

NÁSTROJE PRO SLEDOVÁNÍ RIZIKA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Dana PROCHÁZKOVÁ - Jan PROCHÁZKA

TOOLS FOR RISK MONITORING OF TECHNICAL FITTINGS

METES**Motivation - Education - Trust - Environment - Safety 2018**

ABSTRAKT

PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNÝCH TECHNICKÝCH DĚL JE NUTNÉ, ABY JEJICH TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BYLA BEZPEČNÁ. JEJICH STAV JE OVLIVŇOVÁN PODMÍNKAMI, VE KTERÝCH JSOU PROVOZOVÁNY A TAKÉ ČASEM, KTERÝ PLYNE OD JEJICH ZHOTOVENÍ. UVEDENÉ FAKTORY PŘEDURČUJÍ VELIKOST RIZIKA, KTERÉ JE SPOJENO S MATERIÁLEM TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ. PROTO JE TŘEBA SLEDOVAT RIZIKA SPOJENÁ S DEGRADAČNÍMI PROCESY V TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍCH A SPRÁVNĚ JE VYPOŘÁDAT. DATA PRO URČENÍ MÍRY RIZIK POSKYTUJÍ NEDESTRUKTIVNÍ METODY MĚŘENÍ STAVU MATERIÁLU TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ. SPRÁVNÁ INTERPRETACE JEJICH VÝSLEDKŮ ZVYŠUJE VĚROHODNOST ROZHODOVÁNÍ O RIZIKU.

KLÍČOVÁ SLOVA: Technická zařízení; degradace materiálu; riziko; bezpečnost; nedestruktivní metody měření.

ABSTRACT

TO ENSURE THE SAFE TECHNICAL FACILITIES, IT IS NECESSARY SO THEIR FITTINGS WERE SAFE. THEIR CONDITIONS ARE AFFECTED BY THE CONDITIONS IN WHICH THEY OPERATE, AND ALSO BY THE TIME THAT FOLLOWS FROM THEIR CONSTRUCTION. THESE FACTORS PREDETERMINE THE RISK SIZE THAT IS ASSOCIATED WITH THE MATERIAL OF TECHNICAL FITTINGS. THEREFORE, IT IS NECESSARY TO MONITOR THE RISKS ASSOCIATED WITH DEGRADATION PROCESSES IN TECHNICAL FITTINGS, AND CORRECTLY COPE WITH THEM. DATA FOR DETERMINATION OF THE RISKS RATES, THEY PROVIDE THE NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR MEASURING THE CONDITIONS OF THE TECHNICAL FITTINGS MATERIAL. THE PROPER INTERPRETATION OF THEIR RESULTS INCREASES THE CREDIBILITY OF THE DECISION-MAKING ON RISK.

KEYWORDS: Technical equipment; degradation of the material; the risk; safety; non-destructive measurement method.

1. Úvod

Bezpečí a rozvoj lidské společnosti závisí významně na bezpečnosti technických děl. V práci se soustředíme jen na dílčí, ale důležitou část technických děl, a to bezpečnost technických zařízení. Bezpečnost představuje soubor antropogenních opatření a činností, kterými lidé brání sebe nebo aktiva, na kterých jim záleží proti škodlivým jevům všeho druhu [1]. Jelikož bezpečnost závisí na řízení rizik [1], tak soustředíme pozornost na řízení rizik technických zařízení, a to na podklady podporující správné rozhodnutí o riziku, aby se v zájmu bezpečnosti přijala správná opatření pro nakládání s předmětným technickým zařízením.

Dle práce [1] riziko v současném inženýrském pojetí znamená pravděpodobnou velikost škod, ztrát a újmy na chráněných aktivech, kterou způsobí pohroma (škodlivý jev) o normativně určené velikosti (nazývané ohrožení), která je normovaná na jednotku plochy a jednotku času, tj. jde o míru

nepříjatelých dopadů způsobených pohromou o velikosti rovné hodnotě ohrožení. Je si třeba uvědomit, že škodlivými jevy jsou i neošetřené možné interakce na rozhraních v technických zařízeních, komponentách i celých technických dílech a špatná rozhodnutí řídicích subjektů, a to živých i neživých [1].

