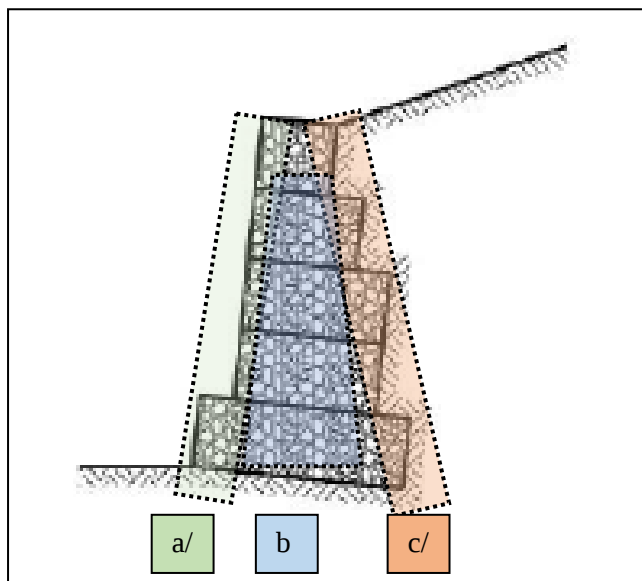
Oceľová sieť prichádza pri zabudovaní a v hotovej konštrukcii do kontaktu s rôznym materiálom. V gabionoch je to kameň (lomový) alebo kamenivo (drvené) alebo hornina (sypanina) zásypu alebo nadnásypu a v prípade výstuže vo vystuženej horninovej konštrukcii je to hornina (sypanina) zásypu.

Tvrdosť kovového povlaku Zn alebo ZnAl je približne na úrovni uhlíkovej ocele a v prípade zlúčeniny FeZn je vyššia, takže je dostatočne odolná proti poškodeniu. Prakticky to znamená, že pri stanovovaní trvanlivosti sietí z drôtov s finálnym ochranným povlakom Zn alebo ZnAl nie je potrebné uvažovať ich poškodenie pri manipulácii, výstavbe a počas životnosti gabionovej konštrukcie. Poškodenie siete je však veľmi dôležité a uvažuje sa s ním len v prípade mäkkších syntetických prídavných povlakov (PVC, PA, PP a pod.).

Z uvedeného dôvodu nie je, pre účely tohto výskumu, poškodenie zvarovanej siete s kovovým povlakom relevantné.

### 3.3.7 Vplyv korózneho prostredia na usporiadanie gabionových konštrukcií

Sieť gabionových košov v gabionovej konštrukcii prichádza do kontaktu s tromi prostrediami, a to:



Obr. 14 Prechodové oblasti v gabionovej konštrukcii

- atmosférou na líci konštrukcie (oblasť a/ v obr.14)
- výplňou gabionových košov (najčastejšie drvený kameň, kamenivo) vnútri konštrukcie (oblasť b/ v obr.14)
- zeminou zásypu na rube konštrukcie (oblasť c/ v obr.14)

Sú to odlišné prostredia, preto aj priebeh a intenzita korózie siete v týchto prostrediach môže byť odlišná. Atmosférické prostredie na líci konštrukcie (oblasť 14a) je opísané v kap. 3.2.1 a priebeh korózie v tomto prostredí v kap.3.3.1. Zeminové (geologické) prostredie na rube konštrukcie (oblasť 14c) je opísané najmä v kap. 3.2.2 a priebeh korózie v tomto prostredí v kap.3.3.2.

Korozivitu prostredia vnútri gabionovej konštrukcie určuje druh výplne gabionových košov a hĺbka prieniku atmosféry dovnútra konštrukcie. Gabionové koše sa najčastejšie plnia pevným, odolným a trvanlivým kameňom alebo kamenivom. Ak cez konštrukciu presakuje dažďová alebo povrchová voda, hornina v gabionových kochoch môže vytvoriť kyslé prostredie s  $\text{pH} < 7$ , neutrálne s  $\text{pH} = 7,0$  až  $7,8$  alebo alkalické prostredie s  $\text{pH} > 7,8$ . Je tiež dôležité, či sa z kameniva môžu vylúhovať látky, ktoré zvyšujú korozívnosť presakujúcej vody.

Ako je to so zmenou stupňa korózneho agresivity prostredia v smere od líca k zadnej stene gabionovej konštrukcie?

Zväčša na povrch konštrukcie pôsobí menej agresívne prostredie, ako na rub konštrukcie. V tom prípade má korózia sietí v zadnej časti gabionovej konštrukcie rýchlejší priebeh. V niektorých osobitných prípadoch však môže byť atmosférické prostredie pôsobiace na povrch gabionovej konštrukcie agresívnejšie, ako zeminové/pôdne prostredie v zásype.

Pri dimenzovaní gabionových oporných konštrukcií by sa mal zohľadňovať rozdiel medzi koróznou agresivitou atmosférického prostredia v danej lokalite a zeminového prostredia zásypu. Výsledkom optimálneho návrhu môže byť napríklad väčší priemer drôtu siete v prostredí s väčšou koróznou agresivitou.

### 3.4 Skúšobné metódy súvisiace s trvanlivosťou zvaranej siete

#### 3.4.1 Skúšky drôtov a sietí

V tab.15 sa nachádzajú všetky charakteristiky drôtov a sietí, ktoré sa v súčasnosti overujú, a ktoré ovplyvňujú koróziu zvarovaných sietí gabionov s ochranným povlakom Zn a ZnAl.

Tab. 15 Charakteristiky drôtu ovplyvňujúce koróziu sietí gabionov s ochranným povlakom Zn a ZnAl

| Parameter                     | Symbol           | Metóda skúšky            | Norma                                | Hodnota              |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Priemer drôtu                 | mm               | merací prístroj          | STN EN 10218-1 [39]                  | projekt              |
|                               |                  |                          | STN EN 10218-2 [40]                  |                      |
| Plošná hmotnosť povlaku       | g/m <sup>2</sup> | vážková metóda           | STN EN ISO 1460 [41]                 | tabuľka trieda A     |
| Mechanické vlastnosti povlaku | 0 – 2            | navíjanie ohybová skúška | STN EN 10 244-2 [7]<br>ISO 7802 [42] | bez prasklín povlaku |
| Korózna odolnosť              | hod.             | soľná hmla               | STN EN ISO 9227 [3]                  | STN EN 10223-8 [4]   |
|                               |                  |                          | DIN 50021 [2]                        |                      |

|                                   |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |
|-----------------------------------|--------|--------------|----------|----------|--------------------------------------------|--------|--|--|--|
| ORDER : CZ06207 0201 (000000)     |        |              |          |          | 20.10.2017                                 |        |  |  |  |
| CUST.REF : 023-17-022/LB          |        |              |          |          | NET W. (KG ): 23776 ( 23776)               |        |  |  |  |
|                                   |        |              |          |          | UNITS(NO) : 30 (30)                        |        |  |  |  |
|                                   |        |              |          |          | TYPE:                                      |        |  |  |  |
| SIZE(MM) : 3.920                  |        |              |          |          | SPEC:DS9055S2X7                            |        |  |  |  |
| PRODUCT : WIRE FOR WELDED GABIONS |        |              |          |          | ACCORDING TO SPECIFICATION DS9055 / COATIN |        |  |  |  |
| COATING : HEAVY BEZINAL           |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |
| CHEMICAL ANALYSIS :               |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |
| HEAT                              | %C     | %Mn          | %P       | %S       | %Si                                        | %Cu    |  |  |  |
| 710659                            | 0,0800 | 0,5000       | 0,0080   | 0,0110   | 0,1720                                     | 0,0500 |  |  |  |
|                                   |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |
| PROPERTIES:                       |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |
| Unit number                       | d mm   | Coating g/m2 | Rm N/mm2 | Wrapping |                                            |        |  |  |  |
|                                   | 3,850  | Min.351,0    | 450      | 0        |                                            |        |  |  |  |
|                                   | 3,990  |              | 600      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 1                                 | 3,900  | 387,6        | 460      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 4                                 | 3,890  | 368,6        | 463      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 7                                 | 3,890  | 380,0        | 465      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 10                                | 3,910  | 372,4        | 465      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 13                                | 3,905  | 380,0        | 463      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 16                                | 3,890  | 380,0        | 469      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 19                                | 3,910  | 399,0        | 457      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 22                                | 3,895  | 399,0        | 463      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 25                                | 3,890  | 399,0        | 470      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 28                                | 3,895  | 387,6        | 473      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 30                                | 3,905  | 395,2        | 467      | 2        |                                            |        |  |  |  |
| 1 - 30                            |        |              |          |          |                                            |        |  |  |  |

Tab.16 Príklad dodávateľského potvrdenia základných kvalitatívnych parametrov drôtu

V tab.16 potvrdzuje výrobca drôtu základné kvalitatívne parametre drôtu na výrobu zvarovaných sietí. Je vidieť, že sa uvádza priemer drôtu, plošná hmotnosť povlaku, medza pevnosti a výsledok navíjacej skúšky. Hmotnosť zinkového povlaku je vzťahovaná na plochu v g/m<sup>2</sup> alebo sa meria hrúbka zinkového povlaku v µm. Napríklad 275 g/m<sup>2</sup> povlaku ZnAl predstavuje hrúbku 40 µm. Je logické, že doba trvania spotreby ochranného povlaku je priamo úmerná hmotnosti vzťahovanej na plochu alebo hrúbku.

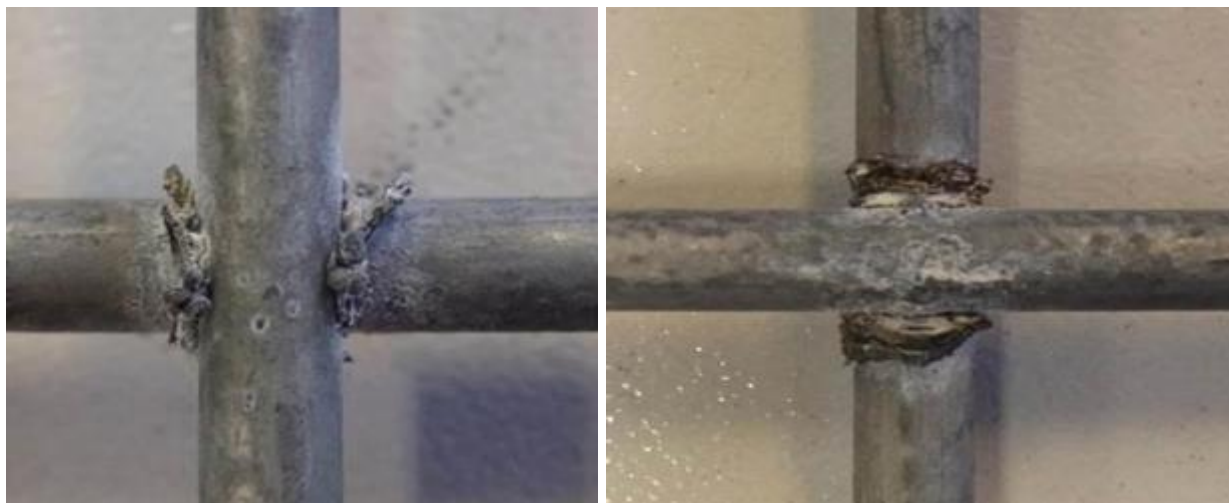
#### 3.4.1.1 Vizualná kontrola

Jedným z prvých kontrolných hodnotení zvarovanej siete je vizuálna kontrola drôtu a zvarov.

Je nevyhnutné si všímať vzhľad a tvar zvarov, ako jednej z najdôležitejších častí zvarovanej siete. Už z pohľadu na príklady zvarov, obr.15 a obr.16, možno usúdiť, či zvar bol vykonaný za optimálnych podmienok alebo bol vykonaný za vysokých hodnôt zvaracieho prúdu alebo vysokého tlaku elektród. Oba faktory, okrem chemického zloženia oceľového drôtu, výrazne ovplyvňujú únosnosť zvaru i jeho koróznú odolnosť. Skúškam mechanických vlastností zvarov sa v tejto práci nebudeme venovať.



Obr. 15 Príklad kvalitne realizovaného zvaru drôtu s ochranným povlakom ZnAl (naľavo) a výbrus toho istého zvaru (napravo)



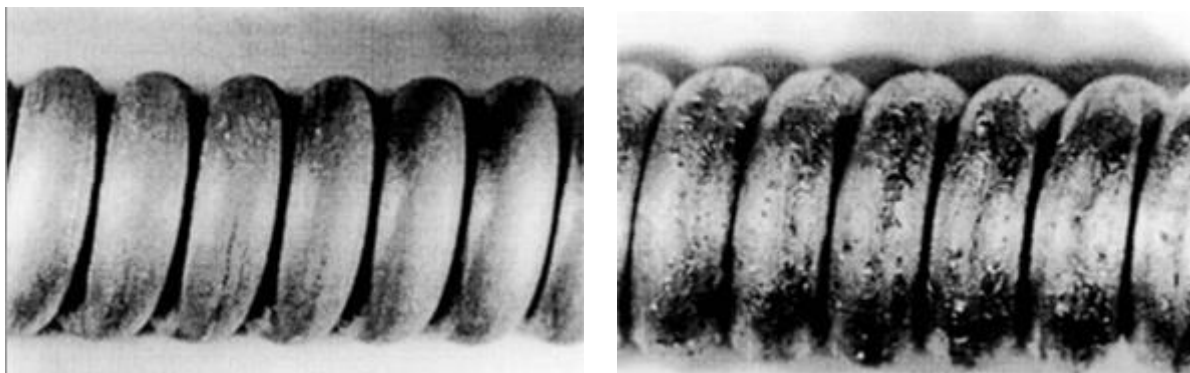
Obr. 16 Príklad nekvalitne realizovaného zvaru drôtu s ochranným povlakom ZnAl

Pri vizuálnej kontrole povlaku sa hľadajú závadné miesta, znečistenie, zhluky zinku alebo iné anomálie. Výsledok vizuálnej kontroly sa zapisuje do protokolu.

#### 3.4.1.2 Navíjacia skúška

Taktiež sa kontroluje celistvosť zinkového povlaku, obr. 17. Je to dôležité nielen z pohľadu ďalšieho spracovania, napr. výroby dvojzákrutu u pletených sietí alebo spájacích prvkov ako sú špirály, dištančné spony alebo C-spony, ale najmä ako kontrola celistvosti povlaku a spolupôsobenia materiálov „povlak/oceľové jadro drôtu“. Kvalita priľnutia povlaku k podkladu má mimoriadny vplyv na priebeh korózie a na trvanlivosť drôtu.

Navíjacia skúška kontinuálne žiarovo zinkovaných drôtov sa vykonáva podľa STN EN 10218-1 [39], ISO 7802 [42], alebo DIN 51 213 [43].



Obr. 16 Drôt po navíjacej skúške bez porušenia povlaku a s porušeným povlakom Zn

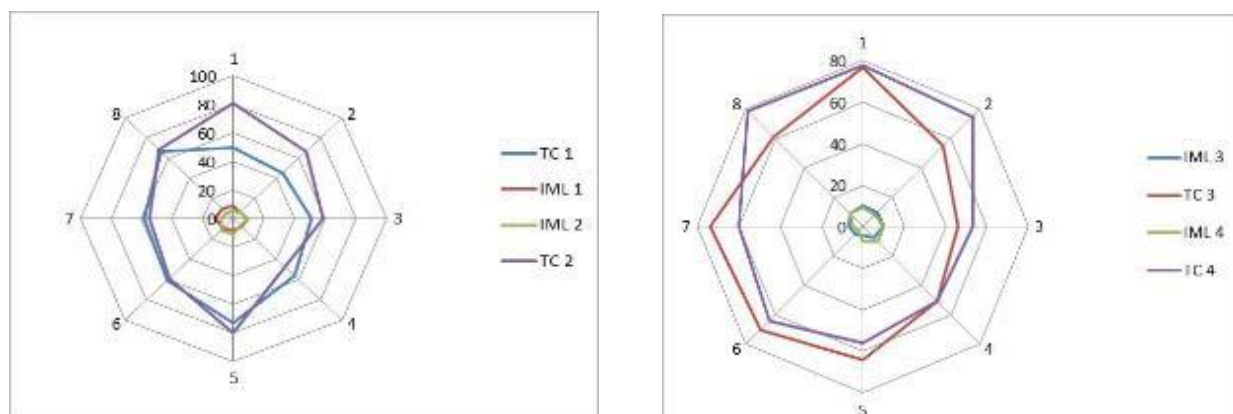
Po navinutí drôtu sa vizuálne vyhodnocuje stav povrchu drôtu a vzorka sa prideluje stupeň 1 (bez narušenia) až 5 (výrazné narušenie).

Pomerne tvrdý povlak Zn je náchylný na praskanie. Preto sa k zinku pridáva hliník, ktorý vylepšuje vlastnosti korózneho povlaku. Zmes ZnAl je odolnejšia z pohľadu namáhania drôtu pri spracovaní ohybom a výrobe všeobecne. Na základe týchto vlastností sa dnes na koróznou ochranu prednostne používa zmes Zn+5%Al u zvarovaných a u pletených Zn+10%Al. Predmetná zmes bola výskumnými organizáciami podieľajúcimi sa na jej vzniku nazvaná GalFan (Galvanium Fantastikum), ktorú jednotliví výrobcovia drôtu s koróznou ochranou nazývajú Bezinal, Galmac, Crappal, a iné. Na zlepšenie korózne odolnosti sa využívajú napríklad pre zvarované gabionové siete i prímеси Zn+5%Al+Mg, ktoré sa už radia do zmesí tzv. „Pokročilé - Advanced“ (STN EN 10233-8 kap. 7.6.2.)

### 3.4.1.3 Centricita povlaku

Rovnomernosť, tj. centricita zinkového povlaku ako dôležitý kvalitatívny parameter sa obvykle meria viacpočetným meraním na rôznych miestach, obr.18. Na výbruse drôtu sa vyhodnocuje rovnomernosť vrstvy povlaku po celom obvode ocelového drôtu.

Výsledkom skúšky je posúdenie hrúbky povlaku v  $\mu\text{m}$  na ocelovom drôte. Čím je vrstva hrubšia, tým je výsledok priaznivejší. Súčasťou posúdenia je prednostne rovnomernosť vrstvy povlaku okolo ocelového jadra, aby bola zabezpečená rovnomerná korózná ochrana. Táto skúška sa však môže z objektívnych dôvodov vykonať len na konečnom množstve rezov a tak je jej vypovedacia hodnota



Obr. 18 Príklad výsledného vyhodnotenia centricity v  $\mu\text{m}$  nánosu ochranného Zn, ZnAl povlaku

nízka. Objektívnosť skúšky sa javí sporná i z dôvodu reakcie Zn vplyvom katódovej ochrany, ktorá ako elektrochemická vlastnosť Zn umožňuje tzv. „samoobetovanie“ Zn a jeho presun do oblastí so zníženou vrstvou Zn.

Uvedené meranie drôtov určených na výrobu sietí pre gabiony je značne nepresné a málo vypovedateľné z pohľadu odhadu dlhodobej trvanlivosti, takže nie je vhodné ho použiť ani na kontrolu kvality gabionového materiálu na stavbách z odobratých už korózne aktivovaných drôtov.

Z uvedeného dôvodu sa uprednostňuje skúška v soľnej hmle podľa STN EN ISO 9227, ktorá umožňuje zaťažiť podstatne väčšiu plochu drôtu a získať informáciu o objektívnej rovnomernosti a odolnosti do stavu 5% červenej korózie na skúšobnej ploche. Skúška v soľnej hmle umožňuje na základe získaného výsledku pomerne objektívne posudzovať navzájom kvalitu výrobkov od rôznych výrobcov alebo jedného výrobcu a schopnosť trvalého udržiavania kvality.

#### 3.4.1.4 Plošná hmotnosť povlaku

Na oceľovom drôte určenom pre gabionové siete a spojovacie prvky sa v rámci výrobného procesu drôtu vytvára povlak protikorózneho kovového materiálu Zn alebo ZnAl žiarovým pozinkovaním. Povlak sa realizuje v súlade s STN EN 10244-2 trieda A.

Plošná hmotnosť vyjadruje množstvo protikorózneho povlaku vtiahnutého na plochu drôtu a vyjadruje sa v  $\text{g/m}^2$  (alt. v  $\text{g/mm}^2$ ). Prepočtom sa môže vyjadriť aj ako hrúbka teoreticky rovnomerného povlaku v  $\mu\text{m}$ , tab. 17.

Tab.17 Príklad prepočtu plošnej hmotnosti protikorózneho povlaku Zn na hrúbku

| Priemer drôtu<br>(mm) | Plošná hmotnosť<br>( $\text{g/m}^2$ ) | Teoretická hrúbka<br>( $\mu\text{m}$ ) | Norma<br>vyjadruje min. hodnotu |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| 2,20                  | 230,00                                | 32,15                                  | STN EN 10244-2 trieda A         |
| 2,70                  | 245,00                                | 34,24                                  |                                 |
| 3,50                  | 265,00                                | 37,02                                  |                                 |
| 4,00                  | 275,00                                | 38,37                                  |                                 |
|                       | 350,00                                | 48,87                                  | požiadavka odberateľa           |
| 4,50                  | 280,00                                | 39,17                                  | STN EN 10244-2 trieda A         |

Plošnú hmotnosť je možné stanoviť napríklad gravimetrickou „vážkovou“ metódou podľa STN EN ISO 1460 [41], ktorou sa zistí hmotnosť zvolenej vzorky s povlakom a po chemickom odstránení povlaku sa vzorka opäť zváži a zistí sa rozdiel hmotností. Treba vziať do úvahy, že touto metódou nie je možné zistiť plošnú hmotnosť a hrúbku intermetalickej vrstvy Fe+ZnAl (Fe+Zn). Pri hodnotení korózne odolnosti má však intermetalická vrstva rovnaké, resp. lepšie vlastnosti ako samotný povlak. Hodnotiť plošnú hmotnosť protikorózneho povlaku na stavbách len na základe už korózne zaťaženého povlaku je preto diskutabilné.

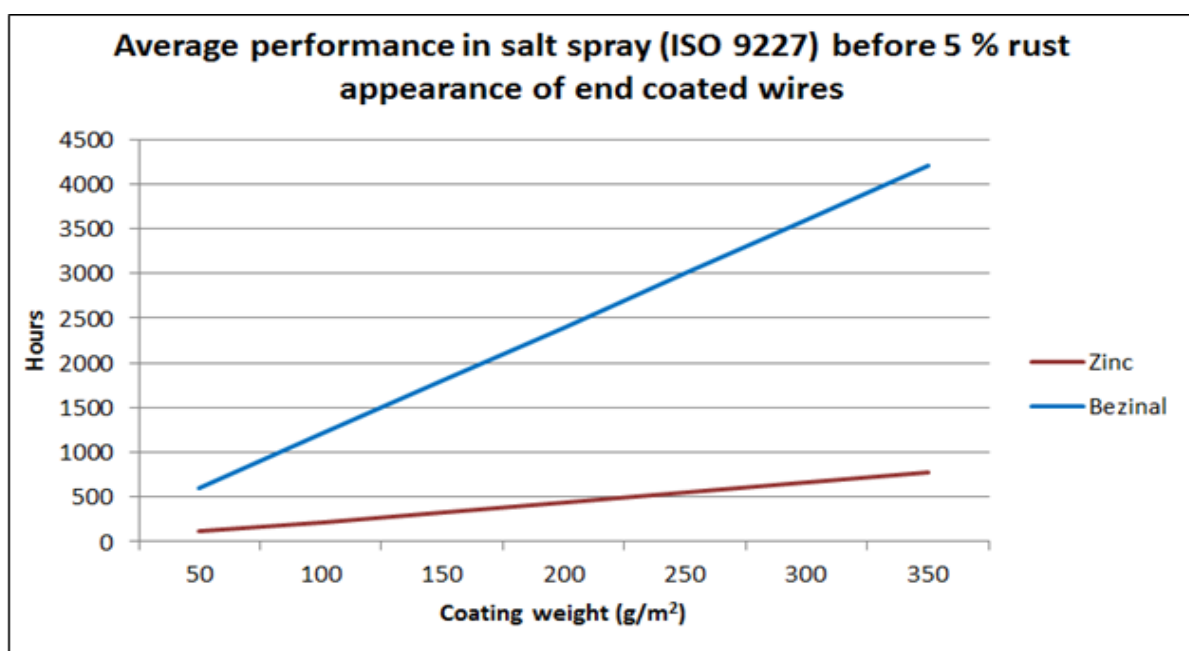
#### 3.4.1.5 Korózna odolnosť

Najvypovedateľnejšia sa javí krátkodobá skúška odolnosti, napríklad podľa STN EN ISO 9227, ktorá vo vzťahu k norme STN EN 10 223-8 overí odolnosť korózneho povlaku v hodinách, do objavenia „červenej korózie“, na 5 % plochy skúšobnej vzorky. Pri dosiahnutí napríklad min. 1000 hod. sa má zato, že vzorka vyhovuje z pohľadu rovnomernosti povlaku v súlade s platnou TKP č. 31 v Slovenskej republike.

Treba konštatovať, že skúška v soľnej komore podľa STN EN ISO 9227 je jedinou skúškou, ktorá priamo súvisí s koróznou odolnosťou drôtov a eliminuje nedostatky a nepresnosti pri zisťovaní centricity alebo metalurgickej kvality protikorózneho povlaku Zn alebo ZnAl. Krátkodobý pobyt (napr. 42 až 83 dní) vzorky drôtu vo veľmi agresívnom nereálnom atmosférickom prostredí však nie je možné reprodukovat' na reálne podmienky. Korózne mechanizmy v reálnej konštrukcii a v reálnom

prostredí sa odlišujú od korózneho mechanizmu prebiehajúceho v soľnej komore. Korelácia medzi výsledkami skúšky v soľnej komore a dlhodobými atmosférickými a pôdnymi účinkami nie je možná. Tento závažný fakt sa často prezentuje aj v odbornej literatúre, napr. [44]. Výsledok skúšky v soľnej komore preto slúži len na kontrolu kvality výroby a odporúča sa, aby sa výsledky skúšky nepoužívali na iné účely.

Keďže v žiadnej norme nie sú vymenované skúšky na korózne reakcie zinkových povlakov, špeciálne drôtov, má to racionálny dôvod. Reakcia zinku pri koróznom zaťažení sa nedá pri krátkodobej skúške vyjadriť a preniesť do reálnych pomerov. Príčina je v tom, že pri takýchto skúškach sa vytvorená ochranná krycia vrstva zinku odstráni alebo zníži, takže sa skúša plocha, ktorá v praxi vôbec neexistuje. Týmto sa obmedzuje použitie výsledkov súčasných krátkodobých korózných skúšok len na podobné prostredie, napr. prostredie s kondenzovanou vodou, s obsahom alebo bez oxidu siričitého prípadne vodnou hmlou obsahujúcou chloridy (soli), ako je to v prípade morského prostredia, obr. 19. [63].



Obr. 19 Skúšky v soľnej komore podľa STN EN ISO 9227

Na obr.19 je vidieť nielen výsledok skúšky v soľnej komore podľa STN EN ISO 9227, ale aj rozdiel v odolnosti povlaku Zn a povlaku Bezinal®, čo je zmes Zn+Al5%. Odolnosť povlaku Bezinal® je minimálne 3x vyššia ako povlaku Zn. To je mimoriadne dôležitý poznatok použitý v pripravovanej časti správy zaoberajúcej sa hodnotami vzoriek z lokalít spred 10-15 rokmi, kde už bol použitý povlak ZnAl, pri porovnávaní výsledkov skúšok trvanlivosti drôtov s povlakom Zn a povlakom Zn+Al5%.

V tab.18 je výsledok krátkodobej skúšky v hmlovine obsahujúcej chloridy NaCl<sub>2</sub> drôtu s priemerom 4,0 mm a ochranným povlakom Zn+5%Al v tzv. „pokročilom“ vyhotovení, do výskytu 5% červenej korózie na mernú plochu drôtu. Kvalita v súčasnosti vyrábaných gabionových materiálov z uvedeného drôtu prekračuje požiadavky z TKP č. 31 používanej v cestnom hospodárstve v SR od roku 2014, i zabezpečuje požiadavku STN EN 10 223-8 pre najnáročnejšie gabionové objekty.

Tab. 18 Protokol skúšky podľa STN EN ISO 9227 (chlorid sodný) na drôte 4,0 mm

| Panel order |         | Marking | Number of samples | Diameter of wire [mm] | Coating mass [g/m <sup>2</sup> ] | Al content in coating [%] |
|-------------|---------|---------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| WP02812     | L 10x10 | 2a-c    | 3                 | 4                     | 369                              | 5,34                      |

|         |    | time to first appearance of dark brown rust |                        |        | 5% dark brown rust | Approximate extend of dark brown rust after termination of the test |
|---------|----|---------------------------------------------|------------------------|--------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|
|         |    | weld                                        | technological cut ends | wire   |                    |                                                                     |
| WP02812 | 2a | 2594 h                                      | -                      | 2688 h | >3000 h            | <0,1 %                                                              |
|         | 2b | 2448 h                                      | -                      | 2448 h | >3000 h            | 0,70 %                                                              |
|         | 2c | 2594 h                                      | -                      | 2594 h | >3000 h            | 0,60 %                                                              |

Keď chceme zistiť reakcie zinkových povlakov pri určitom koróznom zaťažení, musíme vykonať dlhodobé pokusy za terénnych podmienok. Interval pokusov by mal eliminovať kolísanie ročných období a najmenšie trvanie by nemalo ísť pod tri roky. Z uvedeného dôvodu sme sa rozhodli v spolupráci s renomovaným laboratóriom a osobnou účasťou pri výrobe a použití zvarovaných sietí na gabiony v období rokov 1990 – 2019 pristúpiť ku zberu vzoriek sietí z pôdneho i atmosférického prostredia, vrátane odberu vzoriek pôdy.

