

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství

Studijní specializace: Strojírenské materiály a technologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aspekty korozního napadení na akustickou emisi kovů

Autor: **Dominika Panská**

Vedoucí práce: **Ing. Petr Beneš, Ph.D.**

Akademický rok 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominika PANSKÁ**
Osobní číslo: **S19B0643P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Strojírenské materiály a technologie**
Téma práce: **Aspekty korozního napadení na akustickou emisi kovů**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Zásady pro vypracování

1. Definice NDT metod
2. Metoda Akustické emise
3. Koroze
4. Koroze jako akustická událost
5. Možnosti využití vyhodnocování korozního napadení pomocí akustické emise v praxi
6. Popis a příprava měřicí aparatury
7. Experimentální program
8. Diskuze výsledků
9. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Moore, O., P., Nondestructive Testing Handbook, Volume 6, Acousting Emission Testing, American Society for Nondestructive Testing, ISBN: 1-57117-106-1, 2007.

Shull, J., Peter, Nondestructive Evaluation, Theory, Techniques, and Applications, Marcel Dekker, ASM International, ISBN: 0-8247-8872-9, 2002.

Kopec, B., Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, Akademické nakladatelství CERM, ISBN: 978-80-7204-591-4, 2008.

Jaromír Tlačbaba, Koroze oceli a její lokalizace NDT metodou – AE, Mendelejova univerzita v Brně, Ústav techniky a automobilové dopravy, diplomová práce, 2011.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Beneš, Ph.D.**
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ondřej Chocholatý, Ph.D.**
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
Děkan

Ing. Josef Odehnal, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Panská	Jméno Dominika	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Beneš, PhD	Jméno Petr	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KMM		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Aspekty korozního napadení na akustickou emisi kovů		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá zkoumáním vlivu korozních prostředí na materiály pomocí metody Akustické emise. V teoretické části vysvětluje základní metody nedestruktivního zkoušení a dále popisuje fungování metody Akustické emise. V experimentální části je provedeno měření a vyhodnocení získaných hodnot.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Akustická emise, koroze, metody nedestruktivního zkoušení</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Dominika	Name Panská	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Strojní inženýrství		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Beneš, PhD	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Influence of corrosion attack on acoustic emission of metals		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis is concerned with the study of the influence of corrosive environments on materials using the Acoustic Emission method. The theoretical part explains the basic methods of non-destructive testing and further describes the operation of the Acoustic Emission method. In the experimental part, the measurement and evaluation of the obtained values is performed.
KEY WORDS	Acoustic emission, corrosion, non-destructive testing methods

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
Úvod do problematiky.....	11
1. Definice NDT metod.....	12
1.2 Vizuální zkouška	12
1.2.1 Faktory ovlivňující zkoušku.....	13
1.2.2 Kvalifikace vad	13
1.3 Kapilární zkouška.....	14
1.3.1 Princip kapilární metody	14
1.3.2 Rozdělení kapilárních metod.....	14
1.3.3 Aplikace kapilární zkoušky	14
1.4 Magnetická metoda.....	15
1.4.1 Podstata magnetické zkoušky.....	15
1.5 Prozařovací metoda	16
1.5.1 Princip metody	16
1.5.2 Záznam vad	17
1.6 Ultrazvuková metoda.....	17
1.6.1 Základní pojmy	17
1.6.2 Způsob měření.....	18
2. Metoda Akustické emise	19
2.1 Základní pojmy.....	19
2.2.1 Zdroje akustické emise.....	19
2.2.2 Událost akustické emise	20
2.2 Akustická emise jako fyzikální jev	20
2.2.1 Šíření vln	20
2.2.2 Základní druhy vln	21
2.2.3 Nalezení místa zdroje	22
2.3 Druhy snímačů.....	23
2.3.1 Piezoelektrické snímače	23
2.4 Kalibrace snímačů	24
3. Koroze	25
3.2 Mechanismus elektrochemické koroze.....	25
3.2.1 Anodová (oxidační) reakce	26
3.2.2 Katodová (redukční) reakce	26

3.3	Mechanismus chemické koroze.....	26
3.3.1	Koroze v oxidačním prostředí.....	26
3.3.2	Koroze v redukčním prostředí.....	27
3.3.2.1	Vodíková koroze.....	27
3.3.2.2	Vodíková křehkost.....	27
3.4	Další typy koroze z hlediska materiálového projevu.....	28
3.4.1	Rovnoměrná koroze.....	28
3.4.2	Bodová koroze.....	28
3.4.3	Štěrbínová koroze.....	28
3.4.4	Mezikrystalová koroze.....	29
3.4.5	Transkrystalová koroze.....	29
4.	Koroze jako akustická událost.....	30
5.	Možnosti využití vyhodnocování korozního napadení pomocí akustické emise v praxi.....	32
5.1	Parametry nespojité akustické emise.....	32
5.2	Detekce korozního napadení.....	34
5.3	Využití metody AE v praxi.....	34
6.	Popis a příprava měřicí aparatury.....	37
7.	Experimentální program.....	40
7.1	Příprava vzorků.....	42
7.2	Měření oceli ČSN třídy 11.....	43
7.3	Měření pozinkované oceli.....	49
8.	Diskuse výsledků.....	51
9.	Závěr.....	53
	LITERATURA.....	54
	OBRÁZKY.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM GRAFŮ.....	60
	SEZNAM TABULEK.....	60

Seznam symbolů a zkratk

Zkratka	Jednotky	Název
AE	-	Akustická emise

Úvod do problematiky

V dnešní časově a finančně náročné době je snaha kontrolovat technická zařízení pokud možno při jejich provozu. Tento přístup kontroly je umožněn pomocí akustické emisní metody zkoušení. Jedná se o metodu, která umožňuje pozorovat probíhající děje uvnitř zkoumaného materiálu a předejít tak možnému destrukci konstrukce. V této části práce je podrobně popsána akustická emisní metoda zkoušení z hlediska probíhajících korozních dějů uvnitř materiálu. Právě koroze je problémem v průmyslu v celé řadě jeho odvětví. Nejenže se koroze negativně podepisuje například na stavu technických zařízení a vytváří tak další finanční náklady na odstranění následků po působení koroze, ale značné problémy také činí náklady na ochranu proti korozi. Použité metody na ochranu proti vzniku korozi však musí být v souladu s dnešním ekologickým myšlením společnosti.

1. Definice NDT metod

Jedná se o zkoušení materiálů pomocí různých metod, aniž by došlo k jeho porušení či ovlivnění jeho funkčnosti. Věda, která se touto oblastí zabývá, se nazývá defektoskopie. Nedestruktivní zkoušení se stalo běžnou součástí naší moderní doby a jeho využívání započalo již v dávné minulosti, kdy se objekty zkoumaly pouhým okem. Od té doby se nedestruktivní zkoušení rozvinulo do mnoha metod, pomocí kterých lze diagnostikovat vnitřní a vnější stav materiálu a odhalit tak závažné vady, které by mohly vést například k destrukci celé konstrukce. Ovšem oblast kde toto zkoušení lze využít, je daleko rozsáhlejší. Nehledá pouze skryté vady, ale může pomoci ke snižování výrobních nákladů, či může zajišťovat a kontrolovat stejnou jakost všech výrobků.

Je třeba mít na paměti, že neexistuje univerzální metoda, která by dokázala na zkoušeném materiálu odhalit jeho všechny nedostatky. Pro správnou a celistvou diagnostiku, je třeba použít několik zkušebních metod, s ohledem na typ, rozměry a druh materiálu. U odlitků zkoumáme vady v podobě různých vměstků, dutin, staženin či pórů. Různé trhliny, kořenové vady, zápaly, vruby, vady odtavováním a závaru hledáme zase u svařenců. Při hledání vad v materiálu, se vada může projevit například tím, že v důsledku její existence dojde ke snížení intenzity záření. Při nalezení vad dochází tedy k určitým fyzikálním změnám veličin. Vady lze rozlišit dle jejich polohy v materiálu. Lze je rozdělit na vady povrchové a vnitřní a dle toho je možno volit odpovídající metodu zkoušení. Pro hledání povrchových vad lze využít obvykle vizuální, kapilární či magnetickou zkoušku. K nalezení vnitřních vad se nejčastěji používá ultrazvuková nebo prozařovací zkouška.

1.2 Vizuální zkouška

Lze říci, že se jedná o zkoušku, která předchází každé jiné prováděné zkoušce. Je to typ zkoušení, který je relativně levný, snadno proveditelný ale zároveň poměrně účinný. Hodnocení se provádí pouhým okem nebo za použití přístrojů a zařízení.

- **Přímá vizuální kontrola**

U této kontroly nedochází k přerušení optické dráhy mezi okem pozorovatele a kontrolovaným místem. Využívá se ke zjišťování detailů. Kontrolované místo musí být dobře přístupné a to tak, aby bylo možné provést kontrolu na vzdálenost menší než 600 mm a pod úhlem menší 30 stupňů vzhledem ke kontrolovanému místu viz.obr.1. V tomto případě kontrolovaný povrch musí být dobře osvětlen přídatným světlem o intenzitě minimálně 500 luxů. Kontrola může probíhat také ze vzdálenosti větší než 600 mm při intenzitě osvětlení minimálně 160 luxů a to v případě, že se jedná o všeobecnou kontrolu [1].

- **Nepřímá vizuální kontrola**

V případě, že kontrolované plochy jsou pro nás nepřístupné, tedy že není umožněna přímá vizuální kontrola, provádíme nepřímou kontrolu viz.obr.2. Jedná se tedy o případ, kdy je optická dráha mezi okem pozorovatele a kontrolovaným místem přerušena. V tomto případě přichází na řadu použití speciálních přístrojů a zařízení v podobě videostopů či přístrojů s optickými vlákny [1].

1.2.1 Faktory ovlivňující zkoušku

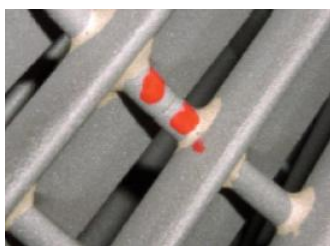
Provedení kontroly závisí na celé řadě faktorů, které se navzájem ovlivňují. Za hlavní faktor, který má na výsledek kontroly významný vliv, lze považovat osvětlení kontrolované plochy. Osvětlení musí být zvoleno tak, aby nedocházelo například k přílišnému oslnění. Přílišné oslnění zhoršuje pozorovací prostředí. Zároveň objekt, na kterém jsou vady zkoumány, musí být v dostatečném kontrastním odlišení od hledaných vad, aby nedocházelo k přehlédnutí určitého defektu [1]. Další faktory ovlivňující vizuální kontrolu, jsou:

- rozměry sledovaného povrchu
- barva dopadajícího světla: barva ovlivňuje kontrast
- členitost povrchu: stav povrchu ovlivňuje dopad a odraz světla
- únava pracovníka: nesoustředěnost a možné přehlédnutí vady [1]

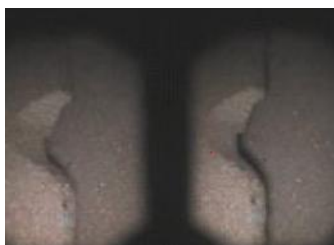
1.2.2 Kvalifikace vad

Jak již bylo řečeno, pro správné hodnocení vad při vizuální kontrole je důležité osvětlení. Pro správnou identifikaci defektů jsou důležité také zkušenosti kontrolora získané praxí. S tím souvisejí požadavky na odborné znalosti pracovníka, čili jestli je obeznámen s příslušnými normami či zda ovládá pracovní postupy. V neposlední řadě je velmi důležitá kvalita zraku pracovníka, která se hodnotí dle požadavků na zrakové schopnosti [1].

Hodnocení vad se může provádět několika způsoby. Prvním způsobem je hodnocení na základě prohlídky a porovnání, které se provádí dle vnějších znaků s reprezentativními vadami a to podle katalogu vad či srovnávacích etalonů. Druhý způsob pro hodnocení vad je prohlídka a měření parametrů. Při tomto způsobu se orientujeme dle normy, předpisů apod. Je zcela logické, že i při této disciplíně dochází k selhání lidského faktoru v podobě nepřesnosti měření, které mohou být soustavné nebo nahodilé [1].



Obr. 1 - Vizuální metodou byl zjištěn prasklý výztužný drát lopatkové řady [1]



Obr. 2 - Poškození oběžných lopatek turbíny [2]

1.3 Kapilární zkouška

Pomocí kapilární zkoušky lze nalézt povrchové vady ale i vady vnitřní, které s povrchovými vadami mají spojitost. Její využití je v celé řadě oborů. Hojně se využívá v automobilovém, leteckém či v energetickém průmyslu a to z toho důvodu, že se jedná o poměrně levnou a rychlou metodu, tedy alespoň pro použití v základních aplikacích. V dnešní době se využívá zejména pro kontrolu svarů a hledání vad, jako jsou vměstky či trhliny.

1.3.1 Princip kapilární metody

Princip je založen na kapilárních jevech, které závisí na smáčivosti povrchu materiálu kapalinou (penetrantu) a na její schopnosti vzlínivosti. Smáčivost bychom mohli charakterizovat, jako schopnost kapaliny přilnout k povrchu při dané pracovní teplotě. Je hodnocena na základě velikosti stykového úhlu alfa. Vzlínavost je schopnost kapaliny vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru kapalinou. Sledujeme, do jaké výšky je schopna kapalina vyzvlínat.

1.3.2 Rozdělení kapilárních metod

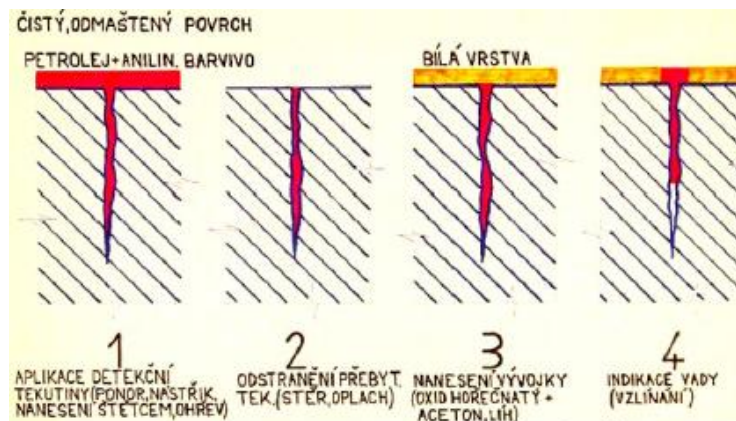
Rozdělujeme je podle druhu indikace a způsobu vyobrazení na:

- Metodu barevné indikace – přítomnost vady odhalíme na základě kontrastu dvou barev a to většinou červené na bílém podkladě. Hodnocení probíhá za denního nebo umělého světla.
- Metodu fluorescenční - vada se projeví tím, že pod ultrafialovým zářením světélkuje.
- Metodu dvouúčelovou - přítomnost vady se projeví barevným či fluorescenčním způsobem, to záleží na tom, jaký druh osvětlení pro nalezení vady použijeme [1].

1.3.3 Aplikace kapilární zkoušky

Zkouška se provádí v několika krocích a to:

- Příprava materiálu - zkoušený materiál je nejprve nutno očistit a odmastit z toho důvodu, aby použitá penetrační kapalina měla co nejlepší smáčivost.
- Nanesení detekční kapaliny neboli penetrantu - jedná se o kapalinu, která se nanese na povrch materiálu a vnikne do míst, kde se nacházejí necelistvosti. Vzhled této kapaliny je červený. Může se v ní nacházet rozpuštěný luminosfór. Detekční kapaliny se dělí do několika skupin, které se liší tím, jakým způsobem se vada na povrchu materiálu zobrazí. Penetranty můžeme dělit i dle smytelnosti vodou.
- Odstranění penetrantu - odstranění závisí na typu penetrantu, který byl použit.
- Vyvolání - používají se vývojky, které se nanášejí na povrch materiálu. Jejím hlavním úkolem je zobrazit necelistvosti. Vývojka je jemnozrnný materiál, jehož hlavním představitelem bývá oxid zinečnatý, vápenec či kaolin. Vývojka je také obohacena o tzv. nosné prostředí, které může představovat vzduch, voda nebo líh. Vývojka kromě zobrazení vady, má zajišťovat i viditelný kontrast mezi vadou a okolním prostředím pro její snadnější nalezení na povrchu materiálu. Dle typu nosného prostředí vývojky rozdělujeme na suché, mokré vývojky těkavé a mokré vývojky vodné.
- Vyhodnocení výsledků [1]



Obr. 3 - Princip detekce kapilární zkoušky [3]



Obr. 4 - Zobrazení vady při kapilární zkoušce [4]

1.4 Magnetická metoda

Aplikuje se pouze na feromagnetické materiály pro zjišťování povrchových vad nebo vad, které se nacházejí blízko povrchu. Zjišťují se vady podélné a příčné, přičemž jejich zjištění závisí na použitém proudu. Pomocí této metody se zjišťuje přítomnost různých pórů, vměstků či trhlin.