Riziko je inherentní součástí našeho světa, a proto se na něho zaměřuje legislativa, normy a standardy. Např. novelizace mezinárodní normy ISO 9000, vydaná v ČR v r. 2016, vyžaduje analýzu rizik v souvislosti se zajišťováním kvality procesů a produktů ve firmách, které usilují o certifikaci či recertifikaci systému řízení kvality. Předmětná norma odkazuje na další normy: ČSN ISO 31000 Management rizik – principy a směrnice; ČSN EN 31010 Management rizik – Techniky posuzování rizik atd.

2. Bezpečnost technických zařízení

Bezpečnost technických zařízení závisí na mnoha položkách, tj. na materiálu, způsobu zhotovení, způsobu provozu a provozních podmínkách [2-5]. Pro její zajištění je třeba sledovat všechna rizika spojená s uvedenými položkami a řídit je tak, aby sledované zařízení pracovalo po celou dobu životnosti bezpečně, tj. spolehlivě plnilo funkce v požadované kvalitě, v požadovaném množství a v požadovaném čase, a při svých kritických podmínkách neohrozilo ani sebe, ani své okolí [2-5].

Na základě šetření spojených se zpracováním prací [1-5] se v technickém sektoru často zvažuje jen kontext technického zařízení, technické komponenty, technického díla nebo kontext podniku, který technické dílo spravuje a v řadě případů jen kontext výrobního zařízení. S ohledem na bezpečí a rozvoj lidské společnosti, tj. z veřejného zájmu je však třeba zvažovat kontext širší, tj. i okolí sledované technické entity. Přitom si je třeba uvědomit, že užitek z technického díla v dlouhodobé perspektivě není dán jen výkonem, tj. množstvím výrobků, energií či služeb, ale i tím, že bude zabráněno ztrátám způsobeným haváriemi.

Práce [1] uvádí faktory, které je nutno sledovat při strategickém řízení bezpečnosti technických entit; obrázek 1. Oblast výroby a služeb dále závisí na technických zařízeních, obsluze, podmínkách a procesech výroby, které jsou opět vzájemně propojenými otevřenými systémy. Samotný stav technického zařízení závisí na materiálu, ze kterého bylo zařízení zhotoveno, způsobu výroby a konstrukce, na provozních podmínkách a na způsobu, jak se s ním zachází, tj. kvalita a způsob údržby a provádění oprav.



Obr. 1 - Položky, které musí sledovat strategie řízení technického díla zacílená na bezpečnost.

Z dôvodu složitosti problému technických děl z pohledu potřeb lidské společnosti, tj. veřejného zájmu není pro lidskou společnost ideální, aby se technická díla, objektová i síťová orientovala jen na výkon. Jestliže není brán ohled na veřejná aktiva a kritická aktiva technického díla, a dojde k havárii nebo selhání technických děl, tak příklady v pracích [2-4] ukazují, že často vznikají ztráty na lidských životech uvnitř i vně technického díla, ztráty na majetku, újmy na životním prostředí a v případě kritických technických děl i velké ekonomické ztráty v území o menším či větším rozměru, které jsou často střednědobé až dlouhodobé, tj. značně ovlivňující rozvoj lidské společnosti a zasaženého území. Proto je třeba při řízení technických děl dbát především na prevenci ztrát [2], kterou lze dosáhnout jen cíleným kvalifikovaným řízením rizik. Obrázek 2 z práce [2] ukazuje, že u technických zařízení se nelze soustředit jen na výkon technického zařízení, ale je třeba dbát i na řízení existujících rizik z důvodu veřejného zájmu.

V případě technických zařízení, komponent i celých technických děl jde o zajištění jejich bezpečnosti v integrálním smyslu, což lze dosáhnout jen cíleným řízením všech prioritních rizik, do kterých patří i rizika spojená s materiálem, ze kterého byly zhotoveny [1-4].