Pri hodnotení skúšky v soľnej komore podľa STN EN ISO 9227 a použiteľnosti výsledku na odhad trvanlivosti drôtu do gabionovej konštrukcie treba povedať ešte jeden mimoriadny fakt, a to, že povlak drôtu počas skúšky je nepoškodený. To je zásadný poznatok pri hodnotení skúšky, pretože drôt v gabionovej konštrukcii môže byť poškodený počas skladovania, manipulácie, výstavby a funkčnosti trvalej gabionovej konštrukcie. Húževnaté kovové povlaky sú odolné proti poškodeniu, no neplatí to o mäkkších plastových povlakoch typu PVC, PA, PP a pod. Skúška drôtu v soľnej komore podľa STN EN ISO 9227 s nepoškodeným plastovým povlakom nemá žiadny praktický význam a na stanovenie koróznej odolnosti drôtu s plastovým povrchom sa nemôže prakticky použiť v žiadnych dokumentoch o gabionových konštrukciách z takého drôtu.

### 3.4.2 Skúšky zemín

V kapitole 3.3.2 sa uvádzajú charakteristiky, ktoré vplyvajú na intenzitu a priebeh korózie zvarovaných sietí gabionových konštrukcií v kontakte so zemínou. Vlastnosti zemín sa overujú štandardnými geotechnickými skúškami, alebo špeciálnymi skúškami. Ich prehľad je v tab.19.

Tab. 19 Charakteristiky zemín ovplyvňujúce koróziu sietí gabionov s ochranným povlakom Zn a ZnAl

| Vlastnosť                                                          | Normy | Štandardný IG prieskum | Podľa TKP č.31/2014 (SR) | Podľa TKP č.30/2009 (ČR) |
|--------------------------------------------------------------------|-------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Typ horniny<br>prírodného prostredia<br>geologická<br>klasifikácia | X     | Áno                    | X                        | X                        |

|                                             |                                                                                                          |     |     |          |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----------|
| Typ, druh zeminy, geotechnická klasifikácia | STN EN ISO 14688-1 [45]<br>STN EN ISO 14688-2 [46]                                                       | Áno | X   | X        |
| Vlhkosť                                     | STN EN 1997-2 (5.5.3) [47]<br>STN EN ISO 17892-1 [48]                                                    | Áno | X   | X        |
| Mineralizácia                               | STN EN 16173 [49]                                                                                        | X   | X   | X        |
| Merný (elektrický) odpor                    | STN ISO 10390 [50]                                                                                       | X   | Áno | neuvádza |
| Hodnota pH                                  | STN EN 1997-2 (5.6.5) [47]<br>STN EN 15934 [51]<br>PP-DCH-16, (vodný výluh)<br>STN ISO 10390 (pôda) [50] | X   | Áno |          |
| Obsah chloridov                             | STN EN 1997-2 (5.6.6) [47]<br>PP-DCH-20 (vodný výluh)                                                    | X   | Áno |          |
| Obsah síranov                               | STN EN 1997-2 (5.6.4) [47]<br>PP-DCH-19 (vodný výluh)                                                    | X   | Áno |          |
| Obsah organických látok                     | STN EN 1997-2 (5.6.2) [47]<br>STN 72 1021 (zemina) [52]                                                  | X   | Áno |          |

Pozn. Označenie „Áno“ znamená, že sa vlastnosť požaduje a overuje.

### 3.4.3 Skúšky konštrukcií

V TKP č.31 (SR) ani TKP č.30 (ČR) sa na hotové gabionové konštrukcie, ani na vystužené horninové konštrukcie s gabionmi na líci nepredpisujú žiadne skúšky, ktorými by sa kontrolovala kvalita celej hotovej konštrukcie.

V STN EN 14475 sa konštatuje, že prípadný monitoring v jednotlivých etapách výstavby alebo na hotovej vystuženej horninovej konštrukcii musí byť v súlade s technologickými predpismi, ktoré musia spĺňať technické podmienky uvedené v projektovej dokumentácii. V informatívnej prílohe C sa u vystužených horninových konštrukcií s gabionmi na líci uvádza, že rovinatosť je  $\pm 100$  mm, rozdieli v sadaní  $\sim 2$  % a stlačiteľnosť  $\sim 5$  %.

### 3.5 Trvanlivosť sietí z drôtov v gabionových konštrukciách

Z pohľadu dlhodobého namáhania gabionov a požiadaviek na ich trvanlivosť sú najdôležitejšie trvalé oporné konštrukcie zostavené z gabionov. V tejto súvislosti nás zaujíma vnútorná stabilita konštrukcie, čo je v prípade gabionových konštrukcií vnútorná pevnosť drieku najviac namáhaných gabionových košov. V mieste max. vodorovného napätia sa posudzuje roztrhnutie drieku. Posudzuje sa, či ťahové napätie pôsobiace v jednom drôte, na kritickom mieste konštrukcie, je menšie ako jeho medza pevnosti (v ťahu) vyjadrená v MPa. Ak posúdenie vyjde, môžeme byť spokojní.

Problém je však v tom, že sa neuvažuje ťahová pevnosť skorodovaného drôtu s menším priemerom, ale pôvodný nekorodovaný drôt. Pri stanovovaní trvanlivosti sietí v gabionovej konštrukcii by mala byť posudzovaná trvanlivosť drôtu, stanovená zostatková ťahová pevnosť skorodovaného drôtu a tá by mala byť použitá pri posúdení gabionovej konštrukcie na konci jej životnosti. Len tak možno posúdiť roztrhnutie drieku gabionovej konštrukcie v rôznom časovom období životnosti konštrukcie. Zostatková ťahová pevnosť skorodovaného oceľového drôtu, napr. po 50 alebo 100 rokoch životnosti, sa však nestanovuje.

Trvanlivosť všetkých častí gabionovej konštrukcie, ktorá tvorí trvalú opornú konštrukciu, je rozhodujúca na stanovenie a reálne dosiahnutie požadovanej životnosti konštrukcie. Týka sa to všetkých použitých materiálov, tj. sietí, spojovacích prvkov a výplne. Ich trvanlivosť musí byť dlhšia ako požadovaná životnosť konštrukcie, pretože len tak možno zabezpečiť spoľahlivú dlhodobú

funkciu konštrukcie. Ku strate pevnosti, v dôsledku nedostatočnej trvanlivosti materiálu, nesmie dôjsť najmä vnútri konštrukcie, kde nie je možná oprava.

V súčasnosti neexistuje certifikovaná alebo normou potvrdená metóda, ktorá by stanovovala výpočet trvanlivosti sietí z oceľových drôtov s kovovým povlakom, alebo by extrapolovala výsledky krátkodobých skúšok na obdobie 100 rokov. Informatívnu návrhovú životnosť 100 rokov požaduje STN EN 1990 pre inžinierske konštrukcie, za ktoré považujeme oporné gabionové konštrukcie umiestnené v monumentálnych stavbách, akými sú napr. diaľničné alebo železničné násypy.

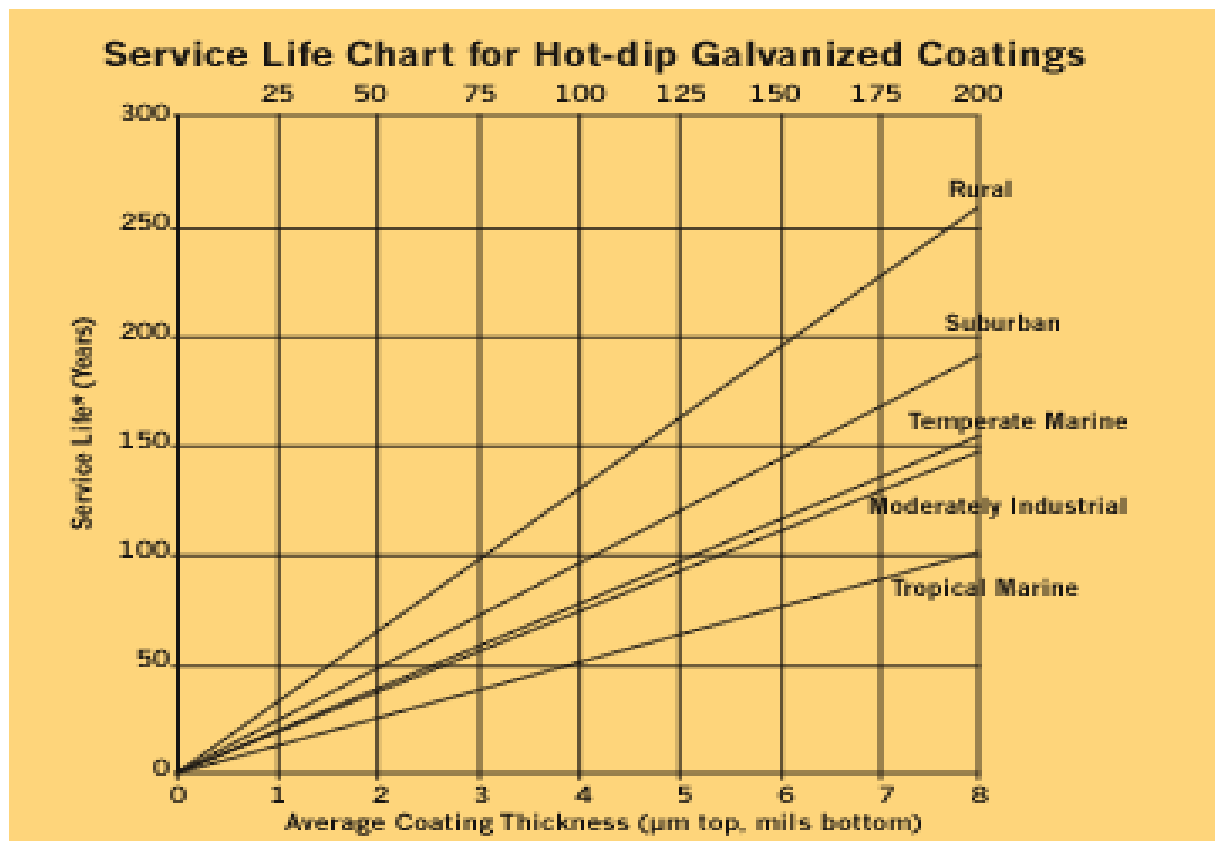
Preto je kap. 3.5.1 zameraná na teoretické metódy stanovenia trvanlivosti zvarovaných sietí používané v súčasnosti.

### 3.5.1 Súčasné metódy stanovenia trvanlivosti zvarovaných sietí

Dlhoročné skúsenosti so zinkovým povlakom uhlíkovej ocele sa premietli do oficiálnych dokumentov. Napríklad v STN EN ISO 14713-1 sa v tab. 1 uvádzajú hodnoty straty hrúbky zinkového povlaku v jednotlivých typoch atmosférického prostredia, tab.20 (redukovaná pre potreby tohto výskumu).

Tab.20 Rýchlosť korózie zinkového povlaku podľa STN EN ISO 14713-1 (redukovaná)

| Stupeň koróznej agresivity atmosféry |                |                                          |
|--------------------------------------|----------------|------------------------------------------|
| Typ atmosférického prostredia        | Riziko korózie | Úbytok hrúbky zinkového povlaku (μm/rok) |
| C2                                   | Nízke          | 0,1 – 0,7                                |
| C3                                   | Stredné        | 0,7 – 2                                  |
| C4                                   | Vysoké         | 2 – 4                                    |

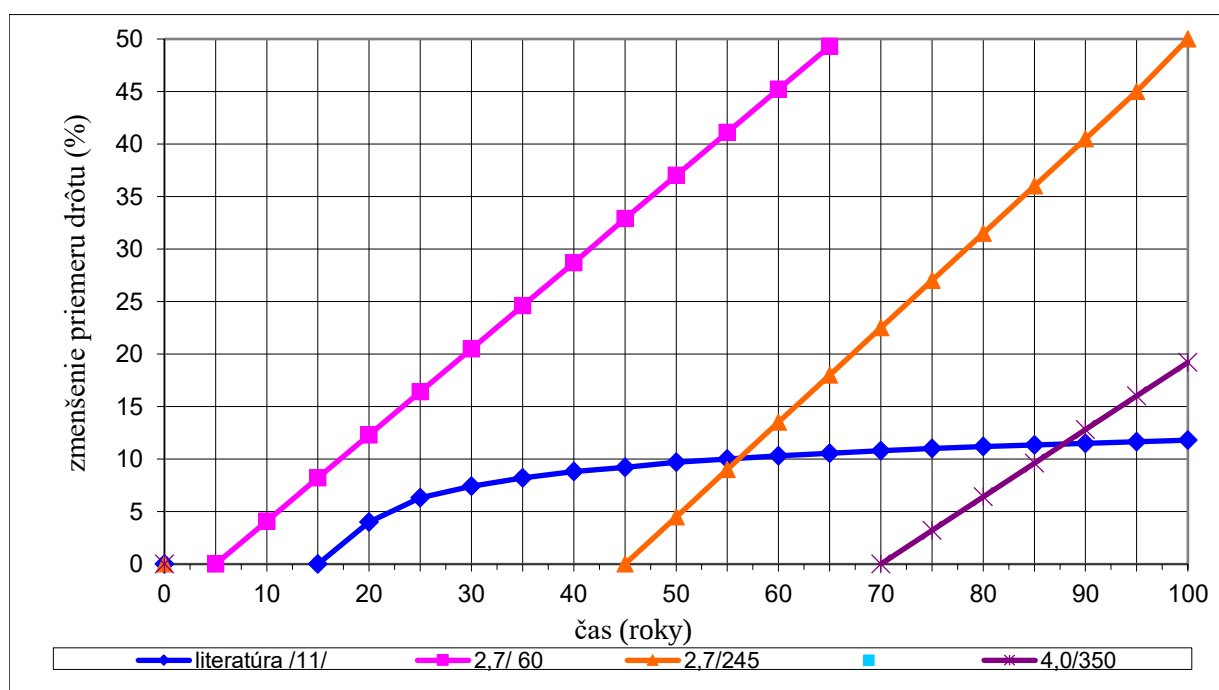


Obr.20 Trvanlivosť galvanizovaných povlakov v rôznom prostredí

Z hodnôt v tab.20 je vidieť, aké veľmi odlišné boli skúsenosti, na základe ktorých boli hodnoty stanovené, pretože rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnotou pre jednotlivé atmosférické prostredia je mimoriadne veľký. Rozdiel 200 až 700 % umožňuje aj rôzne špekulácie pri stanovení množstva rokov, po ktorých sa zinkový povlak „spotrebuje, vyčerpá“ z povrchu oceľového drôtu.

Spomedzi publikovaných informácií o trvanlivosti zinkových povlakov vyberáme napr. obr. 20, [53].

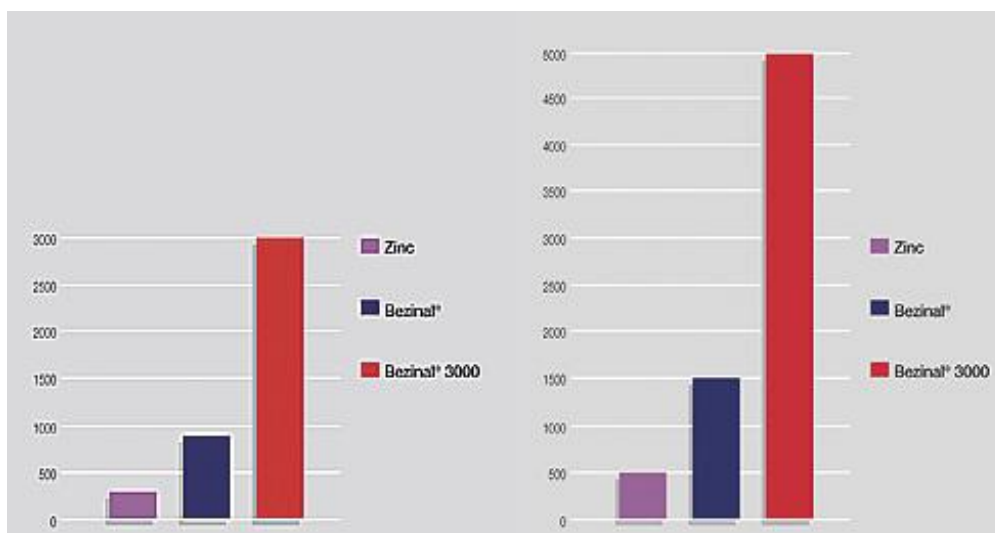
Publikovali sme porovnanie teoretického priebehu korózie drôtov rôzneho priemeru a s odlišnou hmotnosťou galvanizovaného povlaku, a to  $\phi=2,7\text{mm}/60\text{g/m}^2$ ,  $\phi=2,7\text{mm}/245\text{g/m}^2$ ,  $\phi=4,0\text{mm}/350\text{g/m}^2$  vypočítaného podľa STN EN ISO 14713-1 a FHWA-NHI-10-024 pre korózne prostredie C2 (horná hranica) [55] a krivky úbytku priemeru drôtu stanovenej z terénnych pozorovaní [11] bez uvedenia prostredia, obr.21. Drôty s  $\phi=2,7\text{mm}$  boli bez poplastovania. Počiatočný bod kriviek na osi „x“ je čas spotreby zinkového povlaku, tj. čas objavenia sa 5% červenej korózie na povrchu drôtu. Zaujímavé je porovnanie lineárneho úbytku priemeru drôtu podľa uvedenej STN a logaritmického úbytku zisteného z terénnych pozorovaní, pretože rozdiel je významný a nemožno ho ignorovať.



Obr. 21 Teoretická a praktická redukcia priemeru drôtu gabionovej siete v čase

Ďalším krokom spracovania výsledkov uvedených v obr.21 by malo byť stanovenie ťahovej pevnosti (vyjadrenej v kN) skorodovaného drôtu so zmenšeným priemerom po určitom čase. Pri jednoduchom prepočte sa totiž ukázalo, že napr. drôt s priemerom 3,0 mm má ťahovú pevnosť 2,47 kN a drôt s polovičným priemerom 1,5 mm má ťahovú pevnosť 0,62 kN, a to pri rovnakej medznej pevnosti 350 MPa. V tomto prípade to znamená, že pri zmenšení priemeru drôtu o 50 %, poklesne jeho ťahová pevnosť o 75 %!

Porovnanie odolnosti kovových povlakov tr.A a B podľa výsledkov v soľnej komore (STN EN 9227) je na obr. 22, [67], pričom povlak tr.A sa používa na drôtoch pre siete gabionových konštrukcií. Na obr.22 je vidieť výrazný rozdiel výsledkov skúšky v soľnej komore medzi povlakmi Zn, Bezinal a Bezinal 3000. Dnes sa bežne používajú drôty zvarovanej siete s povlakom Bezinal (zmes Zn+Al5% pod rôznymi obchodnými značkami) a to od roku 2004. V rokoch 1990 – 2003 boli na území SR k dispozícii len povlaky Zn.



STN EN 10244, tr.B

STN EN 10244, tr.A

Obr.22 Odolnosť rôznych povlakov podľa STN EN 9227

### 3.5.2 Požiadavky na trvanlivosť

Trvanlivosť drôtov, z ktorých sa zhotovujú gabiony do trvalých oporných gabionových konštrukcií sa stanovuje nepriamo, a to len na základe výsledkov jednej laboratórnej skúšky podľa STN EN 9227 (skúška korózie soľnou hmlou). Skúška končí po objavení sa korózie na 5% plochy, alebo sa konštatuje, že napr. po 1000 hod. sa neobjavila korózia na 5% plochy. Prijal sa názor, že ak na povrchu drôtu nie je na konci uvedenej skúšky, po stanovenom množstve hodín, korózia na viac ako 5% plochy, potom sa drôt môže použiť do trvalej gabionovej konštrukcie.

Bol a stále tu však je zásadný problém, pretože rôzne predpisy (dokumenty) predpisujú rôzne hodnoty hodín expozície v soľnej komore, napr.

- 350 hod. .... TKP č.30 (ČR, 2009), pre povlak Zn i ZnAl
- 1000 hod. .... TKP č.31 (SR, 2014) a STN EN 10223-8, pre povlak Zn95%/Al5%
- 2000 hod. .... STN EN 10223-8, pre Progresívne kovové povlaky Zn95 + Al5%

Dôkazom o netechnickej, ale obchodnej manipulácii s počtom hodín, je snaha zo strany niektorých výrobcov a projektantov, v rámci obchodnej vojny, zvýšiť počet hodín expozície v soľnej komore, ale bez technického a korózneho zdôvodnenia, na prakticky nepoužiteľnú hodnotu. Vzniká umelo vytvorený chaos, ktorý napomáha neserióznym aplikáciám.

Predpoklady trvanlivosti kovového povlaku Zn95%/Al5% uvádza STN EN 10223-8, tab.A.1, tab.21. Informácie o trvanlivosti rôznych druhoch povlakov (aj organických z PVC) uvedené v tab. platia len pre siete nezaťažené a voľne zavesené (bez zaťaženia a poškodenia povrchu) v rôznom atmosférickom prostredí. Teda nie v gabionoch a pôdnom prostredí a taktiež nie je v norme uvedené akou metodikou boli tieto predpoklady stanovené.

Tab. 21 Predpokladaná trvanlivosť povlaku Zn95%/Al5%, tr.A v atmosférickom prostredí C2 a C3 podľa STN 10223-8.

| Atmosférické prostredie | Predpokladaná trvanlivosť povlaku ZnAl (roky) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| C2                      | > 50                                          |
| C3                      | 25                                            |

V tab.21 sa uvádzajú len prostredia C2 a C3, v ktorých sa nachádzajú takmer všetky realizované gabionové konštrukcie na Slovensku. Treba konštatovať, že v STN EN 10223-8, tab.1 a A.1 chýba atmosférické prostredie C1, ktoré predstavuje čisté prostredie, napr. lesné a horské oblasti bez znečistenia, kde je korózna agresivita zanedbateľná. Na Slovensku sú niektoré gabionové konštrukcie postavené aj v prostredí C1.

O tom, že TKP č.31/2014 sú spracované tendenčne a majú skôr pomýliť užívateľov, ako im pomôcť svedčí informácia v tab.22 pre prostredie C4 prevzatá z tab.A.1 v STN EN 10223-8.

Tab. 22 Predpokladaná trvanlivosť povlaku Zn95%/Al5%, tr.A v atmosférickom prostredí C4 podľa STN 10223-8.

| Atmosférické prostredie | Predpokladaná trvanlivosť povlaku ZnAl (roky) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| C4                      | 10                                            |

K tab.22 sú tieto zásadné výhrady:

- trvanlivosť povlaku pre jedno atmosférické prostredie sa nemôže uvádzať len jednou hodnotou pre triedu povlaku A, podľa STN EN 10244-2, bez zohľadnenia rôznej hrúbky povlaku podľa priemeru drôtu!
- trvanlivosť povlaku pre jedno atmosférické prostredie sa nemôže uvádzať len jednou hodnotou (musí byť rozsah od/do), bez zohľadnenia rozptylu koróznej agresivity v rámci jedného atmosférického prostredia tak, ako sa to uvádza v platných normách!
- takmer všetky skúmané trvalé gabionové konštrukcie postavené na Slovensku s požiadavkou 100 rokov sa nachádzajú v atmosférickom prostredí C2, ojedinele v C3.
- atmosférické prostredie C4 sa na Slovensku všeobecne nevyskytuje, takže môže platiť len pre časť gabionovej konštrukcie, ktorá môže byť lokálne .
- údaj 10 rokov je nepravdivý (predpokladaná trvanlivosť povlaku ZnAl je dlhšia), o čom svedčia prezentované výsledky skúšok a praktické skúsenosti (napr. zvárané siete v spodnej časti gabionových konštrukcií nie sú po desiatich rokoch skorodované a je na nich ochranný povlak napriek tomu, že sú v kontakte s posypovými soľami),
- údaj 10 rokov nemá technický ale len marketingový charakter, pretože úmyselne vizuálne upozorňuje na údaj 120 rokov, ktorý patrí k organickému PVC povlaku; o tom, že hodnoty 10 a 120 rokov majú len marketingový charakter svedčí to, že tieto hodnoty platia len pre trvanlivosť nepoškodeného a mechanicky nenamáhaného povlaku, takže pre gabionové konštrukcie sú prakticky nepoužiteľné a zavádzajú čitateľa,
- je podozrivé a technicky neprijateľné, že v STN EN 10223-8 sa v tab.A.1 neuvádzajú hodnoty životnosti povlaku Zn napriek tomu, že gabionové konštrukcie sú zostavené zo zváraných sietí z drôtov s povlakom Zn.

Podobne je to aj s ďalšími údajmi o životnosti povlaku Zn95%/Al5% v tab.A.1 v STN EN 10223-8. Uvádza sa napríklad, že trvanlivosť povlaku Zn95%/Al5% v atmosférickom prostredí C3 je 25 rokov. Aj táto hodnota je nereálne nízka a nie je v súlade ani s normami STN EN ISO 9224 a STN EN ISO 14713-1 ani praktickými skúsenosťami, čo sa dokladá v doleuvedenom texte a tabuľkách.

O tom, že údaje v STN EN 10223-8, tab.A.1 sú nepresné a zavádzajúce sa možno presvedčiť ich porovnaním s vypočítanými hodnotami podľa STN EN ISO 14713-1. V tab.23 je výpočet úbytku (vyčerpania) povlaku Zn s hmotnosťou 245 a 350 g/m<sup>2</sup> pre atmosférické prostredie C2 a v tab.24 pre C3.

Tab. 23 Výpočet úbytku povlaku Zn pre prostredie C2

| drôt | povlak Zn |                  | úbytok v prostredí C2 |      | úbytok povlaku po 10 rokoch |      | zostatok povlaku po 10 rokoch |      | úbytok povlaku po 25 rokoch |      | zostatok povlaku po 25 rokoch |      | úbytok povlaku po 50 rokoch |      | zostatok povlaku po 50 rokoch |      |
|------|-----------|------------------|-----------------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|
|      | prie-mer  | plošná hmot-nosť |                       |      |                             |      |                               |      |                             |      |                               |      |                             |      |                               |      |
|      |           | hrúb-ka          | min.                  | max. | min.                        | max. | min.                          | max. | min.                        | max. | min.                          | max. | min.                        | max. | min.                          | max. |
|      | mm        | g/m <sup>2</sup> | μm/rok                |      | μm/rok                      |      | μm                            |      | μm/rok                      |      | μm/rok                        |      | μm/rok                      |      | μm/rok                        |      |
|      | 2,7       | 245              | 0,1                   | 0,7  | 1,0                         | 7,0  | 35,5                          | 29,5 | 2,5                         | 17,5 | 34,0                          | 19,0 | 5,0                         | 35,0 | 31,5                          | 1,5  |
|      | 4,0       | 350              | 0,1                   | 0,7  | 1,0                         | 7,0  | 51,0                          | 45,0 | 2,5                         | 17,5 | 49,5                          | 34,5 | 5,0                         | 35,0 | 47,0                          | 17,0 |

Tab. 24 Výpočet úbytku povlaku Zn pre prostredie C3

| drôt | povlak Zn |                  | úbytok povlaku v prostredí C3 |      | úbytok povlaku po 10 rokoch |      | zostatok povlaku po 10 rokoch |      | úbytok povlaku po 25 rokoch |      | zostatok povlaku po 25 rokoch |      | úbytok povlaku po 50 rokoch |       | zostatok povlaku po 50 rokoch |      |
|------|-----------|------------------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|-------|-------------------------------|------|
|      | prie-mer  | plošná hmot-nosť |                               |      |                             |      |                               |      |                             |      |                               |      |                             |       |                               |      |
|      |           | hrúb-ka          | min.                          | max. | min.                        | max. | min.                          | max. | min.                        | max. | min.                          | max. | min.                        | max.  | min.                          | max. |
|      | mm        | g/m <sup>2</sup> | μm/rok                        |      | μm/rok                      |      | μm                            |      | μm/rok                      |      | μm/rok                        |      | μm/rok                      |       | μm/rok                        |      |
|      | 2,7       | 245              | 0,7                           | 2,0  | 7,0                         | 20,0 | 29,5                          | 16,5 | 17,5                        | 50,0 | 19,0                          | 0,0  | 35,0                        | 100,0 | 1,5                           | 0,0  |
|      | 4,0       | 350              | 0,7                           | 2,0  | 7,0                         | 20,0 | 45,0                          | 32,0 | 17,5                        | 50,0 | 34,5                          | 2,0  | 35,0                        | 100,0 | 17,0                          | 0,0  |

Z tab.23 a 24 možno jednoduchým výpočtom stanoviť predpokladanú trvanlivosť Zn povlaku drôtu s priemerom 4,0 mm a povlakom Zn s plošnou hmotnosťou 350 g/m<sup>2</sup> v atmosférickom prostredí C2 a C3, a to:

- v prostredí C2 ..... 74 až 520 rokov
- v prostredí C3 ..... 26 až 74 rokov

Teraz možno tieto údaje stanovené podľa STN EN ISO 14713-1 porovnať s údajmi v normách STN EN 10223-3 a 10223-8, tab. 25.