1.4.1 Podstata magnetické zkoušky

Podstatou je vytvoření magnetického pole v materiálu. Jestliže se v materiálu nacházejí trhliny, projeví se tyto vady tak, že v místě trhlin siločáry vystoupí na povrch a v materiálu vytvoří magnetické póly. Lze to odůvodnit tím, že většina vad je nemagnetického charakteru a v místě vady dochází k deformaci magnetického pole a dochází k následnému vystoupení siločar na povrch materiálu. Jedná se o tzv. rozptylový magnetický tok.

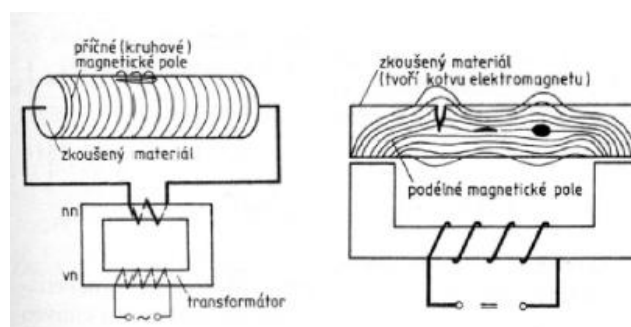
Poté se na povrch materiálu nanese detekční prostředek, jehož hlavním představitelem je feromagnetický prášek, který se může použít buď to v suché podobě či jako rozptýlený v kapalině. Od magnetického prášku se očekává velmi dobré vyobrazení trhlin. Jeho částice by

neměly ulpívat na místě povrchu s drobnými nedostatky. Magnetické prášky lze rozdělit dle toho, jak se zobrazí případná vada. Je možno použít prášky barevné, které se nejčastěji vyrábějí z čistého železa. Důležité jsou tedy i optické vlastnosti prášků. Barva musí být vhodně zvolena, aby šlo jasně rozeznat vadu od okolního povrchu. V případě, že prášek obsahuje tzv. lumogen, dojde při jeho osvětlení ultrafialovým zářením ke světélkování [1].

Z hlediska způsobu nanášení dělíme magnetické prášky také na:

- suché
- olejové suspenze
- vodní suspenze
- magnetické barvy
- polymerové prostředky [1]

Po aplikaci detekčního prostředku na povrch materiálu, tedy například olejové suspenze, která kromě prášku obsahuje i minerální oleje a petrolej, dojde k jejímu rozlití po povrchu. V místech, kde siločáry vystoupily na povrch materiálu, dojde na témže místě k uchycení zrn a tím dojde k vyobrazení vady. Na úplném konci musíme materiál odmagnetizovat [1].



Obr. 5 - Princip magnetické zkoušky [5]

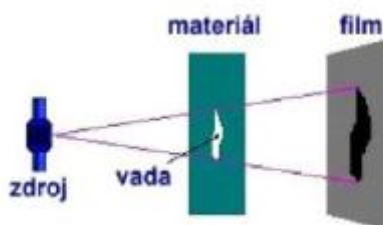
1.5 Prozařovací metoda

Metoda sloužící pro kontrolu vnitřních vad. Je vhodná ke kontrole odlitků či svařenců. Využívá se nejen v průmyslu, ale také v archeologii či v umění. Rentgenové záření označujeme jako záření X. Toto záření vzniká při prudkém brzdění letících elektronů. Pokud se tato energie šíří elektromagnetickým vlněním, hovoříme o rentgenovém a gama záření.

1.5.1 Princip metody

Lze říci, že X záření a záření gama se od sebe odlišují jen svým vznikem. V případě, že je rozhodováno o tom, jaké záření pro uskutečnění zkoušky použít, je třeba se podívat na klady a zápory radioizotopových zářičů a rentgenových zařízení. Metoda je založena na využití různého zeslabování intenzity záření procházející daným zkoušeným materiálem. Intenzita záření je závislá na tloušťce a hustotě materiálu. To znamená, že při průchodu záření

materiálem v místě, kde se nenachází vada, dostaneme rentgenový film se světlým místem. Pokud o všem záření projde materiálem skrz vadu, na rentgenovém snímku se vada projeví tmavým místem [1]. Princip je ukázán na obr.6.



Obr. 6 - Princip zobrazení vady u rentgenové zkoušky [6]

1.5.2 Záznam vad

Záznam se může provádět na rentgenový film. Záchyt záření je umožněn detekční látkou, kterou film obsahuje. K záchytu dochází při interakci fotonů s detekční látkou. Kvalitu zkoušky zásadním způsobem ovlivňují vlastnosti filmů. Například citlivost filmu, která je definovaná jako dávka, kterou film potřebuje k dosažení zčernání. Citlivost filmu ovlivňuje také granulace. Filmy které jsou jemnozrné, mají citlivost nejmenší. Lze ji znázornit tzv. křivkou D. Jedná se o křivku zčernání. Další důležitou vlastností je gradace neboli stoupání křivky zčernání. Ve vyšším stupni kontrastu, se zobrazí změna tloušťky materiálu tedy, je-li průběh křivky zčernání strmější. Důležitá je také pro záznam správná volba filmu. Vyvolání filmů může být ruční nebo automatické. Pozor je třeba si dát při vyvolání filmů, aby nevznikly vady z neopatrnosti při manipulaci a nebyly tak mylně vyhodnoceny jako vady na výrobku [1].

1.6 Ultrazvuková metoda

Jedná se o nejpoužívanější metodu pro nedestruktivní zkoušení. Metoda je založena na vysílání zvukových vln do materiálu. Zkoušení touto metodou je univerzální. Lze hledat jak povrchové tak i vnitřní vady v celém objemu a to i ve velké hloubce zkoušeného materiálu. Velká výhoda této zkoušky spočívá ve snadné automatizaci, ve vysoké přesnosti a také v okamžitém zobrazení necelistvostí. Využívá se ke zkoušení kovových či nekovových materiálů.

1.6.1 Základní pojmy

Ultrazvuk můžeme definovat jako pohyb částic mechanickým kmitáním s frekvencí vyšší než 20kHz. Kmitání rozdělujeme na tlumené a netlumené. Tlumené kmitání se liší od netlumeného tím, že nemá konstantní výchylku neboli amplitudu. Je to dáno tím, že tomuto kmitání není dodávána energie na překonání odporu prostředí a s časem u nich klesá výchylka nebo doba kmitu T [2]. Základní pojmy jsou:

- **kmitání** – výchylka a doba kmitu T
- **impuls** – tvořen jedním nebo několika kmity, kde kmit je buzený měničem
- **doba kmitu T** – definován jako podíl jedné ku frekvenci [Hz]
- **vlnová délka** – parametr vlnění udávající dráhu ultrazvuku [mm]

- **rychlost vlnění** – materiálová konstanta a závisí na modulu pružnosti, měrné hmotnosti a Poissonovu číslu [2].

Ultrazvukové vlny se mohou šířit jako příčné, tedy kdy částice kmitají kolmo ke směru šíření vlny, či jako povrchové a v tomto případě působí na částici jak vlna podélná tak i vlna příčná. V defektoskopii se používají vlny deskové, které mohou být dilatační nebo ohybové [2].

1.6.2 Způsob měření

Existují dvě metody měření. Tyto metody se liší ve způsobu odhalování necelistvostí. Metoda průchodová vadu odhalí tak, že ultrazvuk je v místě vady zeslaben. Pro takový to způsob odhalování vady, se využívají dvě sondy, z nichž jedna vlnění vysílá a druhá ho přijímá. Můžeme také využít jednu sondu, která nejprve vlnění vyšle a poté ho přijme. Použití jedné či dvou sond závisí na tom, jaký materiál bude zkoušen. Druhá metoda, které se používá pro detekci vad, se nazývá puls-echo metoda. Jestliže se v materiálu nachází vada, dojde k odražení ultrazvukových vln [1], [2].

2. Metoda Akustické emise

Jedná se o dynamickou metodu, která patří mezi metody nedestruktivního zkoušení materiálu a diagnostiky konstrukcí. Lze říci, že u ostatních metod NDT zkoušení, do kterých řadíme například kapilární, rentgenovou či magnetickou zkoušku, dochází právě k nalezení již vzniklého defektu. Tedy k lokalizaci konečného místa porušení na konci destruktivního procesu. Oproti tomu akustická emise nelokalizuje konečný defekt, ale je sledován průběh vznikajícího defektu. Pomocí této metody jsme tedy schopni detekovat probíhající degrační děje uvnitř materiálu, aniž by došlo k jeho porušení.

Metoda akustické emise od doby jejího vzniku, tedy od padesátých let dvacátého století, prošla řadou vývojových změn, které pak rozšířily její okruh využití. Do této doby se metoda využívala pro studium průběhu plastické deformace kovů, kterou doprovází akustické popraskávání či akustický šum vznikající uvnitř materiálu. Přibližně od šedesátých let dvacátého století, akustická emise nachází využití u celé řady jiných procesů a umožňuje tak efektivní diagnostiku v řadě oborů. Aplikuje se při identifikaci netěsností a úniků medií pod tlakem a tření. Například se také využívá u výrobních a technologických procesů, u obrábění či svařování [1].

2.1 Základní pojmy

Událost akustické emise – jestliže na akustickou emisi nepohlížíme jako na metodu zkoušení, lze ji charakterizovat jako fyzikální jev, který vznikl v důsledku nějaké události akustické emise, kterou může být například šíření trhliny [1].

Zdroj akustické emise – každá událost akustické emise má svůj původ neboli zdroj šíření akustické emise [1].

Rychlost akustické emise – je veličina udávající závislost mezi počtem napěťových vln o určitém rozsahu amplitudy a jednotkou času [5].

2.2.1 Zdroje akustické emise

Zdroje lze rozdělit dle toho, jaké emisní události způsobují.

Emisní událost při plastické deformaci kovových materiálů

Při plastické deformaci dochází k pohybu dislokací a také k interakci s jinými dislokacemi. Pohyb těchto dislokací není spojitý a je doprovázen velkou řadou mikroposkoků současně. Energie těchto mikroposkoků v důsledku jejich velkého množství se sčítají, superponují a vytvářejí akustický šum spojitě akustické emise. Při porušení materiálu nastává lom. Dle způsobu jakým byl lom způsoben, rozlišujeme lom houževnatý, smykový a křehký. Již samotný druh lomu může zapříčinit to, jakým způsobem se následně trhlina bude šířit a zda bude detekována akustickou emisí [1], [3].

Emisní událost v důsledku fázové přeměny kovových materiálů

Fázové přeměny jsou spojeny s vnitřním napětím. Při fázových přeměnách dochází k různým dějům uvnitř materiálu. Například dochází ke změně objemové roztažnosti. Zdrojem této emisní události mohou být relaxační procesy spojené s uvolňováním vnitřních napětí [3].

Emisní událost ve formě úniku média

Vznik akustické emise způsobují tlakové fluktuace turbulentního proudění kapaliny. Spojitý signál neboli sykot je složen z tlakových pulsů, které se překrývají a superponují. Na hranách či nerovnostech dochází k ovlivnění intenzity akustické emise. Taková to událost může nastat

při tlakové zkoušce. Zdroje signálu mohou být změny energie z důvodu turbulentního proudění [1], [3].

Existuje celá řada zdrojů, které způsobují velké množství emisních událostí. Neměli bychom však zapomenout ani na to, že existují zdroje, které nám nepomáhají při detekci určitého signálu. Naopak zhoršují podmínky pro zachycování signálu v průběhu zkoušky. Za rušivé zdroje je možno považovat tření, únik kapalin či povětrnostní vlivy v případě, kdy se zkouška koná mimo uzavřený prostor [1].

2.2.2 Událost akustické emise

Událost akustické emise se šíří tělesem pomocí rázové vlny vyvolané dynamickým rázem. Detekci rázové vlny jedné události AE vzniká v detekovaném signálu jeden izolovaný „hit“. Dle řazení a umístování jednotlivých hitů, je možno akustickou emisi na praskavou a spojitou [1].

Spojité akustická emise

Procesy působící mnoho událostí zároveň, které nejsou od sebe odděleny, vytváří spojitý signál akustické emise. Vlny, které vytváří akustické události, se časově překrývají a superponují se. Tímto způsobem vzniká akustický šum, neboli spojitá akustická emise [1]. Za spojitou akustickou emisi lze považovat únik kapaliny trhlinou v potrubí [4]. Spojitá akustická emise je také charakterizovaná malou amplitudou a vysokou frekvencí jednotlivých signálů [5].

U spojitě akustické emise se vyhodnocují tyto parametry:

- střední hodnota, efektivní hodnota, maximální hodnota signálu
- amplitudová distribuční funkce
- standardní odchylka, rozptyl, vyšší řády momentů
- histogram amplitud
- spektrální hustota výkonu
- četnost překmitů přes prahovou úroveň [4]

Praskavá akustická emise

Každá nová událost začíná až tehdy, když dozní událost předchozí. V tomto případě jsme schopni jednotlivé události od sebe časově rozeznat. Příkladem můžou být izolovaná zrníčka písku, která postupně dopadají na plochu [1]. Jedná se také o náhodně vyskytující se signály s poměrně velkou amplitudou [5].

2.2 Akustická emise jako fyzikální jev

K tomuto jevu dochází uvnitř materiálu vlivem působení vnějších a vnitřních sil, které v materiálu od zdroje šíření vyvolávají elastické napěťové vlny, které se materiálem šíří až do míst, kde se nachází rozhraní mezi povrchem materiálu a vzduchem [4].

2.2.1 Šíření vln

Paprsková reprezentace

Paprsková reprezentace, která dává základní pohled na dynamickou napjatost v tělese. Pomocí této reprezentace lze jasně znázornit šíření vln v tělese, aniž bychom k tomu potřebovali matematické výpočty pro popis napjatosti v tělese [1].

Vlnová reprezentace

Vlny se obvykle popisují pomocí matematické funkce $u(t,x)$, přičemž tato funkce představuje vztah pro jednu frekvenci. Veličina u představuje posuv bodu v závislosti na místě x a také na čase t .

$$u(t,x) = U_a \sin[2\pi f (t-x/c)], \text{ kde}$$

U_a - amplituda výchylky bodu c – rychlost šíření

c - rychlost šíření

f - frekvence

λ - vlnová délka

Jakmile vlna doputuje na výše popsané rozhraní, nastanou dva procesy. Proces odrazu a proces transformace [4].

2.2.2 Základní druhy vln

Paprsky, vlnoplochy či pulzy se skládají z vln a lze je definovat jako množinu bodů, které při vlnění kmitají stejnou fází.

V následujících odstavcích jsou popsány vlny, které se prostředím materiálu šíří ideálně. Ve většině ostatních případů, se začíná projevovat tzv. vlnový charakter rozvoje dynamické elastické napjatosti akustické emise. Takovým projevem může být disperze, která rozmazává původně ostrý impuls [1].

Vlny příčné a podélné

Jejich rychlost šíření je závislá na materiálových vlastnostech. Rychlost šíření vlny podélné je vyšší než u vlny příčné. Podélná vlna je schopna existovat v pevném, kapalném tak i plynném prostředí [6].

Dilatační (podélné) vlny v neomezeném prostředí či tlusté desce

Je-li zdrojem rozvoje elastické napjatosti bod, tak je v neomezeném prostředí reprezentován dvěma kulovými vlnoplochy paprsků. V tomto případě hovoříme o vlně dilatační a příčné.

V reálných podmínkách dochází k nárazu vlnoplochy na povrch materiálu a dochází tak k jednotlivým odrazům a dopadům rozpadajících se vln [1].

Dále je nám znám ještě jeden druh vlny tzv. Rayleighova vlna, která vzniká těsně pod povrchem materiálu. Puls této vlny nemění svůj tvar, pouze klesá jeho amplituda v závislosti na délce dráhy mezi ním a zdrojem. Tato vlna se šíří po povrchu v kruhové vlnoploše. V případě, že bude docházet ke ztenčování desky, přechází tato vlna do Lambovy antisymetrické vlny [1].

Malá tělesa – difúzní akustické pole

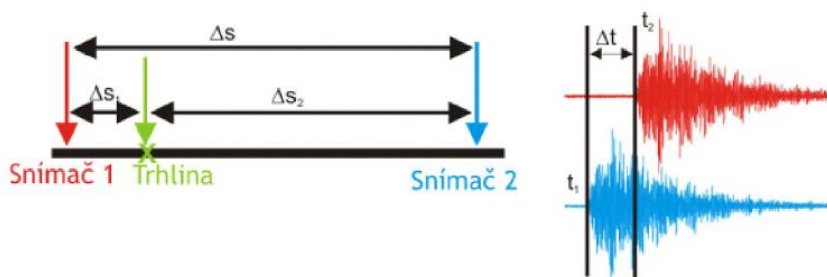
Při šíření kulových vlnoploch dochází k velkému množství všesměrových odrazů krátkého pulzu události akustické emise. Takové odrazy se sčítají a tvoří šum, jehož doba trvání je v ms. Tento šum můžeme nazývat tzv. difúzním akustickým polem [1].

2.2.3 Nalezení místa zdroje

Pro lokalizaci zdroje se využívá snímačů, jejichž počet závisí na typu měřeného tělesa. Dle toho je možno rozeznat lokalizaci jednorozměrnou a dvourozměrnou. Lze říci, že nalezení zdroje závisí na tom, s jakým zpožděním akustická emise dorazí k jednotlivým snímačům. Ovšem toto tvrzení má svá jistá omezení. Předpokládáme totiž, že vlna v materiálu se šíří bez toho, aniž by došlo k jejímu ovlivnění rychlosti. Vzhledem k tomu, že se v materiálu nacházejí různé vady či nečistoty, tento předpoklad nemůže být nikdy splněn. Chyba, která vznikne tímto měřením, je ovšem malá a na konečný výsledek měření nemá zásadní vliv. Další omezení spočívá v tom, že aby bylo možno lokalizovat zdroj na základě zpoždění akustické emise k jednotlivým snímačům, musí se jednat o nespojitou akustickou emisi [6].

Jednorozměrná lokalizace

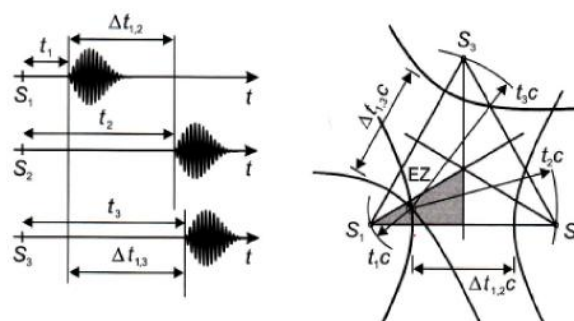
Spočívá v nahrazení objektu jednorozměrným tělesem, které může být v podobě tyče či svaru na desce. Někdy se tato lokalizace nazývá jako lineární a lze ji využít za předpokladu, že se materiálem šíří pouze jeden typ vlny a nedochází k disperzi. [3]. Využíváme dvou snímačů, přičemž k jednomu z nich dorazí vlna rychleji než k druhému snímači. Tento časový rozdíl, než vlna doputuje k druhému snímači, nazýváme časovým rozdílem Δt . Abychom co nejpřesněji určili polohu zdroje, je třeba toto měření několikrát opakovat [6].



Obr. 7 - Znázornění jednorozměrné lokalizace [7]

Dvourozměrná lokalizace

Tuto lokalizaci nazýváme také planární. Jedná se o lokalizaci, u které ke zjištění zdroje šíření akustické emise využíváme tři snímače, jejichž rozmístění je do sítě a uspořádají se do tvaru trojúhelníka. Princip spočívá ve výpočtu časových rozdílů vln mezi dvěma snímači. Tyto rozdíly vytvoří geometrické místo bodů, které značí umístění zdroje. Abychom mohli hovořit o planární lokalizaci, tak vzdálenost mezi dvěma snímači musí být konstantní. V tomto případě se zdroj nachází na hyperbole. Polohy snímačů se nacházejí v jejich ohniscích. Místo, kde se nachází zdroj, vznikne jako průsečík hyperbol, nacházející se uvnitř trojúhelníka, který vznikl rozmístěním snímačů do sítě. Pro přesnější určení polohy průsečíku se využívá čtvrtého senzoru [3].



Obr. 8 - Znáznornění dvourozměrné lokalizace [8]

2.3 Druhy snímačů

Snímače se využívají k detekci vln vyvolané akustickou emisí a umísťují se na povrch materiálu. Existuje celá řada snímačů, které se hlavně liší svojí citlivostí, cenou, frekvenční charakteristikou či jejich velikostí. Jak již předchozí řádek napovídá, ideální snímač by měl být kombinací vyjmenovaných nejideálnějších parametrů. To se však v praxi splnit nedá, a proto se hledají různé alternativy snímačů tak, aby pro každý typ zkoušeného materiálu byl použit snímač s nejideálnějšími vlastnostmi pro danou zkoušku. Například nižší frekvence se používají pro snímání materiálu s vysokým útlumem a naopak u materiálů s nízkým útlumem se používají vysoké frekvence. Pro akustickou emisí se využívají kapacitní či bezkontaktní elektromagneto - akustické snímače V řadě aplikací se používají také optické snímače. V praxi se však nejvíce upřednostňují piezoelektrické snímače [7].

2.3.1 Piezoelektrické snímače

Tyto snímače využívají tzv. piezoelektrického jevu, který je definován jako schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování [8]. Se zvyšující se teplotou dochází ke ztrátě piezoelektrických vlastností. Proto se snímače musí vyrábět z takového materiálu, aby byl schopný odolávat takovým teplotám, které ke ztrátě vlastností nevedou. Takovým materiálem může být bariem-titanová piezokeramika [7]. Na základě předchozího popsaného jevu je zřejmé, že vlivem průchodu vlny a následné deformaci, dochází na elektrodách ke vzniku napětí.

Abychom toto napětí zesílili, je pak přivedeno do tzv. předzesilovače, který bývá většinou součástí snímače. Kromě zesílení musí zajistit také základní frekvenční filtraci a musí se přizpůsobit impedančně kabelu [1].

V předchozích řádcích bylo řečeno, že snímače umísťujeme na povrch materiálu. K vytvoření vazby mezi zkoušeným materiálem a snímačem, může být docíleno několika způsoby. Prvním způsobem je ve vytvoření vazebného prostředí na povrchu materiálu. Musíme brát však v potaz to, že může dojít k ovlivnění přenosu signálu vlivem použitého vazebného prostředí. Další možností je upevnění snímače na vlnovod, který se nachází na zkoušeném materiálu. Významnou součástí snímačů je také kromě předzesilovače tlumič. Úkolem tlumiče je zajistit velký útlum a disperzi [7]. Existuje několik nejznámějších typů snímačů, které se liší svými parametry:

- Pinducer
- NIST laboratorní snímač
- AERE Harwell
- Kobema

- Glaser [7]

2.4 Kalibrace snímačů

Kalibrace snímačů je důležitá z hlediska porovnání výsledků, získaných na různých zařízeních. Jak již bylo řečeno, snímače jsou hlavní částí měřicího systému a pomocí kalibrace se snažíme zjistit amplitudové frekvenční charakteristiky za jasně stanovených podmínek. Při kalibrování využíváme kalibrační snímač, který umístíme blízko kalibračního zdroje. V reálných podmínkách se nejčastěji vyskytuje Rayleighova vlna, na kterou je tento snímač také nejčastěji kalibrován [7].

Absolutní kalibrace snímačů

Jak již bylo řečeno v předchozích odstavcích, tak jedním z hlavních důležitých parametrů je citlivost, kterou získáme jako podíl ze změřené odezvy napětí na dráze buzení ve formě časových průběhů [1].

Relativní kalibrace snímačů

Na rozdíl od absolutní kalibrace neznáme průběh budící veličiny. Snímač uložený na povrchu měřeného materiálu snímá pouze jeden typ buzení a zkoumáme jeho amplitudu, kterou pak můžeme porovnávat s jinými snímači instalovanými na povrch zkoušeného materiálu [1]. Příkladem relativní kalibrace může být tzv. Pen Test, který reprezentuje sílu, která působí kolmo na povrch desky, kde dochází k jejímu skokovému odlehčení [1].

3. Koroze

Koroze je problémem v řadě odvětví nejen v technické oblasti. S korozi se potýká jak chemický průmysl, tak také odvětví stavebnictví či leectví. Nejenže se koroze negativně podepisuje na technických zařízeních, ale také má neblahý vliv na ekonomické hospodaření společnosti. Náklady na ochranu proti korozi v řadě případů nejsou malé, zvláště v dnešní době, kdy je pohlíženo také na ekologii. Patří sem například náklady na ochranu proti korozi, ale také náklady spojené s odstraněním následků v důsledku působení koroze. Je-li pohlíženo na korozi komplexně, vystupuje zde celá řada vlastností ať už materiálů či prostředí, díky jejímž kombinacím, vzniká celá řada příležitostí, za kterých může dojít ke vzniku koroze. Díky velkému množství působících faktorů současně, činí nalezení vhodné ochrany náročnou disciplínou. K tomu aby bylo možné zvolit vhodnou korozní ochranu, musíme například vědět, v jakém prostředí dané zařízení bude využíváno, čili všeobecně, jakým vlivům bude zařízení vystaveno.

Koroze způsobuje znehodnocení materiálu. Může rozrušovat kovy a to jak v plynném tak kapalném prostředí. Je hodnoceno, do jaké míry a jakým způsobem negativně ovlivní působící korozní prostředí materiál. Lze říci, že korozi podléhá většina materiálů a to jak anorganických tak organických [11]. Pro pochopení působení koroze na materiál, je vhodné se zaměřit na tzv. přijatelnou korozní rychlost. Tento pojem lze chápat jako povolený přírůstek koroze za dané časové období, které z dlouhodobého hlediska neovlivní kovový materiál natolik, aby došlo v budoucnu k jeho zastavení používání. Hranice korozní rychlosti, je posuzována podle toho, jakému prostředí je materiál vystaven a době, po jakou má být materiál používán. Všeobecně lze říci, že za přijatelnou korozní rychlost, je možno považovat přírůstek jeden mikrometr za rok. Ke korozi v řadě případů dochází v důsledku působení kyslíku. Kyslík obsažený ve vodě má z hlediska koroze materiálu závažnější dopady než kyslík, který se nachází ve zcela suché atmosféře. To jak je, či není materiál odolný vůči korozi, hodnotíme mimo jiné tzv. ušlechtilostí kovu. Pojem ušlechtilost kovu, je důležitý z hlediska toho, v jaké míře je materiál schopen odolávat působení kyslíku. Existuje několik typů koroze, které se od sebe liší dle mechanismu vzniku, dle druhu prostředí ve kterém vznikly. Lze ji také rozlišovat dle vizuálního projevu napadení [9].

3.2 Mechanismus elektrochemické koroze

Jedná se také o fyzikálně-chemickou korozi. Ke korozi dochází v roztoku či tavenině, jinak řečeno v elektrolytech. Vyznačují se schopností vést elektrický proud. Ke vzniku elektrického proudu jsou zapotřebí dvě elektrody, které mohou být v podobě kapalné či pevné fáze. Průchodem proudu dochází k narušování jejich rovnovážného stavu a mění se jejich potenciál na vyšší a nižší hodnoty. Ta elektroda, kde převládá vyšší potenciál, se nazývá anoda a převážně na ní probíhá oxidace. Naopak na druhé elektrodě, kterou nazýváme katoda, je potenciál nižší a převážně na ní probíhá redukce. Elektrody souhrnně označujeme jako elektrochemický článek. Existují také elektrolytické a galvanické články. U elektrolytického článku proud vzniká díky samovolným procesům. U galvanického článku dochází ke vzniku proudu vynuceným dějem. Dle toho zda se jedná o vynucený nebo samovolný proces, rozlišujeme polaritu elektrod. Mechanismus závisí na dvou dějích. Na oxidačním ději, při kterém dochází k uvolnění elektronu a na redukčním ději, při kterém dochází k přijetí elektronu. Přenos náboje je zprostředkován pomocí iontů. Pohyb iontů může být pomocí difuze, migrace, či konvekce. Jak již bylo řečeno, to jestli je kov náchylný ke vzniku koroze, závisí na tom, jak moc je daný kov ušlechtilý. Ušlechtilost je charakterizována rovnovážným potenciálem. Kov je více ušlechtlejší, je-li rovnovážný potenciál kladnější. V tomto případě

se kov hůře ionizuje a je méně oxidovatelný. Nicméně hodnocení korozní odolnosti kovů podle ušlechtilosti se ukázalo jako nepřesné. Pro přesnější určení korozní odolnosti se využívá E-pH diagramů. V elektrochemické korozi probíhá katodová a anodová reakce [9].

3.2.1 Anodová (oxidační) reakce

Na povrchu kovového materiálu se nacházejí částice, které jsou ke kovu poutány přitažlivými silami. Jestliže je kov vystaven účinkům elektrolytu, dochází k přesunu částic kovu vlivem působení větších přitažlivých sil ze strany elektrolytu. Kladně nabitě částice tedy kationty zůstávají v elektrolytu a v kovu zůstávají elektrony [10]. Existují dva mechanismy anodové reakce. Prvním je hydroxidový mechanismus, který za určitých okolností může reagovat s vodou a vytvořit tak hydroxid. Další mechanismus je tzv. chloridový, jehož výhoda spočívá v tom, že anion se chová jako katalyzátor a to pouze v případě, že nevzniká při reakci nerozpustný meziprodukt [9].

3.2.2 Katodová (redukční) reakce

Současně s anodovou reakcí, probíhá také reakce katodová. Při anodové reakci docházelo k uvolňování elektronů. Vlivem těchto elektronů dochází k redukci vodíkových iontů na plynný vodík v případě vodného elektrolytu [11].

3.3 Mechanismus chemické koroze

Na rozdíl od elektrochemické koroze probíhá chemická koroze v elektricky nevodivém prostředí. Dochází k ní především na kovových materiálech, které se nacházejí v prostředí vysokých teplot. Každý materiál se snaží dosáhnout stavu, který je pro něj energeticky nejvýhodnější, což je důvodem korozní termodynamické nestability kovu. S tímto procesem se pojí pojem tzv. zplodiny koroze. Korozní zplodiny můžeme označit za nerozpustné sloučeniny, které mohou vznikat jako meziprodukt v průběhu chemických reakcí. Jsou jedním z hlavních ukazatelů toho, zda materiál bude korozně odolný či nikoliv. Chemická koroze může probíhat v oxidačním prostředí tak i v redukčním prostředí. Využití oxidačně redukčních dějů je v celé řadě procesů, počínaje při korozních událostech, výrobě významných sloučenin či pokovování [9], [11].

3.3.1 Koroze v oxidačním prostředí

Pod oxidačním prostředím si lze představit vzduch, různé oxidy např. oxid siřičitý a halogeny. Při oxidaci dochází k tvorbě oxidačních zplodin, které vytvářejí vrstvu na povrchu kovového materiálu. Dle typu kovu se na jeho povrchu může objevit několik vrstev [11]. Vše záleží na chemickém složení působícího prostředí:

- prostředí tvořené kyslíkem - vznikají oxidy
- materiál vystavený účinkům vzduchu - vznikají oxidy a nitridy
- vodní páry působící na povrch - výsledkem reakce jsou bazické soli či hydroxidy [11]

Jestliže je povrch materiálu pokryt vrstvou koroze a nedošlo k jeho narušení, pak povrch může být odolný vůči korozním účinkům, neboť korozní prostředí reaguje s vytvořenou oxidační vrstvou na povrchu materiálu. Pro stanovení zda se vytvořila dostatečně objemná oxidační vrstva chránící povrch proti korozi, využíváme tzv. Pillingovo-Bedworthovo číslo, které udává poměr molárního objemu korozní zplodiny a atomového objemu základního kovu. Pokud je tento

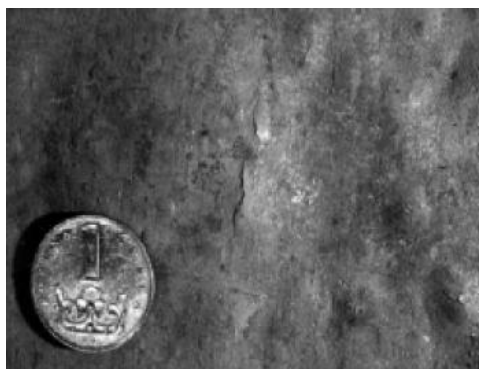
poměr větší než jedna, můžeme hovořit o dostatečné ochraně povrchu materiálu před korozními účinky [11], [12].

3.3.2 Koroze v redukčním prostředí

Všeobecně při redukci dochází k tomu, že iont látky přijímá elektron a oxidační číslo látky se snižuje. Typickým prostředím, kde dochází k redukčnímu ději, je prostředí vodíkového plynu. S tím se pojí koroze ve vodíkovém prostředí, kdy vodík napadá povrch materiálu a může dojít k vodíkové korozi nebo k vodíkové křehkosti [11]. Z toho důvodu se například u svařování musí používat dostatečně vysušené elektrody, aby bylo zabráněno vniknutí vodíku do svarové lázně a předešli tak možnému porušení svaru.

3.3.2.1 Vodíková koroze

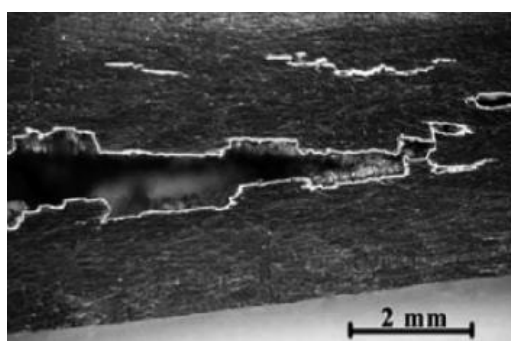
Nebezpečí této koroze spočívá v tom, že při reakci vodíku s uhlíkem rozpuštěným v tuhém roztoku, dochází ke vzniku metanu. Tento plyn se soustřeďuje na hranicích zrn a v důsledku velkého vnitřního pnutí může vyvolat vznik trhliny nebo vodíkové puchýře znázorněné na obr.9 [11].