Tab.25 Porovnanie trvanlivosti kovových povlakov podľa STN EN ISO 14713-1 a STN EN 10223-3 a 10223-8.

| Atmosférické prostredie | Trvanlivosť povlaku <u>Zn</u> drôtu v tab.23 a 24 podľa STN EN ISO 14713-1 | Trvanlivosť povlaku <u>Zn</u> podľa STN EN 10223-3 | Trvanlivosť povlaku <u>Zn95%/Al5%</u> podľa STN EN 10223-3 a 10223-8 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                         | roky                                                                       | roky                                               | roky                                                                 |
| <b>C2</b>               | 74 až 520                                                                  | 25                                                 | > 50                                                                 |
| <b>C3</b>               | 26 až 74                                                                   | 10                                                 | 25                                                                   |

Rozdiel medzi hodnotami trvanlivosti povlakov v tab.25 podľa rôznych noriem je priepastný. Viacnásobne nižšia trvanlivosť povlaku Zn a dokonca nižšie hodnoty účinnejšieho povlaku Zn95%/Al5% v porovnaní s povlakom Zn podľa noriem STN EN 10223 sú zavádzajúce a technicky absolútne neprijateľné. Hodnota trvanlivosti povlaku Zn95%/Al5% 25 rokov uvedená v STN EN 10223-3 a 10223-8 je doslova výsmechom a amatérskou manipuláciou. Možno to konštatovať preto, že sú k dispozícii aj praktické skúsenosti, že po 25 rokoch je na drôtoch zvaraných sietí dostatočná zostatková hrúbka i menej trvanlivého povlaku Zn a nieto oveľa kvalitnejšieho povlaku Zn/Al. Podľa obr. 22 je trvanlivosť povlaku Zn95%/Al5% približne 3x dlhšia ako povlaku Zn.

Na základe predložených faktov nemožno akceptovať ako reálne údaje o trvanlivosti povlaku ZnAl uvedené v STN EN 10223-8 a platných TKP č.31

Uvedený praktický a dlhodobý neriešený problém s STN EN 10223-8 a platných TKP č.31 bol základnou pohnútkou pre naše snaženie a iniciatívu vykonať terénny výskum v rokoch 2018 až 2019 a využiť znalosti a podklady o realizovaných stavbách v rámci SR z rokov 1993 až 2008 na expertízne vyhodnotenie skutočného stavu korózneho prostredia atmosférického i pôdneho a ich vplyv na koróziu ochrany gabionov zo sietí zvarovaných z oceľového drôtu.

Informatívnu návrhovú životnosť 100 rokov požaduje STN EN 1990 pre inžinierske konštrukcie, za ktoré považujeme oporné gabionové konštrukcie umiestnené v monumentálnych stavbách, akými sú napr. diaľničné alebo železničné násypy. To je jediná a medzinárodne akceptovaná požiadavka použitá na životnosť gabionových konštrukcií. Znamená to, že všetky materiály použité v oporných gabionových konštrukciách musia mať trvanlivosť > 100 rokov.

Na záver tejto kapitoly o požiadavkách na trvanlivosť a koróziu odolnosť drôtov, z ktorých sa zhotovujú gabiony, treba opakovať zásadný fakt, a to, že **v súčasnosti neexistuje žiadna normovaná metóda na prevod výsledkov laboratórnych skúšok určených na zisťovanie trvanlivosti drôtov a sietí do reálneho času!**

## 4 Postup a metódy výskumu

V tejto kapitole sa uvádzajú informácie o odbere vzoriek zvarovaných sietí z gabionových konštrukcií a o skúšobných metódach a postupoch použitých v tomto výskume.

### 4.1 Odbery vzoriek

Odbery vzoriek sa uskutočnili v niekoľkých etapách, tab. 26.

Tab.26 Bilancia odberu vzoriek sietí z gabionových konštrukcií

| Etap | Dátum odberu     | Počet lokalít | Počet vzoriek (ks) | Poznámka |
|------|------------------|---------------|--------------------|----------|
| 1.   | 9. – 10. 5. 2018 | 3             | 7                  |          |
| 2.   | 2. – 3. 10. 2018 | 9             | 19                 |          |
| 3.   | 11.10.2018       | 5             | 12                 |          |
| 4.   | 23.-24.9.2019    | 5             | 11                 |          |

Samotný odber bol vykonaný za účasti spracovateľa záverečnej správy, zástupcu laboratória a odoberajúceho pracovníka. Na lokalite bol vykonaný výber miesta odberu a spracovaná fotodokumentácia okolia.

Odber vzorky siete v kontakte s pôdou bol zrealizovaný z hĺbky 1000 mm. Vzorka siete mala veľkosť cca. 400 x 400 mm, čo predstavovalo 3 x 3 oká 100/100 mm. Z dna výkopu bola taktiež nabraná vzorka pôdy do sterilnej suchej fľaše so šraubovaným uzáverom. Vzorka pôdy bola označená priamo na fľaši miestom odberu, časom, lokalitou.

Následne bol vykonaný odber vzdušnej vzorky tak, aby nedošlo k estetickému narušeniu objektu. V zásade bola zvolená horná, krycia sieť posledného radu gabionov, ako najexponovanejšie miesto vystavené vplyvu dažďa, snehu, a prachových častíc atmosféry. Vzorky siete boli ihneď po odbere vizuálne skontrolované na povrchovú koróziu alebo iné poškodenia, o čom bol vykonaný zápis priamo na popise vzorky. Vzorka bola zabalená do viacvrstvovej plastickej fólie, aby sa minimalizovalo okysličenie a zmena vlastností protikorozívneho povlaku počas prevozu a do zahájenia laboratórnych skúšok. Vzorky siete boli označené štítkom s vyznačením miesta odberu času, polohy v objekte a orientácie drôtov. Štítok bol zabalený súčasne do obalu vzorky, aby nemohlo dôjsť k zámene.

## 4.2 Laboratórne skúšky – skúšobné metódy

V kap.4.2 sa uvádzajú typy laboratórnych skúšok, ktoré sa použili v tomto výskume.

### 4.2.1 Skúšky drôtu

#### 4.2.1.1 Vyhodnotenie kontrolných skúšok vykonaných výrobcom

Z protokolov poskytnutých výrobcom drôtu ako súčasť dodávok materiálu z obdobia rokov 2004 - 2008 a realizovaných skúšok v soľnej komore podľa platnej DIN 50021 v rokoch 1995-1998-2000 sa vyhodnotili výsledky skúšok, ktoré by mohli mať vplyv na trvanlivosť sietí v gabionových konštrukciách.

Vyhodnocovali sa tieto kvalitatívne parametre:

- vzhľad vzorky po navíjacej skúške
- plošná hmotnosť povlaku (počiatočná)
- hrúbka povlaku a centricita
- korózna odolnosť v hodinách pri zaťažení krátkodobou skúškou v chloride sodnom (1995-1998-2000)

#### 4.2.1.2 Vizuálna kontrola

V súlade s metodikou hodnotenia gabionových materiálov a teda i gabionových zváraných sietí z pozinkovaného drôtu sme vykonali vizuálnu kontrolu odobratých vzoriek podľa STN EN ISO 16348 [56]. Zisťovalo sa mechanické poškodenie, jednotnosť vzhľadu a viditeľné korózne prejavy „červenej“, korózie.

#### 4.2.1.3 Zostatková plošná hmotnosť povlaku

Zostatková plošná hmotnosť povlaku drôtu sa zisťovala hmotnostnou metódou podľa STN EN ISO 1460 - vážková metóda (gravimetria) [41]. Je to metóda, ktorá patrí medzi najstaršie analytické metódy. Metóda je veľmi presná avšak časovo náročná a práca. Princípom je oddelenie nerozpustnej zložky a po jej izolovaní zváženie hmotnosti tejto zložky.

**Postup skúšky je nasledovný:**

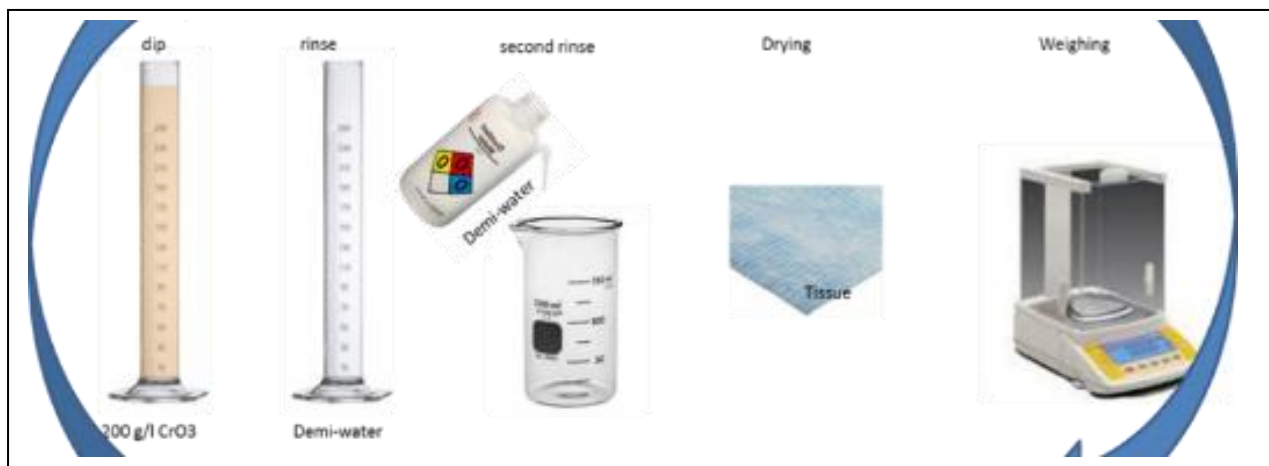
Krok 1: V roztoku  $\text{Cr}^{6+}$  sa, podľa STN EN ISO 8407, po dobu 10 min. odstráni z povrchu drôtu zvyškové oxidy (korózne produkty).

Krok 2: Po opláchnutí v demineralizovanej vode a sušení sa zaznamená hmotnosť drôtu s povlakom (hmotnosť 1) na analytických váhach a zmeria sa priemer drôtu.

Krok 3: Vzorka drôtu sa potom morí v 17,5% roztoku HCl a vodnom roztoku formaldehydu, aby sa rozpustil zvyškový metalický povlak.

Krok 4: Po opláchnutí v demineralizovanej vode a sušení sa zaznamená hmotnosť drôtu bez povlaku (hmotnosť 2) na analytických váhach a zmeria sa konečný priemer drôtu po odmorení.

Postup skúšky je schematicky znázornený na obr. 23.

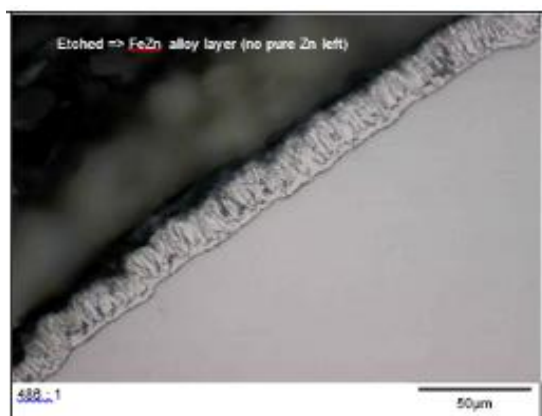


Obr.23 Príprava vzorky na stanovenie plošnej hmotnosti povlaku

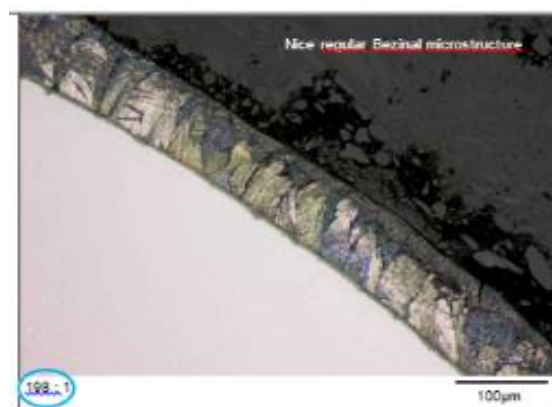
#### 4.2.1.4 Výbrus rezu drôtu

Súbežne boli vykonávané rezy a výbrusy prierezu drôtu, na zistenie stavu korózneho ochranného povlaku. Príklady sú viditeľné na obr. 24. Na vzorkách sa hodnotila rovnomernosť povlaku (centricita) a či nedochádza k lokálnej jamkovej korózii, resp. aký pokles hrúbky možno pozorovať na povlaku. Taktiež sa vizuálne vyhodnocovalo, či nedochádza ku zmenám na intermetallickej vrstve. Pri vyhodnocovaní nebola využitá hodnotiacia skúška v soľnej komore na zistenie zostatkovej centricity, ale výbrus sa vyhodnotil len vizuálne.

Hodnotenie dalo možnosť s odstupom času posúdiť technologický postup žiarového pozinkovania z obdobia rokov 1993 – 2000, ako po stránke počiatočnej plošnej hmotnosti, tak celkovej kvality prípravy drôtu, tvorby intermetallickej vrstvy a mikroštruktúry zinkového povlaku.



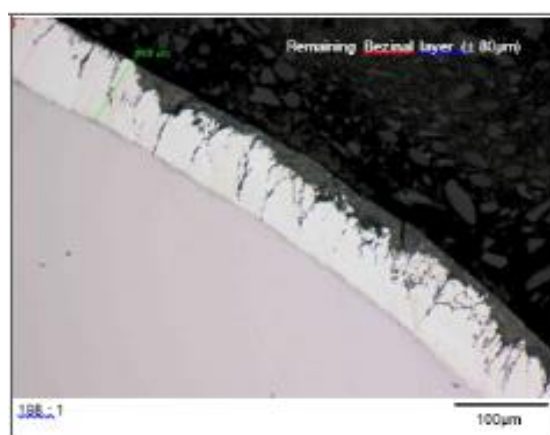
Po morení Zn: bez nálezu čistého Zn – zaznamenaná extrémne hrubá intermetalická vrstva



Po morení ZnAl: štandardná mikroštruktúra a tenká intermetalická vrstva



Drôt so Zn povlakom pred morením

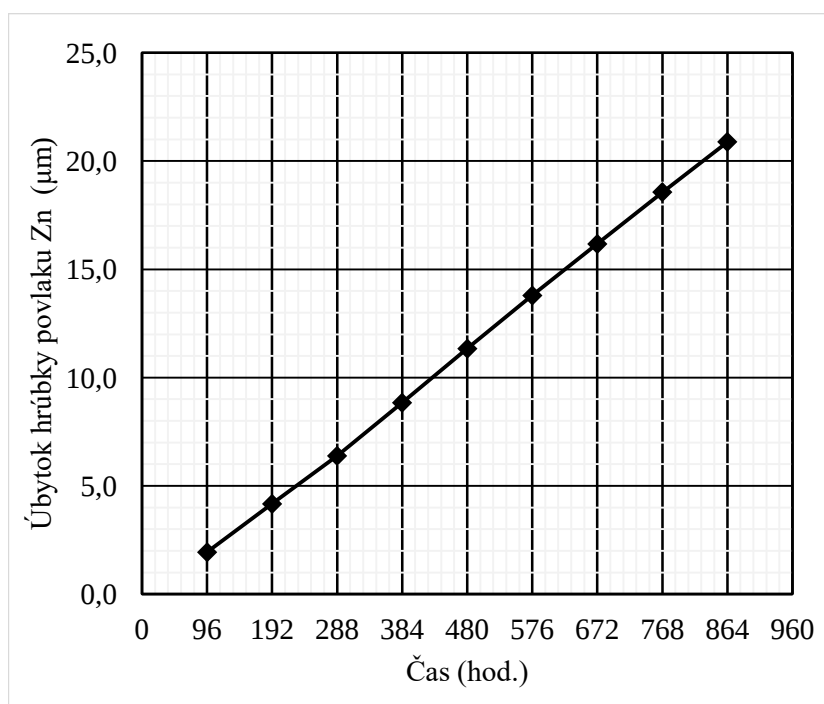


V mieste bez korózie bola u ZnAl povlaku stanovená pôvodná hrúbka povlaku

Obr.24 Príklad výbrusu drôtu pred a po odstránení povlaku Zn a ZnAl s vytvorenou intermetalickou vrstvou počas žiarového pozinkovania.

#### 4.2.1.5 Odolnosť v soľnej komore

Korózna odolnosť drôtov zváraných siete dodávanej na stavby sa overovala skúškou v soľnej hmle.



Obr. 25 Spotreba povlaku Zn počas skúšky v soľnej komore v roku 1995 podľa DIN 50021

V roku 1995 sa uskutočnili skúšky na pobočke TSÚS v Tatranskej Štrbe. Na obr.25 je zakreslená priemerná krivka zo štyroch skúšok. Dĺžka skúšok bola 864 hodín, čo bolo viac, ako požiadavka min. 350 hodín uvedená v TKP č.31 z roku 1995. Dĺžka skúšky až 864 hodín umožnila sledovať postupný výskyt hrdze na jednotlivých vzorkách.

Na obrázku je vidieť, že úbytok povlaku Zn bol lineárny. To nám umožnilo extrapolovať čiaru úbytku povlaku a stanoviť orientačne čas približne 1500 hodín, keď sa mohol spotrebovať celý povlak čistého Zn.

Pri analyzovaní a ďalšom použití výsledkov skúšok

v soľnej komore je nutné stále pamätať na to, že vzorka sa nachádza vo veľmi agresívnom umelom prostredí, ktoré nezodpovedá reálnym podmienkam a priebeh skúšky je taktiež podriadený skrátenému času a nutnosti merať úbytky po časovo krátkych etapách oproti reálnemu času pôsobenia prírodného prostredia.

V minulosti sa skúšky vykonávali podľa DIN 50021, dnes sa tieto skúšky vykonáva podľa STN EN ISO 9227.

## 4.2.2 Skúšky zemín

### 4.2.2.1 Zisťovanie pH zeminy

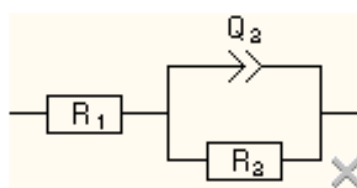
Hodnota pH zeminy sa stanovovala podľa BS 1377-3 [57]. Postup skúšky je nasledovný:

Krok 1: Odobraná vzorka zeminy sa zmieša s identickým podielom demineralizovanej vody.

Krok 2: Získaný roztok sa vloží do miešadla po dobu 24 hod.

Krok 3: Po ukončení miešania a sedimentácii trvajúcej 1 hod. sa zmeria pH na povrchu vodnej fáze.

### 4.2.2.2 Zisťovanie merného odporu (resistivity) zeminy



Merný odpor zeminy sa stanovoval podľa BS 1377-3. Postup skúšky je nasledovný:

Krok 1: Prostredníctvom impedancie bol nameraný odpor ( $R_1$ ) zeminy (pôdy).



Krok 2: Vzorka zeminy (15g) bola vložená do striekačky a zaťažená váhou 200g do 10ml (3,5cm), plocha striekačky je  $3,14 \text{ cm}^2$ , obr. 26.

$$\text{Merný odpor zeminy } \rho = R_1 \cdot \frac{3,14E-4 \text{ m}^2}{0,035 \text{ m}} \quad [ \Omega \text{m} ]$$

Obr.26 Stanovenie merného odporu zeminy

## 4.3 Prehľad dodávok a parametrov zvarovaných sietí na skúmané stavby

### 4.3.1 Kvalitatívne parametre gabionového materiálu v rokoch 1993 – 2000 (Zn)

#### 1. požiadavka

Hmotnosť ochranného povlaku Zn podľa DIN 1548 a STN 42 6406 je v tomto období  $275 \text{ g/m}^2$  pre gabionové materiály priemeru 3,5–4,0 mm. V záujme zvýšenia kvality a redukovania chýb technologickej disciplíny pri výrobe pozinkovaného drôtu, hlavne v oblasti rovnomernosti povlaku, sa plošná hmotnosť povlaku zvyšuje požiadavkou vtedajšieho tuzemského výrobcu spoločnosti COMPAG s.r.o. a dodávateľa gabionových výrobkov.

## 2. požiadavka

Korózna odolnosť Zn v danom období podľa DIN 50021 v chloride sodnom nebola pre drôty používané na gabiony stanovená. Od roku 1993 sa všeobecne používalo kritérium prevzaté zo švajčiarskych predpisov a zapracované do TKP č.31 s hodnotou odolnosti 350 hod.

Samotná výroba drôtu na Slovensku s hrubým náberom Zn pre daný účel započala v období roku 1993 spolu so skúškami zvariteľnosti a výroby sietí vo veľkých sériách. Tým sa umožnilo zastaviť dovoz výrobkov zo zahraničia a na dlhé obdobie boli na slovenskom a českom trhu zvárané siete pre gabiony len tuzemského pôvodu. Uvedený stav trval takmer do roku 2003. V nasledujúcom období sa na trhu začali objavovať dovozy sietí hlavne z Poľska a následne prienik výrobkov z Talianska, Španielska a Číny, čo je situácia súčasnosti.

V období rokov 1993–2000 sa prepracováva TKP č.31 Zvláštne zemné konštrukcie a hranice odolnosti v chloride sodnom sa posúvajú na úroveň 500 hod.. Následne, s prílevom zahraničných výrobkov otáznej kvality, sa požiadavka zvyšuje na 1000 hod..

## 3. požiadavka

V rokoch 1993-2000 je kladená na zvarované siete požiadavka odolnosti či kvality povlaku v ohybe proti praskaniu povlaku Zn, čo vyplývalo zo zaužívanej tradície a nutnosti výrobcu pletených dvojzákrutových sietí, kde dochádzalo ku praskaniu v samotnom dvojzákrute. Odstránenie praskania povlaku v systéme rovných zváraných drôtov bolo jednou z mnohých predností gabionových zváraných sietí. Zvárané siete z drôtu s povlakom Zn z uvedeného dôvodu vykazovali predpoklad vyššej odolnosti voči korózii.

Uvedené tri požiadavky (kritéria kvality) boli v danom období až do začiatku výroby protikorózných povlakov ZnAl v tuzemsku v roku 2004 hlavnými kvalitatívnymi ukazovateľmi pre gabionové výrobky. V zásade zostali platné aj pre ďalšie obdobie, i keď sa znížil dôraz na preskúšanie kritéria na praskanie povlaku ohybom. Uvedené kritérium zostalo však štandardným overením u výrobcov drôtu a je odporúčané aj pre pletené siete s dvojzákrutom.

### 4.3.2 Kvalitatívne parametre gabionového materiálu v rokoch 2004 – 2009 (Zn+5%Al)

V období rokov 2004-2009 až po súčasnosť registrujeme na území SK a CZ nábeh používania povlakov ZnAl pre drôty určené do gabionových sústav všeobecne. Samotná prímes Al v povlaku dramaticky ovplyvnila odolnosť voči praskaniu a umožnila taktiež zvýšiť kvalitu povlaku hlavne po stránke rovnomernosti na povrchu drôtu.

Pri skúškach v chloride sodnom sa ukázal i radikálny vplyv na zvýšenie koróznej odolnosti, ktorý v zahraničí bol už známy. Po zvýšení povedomia u investorov a projektantov dochádza v roku 2004 k masovému využitiu vplyvom firiem COMPAG SK s.r.o. a ALGON a.s. v oblasti Gabionovej stavebnice bez dvojitých stien zo zvarovaných sietí.

Odolnosť sietí podľa STN EN 9227 sa posunula v predpise TKP č.31, ako jedinom predpise v danom období zaoberajúcom sa kvalitatívnymi parametrami gabionov, na úroveň 1000 hod. V praxi, hlavne po spustení výroby „pokročilých„ povlakov zmesi Zn-5%Al s pridaním stopových prvkov ovplyvňujúcich odolnosť voči korózii, sa hranica odolnosti skutočne dodávaných výrobkov posunula podľa záujmu a finančných schopností investorov až na hranicu 2000 hod. a viacej. Žiaľ tlak v cenovej oblasti spôsobil, že požiadavka na hodinovú odolnosť v projektoch podľa STN EN 9227 sa neobjavuje alebo je neekonomicky stanovovaná. Poriadok v danej oblasti mala priniesť norma STN EN 10 223-8:2014, čo sa však nestalo z dôvodu nejasnosti niektorých tabuliek normy, ktoré pôsobia zavádzajúco na nezodpovedných projektantov a stavebných dozorov.

Kritérium plošnej hmotnosti sa v súčasnosti riadi podľa STN EN 10 244-2, class.A pre hrubé povlaky na drôte a zostalo na úrovni min. 275 g/m<sup>2</sup>. V praxi sa však štandardne, z dôvodu zvyklostí

a istej bezpečnosti s ohľadom na nekvalitný korózný prieskum alebo neexistujúci pred použitím výrobkov, požaduje povlak o plošnej hmotnosti 350 g/m<sup>2</sup>. Vhodnejšia by z kvalitatívneho hľadiska bola preukázaná odolnosť podľa STN EN 9227 na úrovni min. 1000 hod v súlade s STN EN 10 223-8. Predpisovanie odolnosti 2000 hod. je opodstatnené podľa STN EN 1990 len výnimočne za zvláštnych a preukázaných podmienok koróznym prieskumom. Uvedená skúška overí podstatnú korozívnu odolnosť v čase aspoň na teoretickej úrovni a správca gabionového objektu by mal minimálne s odstupom 10 rokov si nechať posúdiť objekt u odbornej kvalifikačne vybavenej organizácie, ale týmto problémom sa budeme zaoberať v závere správy.

Korózna odolnosť ZnAl podľa STN EN 9227 je definovaná v STN EN 10223-8 nasledovne :

- kovový povlak Zn+5%Al má štandardne odolnosť min 1000 hod.
- kovový povlak Zn+5%Al+MM „pokročilý“ má štandardne odolnosť min 2000 hod.

## ***Výsledky výskumu***

V tejto kapitole sú zhrnuté a analyzované výsledky realizovaného výskumu.

### **5 Výsledky a vyhodnotenie výsledkov skúšok vzoriek s povlakom Zn**

#### **5.1 Výsledky vizuálnej kontroly skúšobných vzoriek**

Pri odbere vzoriek z gabionových objektov v rokoch 2018-2019 sa ihneď vykonávala vizuálna kontrola a hodnotenie vzorky. Hľadali sa oblasti s prípadnou koróziou na povrchu drôtu. Musíme konštatovať, že okrem ojedinelej vzorky, ktorá bola z rokov 1993-1994 a siete boli inštalované na vodnej nádrži v horskom prostredí, neboli na vzorkách zistené žiadne stopy korózie. Na vzorkách zo zasypaného prostredia zeminou, ktoré boli odkopané, sa posudzoval stav vzorky. V niektorých prípadoch sa zemina nalepila na samotný drôt, zjavne sa jednalo o plastickejšiu prevlhčenú zeminu.

Všetky zistenia sú sumarizované v prílohách 1, 2 a 3 vrátane fotografickej dokumentácie.

Vo výkope boli odobraté vzorky zeminy, na ktorých sa v odbornom laboratóriu testovali dva parametre a to pH a merný odpor zeminy. Finančná náročnosť neumožnila testovať viacej vzoriek zeminy na jeden objekt a žiaľ ani na viacej parametrov. To sa týka aj atmosférických vzoriek, kde sa informácie o sírnikoch a chloridoch, či inom znečistení zisťovali z iných výskumov zameraných na atmosféru alebo zeminu, či chemizmus vody v zemine a okolí.

#### **5.2 Výsledky skúšok drôtov**

V prílohách sa uvádzajú výsledky skúšok drôtov a zemín v odbornom laboratóriu. Zisťovala sa zostatková plošná hmotnosť povlaku drôtov zvarovaných sietí z gabionových konštrukcií v kontakte s atmosférickým a geologickým prostredím. V prílohe 3A sú výsledky skúšok vzoriek nachádzajúcich sa na povrchu konštrukcie, ktoré boli v kontakte s atmosférickým prostredím. V prílohe 3B sú výsledky skúšok vzoriek nachádzajúcich v časti konštrukcie, ktoré boli v kontakte s geologickým prostredím, zásypom (pôdou).

#### **5.3 Výsledky skúšok zemín**

Výskum bol osobitne zameraný na koróznou odolnosť drôtov zvarovaných sietí v gabionových konštrukciách, ktoré sú v kontakte so zeminou (pôdou). Preto sa na všetkých lokalitách odoberali vzorky zemín, ktoré boli bezprostredne v kontakte so skúšobnou vzorkou siete. V laboratóriu sa merala hodnota pH a merný odpor. Výsledky laboratórnych skúšok vzoriek zemín sa uvádzajú v Prílohe 3B.