Obr. 9 - Zobrazení vodíkové koroze [9]

3.3.2.2 Vodíková křehkost

Dochází k ní v případě, kdy vodík může difundovat do oceli, ale vlivem působení nízkých teplot, nemůže dojít k reakci uhlíku s vodíkem. To vede k vytvoření molekulárního vodíku, který se může hromadit v blízkosti vměstků či na mezifázovém rozhraní a vlivem tlaku, který vznikl díky nahromadění molekulárního vodíku, dochází ke vzniku trhliny či puchýřů znázorněné na obr.10 [11].



Obr. 10 - Zobrazení vodíkové křehkosti [10]

3.4 Další typy koroze z hlediska materiálového projevu

Jestliže si materiál na svém povrchu vytvoří dostatečnou a celistvou pasivační vrstvu, stává se odolným proti rovnoměrné korozi. Může však nastat situace, že ochranná vrstva je na některém místě povrchu slabší nebo může dokonce chybět. To dává příležitost vzniku bodové, štěrbinové či mezikrystalové korozi. Souhrnně je můžeme zařadit do skupiny nerovnoměrné koroze [11]. Existují i další typy koroze. S ohledem na tuto práci jsem se zaměřila na výše vyjmenované typy.

3.4.1 Rovnoměrná koroze

K této korozi dochází tehdy, když je povrch materiálu pokryt rovnoměrnou pasivační vrstvou. Po celém povrchu probíhá víceméně stejnou rychlostí [11]. Takový typ koroze využívá tzv. mikročlánky. Na mikročlánky může být pohlíženo jako na produkt heterogenní struktury. Mikročlánek může být reprezentován jako článek s elektrodami mikroskopických rozměrů [13]. Z toho důvodu lze pohlížet na korozi jako na rovnoměrnou, protože korozní účinky průběžně působí v mikroskopickém měřítku [11].

3.4.2 Bodová koroze

Nastává v místech, kde se nenachází celistvá pasivní vrstva, tedy v místech reprezentovaných různými povrchovými vadami materiálu. Bodová koroze je důsledkem současné existence hydroxidových a chloridových iontů u povrchu. Díky nim na povrchu vznikají a zanikají mikročlánky. Jestliže vznikne stabilní důlek, tak již započal korozní děj, jelikož došlo k tomu, že chloridové ionty pronikly pasivní vrstvou. Vlivem vytvoření stabilního důlku, může dojít až k proděravění materiálu. Bodová koroze je zobrazená na obr.11 [9], [11].



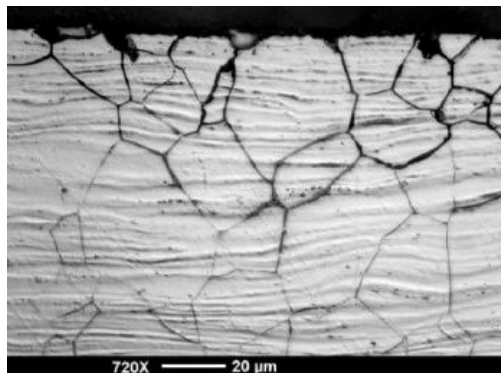
Obr. 11 - Bodová koroze [11]

3.4.3 Štěrbínová koroze

K této korozi dochází mezi dvěma povrchy. Štěrbínová koroze nejčastěji vzniká v mezerách, nerovnostech, pórech či usazeninách. Příležitostí kde tento typ koroze může vzniknout, je v technické praxi mnoho. Například ji můžeme nalézt u nýtových spojů [11]. Vzniká v důsledku vzájemné komunikace mezi ionty vodivého prostředí uvnitř štěrbině a ionty elektrolytu vně štěrbině. Ochrana před tímto typem koroze spočívá hlavně v konstrukčních úpravách [9].

3.4.4 Mezikrystalová koroze

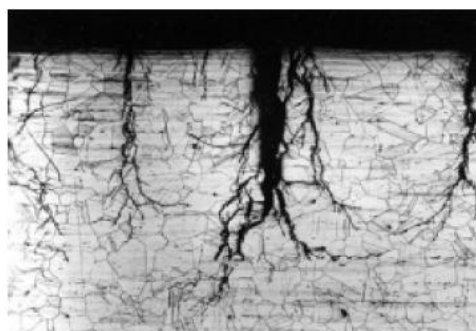
Odhalení koroze je v tomto případě složitější, jelikož působí mezi zrna matrice, tedy nepůsobí na povrchu materiálu. Tato skutečnost činí odhalení tohoto typu koroze složitějším. Mezikrystalovou korozi lze pozorovat zvláště u korozivzdorných ocelí po tepelném zpracování. Hlavním představitelem korozivzdorného prvku je chrom. U těchto ocelí po tepelném zpracování dochází k jeho ochuzení na hranicích zrn. Posune-li se obsah chromu pod hranici dvanácti procent, může povrch materiálu začít korodovat. K tomu aby se zabránilo tomuto typu koroze, musíme zvolit ocel s vhodnými legurami, které jsou schopny tvořit precipitáty a které mají korozní odolnost. K mezikrystalické korozi může dojít nejen po tepelném zpracování, ale zvláště musíme dávat pozor při svařování, aby nedošlo ke snížení požadovaných vlastností. Tento typ koroze je znázorněn na obr.12. [14].



Obr. 12 - Mezikrystalová koroze austenitické oceli [12]

3.4.5 Transkrystalová koroze

Na rozdíl od mezikrystalické koroze, se trhliny šíří jednak po hranicích zrn, ale mohou se také šířit přes zrna. Trhliny vznikají v důsledku působení vnitřního napětí. Tento typ koroze znázorněný na obr.13, můžeme nejčastěji pozorovat u austenitických ocelí vyskytujících se v prostředí chloridů viz obr. 13. [9].



Obr. 13- Transkrystalická koroze [13]

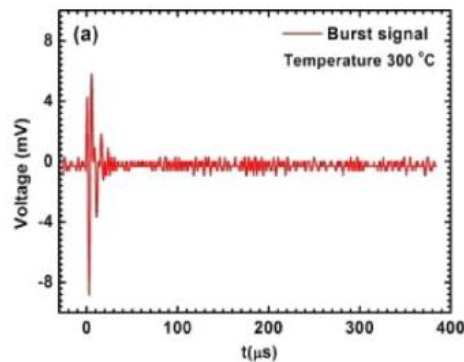
4. Koroze jako akustická událost

Jak bylo v předchozí kapitole popsáno, korozní procesy jsou doprovázeny šířením defektů a to v podobě různých trhlin, jejichž způsob šíření a podoba závisí na typu koroze. Před vznikem trhliny dochází ke kumulaci vnitřního napětí, které je soustředěno v jednom místě a dochází tak k růstu napětí až do doby, kdy dojde vlivem tohoto napětí ke vzniku zdroje defektu. Trhlina se poté materiálem šíří.

Defekt, který lze zjistit pomocí akustické emise, lze zaznamenat z toho důvodu, že trhlina šířící se materiálem způsobuje lom generující akustickou emisi. Toho to zvukového signálu, který je generován lomem, se využívá při analýze probíhající koroze. Akustickou emisi generuje také tzv. anodické rozpouštění kovu. Tento pojem souvisí s elektrochemickou korozi, která má nejméně jednu anodickou a jednu katodickou reakci. Na anodě dochází k rozpouštění kovu vlivem odstranění záporného náboje kovu, jedná se o tzv. depolarizaci. Tento proces je tedy obtížně slyšitelný akustickou emisí oproti akustické emise, která je generována lomem. K detekci existence trhliny v materiálu slouží také její svírání a rozevírání. Těchto procesů se opět využívá pro zjištění korozního napadení, jelikož trhliny často bývají pokryty korozní vrstvou a vlivem jejich pohybu dochází k porušení korozní vrstvy, což opět generuje akustickou emisi [15]. Za hlavní zdroje šíření akustické emise, se také považuje měnící se napětí na kovovém povrchu, dochází praskání oxidických nebo solných víček, uzavírající bodovou korozi. Za nebezpečnou složku napětí, lze považovat tahovou složku. Pokud je poměrně houževnatý materiál vystaven méně agresivnímu koroznímu prostředí, může i tak vlivem tahové složky napětí působící napadení dojít k tzv. degradačnímu ději i v důsledku působení nízkého mechanického namáhání, které následně vyvolá lom materiálu. Pak lze hovořit například o korozním praskání. Naopak tlaková složka napětí napadení nevyvolává. Dále je také známo:

- Korozní praskání při napětí - jedná se o kombinovaný vliv mechanického namáhání a koroze. Bez napětí by koroze neprobíhala [27].
- Koroze pod napětím - vlivem pnutí v materiálu je korozní proces urychlován. Bez mechanického namáhání by koroze probíhala menší rychlostí [27]

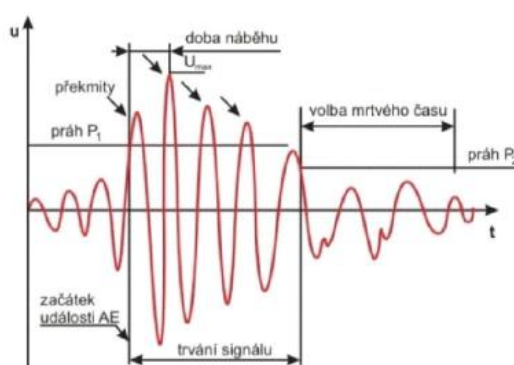
To že v materiálu probíhají korozní děje, můžeme zpozorovat z detekovaného nespojitého signálu znázorněného na obr. [14]. Kromě výše uvedených způsobů projevů korozních událostí v materiálu, zde můžeme zařadit dále dopadání korozních produktů na stěny konstrukce či uvolňování bublinek plynu vznikajících při elektrochemické korozi. Vzhledem k tomu, že korozní pochody jsou obtížně zaznamenatelné metodou akustické emise, probíhá tato zkouška v řadě případů v laboratorním prostředí, kde nedochází k narušování zkoušky okolními vlivy [3]. Koroze se zároveň může vyskytovat v různých prostředích, a proto se její šíření a nalezení může lišit [16].



Obr. 14 - Nespojitý signál AE [14]

5. Možnosti využití vyhodnocování korozního napadení pomocí akustické emise v praxi

Jak bylo řečeno dříve, v případě korozních dějů hovoříme o nespojitě akustické emisi zobrazené na obr. 15. Při korozních dějích dochází k šíření trhlin. V praxi dochází k několika akustickým událostem současně, řádově můžeme hovořit o stovkách až tisících. Ojedinělá akustická událost je spíše výjimkou. Toto činí při rozeznání jednotlivých zvukových vln problém. O všem nemusí tomu být tak vždy. Některé vlny lze interpretovat poměrně snáze. Aby bylo možné dále s akustickou událostí pracovat, je důležité u každé události zaznamenat parametry zvukové vlny [16], [27].



Obr. 15 - Parametry nespojitě AE [15]

U každého měření je nejprve třeba správně stanovit detekční práh. Dle tohoto prahu určíme, zda můžeme hovořit o akustické události či nikoliv. Pokud dojde u detekovaného signálu k překročení prahu, lze tento signál označit jako akustickou událost. Pokud se naopak signál nachází pod detekčním prahem, označujeme takový signál za ticho. [16].

5.1 Parametry nespojitě akustické emise

Pulzy, které se zaznamenávají, nemusí interpretovat pouze poruchy. Při měření může docházet k tzv. zesílení šumu pozadí a tato okolnost může způsobit překročení detekčního prahu. Proto je žádoucí stanovit správně níže uvedené parametry, aby bylo možné vyřadit pulzy z naměřených dat, které by jinak byly nesprávně označeny za projev poruchy. S tím se pojí jeden z hlavních parametrů, kterým je amplituda pulzu. Dle amplitudy lze rozeznat, zda přichází signál náleží akustické události, či zda se jedná o šum, nebo zda se jedná o jiné nežádoucí události. Za nežádoucí pulzy označujeme takové pulzy, které netrvají déle než tři mikrosekundy a nemají více než tři přechody detekčního prahu. Pokud je doba trvání pulzu dlouhá a pokud se jedná o pulzy s nízkou amplitudou, jedná se o šum. Dále je možné také zachytit elektrické výboje, které jsou charakterizovány velmi krátkými pulzy. Pulzy, které charakterizují akustickou událost, jsou reprezentovány středními až vysokými hodnotami amplitudy. Jejich doba trvání je okolo deseti mikrosekund. Z výše uvedených informací vyplývá, že je důležité správně nastavit prahové úrovně tak, aby se odfiltrovaly nežádoucí pulzy, ovšem s veškerou opatrností, aby nedošlo k přehlédnutí důležitých pulzů [16].

Základní parametry nespojité akustické emise:

Parametry nespojité akustické emise jsou znázorněny na obr. 16.

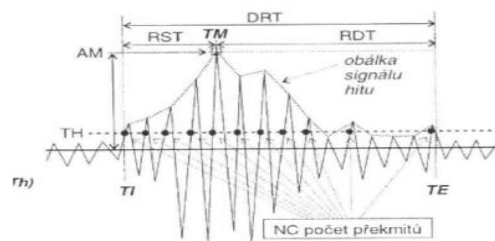
- Čas počátku kmitu - TI
- Čas konce hitu - TE
- Čas maxima - TM
- Maximální amplituda hitu - AM
- Práh detekce hitu - TH
- Energie pulzu
- Střední kvadratická odchylka spojitého signálu šumu pozadí
- Počet přechodů prahu [3], [16]

Z výše uvedených parametrů, můžeme určit také:

- Dobu náběhu pulzu RST - jedná se o interval vyjadřující přechod prahu intenzity a hodnotou maximálního prahu intenzity.
- Trvání pulsu DRT - čas určující dobu přechodu mezi prvním a posledním přechodem prahu intenzity
- Doba odeznění hitu RDT [3], [16]

Vnější parametry:

Do této skupiny jsou řazeny parametry, za kterých zkouška byla prováděna. Řadíme sem teplotu a tlak okolí.



Obr. 16 - Parametry nespojité AE [16]

Faktory ovlivňující zjistitelnost akustické události mají dvojitý charakter:**Posilující charakter:**

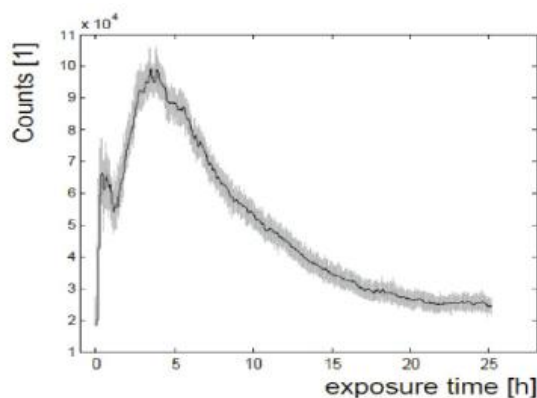
- nízká tažnost, vyšší mez kluzu
- vyšší rychlost zatěžování, trojosá napjatost [17]

Oslabující charakter:

- vysoká tažnost, vyšší zpevnění materiálu, nižší mez kluzu
- nižší rychlost zatěžování, rovinná napjatost [17]

5.2 Detekce korozního napadení

Pomocí akustické emise lze odhalit korozní napadení již v jeho samotných počátcích. Za zdroj při korozních dějích můžeme považovat vznik korozních produktů, jejich následné odlupování z kovového povrchu materiálu a v neposlední řadě počátek vzniku šíření trhliny. Všechny tyto děje vyvolávají akustický signál, který se materiálem postupně šíří ve formě napětových elastických vln. Tyto vlny je možné zachytit snímači. Poté dochází k dalším procesům zpracování a vyhodnocování, které ovšem budou tématem pro následující kapitolu. Pro vysvětlení jednotlivých korozních procesů uvnitř materiálu, byl zvolen obr.17, představující typický průběh signálu při korozním napadení. Na obrázku jsou vidět dva vrcholy. První vrchol trval odhadem dvě hodiny. Způsoby vzniku, díky kterým tento vrchol vznikl, jsou hned několik. První vysvětlení může spočívat v rychlé pasivaci kovového povrchu. Další vysvětlení může spočívat v odstranění korozních produktů. Druhý vrchol pravděpodobně vznikl díky vytvoření korozních důlků a následnému rozvoji trhlin. Pokles signálu lze vysvětlit například tím, že mohlo dojít k pasivaci povrchu či ke snížení agresivity korozního prostředí, kterému byl kovový povrch materiálu vystaven.



Obr. 17- Průběh korozního napadení [17]

5.3 Využití metody AE v praxi

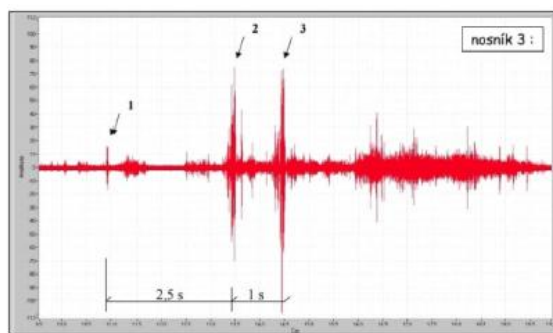
S korozním napadením se v praxi setkáme téměř ve všech oblastech průmyslu. Tato metoda se využívá zejména na objekty s obálkou. Těmito objekty mohou být tlakové zásobníky, reaktory, potrubí apod. Naopak se výrazně nepoužívá pro kontrolu objektů s velkou tloušťkou stěn. Korozní napadení se může vyskytovat například i v těchto oblastech:

Mostní konstrukce:

K rozvoji korozního napadení dopomáhá několik faktorů. Jedním ze zásadních faktorů je správný výběr oceli. Ocel by měla odolávat atmosférické korozi. Z ohledu na chemické složení by měla také odolávat vlivům chloridům z posypové soli a to například zvýšeným obsahem niklu. Kontrola mostní konstrukce z hlediska bezpečnosti provozu zahrnuje kontrolu korozní odolnosti v místech nosných svarů či šroubových spojů. Vyhodnocují se vady oceli, kterou může být například lokální, štěrbinová či bodová koroze. Tyto vady se hodnotí z hlediska možného používání konstrukce bez ohrožení její stability [18].

Kontrola stavu mostních nosníků

Pracovníci Centra dopravního výzkumu a Ústavu fyziky Fakulty stavební VUT Brno, se zaměřili na kontrolu mostní konstrukce 7-012 Brandýsek. Jejich úkol spočíval ve zkontrolování osmnácti mostních nosníků z hlediska strukturních poruch železobetonových konstrukcí vyvolané korozním napadením metodou akustické emise. Jejich cílem bylo zjistit, zda pomocí akustické emise lze kontrolovat výztuže nosníků tohoto typu. Průběh měření spočíval v umístění snímačů na podhledy jednotlivých nosníků. Vlivem pojezdu nákladního vozu přes práh vysoký patnáct centimetrů, došlo k vyvolání signálů. Práh byl umístěn nad místem měření. Signál byl měřen po celou dobu deseti sekund pohybu nákladního vozu přes práh. Toto měření se zaměřilo na předpínací výztuž tvořenou lany. Lana byla tvořena dvaceti dráty o průměru 4,5cm [19]. Byly zaznamenány jednotlivé časové průběhy, znázorňující dopady jednotlivých kol nákladního vozu, po přejetí prahu na vozovku zobrazeného na obr.18.



Obr. 18 - Záznam měření [18]

Měření probíhalo v rozsahu 100 Hz až 500 kHz frekvenčního spektra. Výsledkem analýzy jednotlivých časových průběhů bylo zjištěno, že nebyly zaznamenány významné odlišnosti. Nebyla nalezena žádná frekvence, která by značila významné porušení výztuže vlivem korozního napadení. Z hlediska vizuální kontroly bylo zjištěno, že na některých výztužích umístěných blízko kotev, se nacházela počínající důlková koroze [19].

Pro vyhodnocení o měnícím se stavu mostní konstrukce, se po každém měření zaznamenávají datové soubory do databáze, které jsou získány pomocí akustické emise. Tyto datové soubory obsahují frekvenční spektra nespojitého signálu, který je vyvolán dynamickým rázem na mostní konstrukci. S odstupem času pokud proběhne opětovné měření dané mostní konstrukce, získaná data technici porovnají právě s daty, která jsou uložena v databázi a mohou tak pozorovat možný vývoj nejen korozních dějů. Toto porovnání získané pomocí akustické emise je o to složitější, jelikož v podstatě každé měření je ovlivněno různými vnějšími vlivy [19], [20].

Kontrola stavu potrubí

Kontrola potrubí se provádí například u jaderných elektráren, odpadních potrubí, ropovodů, parovodů či u plynovodů. Svoji důležitostí většinou v praxi není možná odstávka systému a poté následná kontrola. Z hlediska důležitosti neustálého provozu a ekonomické výhodnosti, se pro kontrolu těchto systémů, volí kontrola pomocí akustické emise. V důsledku působení například agresivní kapaliny, může dojít k reakci se stěnami potrubí a to následně může vyvolat korozi a s tím spojený únik kapaliny. Častá je také rovnoměrná koroze vodovodního

potrubí, závislá na vzniku chemického složení vody. Dalšími faktory ovlivňující vznik koroze ve vodovodním potrubí mohou být vlastnosti vody, které ovlivňují chemické složení a obsah tuhých částí. Další faktorem umožňující vznik koroze, může být nevhodná konstrukce potrubí, špatná regulace proudu, časté napouštění nebo vypouštění či nevhodný tlak [20].

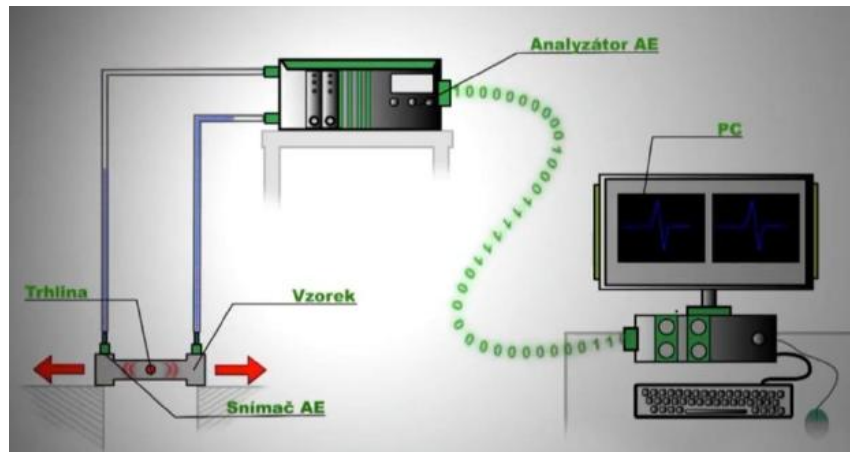
Pro příklad si můžeme představit ropovod DN 700 Polock -Ventspils, který byl v šedesátých letech minulého století používán Sovětským svazem k přepravě ruské ropy do celého světa. Přibližně před dvaceti lety, došlo k odstávce potrubí, přičemž nedošlo k jeho vyprázdnění. Ropa v něm uvízla na dobu několik desítek let. Na konci roku 2012 se vlastník potrubí SIA LatRos Trans rozhodl, o možném obnovení jeho provozu. V letech 2010 až 2013 bylo společností CEPS část potrubí o délce 250 km vyčištěno. K tomu zda bude moci být potrubí opět využíváno, byl ke zkoumání vybrán jeho 8 km úsek, který byl podroben řadě zkoušek. Dále byl vybrán trubní vzorek o délce 8 m, ze kterého se vyrobil svařenec a z kterého pak byly nařezány tři vzorky. Vzorek měl délku 1m. Zbylých 5 m bylo použito pro zhotovení zkušební tlakového tělesa znázorněného na obr.19. Bylo potřeba provést vnitřní inspekci potrubí a nalézt tak mimo jiné korozní vady z toho důvodu, aby při dalších prováděných tlakových zkouškách nedošlo k porušení. V průběhu zkoušení akustickou emisí bylo nalezeno 13 emisních událostí [21].



Obr. 19 - Zkušební těleso [19]

6. Popis a příprava měřicí aparatury

Úkolem měřicí aparatury je snímat mechanické vlnění na povrchu zkoušeného materiálu pomocí různých typů snímačů akustické emise a ve snímači transformovat toto napětí na elektrický signál, který zaznamenává program v počítači. Princip je zobrazen na obr.20 [22].



Obr. 20 - Měřicí aparatura [20]

Měřicí trasa:

- Snímače
- Předzesilovač AE
- Kabelová trasa
- Úprava signálu před jeho vyhodnocením
- Vyhodnocení signálů [1]

Kabelová trasa

V důsledku mnohdy značné délky trasy v řádu i několika stovek metrů, dochází k elektromagnetickému rušení. K tomuto rušení dochází v důsledku indukování elektromagnetických vln a pulsů na kabelových trasách. Úkolem kabelové trasy je přenést signál bez ztrát a deformací. Pro měření se využívají většinou tzv. koaxiální kabely. Kabelové trasy se snažíme pokud možno vést mimo dosah jiných kabelových tras [1].

Předzesilovače AE

Pokud kabelová trasa dosahuje délky několik stovek metrů, dochází totiž k zeslabení signálu. Signál nacházející se na snímačích je nízký jak z hlediska napětí, tak i z hlediska indukovaného náboje na elektrodách. Úkolem předzesilovače je [1]:

- Zesílení signálů ze snímačů související s dynamickým rozsahem a citlivostí signálu
- Frekvenční filtrace
- Impedanční přizpůsobení kabelu

Zesílení předzesilovače se pohybuje v pásmu od 10 do 60dB a předzesilovač je připojen po stejném kabelu, který vede do vyhodnocovacího signálu.

- Určení horního limitu předzesilovače:

Horní limit přenášeného signálu je určen maximálním napájecím napětím tedy i zesílením zesilovače. Interval jeho napětí je v rozmezí od několika až desítek voltů.

- Určení dolního limitu předzesilovače

Citlivost zesilovače je dána jeho hodnotou elektrického šumu.

- Určení dynamického rozsahu

Dynamický rozsah se určí jako rozdíl horního a dolního rozsahu předzesilovače. Zpravidla má předzesilovač stonásobné zesílení.

Úprava signálu před jeho vyhodnocením

Jakmile se elektrický signál dostaví do měřící aparatury, u starších systémů nastává závěrečná analogová úprava signálu. Modernější systémy využívají digitální vyhodnocování. Dále nastává poslední frekvenční filtrace a zesílení nebo zeslabení signálu [1].

Vyhodnocení signálu

Signál může vykazovat různé typy úrovní v závislosti na počtu měřících kanálů. Se zvyšujícím se počtem měřících kanálů také rostou požadavky na kvalifikaci pracovníka či cena za vybavení[1].

Měření obsahující jeden až osm kanálů, se považují za malá měření. Za rozsáhlá měření označujeme měření s počtem kanálů o čtyřiceti osmi a výše [1].

Rozpoznání hitů signálu AE

Hit lze charakterizovat jako časově a jednorázově oddělený nárůst signálu akustické emise. Čas doby hitu bývá v rozmezí od několika mikrosekund po desítky milisekundy. Tyto jednotlivé hity jsou zkoumány. Hit lze nalézt pomocí překročení stanoveného prahu a analyzujeme ho samostatně. Doba kdy hit překročil stanovený práh, označujeme jako začátek hitu. Pokud dojde k opětovnému překročení prahu, označujeme tak dobu skončení hitu. Úkolem je tedy správně identifikovat počátek a konec jednotlivých hitů. Jednotlivé hity můžeme identifikovat pomocí tzv. mrtvé doby Δ STH, tedy doby, která značí začátek nového hitu. Doba Δ ETH označuje dobu, po kterou hit nepřekročí stanovený práh. Dle nastavení začátků a konců doby hitů lze ovlivnit to, jak bude analyzován signál akustické emise [1].

- Krátká doba Δ ETH a Δ STH v řádu stovky mikrosekund - signál bude rozdělen na části signálu, které rychle překračují detekční práh kladné i záporné hladiny. Dochází k rozdělení události na několik tzv. podhitů [1].
- Dlouhá doba Δ ETH a Δ STH v řádu desítky milisekund - může dojít ke spojení jednotlivých událostí hitů do jednoho dlouhého hitu. V praxi stanovujeme pevnou dobu konce hitu. Jedná se o tzv. násilné ukončení hitu [1].

Z výše uvedených situací vyplývá, že časové doby lze regulovat na základě typu detekčních prahů, které byly představeny již dříve.

Vícekanálové měření

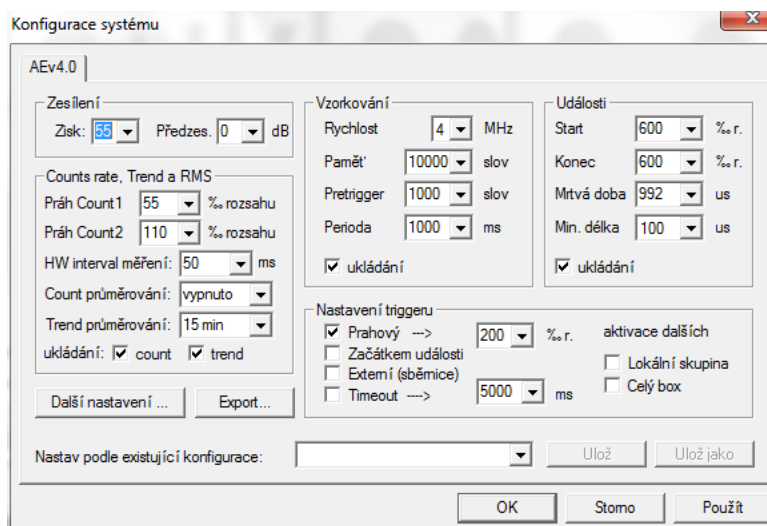
V praxi většinou využíváme pro měření akustické emise síť snímačů. Jedna událost je tedy zaznamenávána několika snímači v jeden okamžik. Tímto způsobem měření získáváme řadu výhod v podobě snazšího nalezení zdroje emisní události. Porovnání signálů z jednotlivých snímačů získáme základní informaci o dané emisní události. Jednotlivé hity musíme zkompletovat do tzv. skupiny hitů. K detekci skupin hitů přistupujeme podobně, jako při detekci jednotlivých hitů. Opět se snažíme o izolaci jednotlivých skupin hitů [1].

Vyhodnocení zdrojů AE

Jestliže je před začátkem měření známo o jaký zdroj emisní události se jedná, tak stačí pro sledování zdroje použít pouze jeden kanál. Zdroj však nesmí být přehlušován rušením. Pokud však zdroj neznáme, je třeba použít vícekanálového měření. Toto měření spočívá ve shromáždění a identifikaci jednotlivých hitů značící jednu a tu samou emisní událost patřící k danému zdroji. Je třeba poté analyzovat každý zdroj emisní události zvlášť [1].

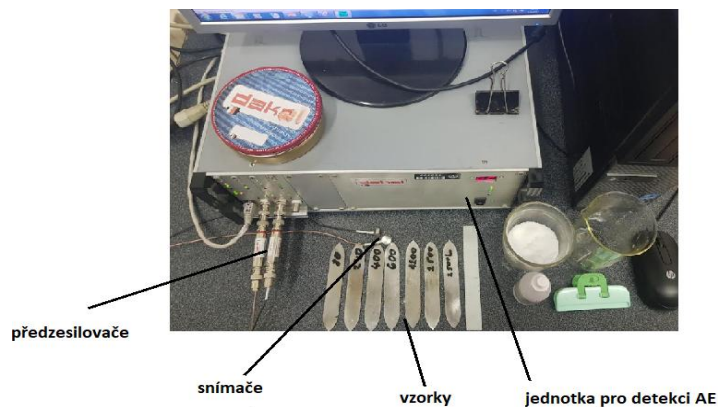
7. Experimentální program

K provedení experimentu bylo použito zařízení Dakel Xedo, které sloužilo k zachycení signálů akustické emise. Data zachycená pomocí výše zmíněného zařízení byla zaznamenána pomocí programu Deamon. K přenosu signálu AE bylo využito snímače, který byl na materiál uchycen. V tomto programu byly nastavené parametry pro vlastní měření viz.obr.č.21, které byly totožné pro všechny zkoumané vzorky. Dané nastavení bylo nastaveno empiricky po předchozích zkušebních a ověřovacích testech. K zobrazení naměřených dat byl využit program DeaShow. U každého vzorku byla také pomocí drsnoměru změřena jeho drsnost. K dokumentaci postupu koroze bylo použito fotoaparátu, pomocí kterého byl zaznamenáván vliv korozních účinků na materiál v reálném čase. Zobrazení prvků měřicí aparatury je na obr.22.

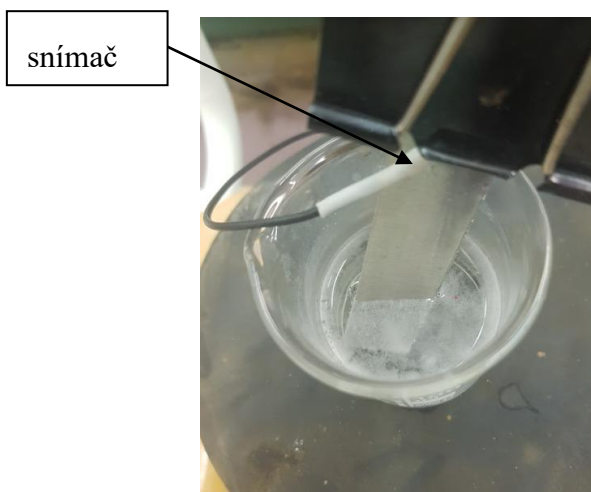


Obr. 21 - Konfigurace systému

Pro vlastní experiment bylo využito 8 vzorků povrchově neošetřené oceli ČSN třídy 11 vybroušených na odlišné drsnosti, které byly vystaveny koroznímu prostředí. Dále byl využit vzorek z pozinkované oceli, který byl vystaven prostředí, tvořeném kyselinou octovou a vodou. Zobrazení měřící aparatury je na obr.č.22. Na obr.č.23 je zobrazeno umístění snímače na zkoumaném zkušebním vzorku. Snímač byl uchycen k materiálu pomocí svorky.