## 5.4 Hodnotenie atmosférického prostredia v mieste gabionových konštrukcií

K vyhodnotenie priebehu korózie drôtov zvarovaných sietí na povrchu gabionových konštrukcií potrebujeme vedieť, aké atmosférické prostredie sa nachádza v mieste gabionovej konštrukcie. Vzhľadom na nedostatok podrobnejších informácií z jednotlivých lokalít sme museli pristúpiť k odbornému odhadu stupňa korózne agresivity atmosférického prostredia v súlade s tab.1. Výsledok hodnotenia a stanovené stupne korózne agresivity prostredia pre jednotlivé lokality sú v Prílohe 1, 3A a 4.

Lokalitám, ktoré sa nachádzajú v prírodnom prostredí, vo veľkej vzdialenosti od zdroja znečistenia, sme prisúdili stupeň korózne agresivity C1-C2. Štyrom lokalitám s priemerným ročným úbytkom povlaku 0,60  $\mu\text{m}$ , ktoré sa nachádzajú v blízkosti alebo na okraji väčších aglomerácií, alebo v tesnej blízkosti komunikácie sme prisúdili stupeň C2 a trom lokalitám s mierne vyšším úbytkom povlaku Zn 0,70  $\mu\text{m}$  stupeň C2-C3. Na dvoch lokalitách sa nachádza atmosférické prostredie so stupňom C3. Jedna z lokalít je v tesnej blízkosti električkovej trate a druhá je v tesnej blízkosti čerpacej stanice pohonných hmôt.

## 5.5 Vyhodnotenie skúšok kontaktných zásypových zemín

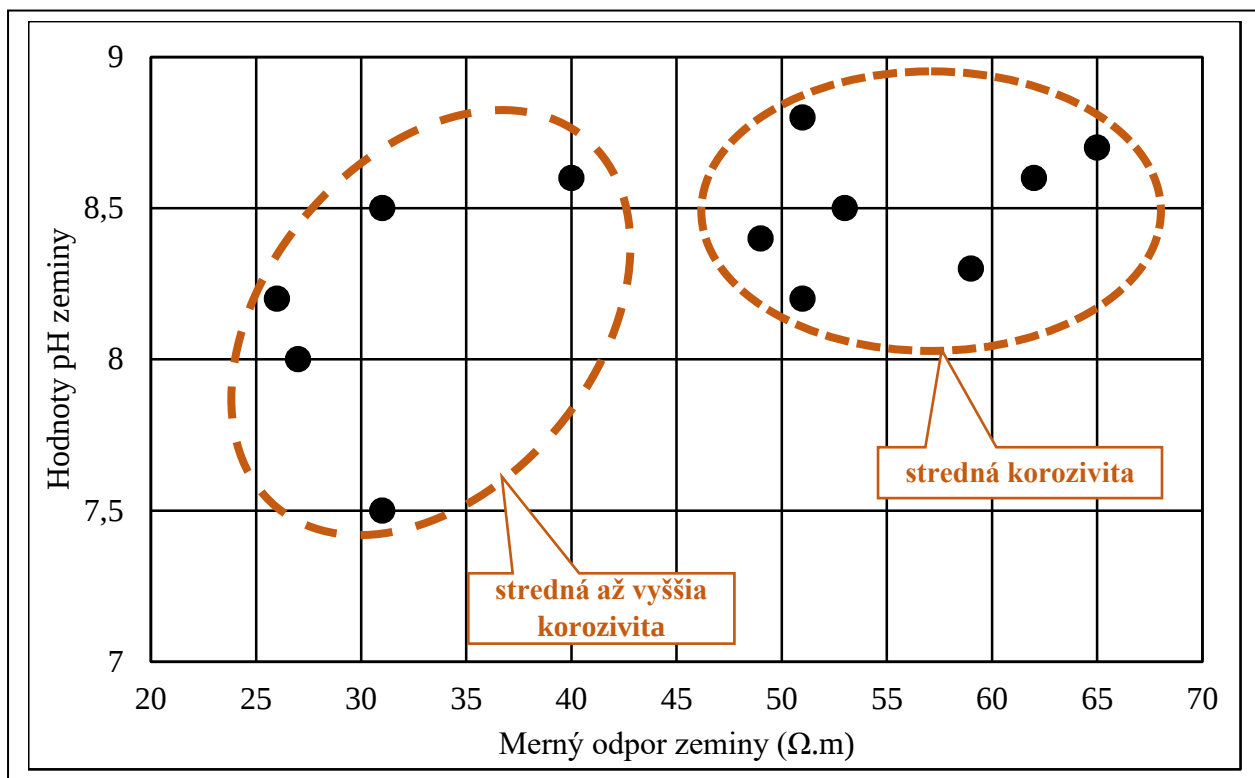
Na základe výsledkov hodnôt pH a merného odporu sa stanovila korozivita zemín, a zvážením ostatných známych informácií z lokalít, ktoré sú zachytené v Prílohách 1, 2 a 4 bola definovaná korozivita zemín tab.27.

Tab. 27 Vyhodnotenie korozivity vzoriek zemín odobratých na jednotlivých lokalitách

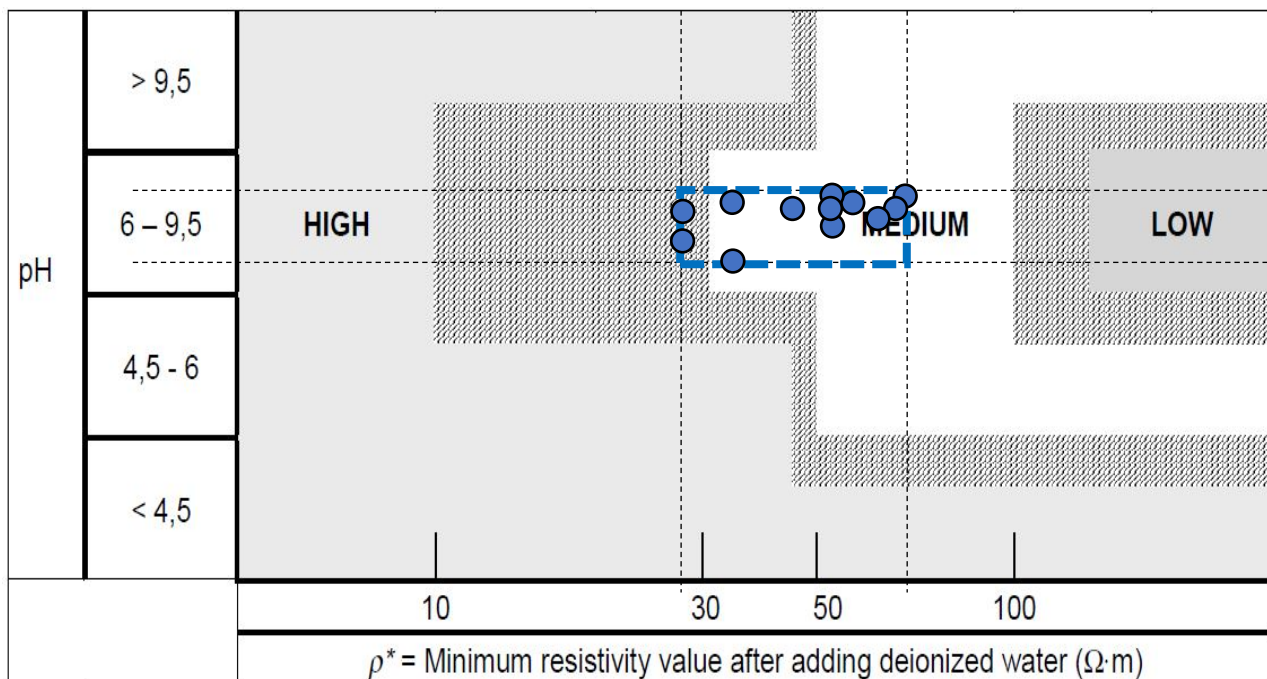
| Vzorka zeminy, lokalita | Hodnota pH | Merný odpor               | Hodnotenie korozivity zemín podľa STN EN ISO 12 501-2 |
|-------------------------|------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|
|                         |            | ( $\Omega\cdot\text{m}$ ) |                                                       |
| 1A                      | 8,4        | 49                        | Stredná                                               |
| 2B                      | 8,5        | 53                        | Stredná                                               |
| 3A                      | 8,0        | 27                        | Stredná až vyššia                                     |
| 4A                      | 8,7        | 65                        | Stredná                                               |
| 5A                      | 8,2        | 51                        | Stredná                                               |
| 6A                      | 7,5        | 31                        | Stredná až vyššia                                     |
| 7A                      | 8,2        | 26                        | Stredná až vyššia                                     |
| 8A                      | 8,6        | 62                        | Stredná                                               |
| 9A                      | 8,6        | 40                        | Stredná až vyššia                                     |
| 10A                     | 8,8        | 51                        | Stredná                                               |
| 11A                     | 8,5        | 31                        | Stredná až vyššia                                     |
| 12A                     | 8,3        | 59                        | Stredná                                               |

Na obr. 27 je znázornená závislosť „hodnota pH-merný odpor“ skúšaných zemín z tab.29 a je zapísané hodnotenie korozivity zemín na základe hodnôt pH a merného odporu. Zohľadnilo sa hodnotenie korózneho zaťaženia zeminy uvedené v STN EN 12501-2, čl.4.2.4, tab.2. Podľa tohto hodnotenia všetky skúšané zeminy s pH = 7,5 až 8,8 patria do rozptylu 6 až 9,5, čo predstavuje strednú korozivitu. Preto bolo hodnotenie korozivity skúšaných zemín uskutočnené len podľa hodnoty merného odporu.

Na obr. 28 je prekreslená schéma závislosti hodnoty pH/merného odporu zeminy uvedená v STN EN 12501-2, tab.2 pre nízkolegované a legované železné materiály a do nej sú zaznamenané údaje z tab.32 o zeminách v jednotlivých lokalitách výskumu, kde sme vykonali odber vzoriek. Ako sme na inom mieste už spomenuli jedná sa o oblasť lokalít siahajúcu od Bratislavy cez Trenčín, Žilinu, Čadcu až po Dolný Kubín a Martin.



Obr.27 Hodnotenie korozivity zemín na základe výsledkov skúšok



Obr. 28 Korozivita zemín v miestach odberu vzoriek vo vzťahu ku pH a mernému odporu zeminy podľa STN EN 12 501-2 so zakreslenými zeminami z lokalít z rokov 1994 -1998

Sme si vedomí toho, že pre povlak Zn a povlak Zn+5%Al budú hranice v grafe v norme posunuté „dola“ (teda do miernejších hodnôt), no v súčasnosti nie je dostatok informácií na stanovenie presnej veľkosti posunu. Na odhad veľkosti posunu hranice medzi nižším a stredným koróznym namáhaním v obr.28 môžeme použiť rozdiel medzi požiadavkou v STN EN 12501-2 pre nízkolegované a legované železné materiály (100  $\Omega.m$ ) a požiadavku firmy Reinforced Earth na ich kovovú výstuž s veľmi hrubým povlakom Zn (30  $\Omega.m$ ). Rozdiel predstavuje až 70  $\Omega.m$ . Môžeme

predpokladať, že pre sieť s povlakom Zn s plošnou hmotnosťou 275 až 350 g.m<sup>-2</sup> sa hranica na obr.28 medzi nižšou a strednou korozivitou posunie zo 100 na 70 Ω.m a hranica medzi strednou a strednou až vyššou korozivitou z 30 na 20 Ω.m. V tom prípade by korozivita skúmaných zemín bola pre Zn a ZnAl definovaná ako „stredná“, tab.28.

Tab. 28 Použitie obr. 28 na úpravu hodnôt merného odporu zemín na zaradenie korozivity zemín podľa tab. 13 pre Zn a ZnAl

| Hodnota pH | Merný odpor (Ω.m) | Korozivita zeminy |                   |         |                   |        |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------------|--------|
| 6,0 až 9,5 | <10               | Vyššia            |                   |         |                   |        |
|            | 10 až 20          |                   | Stredná až vyššia |         |                   |        |
|            | 20 až 70          |                   |                   | Stredná |                   |        |
|            | 70 až 100         |                   |                   |         | Stredná až nižšia |        |
|            | >100              |                   |                   |         |                   | Nižšia |

## 5.6 Vyhodnotenie sietí s povlakom Zn

Na vyhodnocovanie výsledkov skúšok odolnosti povlaku Zn na povrchu drôtov zvarovaných sietí sme použili dve metodiky.

### 5.6.1 Úbytok hrúbky povlaku Zn – Metodika 1

Na obr. 29 je zobrazená kombinácia výsledkov skúšok v soľnej komore a spotreba hrúbky povlaku v atmosfére a v zemine na drôtoch umiestnených na stavbách po 20 až 24 rokoch. Priemerné hodnoty spotreby povlaku, ako jediný bod, boli umiestnené na krivku získanú zo skúšok v soľnej komore.

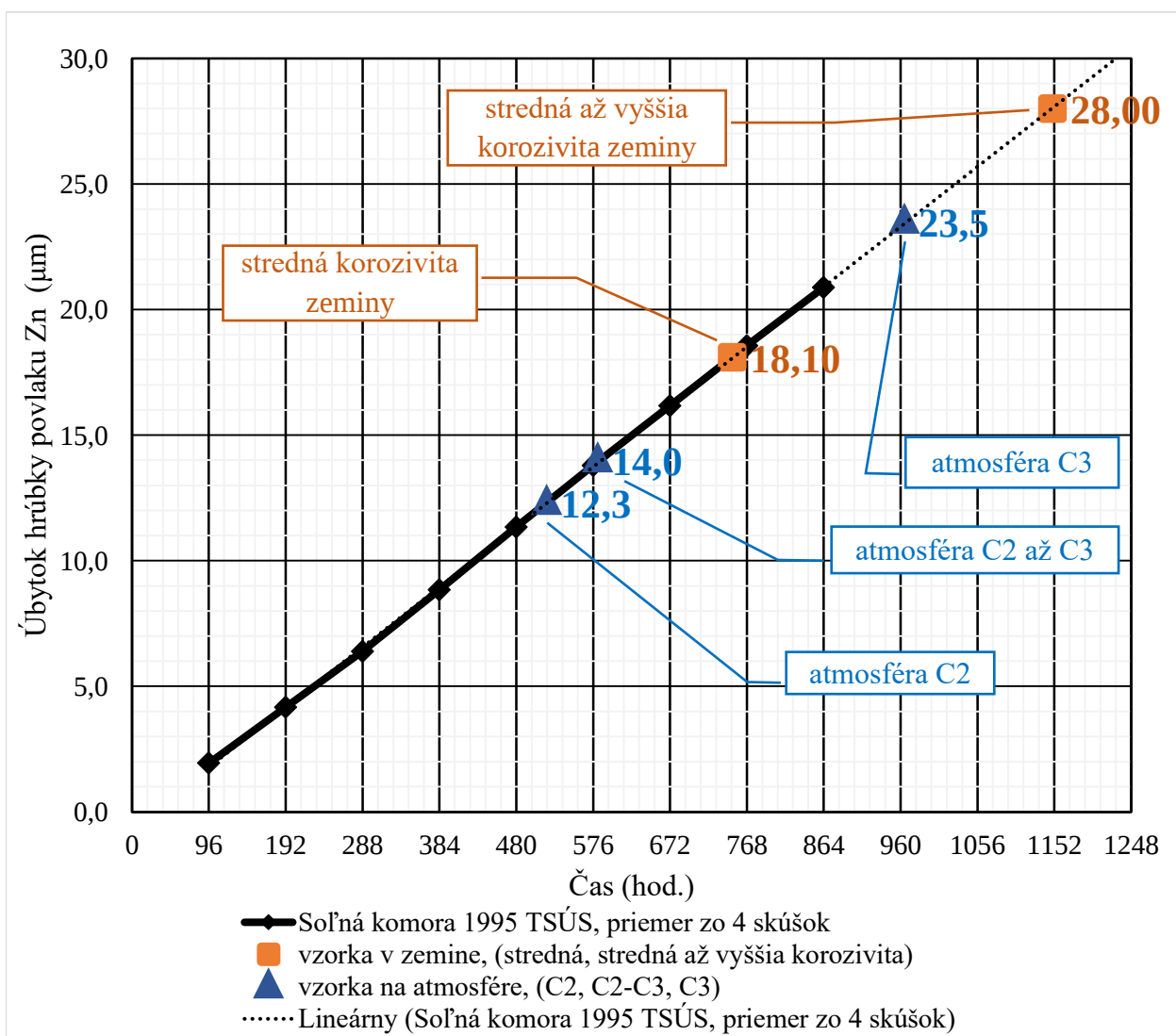
Na vyhodnotenie uvedené v obr.29 sme využili hodnoty z laboratórneho protokolu z roku 1995 zisťované počas skúšky v soľnej komore podľa DIN 50021 ako hodnoty postupne sa meniacej hrúbky kovového povlaku na drôte po jednotlivých časových cykloch v súlade s normou.

Uvedené hodnoty v rôznom koróznom prostredí atmosféry a zeminy platí na spotrebu povlaku drôtu po 20 rokoch. Úbytok povlaku Zn zistený z odobraných terénnych vzoriek pri laboratórnych skúškach rôzne starých vzoriek sietí bol prepočítaný pomocou priemerného ročného úbytku na 20-ročné časové obdobie.

Napriek obmedzeniam uvedeným v kap. 4.2.1.5 môže uvedený graf slúžiť na ďalšie použitie výsledkov skúšok v soľnej komore realizovaných na vzorke drôtu sietí dodaných v súčasnosti na konkrétnu stavbu, kde sa použijú gabionové koše. Graf môže slúžiť na orientačné stanovenie predpokladanej trvanlivosti povlaku, tj. časovej spotreby povlaku. A to v atmosfére aj v zemine.

Ak do obr. 29 vložíme informácie o úbytku povlaku Zn pre atmosféru C2 a C3 podľa STN EN ISO 14713-1 (pozri tab. 4) a časové obdobie 20 rokov, výsledok je vidieť na obr.30. Ak by sme vložili hodnoty deklarované v STN EN ISO 9224 (tab. 6) z terénnych skúšok, tak línia rozhrania C2-C3 sa zníži na úroveň 8,0 μm/20 rokov. Treba si však uvedomiť mimoriadny rozdiel medzi laboratórnym lineárnym priebehom korózie, kde sa pri každom cykle odstraňuje ochranná vrstva z povlaku a terénnym logaritmickým priebehom znižovania hrúbky povlaku. Problematika je opísaná v kapitole 3.5.1.

Všeobecné využitie výsledku aktuálnej skúšky drôtu s povlakom Zn s kompletným záznamom je vidieť na obr. 30. Výskumom sa overilo, že priemerný celkový úbytok povlaku Zn po 20 rokoch v prostredí C2 pri logaritmickom priebehu úbytku povlaku je 12,3 μm (pozri Prílohu 5C). Napríklad z hodnoty 12,3 μm na vodorovnej osi odčítame hodnotu cca. 520 hodín. Znamená to, že po 520 hodinách pobytu drôtu v soľnej komore ubudne z povlaku Zn približne rovnako, ako v reálnej konštrukcii po 20-tich rokoch.

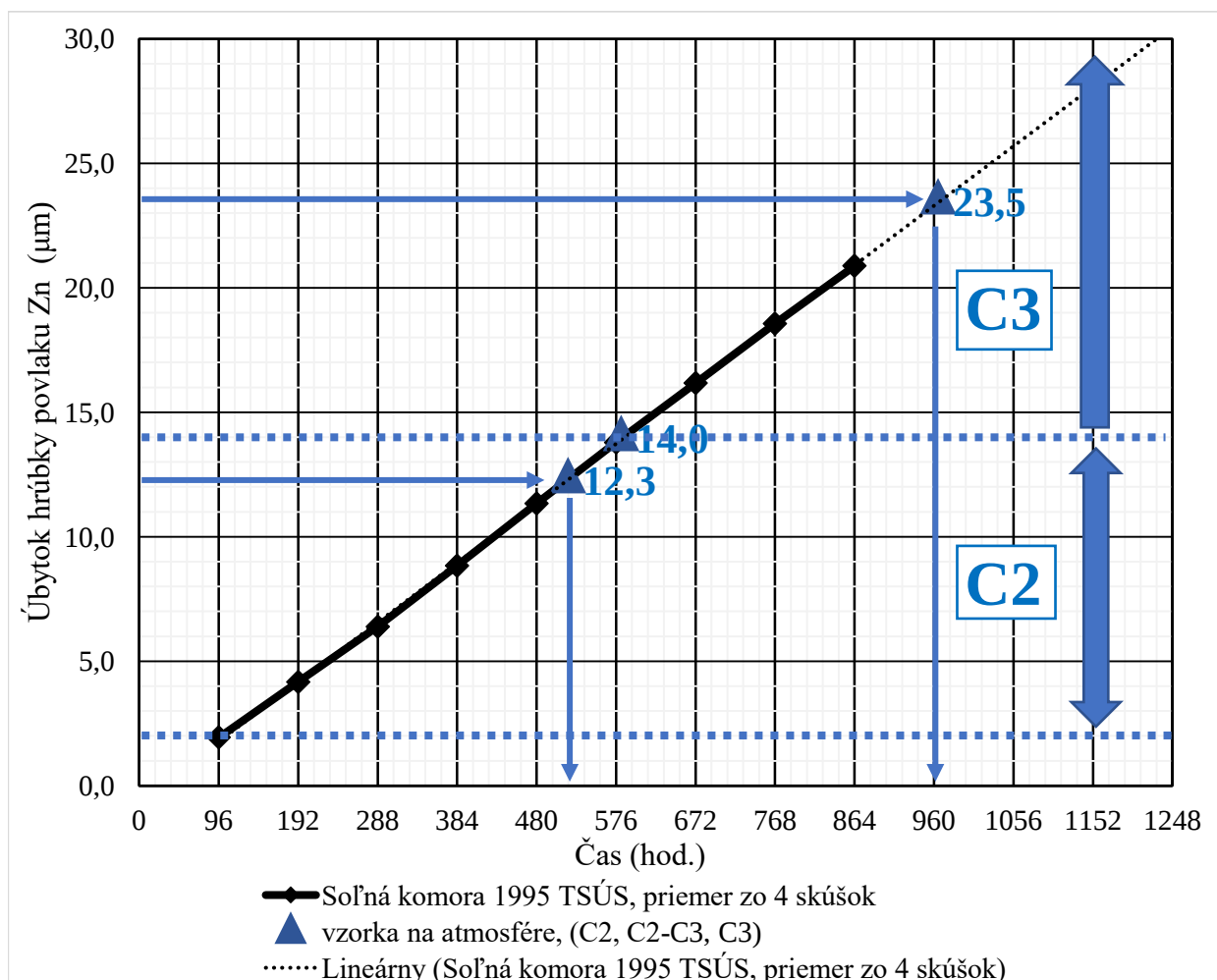


Obr.29 Spotreba povlaku Zn počas počiatočnej skúšky v soľnej komore v roku 1995 a korelácia na výsledky terénnych vzoriek na drôte v zemine a atmosfére po 20 rokoch

Znova je však na mieste pripomenúť kapitolu 3.5.1 a rozdielnosť laboratórneho lineárneho priebehu a očakávaného logaritmického priebehu korózie potvrdeného i normou STN EN ISO 9224. Z uvedeného môžeme potvrdiť aj mieru bezpečnosti a to skutočnosť, že ak zvolíme požiadavku korozívnej odolnosti podľa STN EN 9227 na úrovni min. 500 hod., podľa vyššie uvedeného je zaručená reálna trvanlivosť vyššia ako 20 rokov už pri hrúbke Zn povlaku 12,0 µm (85,8 g/m<sup>2</sup>) v hraničnom prostredí C2-C3. Pri hrúbke povlaku 48,95 µm (350 g/m<sup>2</sup>) je predpoklad v súlade s tab. 6 v kap. 3.5.1 a zisteniami z výskumu, že trvanlivosť povlaku Zn (nezapočítavame intermetalickú vrstvu, ani ocel' drôtu) je možné očakávať v hodnote 122 rokov v atmosfére C2-C3 (podľa STN EN ISO 14 713-1) obvyklej v západnej časti SR mimo mestských aglomerácií.

Podobne je to aj v prípade, že sa gabionová konštrukcia nachádza v atmosfére C3. Ak hore uvedenú metodiku na vyhodnotenie obr.30 použijeme pre hodnotu 23,5 µm, tak tomu zodpovedá dĺžka skúšky v soľnej komore približne 960 hodín.

Hodnoty úbytku povlaku Zn zanesené do obr.30, 12,3 µm pre atmosféru C2 a 23,5 µm pre atmosféru C3, však platia len pre 20-ročnú gabionovú konštrukciu. Ak by sme chceli použiť uvedenú metodiku napr. na 70-ročnú gabionovú konštrukciu, môžeme využiť hodnoty z Príloh 5C a 5E.



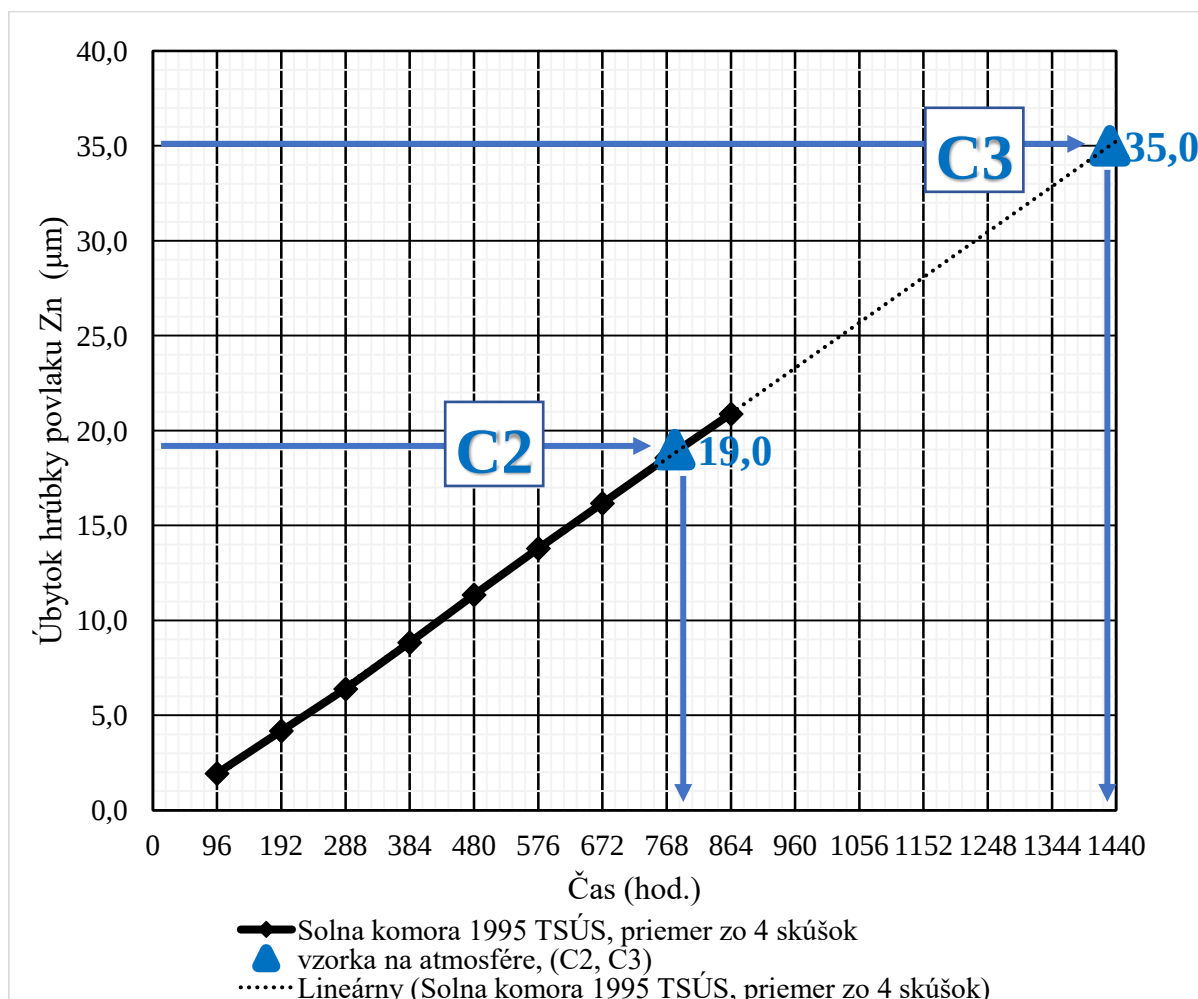
Obr.30 Kombinácia výsledkov skúšky v soľnej komore, laboratórnych skúšok vzoriek z reálnych stavieb a informácie o lineárnom úbytku povlaku Zn pre atmosféru C2 a C3 podľa STN EN ISO 14713-1

Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn v atmosfére C2 (priemer z 3 vzoriek) v Prílohe 5F odhadneme celkový úbytok povlaku po 70-tich rokoch 19,0 µm. Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn v atmosfére C3 (priemer z 2 vzoriek) v Prílohe 5F stanovíme celkový úbytok povlaku po 70-tich rokoch 35,0 µm. Po vložení týchto hodnôt do grafu, získame výsledok na obr.31.

Z obr. 31 je vidieť, že ak by sa skúška v soľnej komore použila na odhad stavu siete s povlakom Zn po 70 rokoch v reálnej gabionovej konštrukcii, pre atmosféru C2 postačuje dĺžka skúšky 1000 hodín a pre atmosféru C3 1500 hodín.

Podobnú analýzu možno urobiť aj pre vzorky v kontakte so zeminou. Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn v zemi so strednou korozivitou (priemer zo 7 vzoriek) v Prílohe 6D stanovíme celkový úbytok povlaku po sedemdesiatich rokoch 27,1 µm. Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn v zemi so strednou až vyššou korozivitou (priemer z 2 vzoriek) v Prílohe 6D stanovíme celkový úbytok povlaku po sedemdesiatich rokoch 41,5 µm. Po vložení týchto hodnôt do grafu, získame výsledok na obr.32.

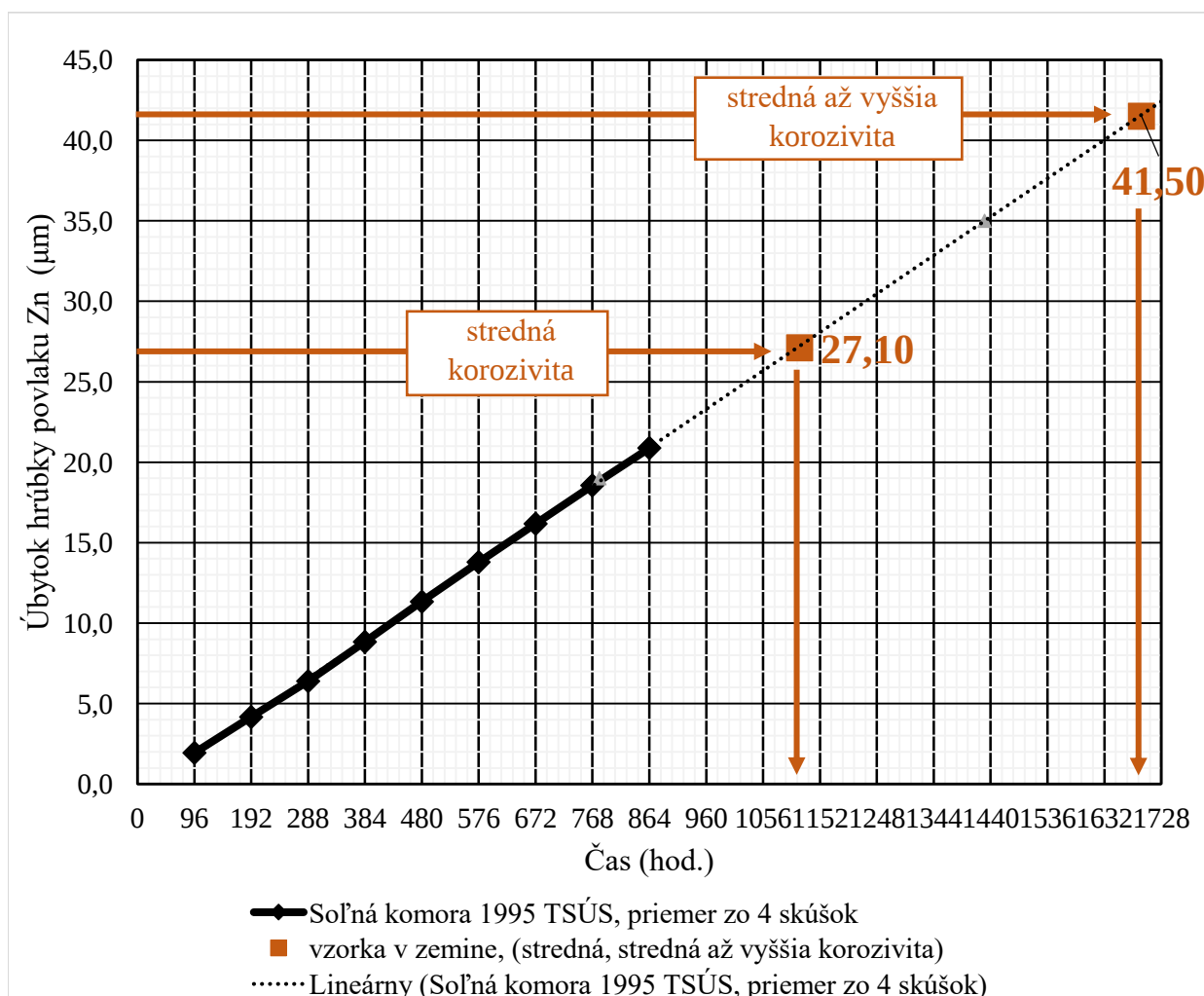
Z obr. 32 je vidieť, že ak by sa skúška v soľnej komore použila na odhad stavu siete s povlakom Zn po 70 rokoch v reálnej gabionovej konštrukcii, pre zeminu so strednou korozivitou dĺžka skúšky by mala byť min. 1152 hodín a pre zeminu so strednou až vyššou korozivitou by to malo byť min. 1728 hodín.



**Obr.31** Kombinácia výsledkov skúšky Zn povlaku v soľnej komore z roku 1995 a o úbytku povlaku Zn pre atmosféru C2 a C3 podľa kritérií STN EN 14713-1 s aplikáciou výsledkov laboratórnych skúšok vzoriek z reálnych stavieb na obdobie 70 rokov

Požadovaná dĺžka skúšky v soľnej komore na základe analýzy obr.31 a 32 platí pre povlak Zn. Dnes sa používajú kvalitnejšie povlaky Zn+5%Al a tiež pokročilejšie povlaky s prísadami iných prvkov ( Mn, Si, a pod.), takže potreba 1000 hodín, resp. 1500 hodín bude pravdepodobne pre tieto nové povlaky dostatočná.

Znamená to tiež, že v súčasnosti prezentovaná požiadavka 2000 hodín uvedená v STN EN 10 223-8 na skúšky sietí s povlakom Zn+5%Al a kvalitnejšími povlakmi v soľnej komore, by nemala byť štandardná, ale je potrebná len vo výnimočných prípadoch a pre gabionové konštrukcie v agresívnej atmosfére alebo v kontakte so zemínou s vyššou korozivitou. Požiadavka nad 2000 hodín, dokonca až 6000 hodín je nepodložená, nezdôvodniteľná a ekonomicky neefektívna!



Obr.32 Kombinácia výsledkov skúšky Zn povlaku v soľnej komore z roku 1995 a úbytku povlaku Zn v zemine s aplikáciou výsledkov laboratórnych skúšok vzoriek z reálnych stavieb na obdobie 70 rokov

### 5.6.2 Úbytok hrúbky povlaku Zn – Metodika 2

Domnievame sa, že najvýznamnejším výsledkom predmetného výskumu sú krivky v prílohách 5A až 5F a 6A až 6D. V prílohách je zobrazený časový priebeh úbytku (tj. spotreba) povlaku na povrchu drôtov. Principiálne sme uvažovali kombináciu väčšej rýchlosti korózie v prvých rokoch a pomalší, ale nie lineárny, priebeh korózie v ďalších rokoch. Krivky majú preto logaritmický priebeh s väčším úbytkom povlaku v prvých rokoch existencie stavby a sú extrapolované na dlhšie časové obdobie presahujúce čas odberu. Zvolili sme logaritmický priebeh úbytku povlaku, pretože je to pravdepodobne často používaný model priebehu korózie v atmosfére (pozri obr.8a) a najlepšie zodpovedá realite. Vzhľadom na nedostatok informácií o korózii kovov s ochranným povlakom v zemine, sme model na obr.8a použili aj na zobrazenie úbytku kovového povlaku na povrchu drôtov zvarovanej siete v kontakte so zeminou.

Vhodnosť výberu logaritmickej krivky (matematického modelu podľa obr.8a) potvrdzuje aj konštatovanie v STN EN ISO 9224, kap. 4, že rýchlosť korózie kovov nie je konštantná a postupom času sa spomaľuje. Takže pri vynesení celkového poškodenia (tj. úbytku hrúbky kovu) v čase v logaritmickej stupnici je priebeh úbytku obyčajne lineárny.

Každá krivka v prílohách 5A až 6D je preložená bodom, ktorý zodpovedá hrúbke povlaku stanovenej zo zostatkovej plošnej hmotnosti povlaku drôtu po rokoch od termínu výstavby (20 až 24 rokov) zistenej laboratórnou gravimetrickou skúškou. Krivky pretínajú zvislú os v bodoch, ktoré zodpovedajú počiatočnej hrúbke povlaku.

Analýza logaritmického priebehu úbytku hrúbky povlaku Zn v kontakte s atmosférou C2 je v prílohe 5G. Pri analýze logaritmickkej krivky možno preukázať zásadnú podobnosť s normami alebo inými dokumentami, v ktorých sa uvádza väčšia rýchlosť korózie v počiatočných rokoch a spomaľujúca sa alebo konštantná rýchlosť korózie v ďalších rokoch. Dokazujú to dotyčnice logaritmickkej krivky v prílohe 5G, ktoré predstavujú konštantnú rýchlosť korózie. Prvá dotyčnica prechádza počiatočným bodom logaritmickkej krivky v čase „0“ a v našom prípade predstavuje rýchlosť korózie 3,0  $\mu\text{m}/\text{rok}$ . Druhá dotyčnica prechádza bodom logaritmickkej krivky v čase „70“ a predstavuje rýchlosť korózie 0,1  $\mu\text{m}/\text{rok}$ . Dotyčnica v čase „0“ môže predstavovať rýchlosť korózie v prvých rokoch.

Prezentovaným spôsobom možno analyzovať všetky logaritmické krivky v prílohách 5A až 6D. Rýchlosti korózie uvedené v prílohe v jednotke  $\mu\text{m}/\text{rok}$  možno porovnať s lineárnym a rovnomerným priebehom korózie podľa noriem a publikovaných dokumentov. Tým spôsobom možno overiť správnosť a použiteľnosť výsledkov nášho výskumu.

Na priebeh korózie v atmosfére možno použiť aj model v obr.8b, ako kombináciu logaritmickkej krivky v prvých rokoch a priamky v ďalších rokoch. Overenie vhodnosti tohto modelu, ako aj vhodnosť použitia logaritmickkej krivky na priebeh korózie v zemine, alebo presnejšie určenie dĺžky počiatočného obdobia s rýchlejšou koróziou možno v budúcnosti riešiť systematickým výskumom a analýzou väčšieho súboru výsledkov vzoriek z realizovaných stavieb.

#### **5.6.2.1 Úbytok hrúbky povlaku Zn v atmosfére**

V prílohách 5A až 5F je časový priebeh úbytku ochranného povlaku Zn na povrchu drôtov sietí v kontakte s atmosférou, ktorú sme stanovili podľa STN EN ISO 14 713-1.

V prílohe 5A je časový priebeh úbytku povlaku Zn na povrchu drôtov všetkých vzoriek v kontakte s atmosférou C1-C2, C2, C2-C3 a C3.

V prílohe 5B je časový priebeh úbytku ochranného povlaku Zn na povrchu drôtov v atmosfére C2 (4 vzorky vrátane lokality 6) a v Prílohe 5C v atmosfére C2 (3 vzorky, okrem lokality 6). Vzorka z lokality 6 má hrubší počiatočný povlak, preto je položená výrazne vyššie ako ďalšie tri krivky, Príloha 5C. Podstatný je sklon krivky, ktorý je pre jednotlivé vzorky v atmosfére C2 veľmi podobný. Hrubší ochranný povlak na vzorke 6 možno vysvetliť istou mierou nestálosti a technologickej nedisciplinovanosti v drôtovní v roku 1994. V danom období sa s výrobou a hlavne kvalitou potrebnou pre gabiony v SR len začínalo. Drôtovňa v záujme dosiahnuť kvalitatívne parametre požadované spracovateľom tohto výskumu hlavne v rovnomernosti povlaku overenia kvality podľa vtedy platnej DIN 50021 v chloride sodnom sa zamerala na čo najhrubší plošný povlak. Preto povlaky vtedy dosahovali normou [58] požadovaných 280  $\text{g}/\text{m}^2$  až extrémne hodnoty 450 až 530  $\text{g}/\text{m}^2$ . Taktiež bolo nutné splniť očakávania dobrej zvariteľnosti a kvalitnej príľnavosti ochranného Zn povlaku, aby bol odolný voči praskaniu pri ohybe, čo bolo pri zváraní potrebné.

V prílohe 5D sa nachádzajú krivky pre atmosféru C2-C3 a v Prílohe 5E pre atmosféru C3. Zaradenie do atmosférickej korózie je podľa STN EN 14 713-1, ktorá sa priamo viaže na lineárny priebeh skúšky podľa STN EN 9227 v chloride sodnom a je rozdielna voči STN EN 9224, ktorá uvádza logaritmické „korózne napadnutie pre rôzne stupne koróznej agresivity (tab.A.2)“. Kombináciu používame v priebehu celého vyhodnocovania vzoriek z terénu. Je to návrh metodiky prevodu laboratórnych lineárnych výsledkov podľa STN EN 9227 do časového reálneho definovania trvanlivosti gabionového objektu.

Zvolili sme uvedenú kombináciu vyhodnocovania korozívnej atmosféry podľa STN EN 14 713-1 a vykresľovania grafov podľa STN EN 9224, tj. logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn charakteristického pre reálny stav. Tým poukazujeme na vzťah medzi posudzovaním reálneho stavu gabionových objektov k výsledkom lineárneho vzťahu získaného skúškami podľa STN EN 9227. Takýto prístup je obvyklý a zažitý aj v praxi projektantov pre svoju jednoduchosť a získavané výsledky z laboratórnych skúšok počas výroby drôtu a sietí..

V Prílohe 5F sú priemerné krivky v atmosfére C2, C2-C3 a C3.

Dôležité je vyhodnotenie časového priebehu kriviek priemerného úbytku povlaku Zn v atmosférach C2, C2-C3 a C3 v Prílohe 5F. Sklon kriviek zodpovedá narastajúcej koróznej agresivite atmosférického prostredia od C2 po C3. Najplytší sklon má krivka pre atmosféru C2 a najstrmší sklon krivka pre atmosféru C3. Tieto krivky môžu slúžiť ako vzorové pre úbytok povlaku Zn na drôtoch zváraných sietí v gabionových konštrukciách budovaných na západnom Slovensku v línii Bratislava – Trnava – Trenčín – Žilina – Kysuce.

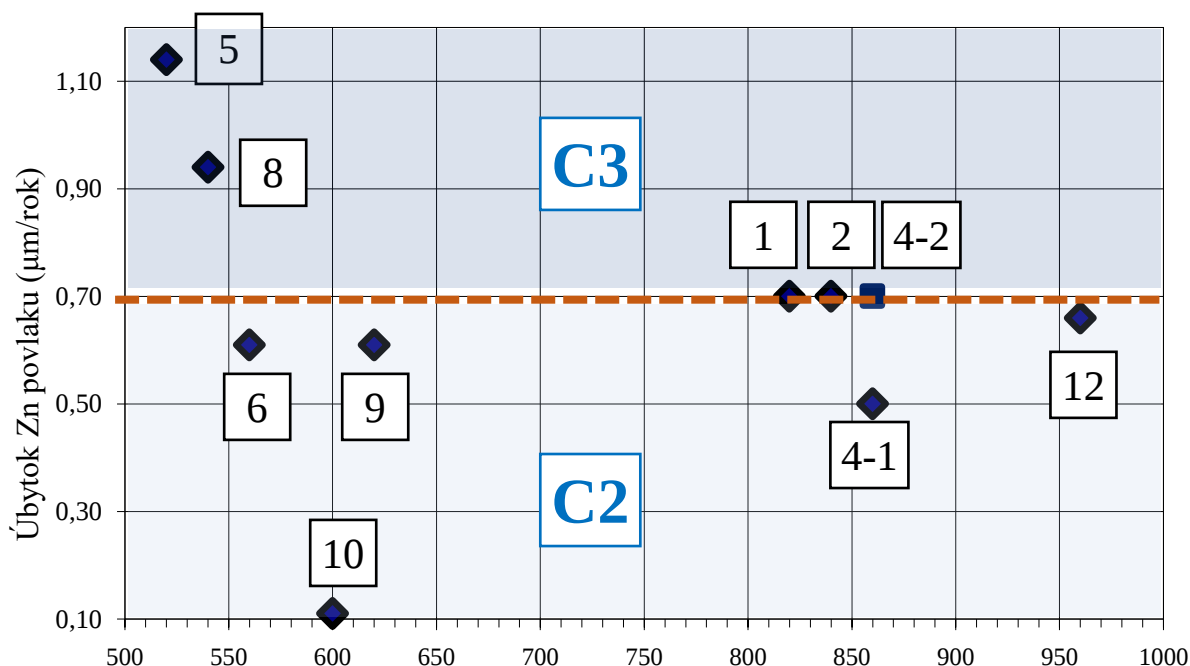
Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn znázorneného v Prílohe 5F možno pre atmosféry C2, C2-C3 a C3 približne stanoviť úbytok povlaku v jednotlivých časových úsekoch, tab.29. (Pozn. Tab.29 je súčasťou finálnej záverečnej správy).

Číselné zhrnutie výsledkov úbytku hrúbka povlaku Zn v atmosfére je v tab.30. (Pozn. Tab.30 je súčasťou finálnej záverečnej správy).

Hodnoty v tab.30 boli zistené z logaritmických kriviek v Prílohe 5A pre 20 a 50 rokov a prepočítané na úbytok povlaku v %.

Z polohy všetkých kriviek v Prílohe 5A možno usudzovať, že na všetkých vzorkách, ktoré sú v kontakte s atmosférou, ostáva teoreticky aj po 70-tich rokoch dostatočná vrstva povlaku Zn. Preto možno s vysokou pravdepodobnosťou predpokladať, že aj po skončení návrhovej životnosti gabionovej konštrukcie bude trvanlivosť drôtov zvarovanej siete dostatočná a presiahne požadovanú životnosť objektov 100 rokov.

Zvažovali sme množstvo zrážok v lokalite stavby a mieru možného ovplyvnenia úbytku Zn povlaku na drôtoch, ktoré sú na povrchu konštrukcie. Výsledok je na obr.33. Z obrázka je zrejmé, že ak



Obr. 33 Úbytok povlaku Zn na atmosférických vzorkách sietí podľa množstva zrážok

neberieme do úvahy lokality 5, 8 a 10, pri zvyšujúcom sa množstve zrážok v lokalite mierne stúpa aj spotreba povlaku Zn na povrchu drôtu. Znamená to, že v hornatých oblastiach s vyššími zrážkami je spotreba povlaku väčšia, ako v suchých oblastiach s menším množstvom zrážok.

Lokality 5 a 8 vykazujú vysoké úbytky povlaku Zn v atmosfére napriek tomu, že zrážky sú v daných lokalitách menšie. Znamená to, že príčinou zvýšeného úbytku povlaku nie je zvýšená vlhkosť na povrchu drôtov siete, ale vyššia agresivita atmosférického prostredia C3. Vzorka 5 je odobratá z lokality Bratislava-Rača. O možných zdrojoch znečistenia atmosféry v danej oblasti s korozívnymi účinkami sa môžeme len domnievať. Pre seriózne posúdenie by bol potrebný rozbor ovzdušia na sírniky a iné zaťažujúce látky vrátane prachových častíc. Lokalita 8 je mesto Trnava oblasť v blízkosti stanice PHM, železnice a rušnej komunikácie. Obe vzorky nasvedčujú zvýšenému korozívnemu pôsobeniu mestského ovzdušia i pri nižších objemoch zrážok teda nižšej vlhkosti ako jedného z predpokladov korózie.

Lokalita 10 vykazuje extrémne nízky úbytok povlaku Zn v atmosfére, v porovnaní s inými lokalitami. Je to pravdepodobne spôsobené umiestnením gabionového objektu mimo komunikácie v prírodnom prostredí, bez atakovania priemyselnými splodinami. Stromový a kríkový porast zabraňuje i zvýšeniu prašnosti v lokalite. Znížená vlhkosť len napomáha minimalizácii korozívneho pôsobenia prostredia na zvárané siete zo vzdušnej strany. Vhodné podmienky na tvorbu ochrannej vrstvy maximalizovali ochranný účinok.

V obr. 33 je zvýraznená hodnota 0,70  $\mu\text{m}/\text{rok}$ , čo je podľa STN EN ISO 14713-1 maximálny úbytok hrúbky povlaku Zn pre atmosférické prostredie C2. Napriek uvedenému, by bolo vhodné v budúcnosti zopakovať odbery na potvrdenie zistení. Všeobecne rozbor atmosférou zaťažovaných gabionových sietí nasvedčuje skutočnosti, že SR v línii Bratislava – Trnava – Trenčín – Žilina – Kysuce možno charakterizovať ako korozívne prostredie C2 s presahom do C3 v mestských aglomeráciách. Potvrdenie tvrdenia o mestskom korozívnom pôsobení na Zn by bolo vhodné overiť kontrolou väčšieho objemu vzoriek z rôznych objektov.

#### 5.6.2.2 Analýza výsledkov úbytku hrúbky povlaku Zn v atmosfére a porovnanie s platnými normami

V prílohách 5A až 5F sa prezentujú výsledky úbytku povlaku Zn v atmosfére znázornené logaritmickým priebehom korózie. Pri porovnávaní výsledkov výskumu s platnými normami sme preto uprednostnili normu STN EN ISO 9224, ktorá uvažuje aj nelineárny priebeh úbytku povlaku stanovený na základe terénnych meraní. V tab.31 sa uvádza korózna strata povlaku Zn stanovená podľa informácií v STN EN ISO 9224 v prostredí C2 a v tab.32 v prostredí C3.

Tab. 31 Maximálna korózna strata povlaku Zn v  $\mu\text{m}$  podľa STN EN ISO 9224 pre prostredie C2

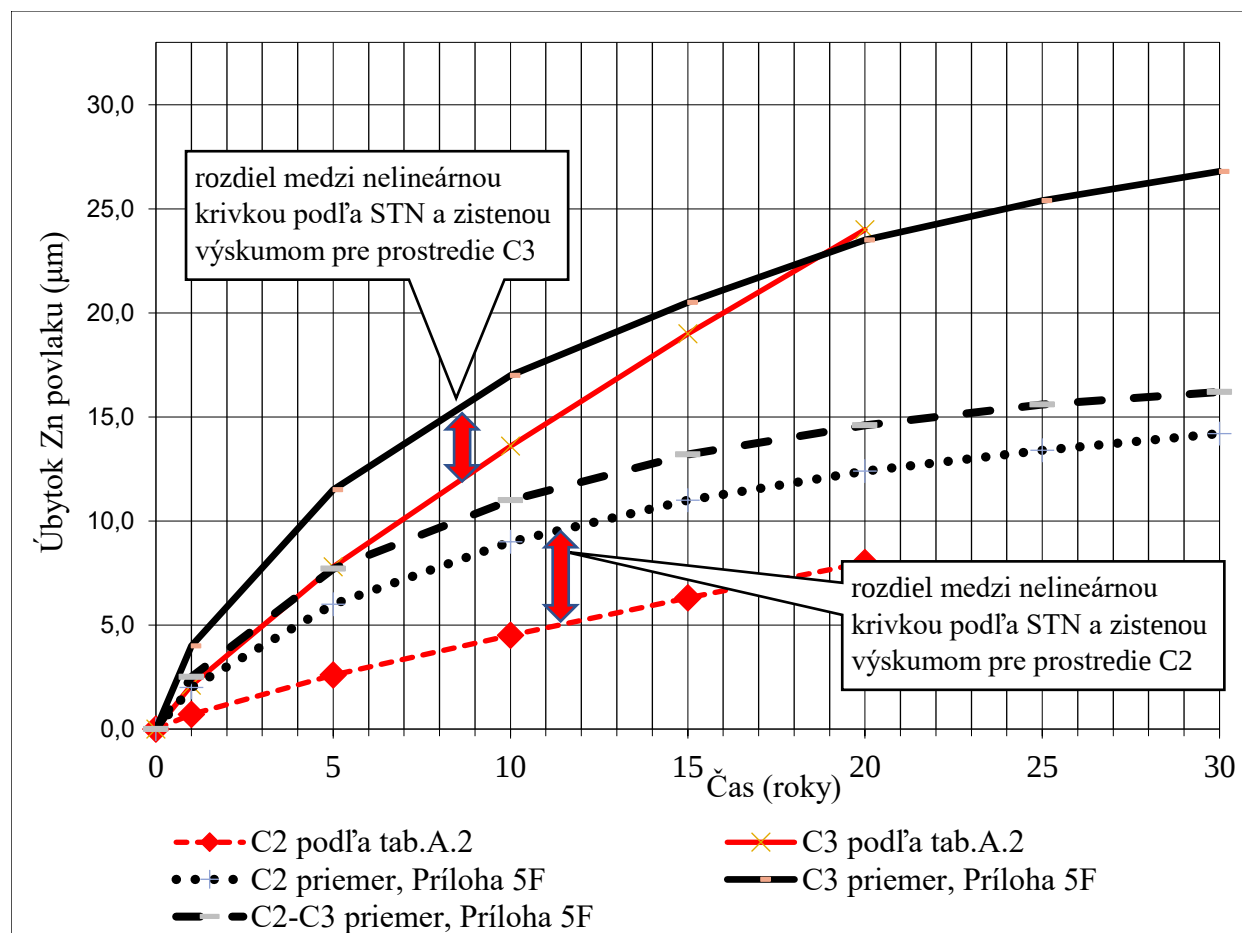
| Korózia                                                                                                           | Doba expozície (roky) |     |     |     |     |     |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                                                                                                                   | 1                     | 2   | 5   | 10  | 15  | 20  | 30   |
| Podľa terénnej expozície v tab. A.2 normy                                                                         | 0,7                   | 1,2 | 2,6 | 4,5 | 6,3 | 8,0 |      |
| Podľa priemernej koróznej rýchlosti $r_{av}$ počas prvých 10 rokov, tab. B.1 normy                                | 0,5                   | 1,0 | 2,5 | 5,0 |     |     |      |
| Podľa ustálenej koróznej rýchlosti $r_{lin}$ ako priemerná korózna rýchlosť počas prvých 30 rokov, tab. B.1 normy | 0,4                   | 0,8 | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 12,0 |

Tab. 32 Maximálna korózna strata povlaku Zn v  $\mu\text{m}$  podľa STN EN ISO 9224 pre prostredie C3

| Korózia                                      | Doba expozície (roky) |     |     |      |      |      |    |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|------|------|------|----|
|                                              | 1                     | 2   | 5   | 10   | 15   | 20   | 30 |
| Podľa terénnej expozície v tab. A.2 normy    | 2,1                   | 3,7 | 7,8 | 13,6 | 19,0 | 24,0 |    |
| Podľa priemernej koróznej rýchlosti $r_{av}$ | 1,4                   | 2,8 | 7,0 | 14,0 |      |      |    |

|                                                                                                                                                     |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| počas prvých 10 rokov, tab. B.1 normy                                                                                                               |     |     |     |      |      |      |      |
| <b>Podľa ustálenej koróznej rýchlosti <math>r_{lin}</math></b><br>ako odhadnutá priemerná korózná rýchlosť počas<br>prvých 30 rokov, tab. B.1 normy | 1,1 | 2,2 | 5,5 | 11,0 | 16,5 | 22,0 | 33,0 |

Ak porovnáme výsledky úbytku povlaku Zn zisteného našimi skúškami s údajmi pre priebeh korózie v rôznom atmosférickom prostredí podľa normy STN EN ISO 9224, výsledkom je obr. 34.



Obr. 34 Úbytok hrúbky povlaku Zn podľa STN EN ISO 9224 v kontakte s atmosférou C2 a C3 a porovnanie s výsledkami výskumu pre atmosféru C2, C2-C3 a C3

Z porovnania nelineárnej krivky priebehu úbytku povlaku Zn podľa STN EN ISO 9224 a logaritmických kriviek z Prílohy F je vidieť, že tvar krivky podľa STN je oveľa „plytší“, ako zistený výskumom. Tvar logaritmických kriviek priradený výsledkom zistených výskumom je strmý na počiatku, približne prvých 10-15 rokov. V ďalších rokoch je tvar logaritmickkej krivky plochý s pomalým úbytkom povlaku Zn. To je rozdiel oproti norme, kde v intervale do 20 rokov majú krivky strmý sklon, ale údaje bohužiaľ končia v čase 20 rokov.

V budúcnosti by bolo vhodné pokračovať v overovaní úbytku povlaku Zn na drôtoch sietí gabionových konštrukcií v kontakte s rôznou atmosférou, aby sa potvrdil tvar logaritmických kriviek priebehu úbytku povlaku Zn prezentovaný v Prílohách 5A až 5F.

Mimoriadne dôležité, zaujímavé a podnetné je porovnanie výsledkov výskumu odolnosti drôtu s povlakom Zn v atmosfére s platnými normami a aj následné porovnanie jednotlivých noriem medzi sebou. V tab.33 sa uvádza predpokladaný/zistený zostatok povlaku Zn po 25 rokoch v atmosfére C3.