Obr. 22 - Prvky měřící aparatury



Obr. 23 - Umístění snímače

7.1 Příprava vzorků

Broušení a leštění

Pro vlastní experiment bylo využito 8 vzorků povrchově neošetřené oceli ČSN tř.11. Každý vzorek byl podroben procesu broušení za mokra, které probíhalo na metalografické brusce. Pro vlastní broušení bylo využito brusných papírů, které se lišily počtem brusných zrn na jednotku plochy. Tímto procesem bylo získáno 8 vzorků, které se od sebe odlišovaly různou povrchovou drsností, která byla získána na základě použitých brusných papírů s odlišným počtem brusných zrn na jednotku plochy. Poslední vzorek, jehož povrch byl broušen brusným papírem s největším počtem zrn na jednotku plochy, byl dále podroben procesu leštění na metalografické leštičce. Pojmenování jednotlivých vzorků bude provedeno dle počtu brusných zrn na jednotku plochy.

Měření drsnosti

Každý vzorek, který byl vybroušen na danou drsnost, byl podroben měření drsnosti. Měření probíhalo na drsnoměru Hommel TESTER T1000. Výsledky měření jsou uvedeny v tab.č.1. Byla sledována drsnost Ra, která je stěžejní pro hodnocení dalších naměřených výsledků. Při vlastním měření se posouvá měřicí hrot po povrchu materiálu. Při vyhodnocování parametrů drsnosti se celková dráha pohybu hrotu rozděluje na jednotlivé sekce, ve kterých dochází k výpočtům hodnot jednotlivých parametrů [28] Jsou známy různé parametry drsnosti charakterizující daný povrch materiálu. Při tomto měření byly sledovány následující parametry:

Ra – aritmetický průměr absolutních hodnot

Rz – průměrná hodnota z absolutních hodnot

Rmax – rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti

Rt – celková výška profilu drsnosti [28]

Vzorek	Počet brusných zrn na jednotku plochy	Rmax [μm]	Rz [μm]	Ra [μm].	Rt [μm].
C_80	80	5,8	5,3	1,12	6,6
C_240	240	8,4	6,3	1,08	5,4
C_400	400	6,4	5,4	1,04	7,3
C_600	600	7,8	5,9	0,97	7,9
C_800	800	5,2	4,1	0,78	5,2
C_1200	1000	4,7	3,8	0,67	4,9
C_2500	2500	3,6	3,1	0,57	3,8
C_2500L	2500	3,6	3	0,54	4

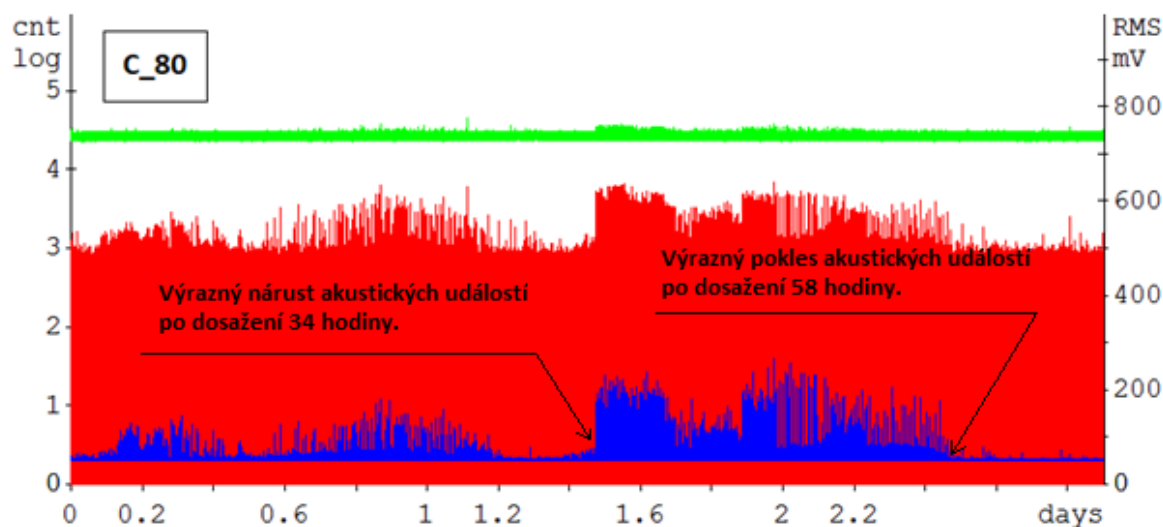
Tab č. 1 - Výsledky měření drsnosti

7.2 Měření oceli ČSN třídy 11

Každý vzorek byl vlastním měření podroben stejnému časovému úseku. Tato časová období vystihují události probíhající v materiálech. Zásadní událostí je myšlen výrazný nárůst tvorby korozních produktů, dále začátek korozního děje a ustálení korozního děje. Tyto děje jsou reprezentovány počtem akustických událostí.

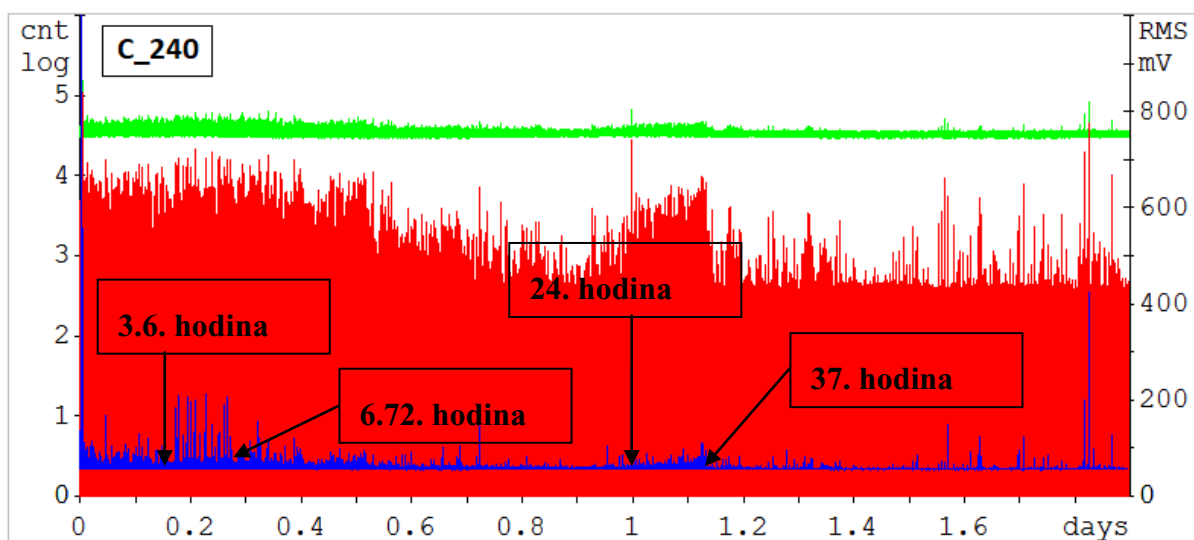
K vlastním měření byly použity vzorky z konstrukční oceli ČSN tř.11 v podobě několika vzorků vybroušených na různé drsnosti. Korozní prostředí bylo zvoleno ve formě 5 % solného roztoku NaCl + H₂O. Křivka znázorňující RMS je na níže vyobrazených grafech znázorněna modře. Další křivka, kterou lze na grafech vidět, je červená křivka, která značí překmit přes nastavený práh číslo jedna (Count1). Poslední třetí zelená křivka znázorňuje překmit přes práh číslo dva. Na grafech které jsou vyobrazeny níže, lze pozorovat sled akustických událostí zaznamenané v reálném čase.

Na grafu č.1 je znázorněn průběh akustických událostí u vzorku C_80. Z grafu je patrné, že k výraznější tvorbě korozních produktů docházelo již první den od začátku působení korozního prostředí. Z grafu je také patrné, že k vysokému nárůstu akustických událostí začalo docházet po dosažení 34. hodiny. Dále lze pozorovat, že od 58. hodiny začalo docházet k úbytku počtu akustických událostí.



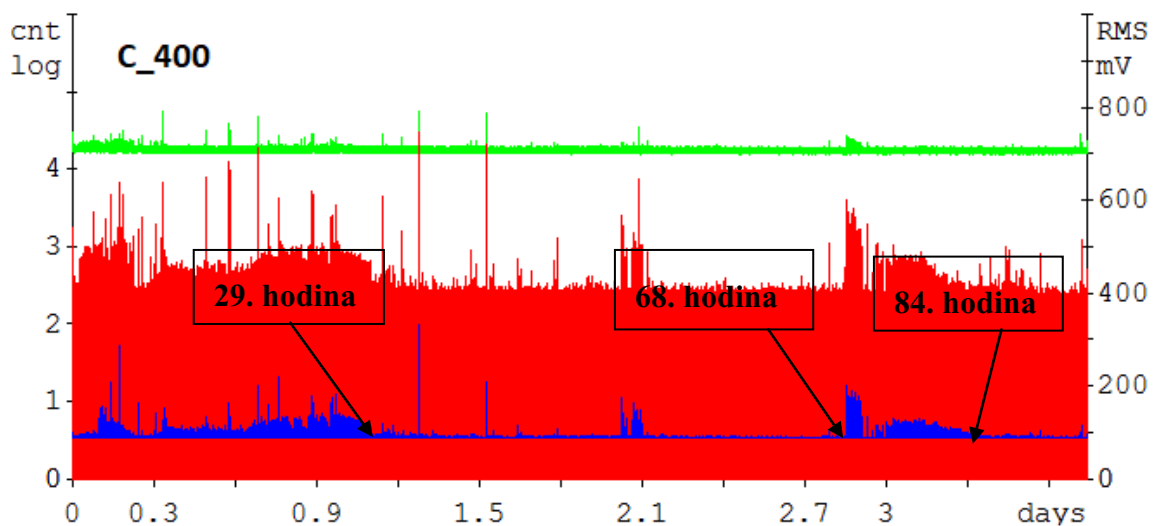
Graf č. 1 – Průběh AE u vzorku C_80

Na grafu č.2 je patrné, že na vzorek C_240 začalo působit korozní prostředí ihned při jejich vzájemném prvním kontaktu. Nejvyšší nárůst akustických událostí lze pozorovat v rozmezí zhruba od 3,6. hodiny do 6,72. hodiny. Následně se počet akustických událostí ustálil na nižších hodnotách. Od 24. hodiny došlo opět k menšímu nárůstu akustických událostí. Tato skutečnost trvala do zhruba 37. hodiny. Program DaeShow v tomto případě neumožnil zobrazit veškerá naměřená data v celém časovém úseku do jednoho grafu. Tato skutečnost nastala zřejmě kvůli velkému objemu dat, kdy program přestával správně pracovat. Po následném zobrazení akustických událostí v dalším grafu při působení korozního prostředí po dvou dnech, pokračovalo generování konstantního počtu akustických událostí.



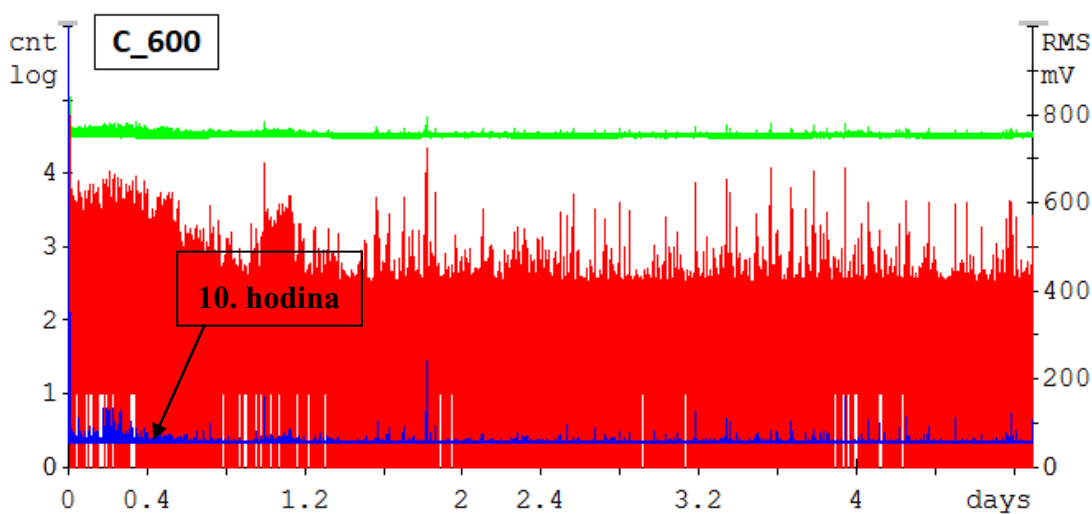
Graf č. 2 – Průběh AE u vzorku C_240

Na grafu č.3 je znázorněn průběh akustických událostí pro vzorek C_400. Z grafu je patrné, že nástup tvorby korozních produktů začal prakticky od začátku působení korozního prostředí až do 29. hodiny. Poté došlo k útlumu tvorby korozních produktů. K jejich výraznějšímu hromadění začalo docházet opět od 68. hodiny. Po dosažení 84. hodiny počet akustických událostí výrazně klesl.



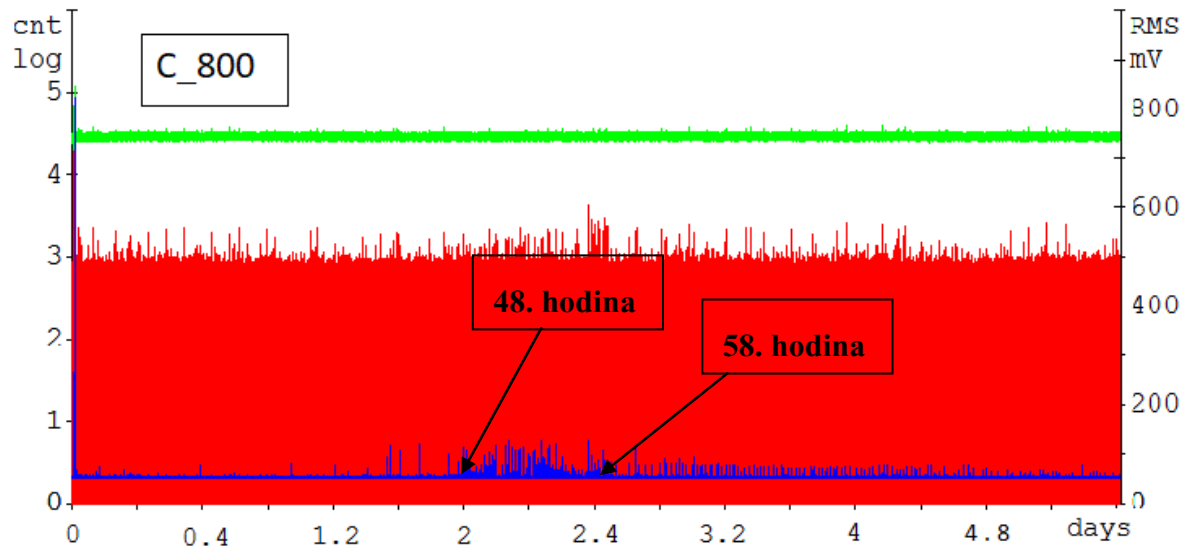
Graf č. 3 - Průběh AE u vzorku C_400

Graf č.4 zobrazuje korozní působení na vzorek C_600. Z grafu je patrné, že k tvorbě korozních produktů začalo ihned při začátku měření. Lze pozorovat, že po dosažení 10. hodiny, nedocházelo k výraznějším výkyvům počtu akustických událostí.



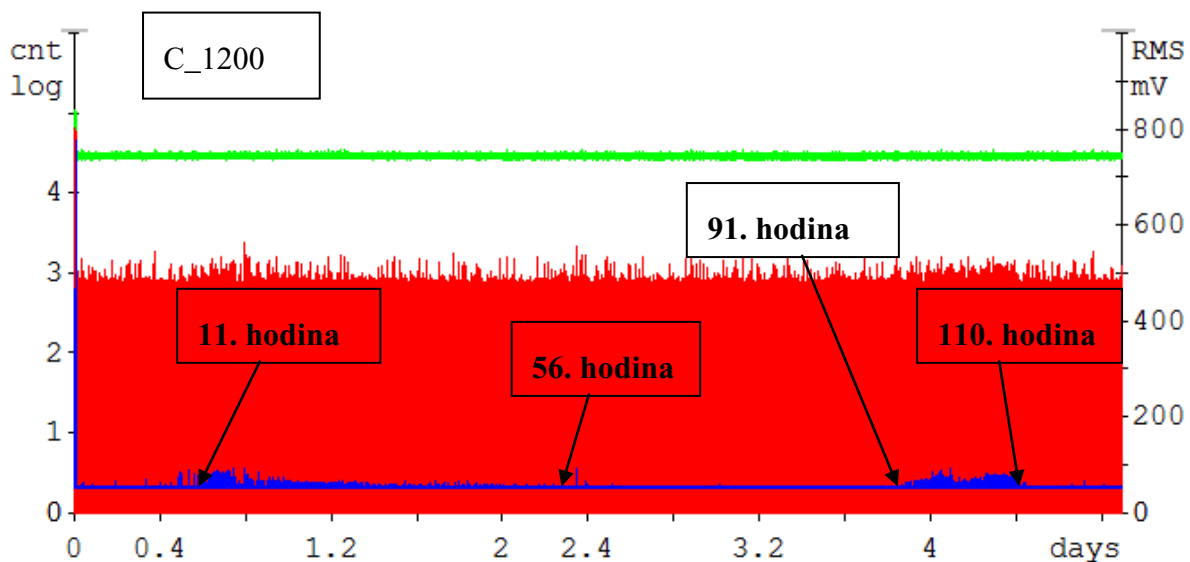
Graf č. 4 - Průběh AE u vzorku C_600

Graf č.5 zobrazuje vývoj akustických událostí u vzorku C_800. Lze pozorovat, že k výraznější tvorbě korozních produktů začalo docházet po 48. hodinách. Od 58. hodiny lze pozorovat pozvolný pokles počtu akustických událostí.