Tab. 33 Zostatok hrúbky povlaku Zn po 25 rokoch v atmosfére C3

| Informačný zdroj                  | Zostatok povlaku Zn v % |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Výskum – reálne stavby            | 62,8                    |
| STN EN 14 713-1, C3 max.          | 0 <sup>1/</sup>         |
| STN EN 14 713-1, C3 min.          | 64,0                    |
| STN EN ISO 9224, tab.B.1, C3 max. | 43,8                    |
| STN EN 10223-3, tab.A.1, C3       | 0 <sup>2/</sup>         |

<sup>1/</sup> povlak spotrebovaný za 24,5 roka<sup>2/</sup> povlak spotrebovaný za 10,0 rokov

Všetky údaje v tabuľke sú logické a vzájomne porovnateľné, okrem hodnoty „0“ a informácie o spotrebovaní povlaku za 10 rokov v STN EN 10223-3. Tieto údaje nezodpovedajú nielen praktickým skúsenostiam a našim zisteniam, ale sú v zásadnom rozpore s údajmi v platných normách. Nereálnosť hodnôt životnosti nepoškodených povlakov v STN EN 10223-3, tab.A.1 je vidieť aj z porovnania s inými údajmi. Možno teoreticky aj prakticky preukázať, že údaje v STN EN 10223-3 o životnosti kovových povlakov sú nereálne a môžu oklamať užívateľov týchto noriem.

Pri stanovovaní a analýze úbytku povlaku Zn v atmosférickom prostredí je mimoriadne dôležité zohľadniť veľký rozptyl stupňa agresivity jednotlivých typov atmosférického prostredia uvedené v normách. Niektoré normy a predpisy len konštatujú, že, napr. životnosť povlaku Zn v atmosfére C3 je 10 rokov (STN EN 10223-3), bez spresnenia stupňa agresivity prostredia. To je veľmi nepresné, pretože to nezohľadňuje veľký rozptyl agresivity prostredia C3. Tento veľký rozptyl sa prejavuje v extrémne veľkom rozptyle úbytku hrúbky povlaku od 0,7 až 2,0  $\mu\text{m}/\text{rok}$  a v zostatku povlaku pre C3 min. a C3 max. v tab. 33 (STN EN ISO 14713-1), alebo v ustálenej rýchlosti korózie 0,7 až 2,1  $\mu\text{m}/\text{rok}$  (STN EN ISO 9223). Pri prezentovaní rýchlosti korózie v atmosférickom prostredí sa preto vždy musí zohľadniť, či je agresivita na spodnom alebo hornom okraji rozptylu atmosférického prostredia a to na základe odporúčaného korozívneho prieskumu.

V Prílohe 5H je porovnanie priemerného ročného úbytku povlaku Zn rôzne starých vzoriek (20 až 24 rokov) s kritériami uvedenými v normách STN pre atmosférickú koróziu. Do grafu sú zakreslené hranice medzi atmosférami C2, C3 a C4 podľa STN EN ISO 14713-1 (priamky) a STN EN ISO 9224 (logaritmické krivky). Údaje v Prílohe 5H sú uvedené v tab.34.

Tab.34 Typ atmosféry v lokalitách podľa priemerného ročného úbytku povlaku Zn

| Lokalita, vzorka | Zaradenie do atmosféry |                       |
|------------------|------------------------|-----------------------|
|                  | podľa STN EN ISO 14713 | podľa STN EN ISO 9224 |
| 4-1, 6, 9, 12    | C2                     | C3                    |
| 1, 2, 4-2        | C2-C3                  | C3                    |
| 8                | C3                     | C3                    |
| 5                | C3                     | C3 - C4               |

Lokalitu 10 vyradujeme z hodnotenia z dôvodu nedostatočných informácií pre korektné vyhodnotenie nízkeho úbytku Zn na vzorke siete v danej lokalite a korozívnom prostredí. Vyradením eliminujeme pozitívny vplyv na hodnotenie úbytkov ostatných vzoriek sietí.

Na obr. 35 (*Pozn. Obr.35 je súčasťou finálnej záverečnej správy.*) je vykreslený úbytok Zn povlaku (korózna strata, rýchlosť korózie) v atmosfére. Zvýraznená je atmosféra C3 podľa STN EN ISO 14713 (modrá oblasť) a podľa STN EN ISO 9224 (červená oblasť). Do obrázku sú vnesené hodnoty úbytku povlaku Zn na skúmaných vzorkách. Typ atmosféry v mieste odberu jednotlivých vzoriek (korozivita atmosféry) sme stanovili podľa STN EN ISO 14 713-1. Ak hodnota úbytku povlaku Zn bola napr. na rozhraní atmosféry C2 a C3, tak sme danej lokalite prisúdili atmosféru C2-C3.

Z tab. 34, obr.35 a Prílohy 5H je zrejmé, že norma STN EN ISO 9224 je pri určovaní úbytku povlaku Zn v rôznej atmosfére bližšie skutočnosti ako norma STN EN ISO 14713.

### 5.6.2.3 Úbytok hrúbky povlaku Zn v zemine

V prílohách 6A až 6D je časový priebeh úbytku ochranného povlaku Zn na povrchu drôtov sietí v kontakte so zeminou.

V prílohe 6A je časový priebeh úbytku povlaku Zn na povrchu drôtov všetkých vzoriek v kontakte so zeminou, ktorá má strednú alebo strednú až vyššiu korozivitu. V prílohe je zjavné vyššie položené krivky vzorky 5, ktorá patrí medzi vzorky s vysokým počiatočným náberom ochranného povlaku vo vyjadrení plošnej hmotnosti to predstavuje 530 g/m<sup>2</sup> Zn. Podstatný je sklon tejto krivky, ktorý je pre jednotlivé vzorky veľmi podobný ku ostatným znázorneným vzorkám.

Na lokalite 9 je úbytok povlaku Zn po 22 rokoch 60 %. Z tvaru krivky úbytku povlaku Zn v kontakte zemine so strednou až vyššou korozivitou možno usudzovať, že aj po 100 rokoch bude na povrchu drôtu tenký zinkový povlak vrátane intermetalickej vrstvy a objemu samotného oceľového drôtu 4,00 mm. Lokalita je blízko rušnej diaľnice a čerpaciej stanice PHM. Možno predpokladať vyššiu agresivitu ako v atmosfére tak zemine, ktorá sa aj potvrdila. Zvýšenie korózie v zemine možno prisúdiť i severnej orientácii gabionového objektu pod okrajom lesa. Znížené vysušovanie zeminy mohlo mať za dôsledok zistený stav. Na potvrdenie by bolo potrebné dlhodobšie sledovanie a rozbor atmosférických i zemných prímiesí.

V prílohe 6B je časový priebeh úbytku ochranného povlaku Zn na povrchu drôtov v zemine so strednou korozivitou (7 vzoriek). Súbor vzoriek možno podľa tvaru kriviek rozdeliť na dve skupiny, ktoré majú podobný sklon kriviek. Do prvej skupiny patria 4 vzorky (lokality 1, 5, 8, 12) s plytším sklonom a v druhej skupine majú 3 vzorky (lokality 2, 4, 10) so strmším sklonom krivky. Strmší sklon v prvých odhadom 10-tich rokoch možno pravdepodobne pripísať voľbe zásypového materiálu alebo príliš „čerstvému“ výrobku siete, ktorá v čase zásypu nemala potrebný „skladový“ protikorózný oxidačný povlak. Kontakt s vlhkou zeminou mohol spôsobiť tvorbu hydroxidov (bielej korózie). Po stabilizácii prostredia a vytvorení dostatočnej krycej vrstvy kysličníka zinku sa zjavne priebeh stabilizuje na hodnotách ostatných vzoriek. Uvedené zodpovedá i teoretickým poznatkom, ktoré sme sumarizovali v úvodných kapitolách správy.

Tvar kriviek po období 20 rokov jasne naznačuje s predpokladom vysokej pravdepodobnosti, že aj po skončení návrhovej životnosti gabionovej konštrukcie bude trvanlivosť drôtov zvarovanej siete v kontakte so zeminou dostatočná a životnosť objektov presiahne 100 rokov.

V prílohe 6C je časový priebeh úbytku ochranného povlaku Zn na povrchu drôtov v zemine so strednou až vyššou korozivitou (2 vzorky). Vzorky majú rozdielnú hrúbku počiatočného povlaku, no ich sklon je približne rovnaký, čo predstavuje podobný úbytok povlaku Zn.

Ako sme popisovali v predchádzajúcich odstavcoch, lokality 6 a 9 možno považovať za korozívne problematické: Na základe laboratórnych výsledkov zostatku povlaku, počiatočných hodnôt plošnej hmotnosti možno potvrdiť, že vyšší náber Zn v povlaku bol pozitívnym krokom, i keď v rokoch 1994-1996 skôr náhodným. Na základe skúšok v chloride sodnom v rokoch 1995 - 1998 bolo odôvodnené, požadovať od výrobcu drôtu povlak o plošnej hmotnosti min. 350 g/m<sup>2</sup>. Bolo to z dôvodu nielen technologických výkyvov drôtovne ale i neznalosti a laického a skôr marketingového prístupu projektantov a investorov ku problematike korózie gabionov .

Z tvaru kriviek úbytku povlaku Zn vzoriek 6 a 9 v kontakte so zeminou so strednou až vyššou korozivitou možno usudzovať, že aj po 100 rokoch bude na povrchu drôtu tenký zinkový povlak, intermetalickej vrstvy a objem samotného oceľového drôtu 4,00 mm.

V prílohe 6D je dôležité vyhodnotenie časového priebehu kriviek celkového úbytku povlaku Zn v dvoch typoch zemín, a to v zemine so strednou korozivitou a strednou až vyššou korozivitou. Sklon

kriviek zodpovedá rozdielnej koróznej agresivite zemín a v prvých rokoch pre zeminou so strednou až vyššou korozivitou je viditeľne väčší ako pre zeminu so strednou korozivitou. Tieto krivky zohľadňujúce všetky vzorky zemín z definovaných prostredí môžu slúžiť ako vzorové krivky pre úbytok povlaku Zn na drôtoch zváraných sietí v gabionových konštrukciách v kontakte so zeminami pôvodom z geologického prostredia pozdĺž riek Váhu a Kysuce v línii Bratislava – Trnava – Trenčín – Žilina – Kysuce.

Číselné zhrnutie výsledkov úbytku hrúbka povlaku Zn v zemine je v tab.35. (Pozn. Tab.35 je súčasťou finálnej záverečnej správy.) Hodnoty v tab.35 boli zistené z logaritmických kriviek v Prílohe 6A pre 20 a 50 rokov a prepočítané na úbytok povlaku v %.

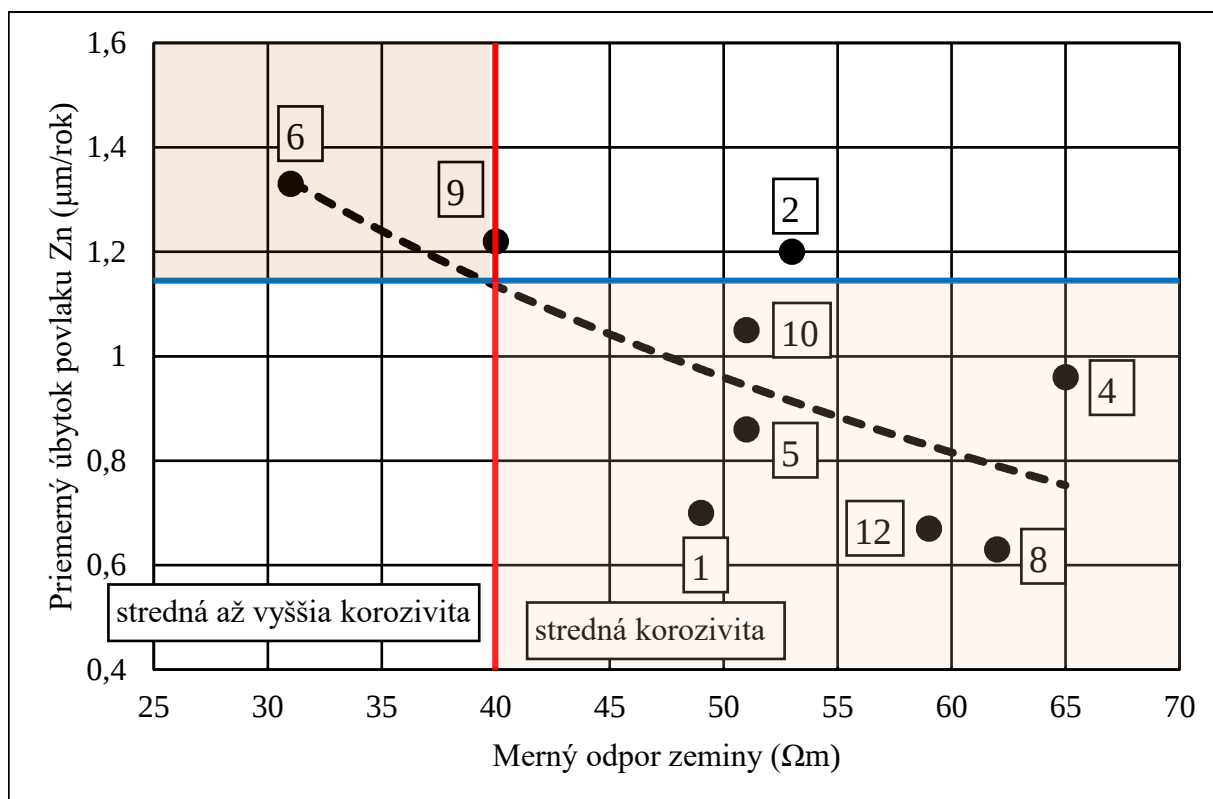
Z logaritmického priebehu úbytku povlaku Zn znázorneného v Prílohe 6D možno pre zeminu so strednou a strednou až vyššou korozivitou približne stanoviť úbytok povlaku Zn v jednotlivých časových úsekoch, tab.36. (Pozn. Tab.36 je súčasťou finálnej záverečnej správy.)

Hodnoty v tab. 36 majú vzťah ku parametrom merného odporu a pH, ktorými sme definovali korózne prostredie zeminy v sledovaných lokalitách pre ochranný povlak Zn a ZnAl.

V budúcnosti by bolo vhodné pokračovať v overovaní úbytku povlaku Zn na drôtoch sietí gabionových konštrukcií v kontakte so zeminou zásypu, aby sa potvrdilo, či logaritmický tvar kriviek priebehu úbytku povlaku Zn prezentovaný v Prílohe 6D je reálny.

Na obr. 36 je vykreslený priemerný ročný úbytok Zn povlaku (korózna strata, rýchlosť korózie) v kontakte so zeminou. Korozivita zeminy je v tomto prípade určovaná najmä merným odporom zeminy (tab. 10 a tab. 13). Korozivita zeminy sa stanovila podľa jej merného odporu:

- $\rho > 40 \Omega.m$  .... stredná korozivita zeminy
- $\rho \leq 40 \Omega.m$  .... stredná až vyššia korozivita zeminy



Obr. 36 Úbytok hrúbky Zn povlaku podľa typu korozivity zeminy odvodenej z merného odporu. (čísla označujú lokality podľa Prílohy 1)

Hodnota merného odporu  $\rho = 40 \Omega \cdot m$  je kompromisom medzi dvomi normami. STN EN 12501-2 uvádza pre rozhranie medzi strednou a strednou až vyššou korozivitou zeminy hodnotu  $\rho = 30 \Omega \cdot m$  a BS 1377-3 hodnotu  $\rho = 50 \Omega \cdot m$ . Z obr.36 možno usudzovať, že pre zeminy so strednou korozivitou je maximálny priemerný ročný úbytok povlaku Zn  $1,15 \mu m/rok$ . Vyššie hodnoty platia pre zeminy so strednou až vyššou korozivitou.

Z Príloh 6A až 6D možno usudzovať, že na všetkých vzorkách (okrem vzorky z lokality 9), ktoré sú v kontakte so zeminou, ostáva teoreticky aj po 70-tich rokoch dostatočná vrstva povlaku. Preto možno s vysokou pravdepodobnosťou predpokladať, že aj po skončení návrhovej životnosti gabionovej konštrukcie bude trvanlivosť drôtov zvarovanej siete v kontakte so zeminou dostatočná a životnosť objektov presiahne 100 rokov.

#### 5.6.2.4 Analýza výsledkov úbytku hrúbky povlaku Zn v zemine a porovnanie s platnými normami

V kap. 3.3.2 sa opisuje pôdna korózia a v tab.9 sa uvádzajú vlastnosti zemín, ktoré ovplyvňujú priebeh korózie kovov v zemine. Neboli nám však k dispozícii žiadne normy alebo predpisy, tak ako nám boli k dispozícii v prípade korózie v atmosfére, ktoré by uvádzali rýchlosť korózie v zemine a bolo možné ich použiť na porovnanie rýchlosti korózie drôtov s priemerom do 5,0 mm a kovovým povlakom s plošnou hmotnosťou do  $350 g/m^2$ . Preto nie je možné porovnať výsledky výskumu vzoriek, ktoré boli v kontakte so zeminami, s platnými normami.

V prípade vydania vhodného a použiteľného predpisu alebo normy s informáciami o rýchlosti korózie kovov v zeminách, porovnáme výsledky prezentovaného výskumu s týmito informáciami.

#### 5.6.3 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na ocel'ovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére

Podľa výsledkov výskumu a po porovnaní s platnými normami možno urobiť odhad trvanlivosti kovových povlakov Zn a Zn+5%Al v atmosfére.

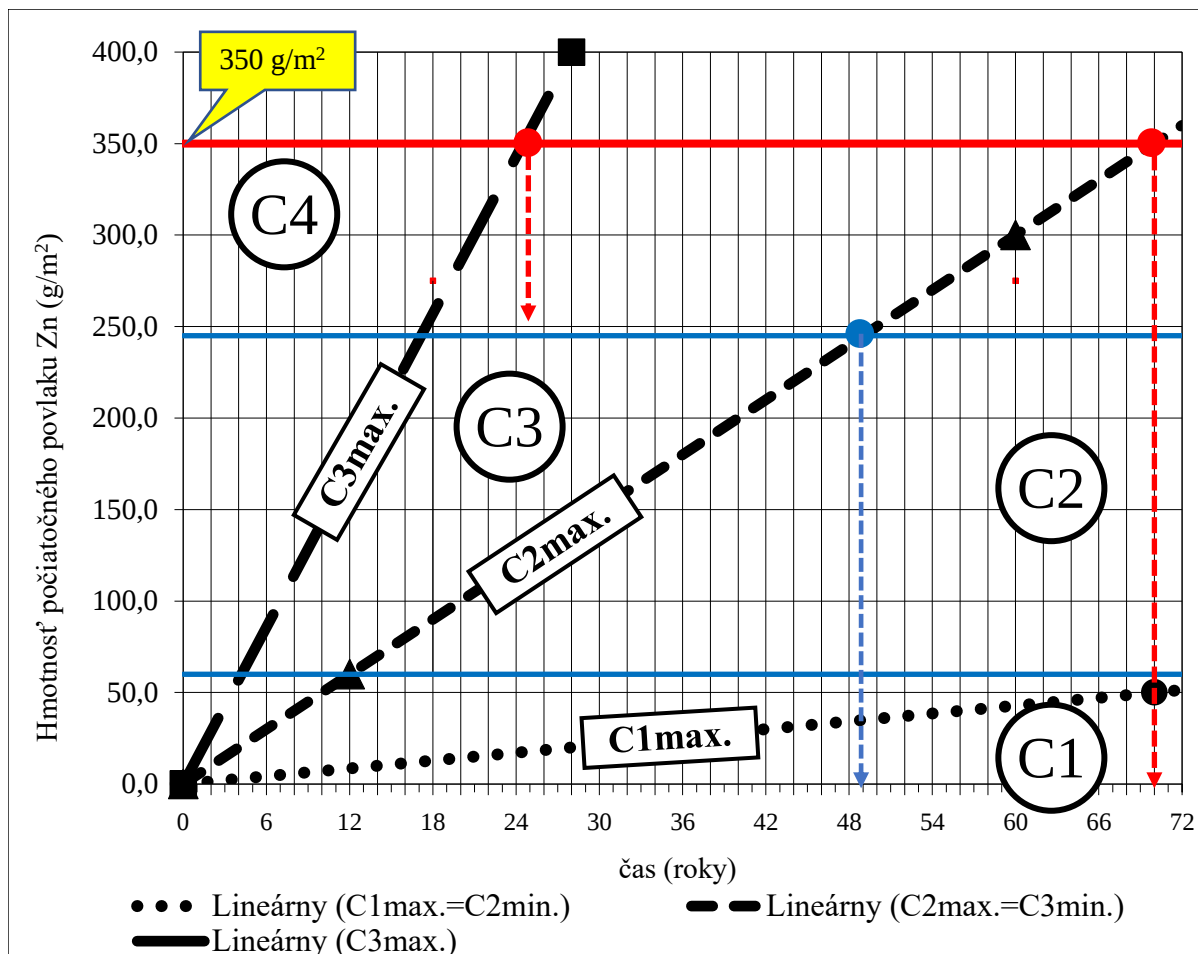
##### 5.6.3.1 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na ocel'ovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére podľa platných noriem

Na základe rýchlosti úbytku povlaku Zn pre jednotlivé atmosférické prostredia uvedené v tab.4 možno stanoviť čas spotreby celého pôvodného povlaku. Pre prostredia C1, C2 a C3 je to v tab.37.

Tab.37 Čas lineárnej spotreby celého povlaku Zn podľa STN EN ISO 14 713-1

| hmotnosť<br>povlaku | hrúbka<br>povlaku | rýchlosť úbytku povlaku      |                              |        | čas spotreby celého povlaku  |                              |        |
|---------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|--------|
|                     |                   | C1max.,<br>C2min.<br>(C1-C2) | C2max.,<br>C3min.<br>(C2-C3) | C3max. | C1max.,<br>C2min.<br>(C1-C2) | C2max.,<br>C3min.<br>(C2-C3) | C3max. |
| $g/m^2$             | $\mu m$           | $\mu m/rok$                  |                              |        | roky                         |                              |        |
| 60                  | 8,40              | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 84                           | 12                           | 4,2    |
| 100                 | 14,01             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 140                          | 20                           | 7,0    |
| 200                 | 28,01             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 280                          | 40                           | 14,0   |
| 245                 | 34,31             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 343                          | 49                           | 17,2   |
| 275                 | 38,52             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 385                          | 55                           | 19,3   |
| 300                 | 42,02             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 420                          | 60                           | 21,0   |
| 350                 | 49,02             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 490                          | 70                           | 24,5   |
| 400                 | 56,02             | 0,1                          | 0,7                          | 2,0    | 560                          | 80                           | 28,0   |

Grafické zobrazenie času spotreby povlaku Zn rôznej plošnej hmotnosti podľa STN EN ISO 14 713-1 v prostredí C1 až C4 je na obr. 37.



Obr. 37 Čas spotreby povlaku Zn rôznej plošnej hmotnosti podľa STN EN ISO 14 713-1

Z obr.37 je vidieť, že povlak Zn s plošnou hmotnosťou  $350 \text{ g/m}^2$  sa v atmosférickom prostredí C2 (na hornej hranici rozsahu rýchlosti korózie) spotrebuje približne za 70 rokov a povlak Zn s plošnou hmotnosťou  $245 \text{ g/m}^2$  za 49 rokov.

Na obr.37 je zreteľne vidieť, že rozsah minimálnej a maximálnej rýchlosti úbytku povlaku Zn v každom type atmosférického prostredia je mimoriadne veľký. Napríklad povlak  $350 \text{ g/m}^2$  sa v prostredí C3 môže spotrebovať za 25 alebo až za 70 rokov a to podľa toho, či je agresivita prostredia C3 na hornej alebo spodnej hranici. Z tohto pohľadu je stanovenie agresivity atmosférického prostredia mimoriadne dôležité. Preto by malo byť súčasťou terénnych meraní aj meranie znečistenia ovzdušia oxidom siričitým  $\text{SO}_2$  a chloridmi a analýza všetkých javov, ktoré môžu ovplyvňovať agresivitu atmosférického prostredia.

Pri hodnotení trvanlivosti povlaku Zn, tj. času spotreby celého povlaku, v atmosfére podľa STN EN ISO 14713-1 treba zdôrazniť, že v norme sa uvádza lineárny úbytok hrúbky povlaku v jednotke  $\mu\text{m}/\text{rok}$ , pre jednotlivé typy atmosféry. Nakoľko sme pri vyhodnocovaní výsledkov skúšok použili logaritmický úbytok povlaku Zn v atmosfére, je vhodné urobiť analýzu trvanlivosti povlaku Zn aj podľa STN EN ISO 9224, kde sa uvádza nelineárna koróznna strata hrúbky povlaku v atmosfére.

V tab. 38 sa uvádza maximálna koróznna strata povlaku Zn v  $\mu\text{m}$  podľa STN EN ISO 9224, podľa terénnej expozície v tab.A.2 pre prostredia C2 a C3, ktoré sa vyskytujú v našom výskume. V tab. A.2 v norme sa uvádzajú hodnoty do 20 rokov expozície, preto sme hodnoty do 50 rokov primerane extrapolovali.

Tab. 38 Maximálna korózna strata povlaku Zn v  $\mu\text{m}$  podľa STN EN ISO 9224, podľa terénnej expozície v tab.A.2 pre prostredie C2 a C3

| Atmosférické prostredie | Doba expozície (roky) |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1                     | 2   | 5   | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| Prostredie C2           | 0,7                   | 1,2 | 2,6 | 4,5  | 6,3  | 8,0  | 9,6  | 11,1 | 12,5 | 13,8 | 15,0 | 16,1 |
| Prostredie C3           | 2,1                   | 3,7 | 7,8 | 13,6 | 19,0 | 24,0 | 28,6 | 32,8 | 36,6 | 40,1 | 43,3 | 46,2 |

Na základe hodnôt v tab.38 sa zostavila tab.39 (pre prostredie C2) a tab.40 (pre prostredie C3), kde je ukázané postupné ubúdanie hrúbky povlaku pre štyri plošné hmotnosti povlaku. Je vidieť, že v niektorých prípadoch bol spotrebovaný celý povlak, čo predstavuje trvanlivosť povlaku Zn.

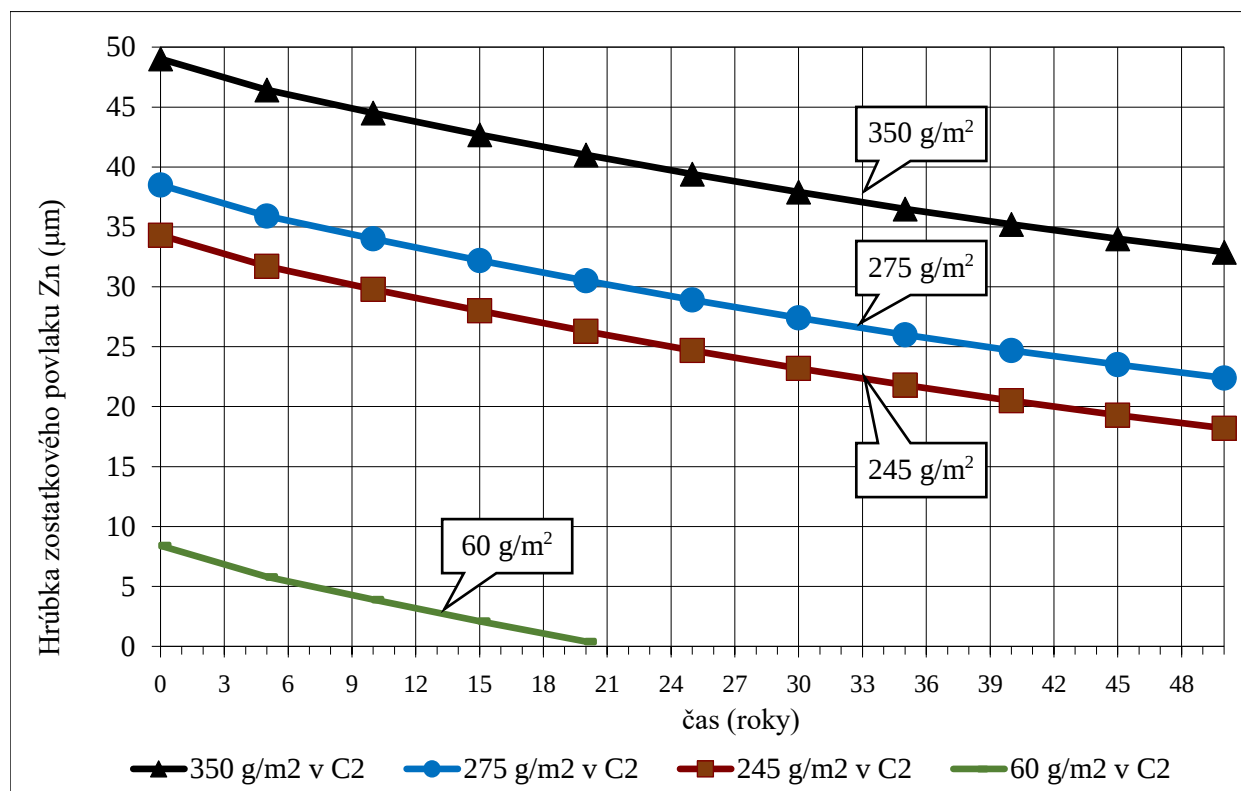
Tab. 39 Priebeh úbytku povlaku Zn s rôznou hrúbkou podľa STN EN ISO 9224 a tab.38 pre prostredie C2

| Hmotnosť povlaku ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) | Hrúbka povlaku ( $\mu\text{m}$ ) | Zostatok povlaku ( $\mu\text{m}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                            |                                  | 5 r.                               | 10 r. | 15 r. | 20 r. | 25 r. | 30 r. | 35 r. | 40 r. | 45 r. | 50 r. |
| 60                                         | 8,40                             | 5,8                                | 3,9   | 2,1   | 0,4   | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 245                                        | 34,31                            | 31,71                              | 29,81 | 28,01 | 26,31 | 24,71 | 23,21 | 21,81 | 20,51 | 19,31 | 18,21 |
| 275                                        | 38,52                            | 35,92                              | 34,02 | 32,22 | 30,52 | 28,92 | 27,42 | 26,02 | 24,74 | 23,52 | 22,42 |
| 350                                        | 49,02                            | 46,42                              | 44,52 | 42,72 | 41,02 | 39,42 | 37,92 | 36,52 | 35,22 | 34,02 | 32,92 |

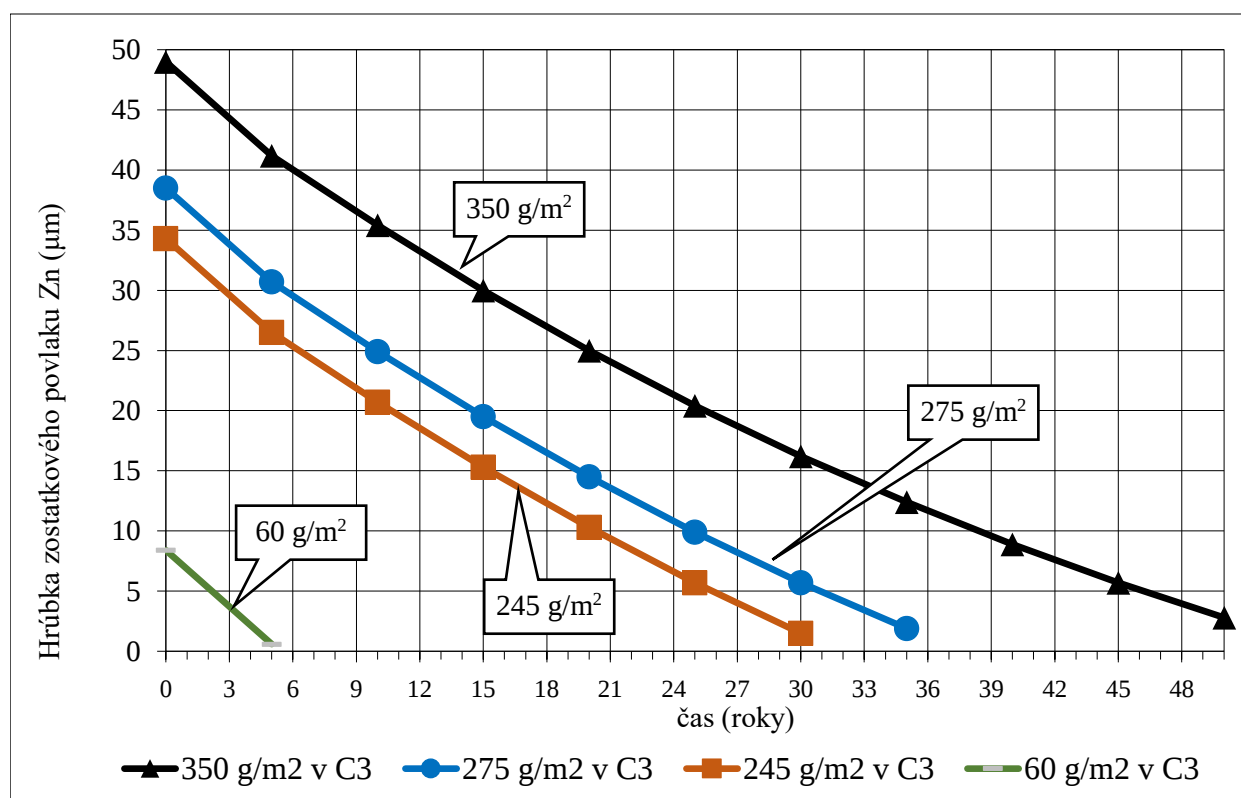
Tab. 40 Priebeh úbytku povlaku Zn s rôznou hrúbkou podľa STN EN ISO 9224 a tab.38 pre prostredie C3

| Hmotnosť povlaku ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) | Hrúbka povlaku ( $\mu\text{m}$ ) | Zostatok povlaku ( $\mu\text{m}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                            |                                  | 5 r.                               | 10 r. | 15 r. | 20 r. | 25 r. | 30 r. | 35 r. | 40 r. | 45 r. | 50 r. |
| 60                                         | 8,40                             | 0,6                                | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 245                                        | 34,31                            | 26,51                              | 20,71 | 15,31 | 10,31 | 5,71  | 1,51  | -     | -     | -     | -     |
| 275                                        | 38,52                            | 30,72                              | 24,92 | 19,52 | 14,52 | 9,92  | 5,72  | 1,92  | -     | -     | -     |
| 350                                        | 49,02                            | 41,22                              | 35,42 | 30,02 | 25,02 | 20,42 | 16,22 | 12,42 | 8,92  | 5,72  | 2,82  |

Na obr.38 je ukážka postupného ubúdania hrúbky povlaku Zn v atmosfére C2 podľa STN EN ISO 9224 a na obr.39 pre atmosféru C3.



Obr. 38 Postupné ubúdanie hrúbky povlaku Zn v atmosfére C2 podľa STN EN ISO 9224



Obr. 39 Postupné ubúdanie hrúbky povlaku Zn v atmosfére C3 podľa STN EN ISO 9224

Podľa tab.39 a 40 a obr.38 a 39 je trvanlivosť povlakov Zn s plošnou hmotnosťou viac ako 245 g/m<sup>2</sup> v atmosfére C2 aj podľa prísnej STN EN ISO 9224 viac ako 50 rokov, a to s veľkou rezervou. V atmosfére C3 má trvanlivosť viac ako 50 rokov len povlak Zn s plošnou hmotnosťou  $\geq 350$  g/m<sup>2</sup>.

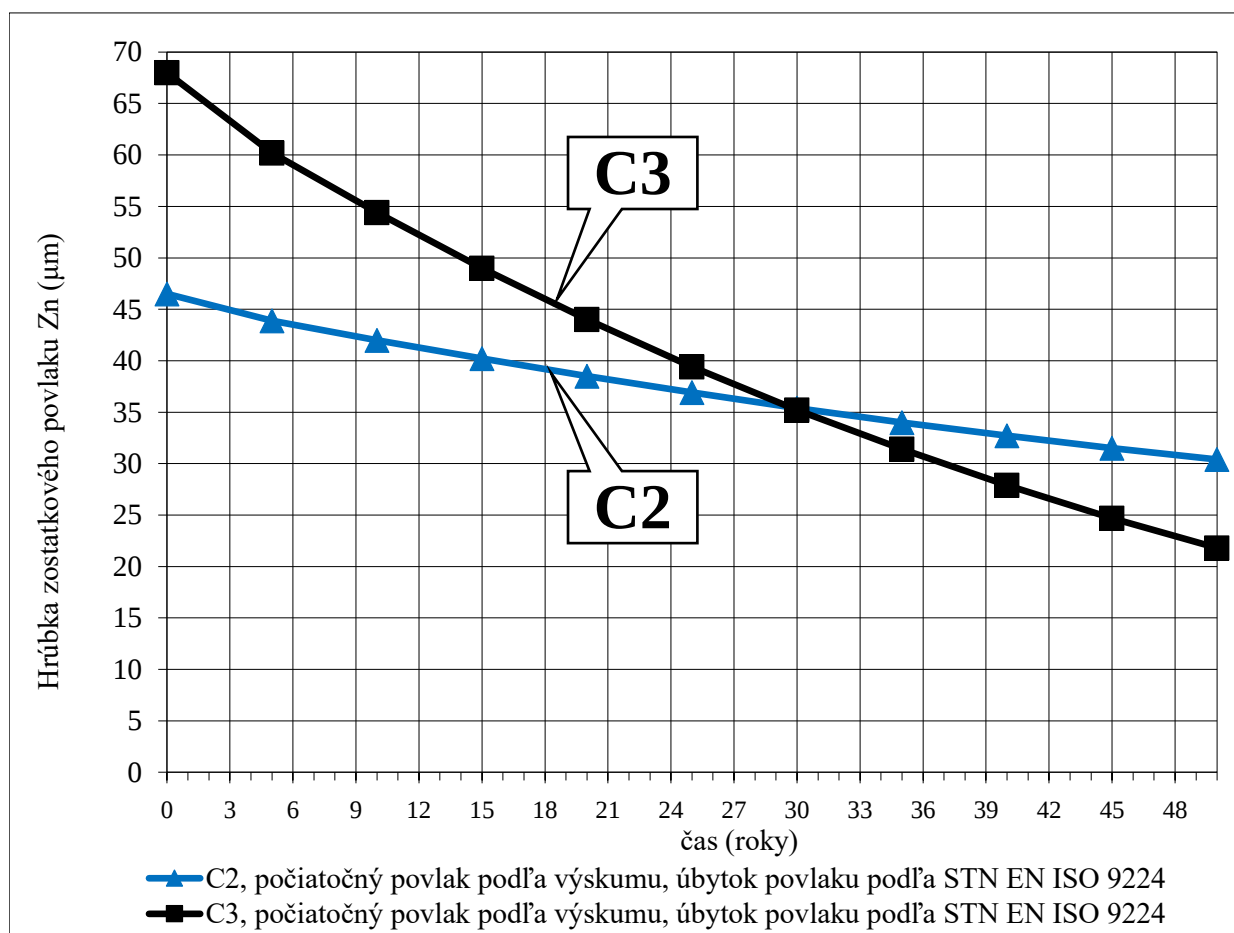
Je potrebné uviesť, že žiadna dostupná literatúra ani normy nevyhodnocovali chovanie a ochrannú funkciu intermetallickej časti ZnFe napriek skutočnosti, že literatúra považuje túto časť ochrany povrchu drôtu za dôležitú.

V obr.38 a 39 je vidieť, že tvar a sklon kriviek pre atmosféry C2 a C3 je odlišný a charakteristický pre danú atmosféru. Nelineárne krivky podľa STN EN ISO 9224 sme porovnali s priemernými logaritmickejšími krivkami v Prílohe 5F. Uvažovalo sa rovnaké atmosférické prostredie, pričom z normy sa brala do úvahy maximálna koróznna strata povlaku Zn v  $\mu\text{m}$  (pozri tab.38). Taktiež sa uvažovala rovnaká hrúbka povlaku, a to podľa počiatočnej hrúbky povlaku Zn skúmaných vzoriek. Z počiatočných hodnôt hrúbky povlaku Zn v Prílohe 3 sa pre rovnakú atmosféru urobila priemerná počiatočná hodnota (pozri Prílohu 5F). K tejto hrúbke povlaku sa zostavila krivka ubúdania hrúbky povlaku v súlade s obr.38 a 39.

Počiatočné priemerné hrúbky povlaku Zn na skúšobných vzorkách z Prílohy F sú:

- pre atmosféru C2: 46,51  $\mu\text{m}$
- pre atmosféru C3: 68,0  $\mu\text{m}$

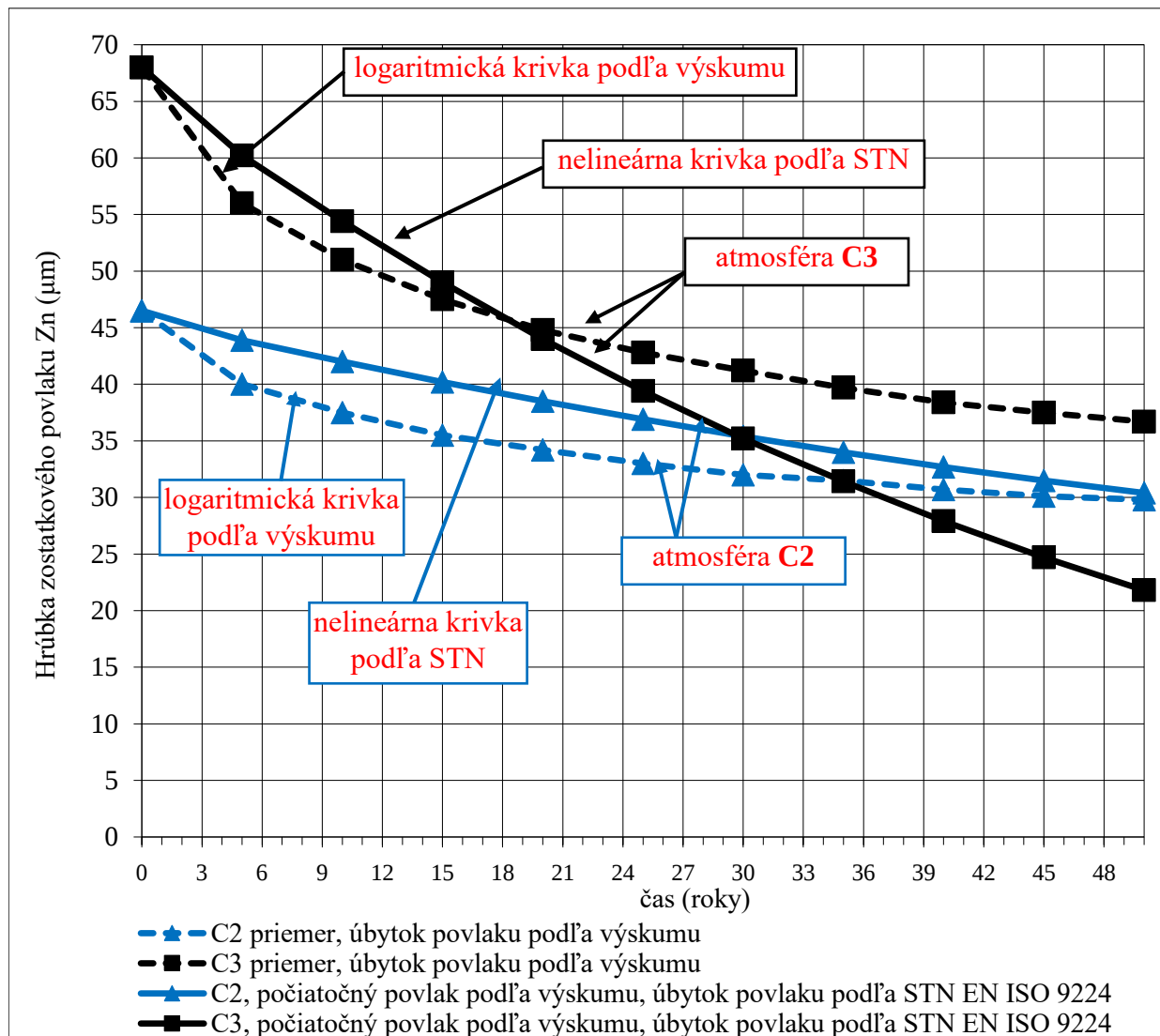
Ak vložíme uvedené počiatočné hodnoty do obr.38 a 39 a použijeme úbytok hrúbky povlaku Zn v atmosfére podľa STN EN ISO 9224 pre atmosféru C2 a C3, výsledok je na obr. 40.



Obr. 40 Postupné ubúdanie počiatočnej hrúbky povlaku Zn na skúšobných vzorkách z Prílohy 5F v atmosfére C2 a C3 podľa STN EN ISO 9224

### 5.6.3.2 Porovnanie odhadu trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zvarovaných sietí v atmosfére podľa výskumu a platných noriem

Teraz je možné porovnať ubúdanie povlaku Zn s rovnakou hrúbkou v atmosfére vyjadreného logaritmickou krivkou (výskum) a nelineárnou krivkou (norma), obr.41.



Obr. 41 Priame porovnanie úbytku povlaku Zn podľa výskumu a STN EN ISO 9224

Logaritmická a nelineárna krivka vykazujú v atmosfére C2 určitú podobnosť, pričom rozdiel medzi nimi nie je veľký a smerom k 50 rokom sa k sebe približujú. Je možné, že aj po 50 rokoch nebude medzi nimi veľký rozdiel, aj keď logaritmická krivka už bude nad nelineárnou.

V atmosfére C3 je badať podobnosť kriviek približne do 20 rokov, potom sa od seba výrazne oddiaľujú. Je vidieť, že podľa nelineárnej krivky povlak Zn ubúda oveľa výraznejšie ako podľa logaritmickkej. Už pri 50 rokoch je tento rozdiel výrazný. Potvrdiť alebo upraviť priebeh obidvoch kriviek v čase 50 rokov a viac môžu len výsledky skúšok v ďalších rokoch.

V každom prípade je vidieť, že pri min. plošnej hmotnosti 350 g/m<sup>2</sup> povlaku Zn, trvanlivosť povlaku na oceľovom drôte, v agresívnom atmosférickom prostredí C3, presahuje podľa výsledkov výskumu 50 rokov s dostatočnou rezervou.

Ako sme už spomenuli v kap. 3.5.1 a nasledujúcich, na základe rôznych prameňov literatúry a získaných terénnych výsledkov možno korózný úbytok v atmosfére i zemine sledovať ako logaritmický priebeh. Uvedené sa deje na základe reakcie oxidu zinočnatého s vlhkosťou zo vzduchu, ktorý reaguje s hydroxidom vo forme uhličitanu zinočnatého. Uhličitan zinočnatý tvorí tenký, príľnavý a stabilný vo vode nerozpustný povlak, ktorý slúži ako bariéra medzi vlhkom a vrstvou zinku. Tento nerozpustný povlak tiež nazývaný pasívny film spomaľuje reaktivitu zinku v prvých rokoch a dramaticky spomaľuje koróziu zinkového ochranného povlaku v rokoch nasledujúcich pokiaľ nie je mechanicky alebo chemicky odstránený, kedy by začal proces chemickej reakcie (korózie) znova. Kľúčová časť mechanizmu ochrany je fáza schnutia na vzduchu (atmosféra, pórový vzduch zeminy) aby sa takýto povlak uhličitanov vytvoril a udržal.

Rozsah prvotného poškodenia závisí hlavne od dĺžky vystavenia vlhku, od teploty v lokalite zabudovania gabionu a od prítomnosti urýchľujúcich korózných činidiel, akými sú soli obsahujúce chloridy či agresívne zložky okolitej atmosféry.

Uvedený proces logaritmického priebehu je významne odlišný od umelej skúšky koróznej odolnosti podľa STN EN ISO 9227, kde po každom záťažovom cykle chloridom sodným je vzorka vysušená, očistená od vytvoreného ochranného povlaku (korózie) a opakovane s čistým povrchom zaťažovaná. Z uvedeného dôvodu získavame z laboratórnej skúšky lineárny priebeh spotreby ochranného povlaku, ktorý je možno považovať len za orientačný resp. ako podklad pre rozumné stanovenie kvalitatívneho parametru kvality povlaku v hodinách testu (cykly testu) tak ako uvádza STN EN 10223-8 resp STN EN 10223-3 v kontexte s požiadavkami na trvanlivosť diela uvedenú v STN EN 1990.

#### 5.6.4 Odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte zváraných sietí v atmosfére a zemine

Na odhad trvanlivosti povlaku Zn na oceľovom drôte v zemine možno použiť len výsledky výskumu uvedené v kap. 5.4.2.3, pretože nie sú nám známe žiadne oficiálne dokumenty (normy, predpisy a pod.), ktoré by sa dali použiť na tento účel.

Určité porovnanie sme urobili medzi úbytkom povlaku Zn v atmosfére a odvodené v zemine po 50 rokoch, tab.41, keď sme analyzovali logaritmické krivky v Prílohách 5F a 6D.

Tab. 41 Porovnanie úbytku povlaku Zn v atmosfére a v zemine na skúmaných objektoch

| prostredie                                      | povlak Zn  |                         |                     |
|-------------------------------------------------|------------|-------------------------|---------------------|
|                                                 | počiatočný | zostatkový po 50 rokoch | úbytok po 50 rokoch |
|                                                 | μm         | μm                      | μm                  |
| atmosféra C2 (A C2)                             | 46,48      | 29,80                   | 16,7                |
| atmosféra C3 (A C3)                             | 68,05      | 36,20                   | 31,9                |
| zemina so strednou korozivitou (ZSK)            | 55,15      | 30,60                   | 24,5                |
| zemina so strednou až vyššou korozivitou (ZSVK) | 53,99      | 16,50                   | 37,5                |

pokračovanie tab.41

| úbytok po 50 rokoch               |      |
|-----------------------------------|------|
| súčet (A C2) + (ZSK) = 16,7+24,5  | 41,2 |
| súčet (A C3) + (ZSK) = 31,9+24,5  | 56,4 |
| súčet (A C2) + (ZSVK) = 16,7+37,5 | 54,2 |
| súčet (A C3) + (ZSVK) = 31,9+37,5 | 69,4 |

| porovnávaci koeficient             |      |
|------------------------------------|------|
| podiel (ZSK) / (A C2) = 24,5/16,7  | 1,47 |
| podiel (ZSK) / (A C3) = 24,5/31,9  | 0,77 |
| podiel (ZSVK) / (A C2) = 37,5/16,7 | 2,25 |
| podiel (ZSVK) / (A C3) = 37,5/31,9 | 1,18 |

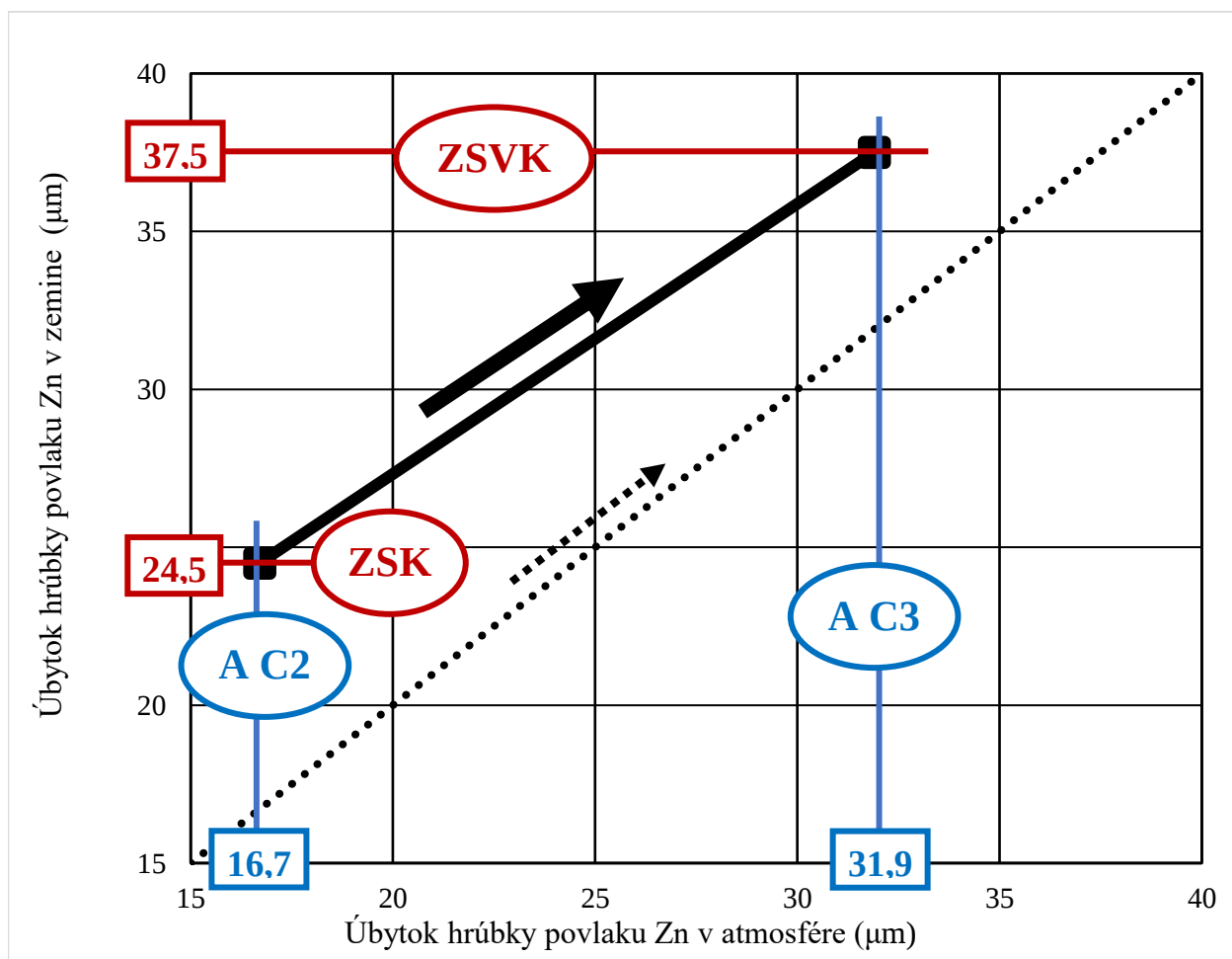
Pozn. A C2.....Atmosféra C2

A C3.....Atmosféra C3

ZSK .....Zemina so Strednou Korozivitou

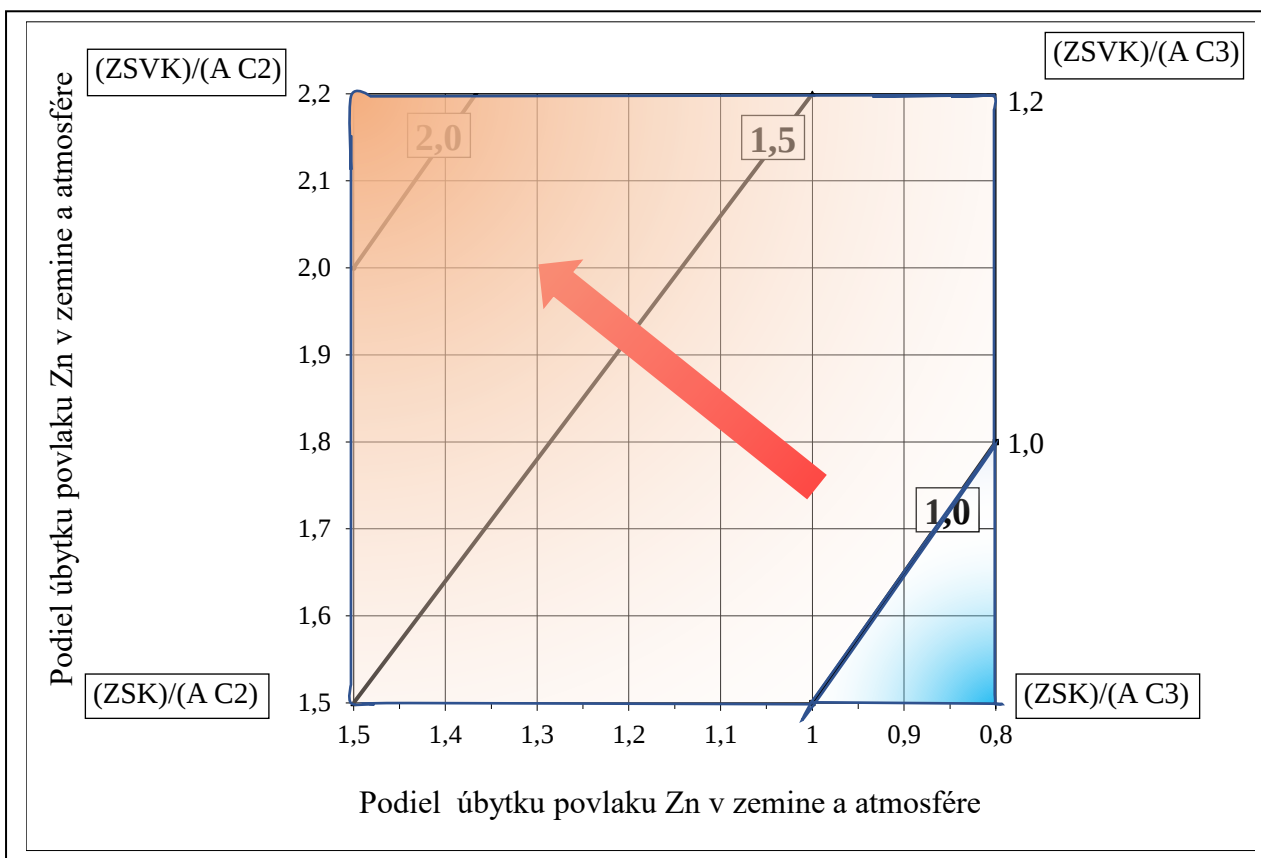
ZSVK ..... Zemina so Strednou až Vyššou Korozivitou.

V každej gabionovej opornej konštrukcii je sieť gabionových košov v kontakte s atmosférou aj zeminou. To nás viedlo k úvahe pozrieť sa nielen na úbytok povlaku Zn v atmosfére (napr. predná časť konštrukcie), ale súčasne i v zemine (zadná časť konštrukcie) v jednej gabionovej konštrukcii. Preto sme vyniesli hodnoty úbytku povlaku Zn v atmosfére a zemine po 50 rokoch (ľavá strana pokračovania tab.41) do spoločného obrázku, obr. 42. Bodkovaná čiara predstavuje ideálnu rovnakú rýchlosť úbytku Zn povlaku v atmosfére aj zemine. Plná čiara zobrazuje intenzitu a priebeh úbytku povlaku Zn od mierneho smerom k agresívnejšiemu prostrediu, ako ich predpokladáme na základe výsledkov výskumu.