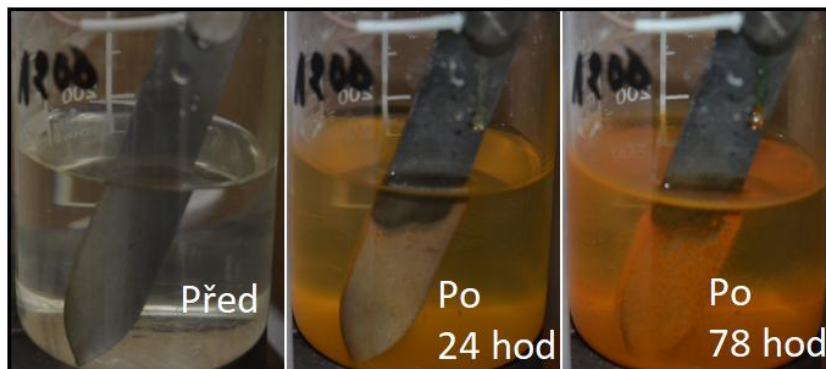


Graf č. 5 - Průběh AE u vzorku C_800

Na grafu č.6 lze pozorovat, že u vzorku C_1200 začal výraznější nárůst akustických událostí od 11. hodiny. V intervalu od 11. hodiny do 56. hodiny docházelo k poklesu počtu akustických událostí. V intervalu od 91. hodiny do 110. hodiny došlo k navýšení počtu korozních produktů. Po 110. hodině nastal útlum tvorby korozních produktů.

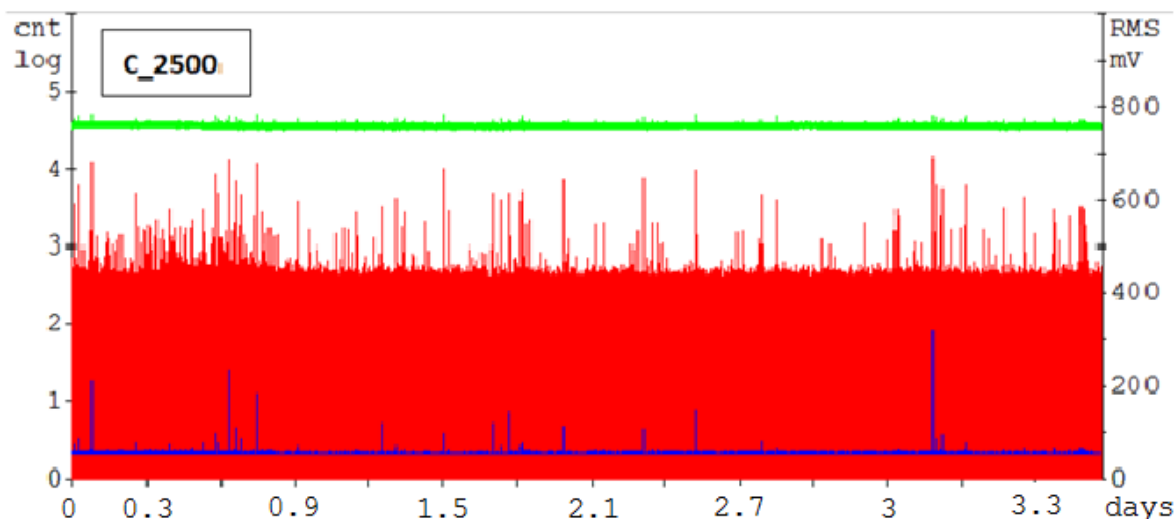


Graf č. 6 - Průběh AE u vzorku C_1200

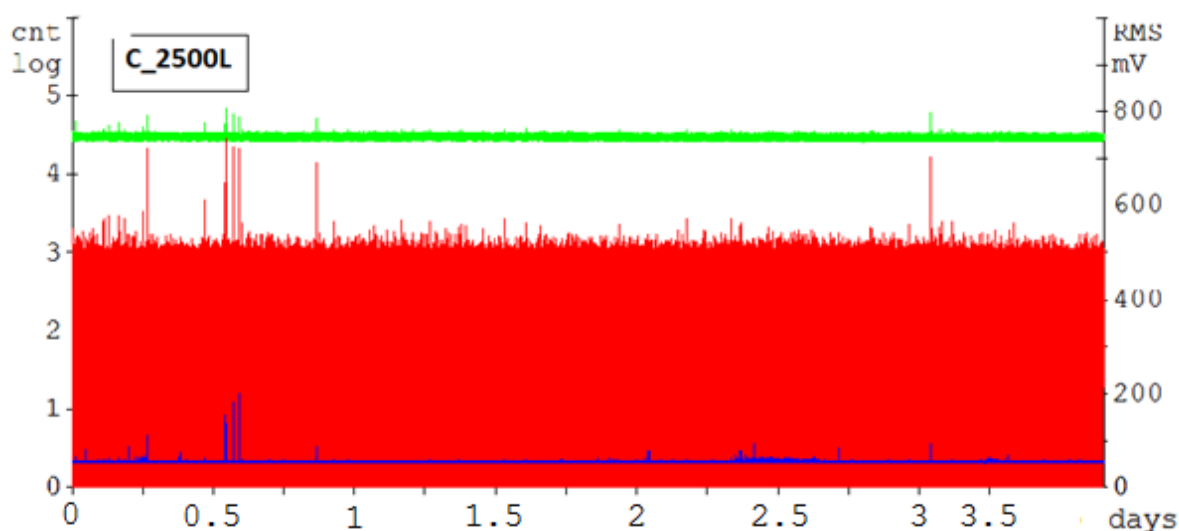


Obr. 24 - Průběh koroze v čase u vzorku C_1200

U vzorku C_2500 a dále u vzorku C_2500L byl použit brusný papír, který je charakterizován největším počtem brusných zrn na jednotku plochy. Vlivem broušení tímto brusným papírem docházelo k vyhlazení povrchových nerovností a tím tak k vytvoření vrstvy, kterou lze považovat za vrstvu s vyšší korozní odolností. U vzorku C_2500L bylo dále provedeno leštění, které přispělo ke zvýšení účinnosti ochranné vrstvy vytvořené předchozím procesem broušení. Dle výše zmíněných skutečností lze říci, že v důsledku vytvoření ochranné vrstvy, docházelo k velmi malým počtům akustických událostí viz. graf č.7 a č.8.



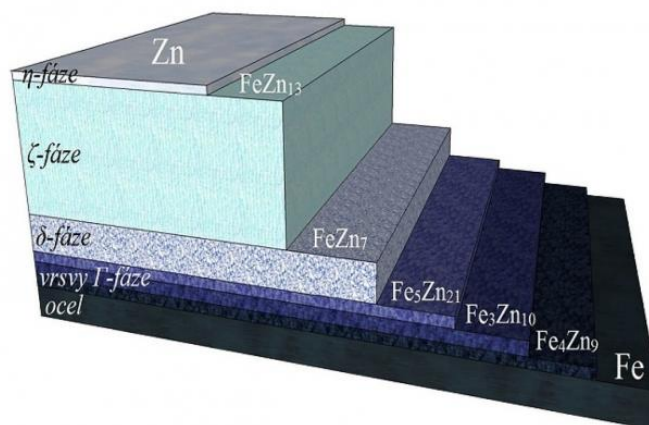
Graf č. 7 - Průběh AE u vzorku C_2500



Graf č. 8 - Průběh AE u vzorku C_2500L

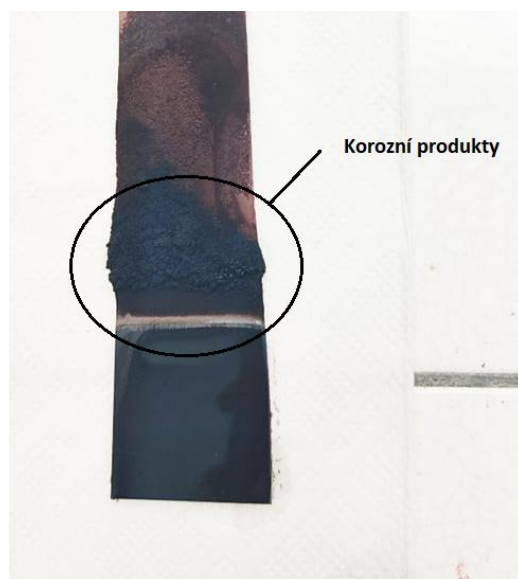
7.3 Měření pozinkované oceli

Pro tento experiment byla využita pozinkovaná ocel. Proces výroby pozinkované oceli spočívá ve využití základní konstrukční oceli, která je podrobena žíhání, kdy po tomto procesu následuje pozinkování v roztavené zinkové lázni. Tento způsob pozinkování se v praxi využívá nejčastěji v důsledku dosahování velmi dobrých výsledků. Při procesu pozinkování dochází k tvorbě jednotlivých vrstev na povrchu konstrukční oceli. První vrstva (fáze) je tvořena čistým zinkem. Výskyt jednotlivých fází je zobrazen na obr.26. [26]



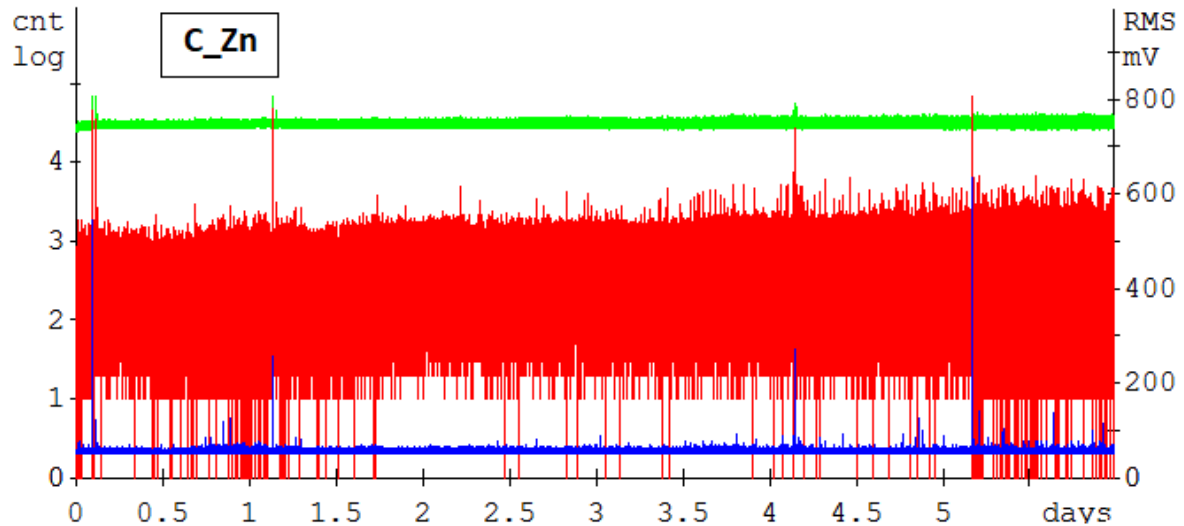
Obr. 25 - Jednotlivé fáze při pozinkování [26]

Tento vzorek byl vystaven 10% roztoku, tvořenému kyselinou octovou a vodou. V průběhu působení tohoto prostředí docházelo na rozmezí mezi základním materiálem a povlakem k tvorbě korozních produktů viz. obr.č.27.



Obr.č. 26 - Vliv korozního prostředí na pozinkovnou ocel

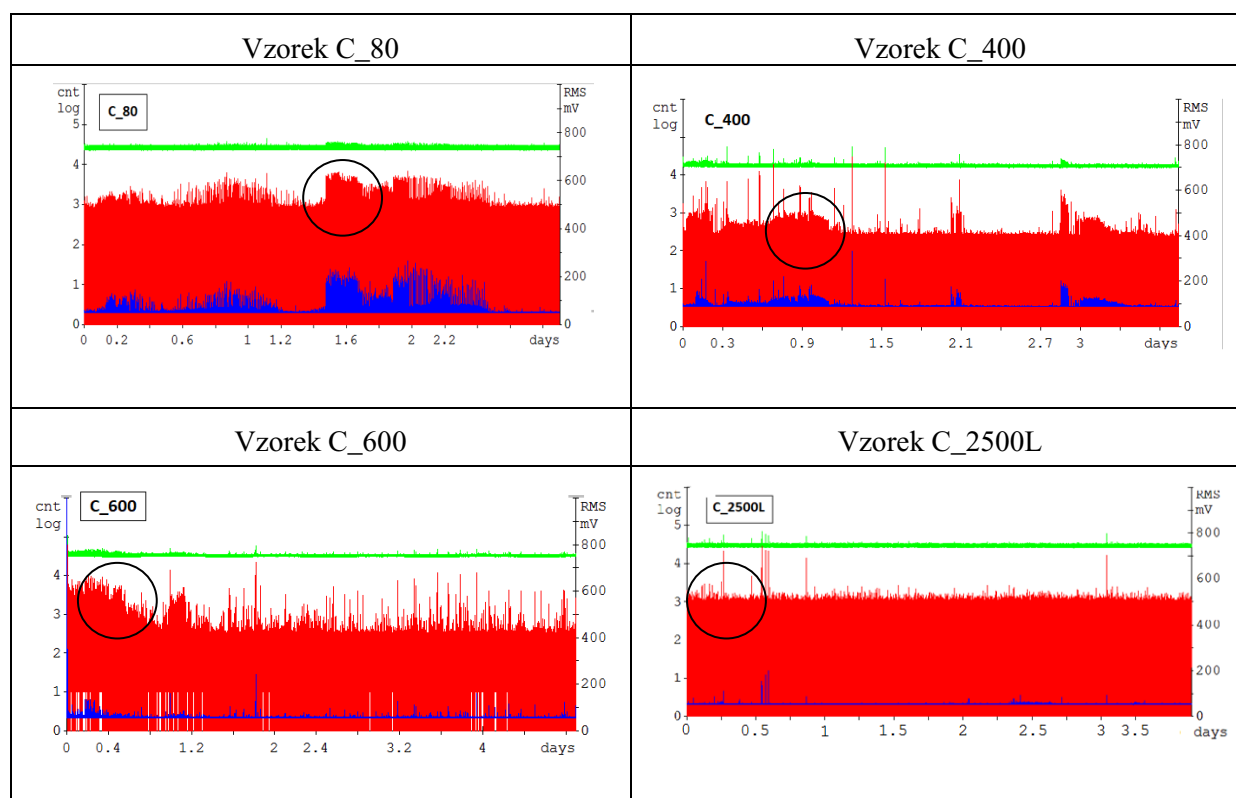
Na grafu č.9 je zobrazen průběh akustických událostí popisující vliv korozního prostředí v průběhu časového období. Lze si všimnout vlivu ochranné vrstvy, která díky své přítomnosti na zkoušeném povrchu materiálu zabránila korozním dějům.



Graf č. 9 - Průběh AE u pozinkované oceli

8. Diskuse výsledků





Z uvedených poznatků plyne přímá závislost mezi drsností povrchu a projevy akustické emise u zkoušených vzorků z oceli ČSN tř.11. Lze pozorovat, že se snižující se drsností R_a povrchu materiálu dochází také ke snižování počtu akustických událostí. Na povrchu materiálu s nejvyšší drsností R_a (vzorek C_80) se nacházejí objemově znatelnější výstupky, jejichž plocha je rozsáhlejší než u výstupků na povrchu materiálu s nejmenší drsností (vzorek C_2500L). Na základě této skutečnosti lze říci, že korozní prostředí, kterému je vystaven povrch vzorku C_80, působí na větší plochu materiálu v důsledku objemnějších výstupků. V důsledku toho je umožněno vzniku objemnějších korozních produktů vytvářející tzv. bariérový efekt, který je tím větší, čím větší je drsnost R_a povrchu materiálu a to právě v důsledku větší plochy povrchu materiálu na které působí korozní prostředí. Přítomnost bariérového efektu ovlivňuje nárůsty a poklesy počtů akustických událostí přes nastavený práh slyšitelnosti Count1.