Obr. 42 Úbytok povlaku Zn v atmosfére aj zemine po 50 rokoch

Súčasne sme analyzovali vzájomný pomer úbytku povlaku Zn v atmosfére a v zemine v jednej gabionovej konštrukcii, obr. 43.



Obr. 43 Vzájomný podiel úbytku povlaku Zn v zemine a atmosfére

Z analýzy obr.42 je zrejmé, že:

- celkový úbytok povlaku Zn na drôtoch v kontakte s atmosférou aj v zemine logicky narastá približne rovnomerne smerom k väčšej agresivite atmosféry (od C2 do C3) a od zeminy so strednou korozivitou smerom k zemine so strednou až vyššou korozivitou,
- úbytok povlaku Zn v zemine je výrazne vyšší, ako v atmosfére (poloha plnej čiary nad čiarkovanou čiarou),
- rýchlosť úbytku povlaku v atmosfére je smerom k vyššej agresivite prostredia mierne vyššia oproti rýchlosti úbytku povlaku v zemine (sklon plnej čiary).

Z analýzy obr.43 je zrejmé, že:

- úbytok povlaku Zn na drôtoch v kontakte so zeminou je vo väčšine prípadov väčší (veľkosť hnedej plochy k modrej ploche v obr.43) ako na drôtoch v kontakte s atmosférou, v rovnakej gabionovej konštrukcii (na obr.43 je to plocha, kde je pomer  $>1,0$ ),
- väčší úbytok povlaku Zn na drôtoch v kontakte so zeminou v porovnaní s drôtmi v kontakte s atmosférou platí pre prípady, keď sa lokalita nenachádza v atmosférickom prostredí C3 a zemina zásypu má strednú korozivitu,
- ak sa konštrukcia nachádza v atmosférickom prostredí C3 a zemina zásypu má len strednú korozivitu, potom úbytok povlaku Zn na líci konštrukcie je väčší, ako na rube konštrukcie,
- ak sa gabionová konštrukcia nachádza v atmosférickom prostredí C2, tak o rýchlosti korózie drôtov rozhoduje korozivita zeminy, pretože vtedy môžu byť drôty na rube konštrukcie vystavené agresívnejšiemu prostrediu, ako na líci.

Treba pripomenúť, že uvedené závery z analýzy v obr.42 a 43 platia pre konštrukcie v daných lokalitách a stanovenú korozivitu atmosférického a zeminového prostredia.

## 6 Výsledky a vyhodnotenie výsledkov skúšok vzoriek s povlakom Zn+5%Al

*Kapitola 6 je rozpracovaná.*

## 7 Závery a odporúčania

V správe z výskumu realizovaného na objektoch z obdobia výstavby roky 1993 – 1998 a 2003 – 2009 sme sa zaoberali problematikou elektrochemického procesu korózie, ku ktorému dochádza na povrchu drôtu pri oxidácii ocele, z ktorej je drôt vyrobený. „Hrdzavenie“ vzniká chemickou reakciou medzi oceľou a kyslíkom. Kyslík je prítomný vo vzduchu alebo rozpustený na povrchu drôtu.

Pokovovanie povlakom Zn a ZnAl je relatívne progresívna metóda ochrany ocelového drôtu žiarovým nanášaním vrstvy kovu, ktorou sa vytvára bariéra a poskytuje galvanická ochrana. Povlak Zn alebo ZnAl chráni ocelový drôt tým, že podstatne znižuje rýchlosť korózie. Pri odhalení základnej vrstvy ocele, napríklad reznej hrany pri krátení drôtu alebo delení sietí, je oceľ katodicky chránená prednostnou koróziou zinkového povlaku. Deje sa to preto, lebo zinok je viacej elektronegatívny (reaktívnejší) než oceľ drôtu. V praxi to znamená, že oceľ pokrytá zinkom nezhrdzavie. Korózia ocele nenastane skôr, pokiaľ nedôjde ku spotrebovaniu priľahlého zinku v okolí. Vzdialenosť, na ktorú je galvanická ochrana účinná, závisí od prostredia.

Za vlhka má hrdza najčastejšie farbu bielu a tak sa aj nazýva „biela korózia“. Môže k nej dôjsť vtedy, ak sú drôty vo zvitku v tesnej blízkosti alebo siete nastohované v balíkoch na paletách a to priamym kontaktom s vodou alebo kondenzáciou medzi drôtmi. K predmetnej korózii dochádza za obmedzeného prístupu voľného prúdenia vzduchu. Za týchto nepriaznivých podmienok dochádza ku vzniku oxidu zinočnatého a súčasne neodvetraná vlhkosť mení oxid na hydroxid zinočnatý. Oxid zinočnatý zo vzduchu reaguje s hydroxidom vo forme uhličitanu zinočnatého.

Uhličitan zinočnatý tvorí tenký, priľnavý a stabilný vo vode nerozpustný povlak, ktorý slúži ako bariéra medzi vlhkom a vrstvou zinku. Tento nerozpustný povlak, tiež nazývaný pasívny film, spomaľuje reaktivitu zinku a dramaticky spomaľuje koróziu zinkového ochranného povlaku. Kľúčová časť mechanizmu ochrany je fáza schnutia na vzduchu, aby sa takýto povlak uhličitanom vytvoril a udržal.

Ak sa balíky sietí, špirál, dištančných spôn alebo zvitky drôtu ovlhčia pred zváraním alebo pred zabudovaním na stavbe bez náležitej cirkulácie vzduchu a možnosti schnutia, môže vzniknúť biela korózia. Chemická reakcia sa zastaví vo forme hydroxidu zinočnatého (ZnOH). Ako sme v správe na viacerých miestach spomínali zinok je veľmi reaktívny kov, pokiaľ nedôjde ku tvorbe pasívneho filmu uhličitanu zinočnatého vplyvom vzduchu (kyslíku).

Aby sa predišlo znehodnoteniu drôtu pred spracovaním alebo vyrobených sietí určených na gabiony, je potrebné prijať opatrenia k zabráneniu vzniku bielej korózie počas prevozu a skladovania. Základným predpokladom je používať tuzemské výrobky počnúc drôtom až po siete, vzhľadom na krátke dopravné vzdialenosti. Preprava v lodných kontajneroch alebo železničných vagónoch určite nie je vhodná, respektíve je značne riziková z pohľadu kondenzácie vlhkosti a vzniku bielej korózie.

Výrobcovia používajú vzhľadom na uvedenú rizikovú prepravu dodatočné povrchové úpravy pasiváciou olejovaním alebo nanášaním organických povlakov. Tieto povrchy sú však len dočasné

a treba dbať na overenie základných kvalitatívnych parametrov zinkového alebo zinko-hliníkového povlaku.

Na skladoch výrobcov a dodávateľov a pri samotnom dodaní zákazníkovi treba prekontrolovať výskyt bielej korózie. Treba dbať, aby drôt a sieť nezotrvali na sklade dlhšie ako dva mesiace a aby sklad bol dobre vetraný. Pokiaľ je sklad nevykurovaný, treba kontrolovať kondenzáciu vody a jej výskyt v balíkoch sietí a spojovacieho materiálu. Dôraz na kvalitu balenia a ošetrovania zvitkov drôtu napríklad pred zváraním je maximálne dôležitá, pokiaľ sa jedná o drôty zo námorskej výroby alebo boli prepravované železnicou.

Ak je skladovanie sietí realizované na stavbe, treba zabezpečiť dostatočné vetranie aj pod balíkmi a je vhodné uloženie aspoň 0,3 m nad zemou. Špirály a dištančné spony treba zásadne uskladňovať v krytom vetranom sklade a kontrolovať či nedochádza v sklade ku kondenzácii.

### Projektovanie a dizajn na zaistenie rovnomernej korózie

Jedným z očakávaných problémov gabionových objektov, ktorým sme sa vo výskume zaoberali je nenaplnenie prevádzkových očakávaní voči projektovej životnosti objektu. Gabionový objekt by mal bez zásadnejšej údržby vydržať počas jej návrhovej životnosti vzhľadom na okolité prostredie a náležitú údržbu v stave, aby degradačné procesy korózie nenarušili jej prevádzky schopnosť viacej než je prípustné. Podmienky korozívnej agresivity prostredia sa musia identifikovať vo fáze návrhu gabionového objektu, aby bolo možné vyhodnotiť ich význam. Stupeň korózneho zaťaženia sa môže odhadnúť na základe výpočtov, experimentálneho vyšetrovania, skúseností z predchádzajúcich stavieb alebo kombináciou týchto postupov. V tab. 42 sa uvádzajú informatívne návrhové životnosti rôznych typov konštrukcií podľa STN EN 1990 [12].

Tab. 42 Informatívne návrhové životnosti

| Kategórie návrhovej životnosti | Informatívna návrhová životnosť (v rokoch) | Príklady                                                        |
|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1                              | 10                                         | dočasné konštrukcie <sup>(1)</sup>                              |
| 2                              | od 10 do 25                                | vymeniteľné konštrukčné časti, napr. žeriavové nosníky, ložiská |
| 3                              | od 15 do 30                                | poľnohospodárske a obdobné stavby                               |
| 4                              | 50                                         | budovy a ďalšie bežné stavby                                    |
| 5                              | 100                                        | monumentálne stavby, mosty a iné inžinierske konštrukcie        |

<sup>(1)</sup> Konštrukcie alebo ich časti, ktoré môžu byť demontované s predpokladom ďalšieho použitia, sa nemajú považovať za dočasné.

Pri projektovaní je nevyhnutné zvažovať, do akej miery a akým koróznym prostredím sú atakované jednotlivé steny gabionového objektu. V praxi je obvyklé, že gabionový objekt a teda korózna ochrana sú zaťažované koróznym prostredím s rôzne vysokou agresivitou. Čelo gabionového múru je zaťažované obvykle atmosférickým prostredím, zadná časť je zaťažovaná pôdnym prostredím a priečky košov sú v prostredí hrubozrnnej drviny s istým podielom atmosféry.

Základnou zásadou dizajnu musí byť dôraz na rýchle a úplné odvedenie vody a zníženie stupňa prevlhčenia. Tento predpoklad je daný cyklami vlhka a sucha, pri ktorých sa tvorí ochranná patina hdrogenuhličitanu zinočnatého na povlaku Zn alebo ZnAl. Dlhé obdobia prevlhčenia urýchľujú koróziu zinku. Z uvedeného dôvodu je vhodné i posúdenie orientácie objektu, keďže steny obrátené na severnú stranu schnú pomalšie.

## Galvanická/bimetalická korózia a rozdielnosť kovov

Keď zinok alebo jeho zliatina dochádzajú do styku s oceľou za prítomnosti elektrolytu, prúd tečie od ocele k zinku, čím sa zinok stáva anodickým miestom tvorby elektrónov, kým oceľ sa stáva katódou, ktorá elektróny spotrebúva a zabraňuje tak viazaniu s kyslíkom a tvorbe červenej korózie.

Ak však bude gabionová sieť v kontakte s masívnou oceľovou konštrukciou korózne nechránenou, bude rozdiel potenciálu tak veľký, že dôjde k rýchlemu odčerpaniu elektrónov zinku z gabionových sietí a urýchleniu korózie sietí v nepredvídateľnej miere (voľná v betóne nekrytá výstužová oceľ).

## Kontakt s pôdou

Korózia v pôde zahŕňa iné chemické reakcie než vo vzduchu – atmosfére. Je to veľmi zložitá téma, najmä kvôli početným druhom pôdy-zeminy a podmienok, ktoré existujú v zemine (zadný zásyp, výplňový materiál gabionov, pôvodný terén za gabionovým objektom). Na zlepšenie podmienok je vhodné na zadný zásyp využívať taký materiál, ktorý rýchlo odvádza vodu a dlhodobo nemá zvýšenú vlhkosť.

Oceľová sieť s korozívnou ochranou Zn alebo ZnAl presiahne očakávanú trvanlivosť za istých podmienok prostredia Im3, čo môžeme zodpovedne tvrdiť, keďže sa jedná o záver na základe vlastných zistení a terénnych skúšok realizovaných inými pracoviskami, [73]. Na väčšine gabionových objektoch, ktoré sme posudzovali, bol úbytok povlaku Zn v kontakte so zeminou väčší, ako na drôtoch v kontakte s atmosférou.

Na potvrdenie alebo vyvrátenia nášho tvrdenia odporúčame výskumným pracoviskám technických univerzít alebo iným pracoviskám, napríklad v doktorandských prácach, naviazať na náš výskum a v 2-3 ročných odstupoch vykonávať merania na potvrdenie spomalenia korózie a logaritmického tvaru priebehu spotreby/úbytku ochranného povlaku v čase.

Odporúčame úpravu gabionovej konštrukcie v dôsledku agresívneho prostredia zeminy v zásype a podloží:

- hrubší drôt 4,5 mm umožňuje vyššiu plošnú hmotnosť ( $\text{g/m}^2$ ), t.j. hrúbku ( $\mu\text{m}$ ) ochranného povlaku,
- kompenzovať nižším priemerom na vzdušnej strane gabionu napríklad 3,50 mm, ktorý umožňuje ešte udržať plošnú hmotnosť povlaku obvyklú pre 4,00 mm drôt v súlade s STN EN 10244-2 trieda A.

Odporúčame kontrolu a odoberanie vzoriek v intervaloch 5, 10 a 20 rokov. Na základe výsledkov spracovať metodický postup opravy a údržby, pokiaľ výrobca nedisponuje verejne dostupným plánom údržby a opráv vypracovaným na základe reálnych skúseností obdobných objektov a klimatického i technického použitia (diaľnice, železnice, cesty I. tr. a iné objekty).

Gabionové objekty vybudované z bezúdržbových gabionov, len s povrchom Zn, Zn+Al, je vhodné zbežne kontrolovať v zásade s odstupom 5, 15, 30 a 60 rokov. Zbežne by mala byť kontrolovaná miera korózie na vzdušnej strane a mechanické poškodenie, prípadne výskyt červenej korózie. O kontrole musí byť pre následné hodnotenie zabezpečená fotodokumentácia a zápis v knihe kontrol. V prípade výskytu červenej korózie na ktoromkoľvek mieste objektu treba vykonať odborné posúdenie stavu objektu.

Pred uplynutím 60 rokov, na základe vyhodnotenia odobratých vzoriek z vnútra objektu, spracovať plán údržby a rekonštrukcie, ktorý bude použitý v období 60 – 100 rokov. V pláne kontrol vyhodnotiť i zbežne vykonávané kontroly a dokumentáciu, ktorá bola priebežne zabezpečovaná na gabionových objektoch.

Po uplynutí 100 rokov pristúpiť ku modernizácii a výmene objektu, pokiaľ nebude konštatované, že objekt je stabilný a má charakter rastlého terénu.

**U všetkých typov gabionových objektov** je potrebné vyhodnocovať v čase parametre ako je rovinatosť čela, časovú zmenu parametrov, stav koróznej ochrany, stav podložia, zmeny tvaru stanovených priečnych profilov, stav kameniva, stav betónových častí základu, funkčnosť odvodnenia, vykonať zápis a fotografickú dokumentáciu. Odporúčame, aby uvedené vykonával vybraný dodávateľ s potrebnými znalosťami projektovania a výstavby gabionových konštrukcií po dobu min. 10 rokov.

Odporúčame aby si NDS alebo SSC alebo nadriadený orgán objednal spracovanie „**Predpisu pre údržbu a opravy gabionových objektov**“. Autori ponúkajú spolupúčinnosť ako odborného garanta, popr. ako člena spracovateľského tímu. Predpis na údržbu a opravy by mal mať formu všeobecných pravidiel, ktoré budú spracované minimálne ako rezortný predpis alebo iný záväzný predpis. Realizátor alebo predajca gabionov nie sú spôsobilí na definovanie takýchto pravidiel. Mohlo by to viesť ku množstvu nekompatibilných požiadaviek poplatných marketingovým a komerčným snahám predajcov gabionových materiálov resp. dodávateľom kameňa, betónu a iných, ktorí sa podieľajú na výslednej gabionovej konštrukcii.

Z dôvodov zistených pri výskume a záverov zo zistení nemôžeme akceptovať nereálne údaje o životnosti kovových Zn A ZnAl povlakov uvedené v norme STN EN 10223-8, tab.1 a iných dokumentoch v súčasnosti platných v SR, v ktorých sa tieto informácie nachádzajú.

Výsledky výskumu na realizovaných stavbách ukazujú, že trvanlivosť (odolnosť) kovového povlaku na báze zinku chrániaceho drôt zvarovaných sietí gabionových konštrukcií v kontakte s atmosférickým prostredím C3 a zeminou so strednou a vyššou korozivitou je po 20 až 24 rokoch dostatočná na tvrdenie, že objekty vybudované v rokoch 1993 až 1998 v SR v regióne Bratislava - Trnava - Trenčín - Žilina - Čadca - Dolný Kubín - Martin aj po 100 rokoch budú plniť svoju projektovanú funkciu z pohľadu koróznej odolnosti.

Na základe vyhodnotenia reálnych výsledkov výskumu a dostupnej literatúry nás priviedli k otázkam:

- Prečo sú v normách STN EN 10223-3 a 10223-8 uvedené nereálne životnosti drôtu gabionov s povlakom ZnAl v dĺžke 10 a 25 rokov?
- Prečo projektanti presadzujú a investori akceptujú dodatočný väčší plastový (organický) povlak na povrchu drôtu, ktorý sa môže viacnásobne poškodiť, čím stráca svoju ochrannú funkciu a nekontrolovane ovplyvňuje životnosť spodného kovového povlaku?
- Kedy bude na Slovensku pripravená a používaná metodika na údržbu a kontrolu gabionových objektov?

### **Epilog:**

Po ukončení výskumu a vyhodnotení všetkých výsledkov sa radi podelíme s našimi poznatkami v kopletnej „Záverečnej správe“ so širokou odbornou aj laickou verejnosťou. Bohužiaľ štátne orgány SR (NDS, SSC, MDaRR), ako majitelia a správcovia gabionových konštrukcií, nepoznajú ich stav, no napriek tomu nemajú záujem o komunikáciu ani o výsledky prezentovaného výskumu.

Za spoluprácu ďakujeme spoločnostiam NV Bekaert S.A. Belgicko., COMPAG SK s.r.o. Bratislava a ALGON a.s. Cheb, ČR ako i oponentom a konzultantom, ktorí nám poskytli hodnotné vedomosti. Osobitne chceme spomenúť pána Ing. Rostislava Pcháleka, ktorý nás neodmietol a poskytol nám archívne dokumenty, laboratorne kapacity, hodnotné skúsenosti či sponzorskú výpomoc. Vďaka patrí aj všetkým majiteľom a prevádzkovateľom gabionových objektov, ktorí nám umožnili odber vzoriek a mali o spoluprácu záujem.

## Zoznam použitej literatúry

*Riešiteľ úlohy je členom SKSI a disponuje generálnym povolením SKSI s možnosťou citovať normy a nemusí žiadať o povolenie ÚNMS.*

- [1] STN 03 8204 Určovanie koróznej agresivity atmosfér pre kovy a kovové povlaky (03 8204)
- [2] DIN 50 021 Sprühnebelprüfungen mit verschiedenen Natriumchlorid-Lösungen (neplatná)
- [3] STN EN ISO 9227 Skúšky korózie v umelých atmosférach. Skúšky soľnou hmlou (03 8132)
- [4] STN EN 10 223-8 Oceľový drôt a drôtené výrobky na ploty a siete. Časť 8: Zvárané siete na gabionové produkty (15 3160)
- [5] STN EN ISO 6988 Kovové a iné anorganické povlaky. Skúška oxidom siričitým pri celkovej kondenzácii vlhkosti (03 8143)
- [6] STN 1548 Zinkové povlaky na oceľových drôtoch (neplatná)
- [7] STN EN 10 244-2 Oceľový drôt a drôtené výrobky. Neželezné kovové povlaky na oceľovom drôte. Časť 2: Povlaky zo zinku a zliatiny zinku (42 6470)
- [8] TKP, kap. 30 Technické kvalitatívne podmienky stavieb pozemných komunikácií. Kapitola 30 Speciální zemní konstrukce, 2009
- [9] TKP, časť 31 Technicko-kvalitatívne podmienky MDVRR SR. Časť 31 Zvláštne zemné konštrukcie, 2014
- [10] Report on structural study of two types of gabion mesh, The University of New South Wales, 1979
- [11] Durability of gabion structures, Officiene Maccaferri, 1994
- [12] STN EN 1990 Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií (73 0031)
- [13] STN EN 14475 Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Vystužené zemné konštrukcie (73 1009)
- [14] STN EN ISO 12944-2 Náterové látky. Protikorózna ochrana oceľových konštrukcií ochrannými náterovými systémami. Časť 2: Klasifikácia vonkajšieho prostredia (ISO 12944-2: 2017)
- [15] STN EN ISO 9223 Korózia kovov a zliatin. Korózna agresivita atmosfér. Klasifikácia, stanovenie a odhad (ISO 9223: 2012)
- [16] STN EN ISO 14713-1 Zinkové povlaky. Návod a odporúčania na protikoróziu ochranu oceľových konštrukcií. Časť 1: Všeobecné princípy navrhovania a odolnosti proti korózii (ISO 14713-1:2017)
- [17] STN EN ISO 9224 Korózia kovov a zliatin. Korózna agresivita atmosfér. Smerné hodnoty pre stupne koróznej agresivity (ISO 9224: 2012)
- [18] G.Schickor, Korozívne reakcie zinku, zväzok 1, Reakcie zinku v atmosfére, Metal Verlag GmbH.
- [19] H.J.Bottcher a kol., Stahl Informations Zentrum Dusseldorf, Merkblatt Nr.400, Korrosionsverhalten von feuerverzinkten Stahl, 1990
- [20] DIN 17770 Časť 1: Zinkové plechy a pásy na stavebné účely
- [21] H.Wiegand, K.H.Kloss, Werkstoff a Korrosionsverhalten verzinkter Feibleche unter besonderer Berücksichtigung der Erzeugungs und Weiterverarbeitungsverfahren, 1968
- [22] R.Haarmann, Opatrenia proti vzniku bielej korózie na žiarovo zinkovaných výrobkoch, 1968
- [23] G.Heim. Korozívne reakcie žiarovo zinkovanej pásovej ocele v zemine, 1977
- [24] DVGW, Pracovný list pre hodnotenie korozívneho ohrozenia železa a ocelí v zemnom podklade, 1971
- [25] W.Baekmann, D.Funk, Úroveň úbytkov zinku pri jednosmernom a striedavom prúde, 1982
- [26] G.Heim, Korozívne reakcie pôdných materiálov, 1982 str. 875-884.
- [27] M.Chovancová, J.Hiveš, M.Zemanová, P.Fellner, Korózia pod napätím v prostredí piesku a ílu, SlovGas, č.6, 2003

- [28] L.Jurkovič, J.Milička, M.Šujan, Návrh Indexu korózneho rizika vzhľadom na úložné líniové zariadenia, Slovgas, č.4, 2007
- [29] V.Gajdoš, Elektromagnetické vlastnosti hornín, UK PF Bratislava, 2013
- [30] STN 03 8375 Ochrana kovových potrubí proti korózii uložených v pôde alebo vo vode (zrušená)
- [31] FHWA-NHI-09-087 Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, 2009
- [32] ASTM G187-12a [62] BS 1377-3: 2018 Methods of test for soil for civil engineering purposes. Chemical and electro-chemical testing
- [33] STN 33 2000-5-54 Elektrické inštalácie nízkeho napätia. Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení. Uzemňovacie sústavy a ochranné vodiče
- [34] STN EN 12501-2 Ochrana kovových materiálov pred koróziou. Pravdepodobnosť korózie v pôde. Časť 2: Nízkelegované a legované železné materiály.
- [35] Vojtech Gajdoš, Elektromagnetické vlastnosti hornín, UK Bratislava - 2013
- [36] J. Jesenák, Mechanika zemín, SVŠT v Bratislave, 1985
- [37] S.Augustín, Doporučenia na protikoróznú ochranu oceľových dielcov v čističkách odpadových vôd, Technika čistenia odpadových vôd, Poznámkový list M263, 1989
- [38] TKP, časť 21 Technicko-kvalitatívne podmienky MDVRR SR. Časť 21 Ochrana oceľových konštrukcií proti korózii, 2013.
- [39] STN EN 10 218-1 Oceľový drôt a výrobky z drôtu. Všeobecne. Časť 1: Skúšobné metódy
- [40] STN EN 10 218-2 Oceľové drôty a výrobky z drôtu. Všeobecne. Časť 2: Rozmery a tolerancie drôtu
- [41] STN EN ISO 1460 Zinkové povlaky. Žiarové povlaky zinku na železných podkladoch nanášané ponorením. Gravimetrické stanovenie plošnej hmotnosti.
- [42] ISO 7802 Metallic materials. Wire. Wrapping test
- [43] DIN 51 213 Skúšky kovových povlakov na drôtoch.
- [44] The salt spray test and its use in ranking stainless steels, ISSF, 2008
- [45] STN EN ISO 14688-1 Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 1: Pomenovanie a opis (ISO 14688-1:2017)
- [46] STN EN ISO 14688-2 Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 2: Princípy klasifikácie (ISO 14688-2:2017)
- [47] STN EN 1997-2 Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia (73 0091)
- [48] STN EN ISO 17892-1 Geotechnický prieskum a skúšky. Laboratórne skúšanie zemín. Časť 1: Stanovenie vlhkosti (ISO 17892-1:2014)
- [49] STN EN 16173 Kaly, upravené bioodpady a zemina. Mineralizácia frakcií prvkov rozpustných v kyseline dusičnej (83 8421)
- [50] STN ISO 10390 Kvalita pôdy. Stanovenie pH
- [51] STN EN 15934 Kaly, upravené bioodpady, zemina a odpady. Výpočet sušiny pomocou stanovenia suchého zvyšku alebo obsahu vody (83 8441)
- [52] STN 72 1021 Laboratórne stanovenie organických látok v zeminách (72 1021)
- [53] T.J.Langill, Predicting the service life of galvanized steel, The Fabricator, 2003.
- [54] FHWA-NHI-10-024 Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Vol.I
- [55] Sériá seminárov v SR, Gabion Tour 2018, Gabion Consult
- [56] STN EN ISO 16348 Kovové a iné anorganické povlaky. Definície a dohody týkajúce sa vzhľadu
- [57] BS 1377-3:2018 Methods of test for soils for civil engineering purposes. Chemical and electro-chemical testing
- [58] STN EN ISO 1461 Zinkové povlaky na železných a oceľových výrobkoch vytvorené ponorným žiarovým zinkovaním. Požiadavky a skúšobné metódy.
- [59] R.E.Melchers, Predicting long-term corrosion of metal alloys in physical infrastructure. Materials Degradation, Vol.3, art. No.4, 2019

- [60] B.Hadzima, Korózia zliatin Mg-Al-Zn, Dizertačná práca, Žilina, 2003.
- [61] BS 8006-1:2010 Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, BSI British Standards.
- [62] BBA HAPAS certificate 18/H276 High adherence strip and panel lug system for reinforced soil retaining wall and bridge abutments, Reinforced Earth Company Ltd
- [63] Prezentácia firmy Bekaert, semináre na Gabion Tour 2017.
- [64] Bezinal 2000 passport. Informácia firmy Bekaert.
- [65] Reinforced Earth MSE Walls firemná brožúra.
- [66] Geosyntetika. Odporúčané termíny, definície, funkcie, značky, symboly a skratky geosyntetiky, geotextíliám a geosyntetike podobných výrobkov a iných výrobkov a opis aplikácií týchto výrobkov a stavebných konštrukcií, kde sa používajú. Dokument IGS Slovensko, 2019, 58 str.
- [67] Informácia fy Bekaert, 2016.

## **Zoznam príloh**

Príloha 1 Popis lokalít a vzoriek siete

Príloha 2 Fotodokumentácia lokalít

Príloha 3 Výsledky hodnotenia korozivity prostredia na základe skúšok odobratých vzoriek v rámci výskumu 2018/2019

Príloha 3A Výsledky hodnotenia odobratých vzoriek v atmosfére

Príloha 3B Výsledky hodnotenia odobratých vzoriek v zemine

Príloha 4 Vyhodnotenie korozívneho prostredia v kontexte platných STN EN

Príloha 5A Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou

Príloha 5B Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou C2

Príloha 5C Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou C2, bez lokality 6

Príloha 5D Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou C2-C3

Príloha 5E Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou C3

Príloha 5F Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte s atmosférou C2 (bez lokality 6), C2-C3 a C3 - priemerné krivky

Príloha 5G Analýza logaritmickkej krivky úbytku hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtu v kontakte s atmosférou C2

Príloha 5H Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov v kontakte s atmosférou a porovnanie s normami

Príloha 6A Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte so zeminou

Príloha 6B Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte so zeminou so strednou korozivitou

Príloha 6C Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte so zeminou so strednou až vyššou korozivitou

Príloha 6D Úbytok hrúbky Zn povlaku na povrchu drôtov vzoriek v kontakte so zeminou - priemerné krivky