Tab č. 2 – Závislost nárůstu či poklesu akustických událostí na tvorbě bariérové vrstvy v průběhu času

K nárůstům akustických událostí dochází v důsledku odpadávání bariérové vrstvy tvořené korozními produkty, která již přestala odolávat účinkům korozního prostředí. Tento nárůst lze pozorovat zejména u vzorků s vyšší drsností R_a povrchu. Lze tedy vyvodit závislost, že účinnost bariérové vrstvy, která se postupně vytváří při působení korozního prostředí, se odvíjí od velikosti rozměrů výstupků, které se odvíjí od drsnosti povrchu zkoušeného vzorku. Čím nižší je drsnost R_a povrchu materiálu, tím je povrch materiálu pokryt menšími výstupky a dochází tak k tvorbě bariérové vrstvy, která nedosahuje takových rozměrů jako u vzorků vyšších drsností R_a , není tak odolná a dochází k jejímu odpadávání v počáteční fázi časového období. Na povrchu materiálu se již dále nenachází rozměrnější výstupky, na které by aktivně

mohlo působit korozní prostředí, a tak dochází v pozdější fázi časového období k ustálení počtu akustických událostí viz.tab.č.2.

Vzorek C_240	Vzorek C_600
	
Vzorek C_1200	Vzorek C_2500L
	

Tab č. 3 - Výsledek působení korozního prostředí na vzorky

Dále byla pro experiment zvolena pozinkovaná ocel, která byla vystavena koroznímu prostředí, které bylo tvořeno kyselinou octovou a vodou. Je možno si všimnout ochranného účinku povrchové vrstvy, která chrání ocel proti korozi. Na grafu č.9 znázorňující vliv korozního prostředí na pozinkovanou ocel lze vidět téměř konstantní úroveň modré křivky RMS bez větších viditelných výkyvů.

9. Závěr

Během měření byl zaznamenáván velký objem dat u každého měřeného vzorku. V důsledku toho program DaeShow nepracoval vždy správně. Program dlouze zpracovával naměřená data. Docházelo tak ke dlouhým časům při vykreslování jednotlivých grafů. Častým jevem bylo také úplné zastavení programu, kdy bylo nutné restartovat počítač. Při měření byla snaha eliminovat vlivy, které by mohly narušovat průběh měření, avšak nečekaným zvukovým událostem probíhající v budově při měření nešlo zcela zamezit. Poloha snímače byla vždy volena na nejbližších místech, kde docházelo ke kontaktu korozního prostředí se zkoušeným materiálem, avšak s ohledem na bezpečnost provozu, aby bylo zamezeno ponoření snímače a jeho následné zničení.

Měření u pozinkované oceli bylo dokázáno, že povrchová vrstva na tomto materiálu chránila materiál proti působení korozního prostředí, než tomu bylo u materiálu oceli ČSN tř.11 konkrétně u vzorků s vysokou drsností Ra povrchu. Vzorky oceli ČSN tř.11 s nejnižší drsností Ra povrchu odolávaly působení korozního prostředí podobně jako pozinkovaná ocel ve stejném sledovaném časovém období. Otázkou zůstává, jak by se projevovaly účinky korozního prostředí na tyto vzorky v delším časovém období.

Metoda Akustické emise se osvědčila jako vhodná metoda pro dokázání závislosti mezi počtem akustických událostí na drsnosti povrchu materiálu při působení korozního prostředí.

Akustická emise se řadí mezi nedestruktivní metody zkoušení. Může být použita jako vstupní zkouška sloužící pro rozhodnutí, zda mají být provedeny zkoušky následující. Využití této metody v praxi je rozsáhlé. Akustickou emisí jsou sledovány děje, které aktuálně v daném materiálu probíhají. Pomocí této metody tedy nelze zkoumat již vzniklé defekty, jako je tomu u jiných nedestruktivních metod zkoušení. Koroze je problémem v celé řadě průmyslových odvětví. Metoda akustické emise se jeví vhodnou metodou pro zkoumání korozních dějů například v automobilovém průmyslu, kde se mimo jiné zkoumá vliv koroze na podvozek automobilu. Nejenže se koroze negativně podepisuje například na stavu technických zařízení a vytváří tak další finanční náklady na odstranění následků po působení koroze, ale značné problémy také činí náklady na ochranu proti korozi. Metoda Akustické emise tak může z ekonomického hlediska sloužit jako vhodná metoda pro ušetření možných finančních nákladů, které by mohly vzniknout například při podcenění vhodnosti kontroly vnitřního stavu technických zařízení a konstrukcí.

LITERATURA

- [1] KOPEC, B. a kol. Nedestruktivní zkoušení materiálu a konstrukcí. 1. Vydání. Brno: CERM s.r.o., 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [2] REGAZZO, Richard a Marcela REGAZZOVÁ. Ultrazvuk: základy ultrazvukové defektoskopie. 1. Praha: BEN, 2013. ISBN 9788073004668.
- [3] BC. MAREŠ, Vratislav. Diagnostika tlakových lahví pomocí akustické emise. Ostrava, 2010. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Tvrdý, Dr.Sc.
- [4] DVOŘÁK, Jiří. Akustická emise magnetických impulsů: metody magnetického bodového pólu. Liberec, 2008. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci - Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.
- [5] ČERNÝ, M., P. MAZAL a J. FILÍPEK. Zobrazení napětí a deformace s využitím AE. Brno, 2005.
- [6] ZAWADA, Pawel. Planární lokalizace zdrojů akustické emise. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava - Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Michal Šofer, Ph.D.
- [7] KEPRT, Ing. Jiří. Primární kalibrace snímačů akustické emise. Brno, 2009. Doktorská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.
- [8] Piezoelektrický jev. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-10-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrick%C3%BD_jev#:~:text=Piezoelektrick%C3%BD%20jev%20\(z%20%C5%99eck%C3%A9ho%20piezein,1%C3%A1tkou%20je%20monokrystalick%C3%BD%20k%C5%99emen%20k%C5%99i%C5%A1%C5%A5%C3%A1l.](https://cs.wikipedia.org/wiki/Piezoelektrick%C3%BD_jev#:~:text=Piezoelektrick%C3%BD%20jev%20(z%20%C5%99eck%C3%A9ho%20piezein,1%C3%A1tkou%20je%20monokrystalick%C3%BD%20k%C5%99emen%20k%C5%99i%C5%A1%C5%A5%C3%A1l.)
- [9] Novák, Pavel, Koroze kovů, Ústav kovových materiálů a korozního prostředí, Fakulta chemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kovu.pdf?redirected>
- [10] KOLÁŘ, CSC, doc. Ing. Karel a Ing. Pavel REITERMAN. Koroze kovů [online]. 9.10.2009 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/aktualne/nazory-a-rozhovory/koroze-kovu>
- [11] HAVLÍK, Luboš. Koroze slitin železa a způsoby jejich vyhodnocování. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Bohumil Pacal, CSC.
- [12] KŘÍŽ, Petr. Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP.
- [13] Korozní mikročlánek | Vševěd.cz. Encyklopedie.vseved.cz [online]. Praha: Netpoint, c2005-2011 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://encyklopedie.vseved.cz/korozn%C3%AD+mikro%C4%8DI%C3%A1nek>
- [15] ADA Akustická emise s.r.o. Akustická emise [online]. Plzeň, 2020 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <http://www.adandt.cz/>

- [16] Nedestruktivní metody testování, Akustická emise [online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=6390&typ=html
- [17] Metoda akustické emise - PDF Free Download: Metoda akustické emise [online]. 2020 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/106339274-Metoda-akusticke-emise.html>
- [18] Vliv různých aspektů na životnost ocelové mostní konstrukce | ASB Portal: ABS architektura stavebnictví byznis. Asb-portal.cz [online]. Brno: Ing. Miloslava Pošvářová Ph.D, 2010 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/mosty/vliv-ruznych-aspektu-na-zivotnost-ocelove-mostni-konstrukce?fbclid=IwAR1hWhh_d55bo9Py-SEXlpQjMTGc73LBUavHmO6_vmAWRj3QN9TW0MLv-L4
- [19] POSPÍŠIL, Karel, Marta KOŘENSKÁ, Luboš PAZDERA, Josef STRYK, Využití metody akustické emise k hodnocení stavu mostních nosníků, In: cdv.cz, [online]. [cit.2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/clanek-vyuziti-metody-akusticke-emisek-hodnoceni-stavu-mostnich-nosniku/>
- [20] Techmagazín.cz: Nejrychlejší spojení se světem průmyslové techniky. Techmagazín.cz [online]. Praha: Ing. Zdeněk Převorovský, CSc., 2011 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/242>
- [21] Nový přístup k výsledkům vnitřní inspekce — CEPS a.s. Nový přístup k výsledkům vnitřní inspekce — CEPS a.s. [online]. Jesenice: CEPS a.s, 2013 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.ceps-as.cz/cs/projekty/novy-pristup-k-vysledkum-vnitрни-inspekce.html>
- [22] Akustická emise. Youtube.com [online]. California: youtube, 2014, 8.7.2014 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Utr7Np3ouaU>
- [23] TLAČABA, Bc. Jaromír. Koroze oceli a její lokalizace NDT metodou - AE. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy.
- [24] Jakosti ocelí | www.feromat.cz. Feromat.cz [online]. Brno: Feromat Brno, © 2010 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
- [25] KACHLÍŘ, Jaromír. Vliv chemického složení na svařitelnost konstrukčních ocelí. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [26] Možnosti ochrany ocelových konstrukcí ve vnějším a agresivním prostředí žárovým zinkováním. IMaterialy.cz [online]. Nádražní 32 150 00 Praha 5: Business Media One, 2017, 24. 2. 2017 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/poruchy/moznosti-ochrany-ocelovych-konstrukci-ve-vnejsim-a-agresivnim-prostredi-zarovym-zinkovanim_44335.html
- [27] Moore, O., P., Nondestructive Testing Handbook, Volume 6, Acousting Emission Testing, American Society for Nondestructive Testing, ISBN: 1-57117-106-1, 2007.

[28] Měření drsnosti povrchu. Proinex.cz [online]. Ostrava: Proinex Instruments, s.r.o, 2017 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.proinex.cz/cs/blog/10_mereni-drsnosti-povrchu#:~:text=Drsnom%C4%9Bry%20m%C4%9B%C5%99%C3%AD%20drsnost%20povrchu%20na,definici%20drsnosti%20podle%20po%C5%BEadovan%C3%A9%20normy.

OBRÁZKY

[1] Vizuální zkouška. In: Technotest.cz [online]. Blansko: TECHNOTEST [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_vizualni

[2] Vizuální zkouška. In: Technotest.cz [online]. Blansko: TECHNOTEST [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_vizualni

[3] Nedestruktivní defektoskopie: Zkoušky kapilární. In: Domes.spssbrno.cz [online]. Brno: Ing. Jan Smolek, 2013 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_23-17.pdf

[4] Zkouška kapilární - PT linka. In: Technotest.cz [online]. Blansko: TECHNOTEST [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_kapilarni_pt_linka

[5] Zkoušky bez porušení materiálu - nedestruktivní zkoušky. In: Spszengrova.cz [online]. Ostrava: Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice, příspěvková organizace [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/KOM_3_5_SPU-zkousky_bez_poruseni_materialu.pdf

[6] Rentgenové záření. In: Cez.cz [online]. cez.cz [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k32.htm>

[7] Lokalizace mikrotrhlin v materiálu na základě detekce signálů akustické emise In: Pospisil text2.cdr [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <http://mat.fsv.cvut.cz/KomiseVSTEZ/13/prispevky/pospisil.pdf>

[8] Akustická emise magnetických impulsů: metody magnetického bodového pólu. In: *Dspace.vsb.cz* [online]. Liberec: Jiří Dvořák, 2008, 2008 [cit. 2020-10-23]. Dostupné z: http://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/2640/mgr_15362.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[9] Korozní vlastnosti vybraných nátěrových systémů. In: *Dspace.vsb.cz* [online]. Ostrava: Bc. Adam Bartoník, 2018 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128837/BAR0305_FMMI_N3923_3911T036_2018.pdf?sequence=1

[10] Druhy koroze kovů. In: *Kmt.tul.cz* [online]. Praha: P.Novák, 2005 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF

[11] Druhy koroze kovů. In: *Kmt.tul.cz* [online]. Praha: P.Novák, 2005 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF

- [12] Koroze - Wikipedie. In: Cs.wikipedia.org [online]. San Francisco: Antkyr, 2005 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze#/media/Soubor:Intergranular_corrosion.JPG
- [13] Druhy koroze kovů. In: Kmt.tul.cz [online]. Praha: P.Novák, 2005 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
- [14] Studium deformačních mechanismů v nových hořčíkových slitin při jednoosém a nízko cyklovém namáhání metodou akustické emise. In: Dspace.cuni.cz [online]. Praha: Klaudia Horváth, 2013 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/55068/BPTX_2011_2_11320_0_316717_0_123380.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] Diagnostika tlakových lahví pomocí akustické emise. In: Dspace.vsb.cz [online]. Ostrava: Bc. Vratislav Mareš, 2010 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/81814/MAR724_FMMI_N3923_3911T031_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] Parametry nespojitě AE. In: KOPEC, B. a kol. Nedestruktivní zkoušení materiálu a konstrukcí. 1. Vydání. Brno: CERM s.r.o., 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [17] HODNOCENÍ PRŮBĚHU KOROZNÍHO POŠKOZENÍ METODAMI AKUSTICKÉ EMISE A NELINEÁRNÍ ULTRAZVUKOVÉ SPEKTROSKOPIE. In: Ndt.net [online]. Ostrava: Jan Kober, 2011 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.ndt.net/article/defektoskopie2011/papers/273_p.pdf
- [18] VYUŽITÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE K HODNOCENÍ STAVU MOSTNÍCH NOSNÍKŮ. In: Cdv.cz [online]. Brno: Ing. Karel Pospíšil, Ph.D [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/clanek-vyuziti-metody-akusticke-emise-k-hodnoceni-stavu-mostnich-nosniku/>
- [19] Nový přístup k výsledkům vnitřní inspekce — CEPS a.s. In: Ceps-as.cz [online]. Jesenice: CEPS, c2013–2020 [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.ceps-as.cz/cs/projekty/novy-pristup-k-vysledkum-vnitri-inspekce.html>
- [20] Akustická emise. In: Youtube.com [online]. California: youtube, 2014, 8.7.2014 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Utr7Np3ouaU>
- [26] https://www.imaterialy.cz/rubriky/poruchy/moznosti-ochrany-ocelovych-konstrukci-ve-vnejsim-a-agresivnim-prostredi-zarovym-zinkovanim_44335.html. IMaterialy.cz [online]. Nádražní 32 150 00 Praha 5: Business Media One, 2017, 24. 2. 2017 [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/poruchy/moznosti-ochrany-ocelovych-konstrukci-ve-vnejsim-a-agresivnim-prostredi-zarovym-zinkovanim_44335.html

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Vizuální metodou byl zjištěn prasklý výztužný drát lopatkové řady [1].....	13
Obr. 2 - Poškození oběžných lopatek turbíny [2].....	13
Obr. 3 - Princip detekce kapilární zkoušky [3]	15
Obr. 4 - Zobrazení vady při kapilární zkoušce [4]	15
Obr. 5 - Princip magnetické zkoušky [5]	16
Obr. 6 - Princip zobrazení vady u rentgenové zkoušky [6].....	17
Obr. 7 - Znázornění jednorozměrné lokalizace [7]	22
Obr. 8 - Znázornění dvourozměrné lokalizace [8]	23
Obr. 9 - Zobrazení vodíkové koroze [9].....	27
Obr. 10 - Zobrazení vodíkové křehkosti [10].....	27
Obr. 11 - Bodová koroze [11]	28
Obr. 12 - Mezikrystalová koroze austenitické oceli [12]	29
Obr. 13- Transkrystalická koroze [13]	29
Obr. 14 - Nespojité signál AE [14]	31
Obr. 15 - Parametry nespojitě AE [15]	32
Obr. 16 - Parametry nespojitě AE [16]	33
Obr. 17- Průběh korozního napadení [17].....	34
Obr. 18 - Záznam měření [18].....	35
Obr. 19 - Zkušební těleso [19]	36
Obr. 20 - Měřicí aparatura [20]	37
Obr. 21 - Konfigurace systému	40
Obr. 22 - Prvky měřicí aparatury	41
Obr. 23 - Umístění snímače.....	41
Obr. 24 – Průběh koroze v čase u vzorku C_1200.....	47
Obr. 25 - Jednotlivé fáze při pozinkování [26].....	49
Obr.č. 26 - Vliv korozního prostředí na pozinkovnou ocel.....	49

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Průběh AE u vzorku C_80	43
Graf č. 2 – Průběh AE u vzorku C_240	44
Graf č. 3 - Průběh AE u vzorku C_400	45
Graf č. 4 - Průběh AE u vzorku C_600	45
Graf č. 5 - Průběh AE u vzorku C_800	47
Graf č. 6 - Průběh AE u vzorku C_1200	46
Graf č. 7 - Průběh AE u vzorku C_2500	48
Graf č. 8 - Průběh AE u vzorku C_2500L.....	48
Graf č. 9 - Průběh AE u pozinkované oceli	50

SEZNAM TABULEK

Tab č. 1 - Výsledky měření drsnosti	42
Tab č. 2 - Závislost nárůstu či poklesu akustických událostí na tvorbě bariérové vrstvy v průběhu času.....	51
Tab č. 3 - Výsledek působení korozního prostředí na vzorky.....	52