Aby se zajistila integrální bezpečnost (tj. celková bezpečnost technického díla), tak musí být věnována péče i bezpečnosti dílčích částí, tj. i u dílčích částí je nutno řídit rizika. To znamená, že musí být sledována a řízena rizika jednotlivých technických zařízení. Zdroje těchto rizik jsou rozmanité a vyžadují specifická posouzení [2-4].



Obr. 2 - Příklad základního konfliktu při řízení kritických objektů – sestaveno s uvážením představy v [6].

V práci se zaměřujeme na riziko, které souvisí s opotřebením technického zařízení způsobeným změnami v materiálu, ze kterého bylo zařízení zhotovené. Na základě poznatků v pracích [1-3] riziko a bezpečnost jsou v určitém vztahu, ale nejsou doplňkové veličiny, protože bezpečnost můžeme zvýšit

organizačními opatřeními a připraveností a výše rizika přitom zůstane stejná. Doplnkovou veličinou k bezpečnosti je kritičnost.

Kritičnost je krajní / mezní stav nebo vlastnost technického zařízení, komponenty nebo celého technického díla. Měří kvalitu souboru opatření a činností s ohledem na bezpečí sledované entity; při menších hodnotách je stav entity bez problému a při vyšších hodnotách je vysoká pravděpodobnost vzniku havárií či selhání entity. Zahrnuje i nefunkčnost a nespolehlivost entity infrastruktur a technologií. Ke zvýšení „nebezpečnosti / kritičnosti“ entity obecně přispívají *složitost a rozmanitost cílů* (často jsou konfliktní), *citlivost rozhodnutí na změny*, *neurčitost klíčových proměnných a rozdílné pohledy na situaci* [1-3].

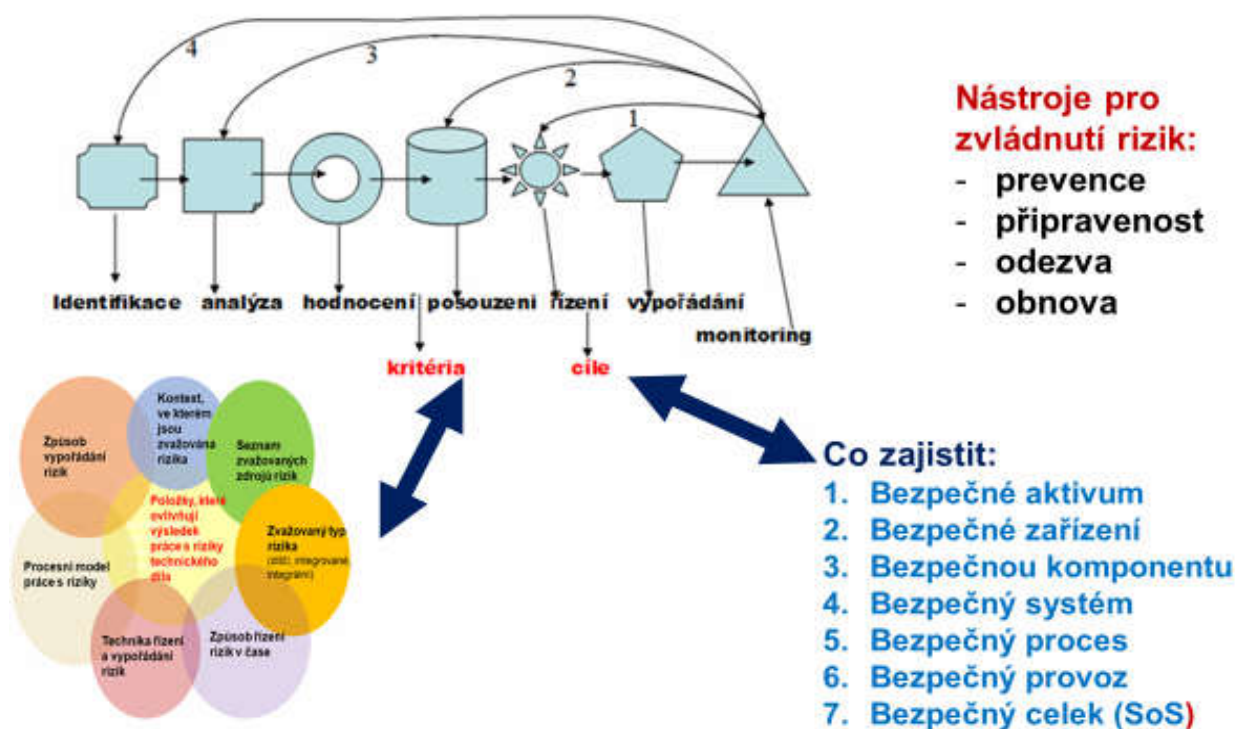
Podle [2,4] a zkušeností autorů z praxe je vhodné při hodnocení kritičnosti technického zařízení v praxi používat pětistupňovou stupnici:

- velmi dobrý stav technického zařízení: technické zařízení je v bezvadném fyzickém stavu a plní zamyšlené funkce. Náklady na údržbu jsou v souladu se standardy a normami. Technické zařízení je nové nebo bylo nedávno obnoveno. Nároky na provoz technického zařízení odpovídají projektu, provozní problémy technického zařízení nejsou. Veškerý program je plněn účinně a efektivně,
- dobrý stav technického zařízení: technické zařízení je fyzicky v dobrém stavu a plní zamyšlené funkce. Náklady na údržbu technického zařízení jsou v souladu se standardy a normami, ale rostou. Technické zařízení je asi v polovině své životnosti. Nároky na provoz technického zařízení odpovídají projektu, provozní problémy technického zařízení jsou jen občas. Veškerý program je plněn přijatelně,
- přijatelný stav technického zařízení: technické zařízení vykazuje známky opotřebení a nižší výkonnosti než je zamyšlená. Některé části technického zařízení jsou nedostatečné. Náklady na údržbu technického zařízení překračují částky stanovené standardy a normami a rostou. Technické zařízení bylo dlouho používáno, anebo pracovalo v nepříznivých podmínkách, a je tudíž v poslední fázi své životnosti. Nároky na provoz technického zařízení odpovídají projektu, provozní problémy technického zařízení jsou časté. Veškerý program je většinou plněn, objevují se však neúčinné a neefektivní způsoby plnění,
- špatný stav technického zařízení: technické zařízení vykazuje významné známky opotřebení a plní zamyšlené funkce na nízké úrovni. Mnoho částí technického zařízení je nedostatečných. Náklady na údržbu technického zařízení významně přesahují částky ze standardů a norem. Technické zařízení se blíží ke konci své životnosti. Nároky na provoz technického zařízení přesahují údaje v projektu, provozní problémy technického zařízení jsou zřejmé. Veškerý program je plněn jen v značně omezeném rozsahu,
- kritický stav technického zařízení: technické zařízení je ve špatném stavu a nepracuje tak, jak by mělo. Je vysoká pravděpodobnost jeho selhání. Náklady na údržbu technického zařízení jsou vysoce nepřijatelné ve srovnání se standardy a normami, rekonstrukce technického zařízení není nákladově efektivní. Je nutná výměna. Nároky na provoz technického zařízení jsou výrazně vyšší než projektové; provozní problémy technického zařízení jsou vážné a trvalé. Stanovený program není plněn.

3. Práce s riziky

Při práci s riziky je třeba riziko identifikovat, analyzovat, ohodnotit, posoudit jeho závažnost, řídit a vypořádat ve prospěch stanoveného cíle; ve složitém světě existuje řada faktorů, které určují velikost rizika [1]; obrázek 3.

Procesní model pro práci s riziky - 1,2,3,4 = zpětné vazby, které se používají, když monitoring ukáže, že nejsou splněny stanovené požadavky na bezpečnost



Obr. 3 – Faktory, které rozhodují o vztahu mezi rizikem a bezpečností technického zařízení.

Podstatnou roli při práci s riziky hraje hodnocení rizika, a hlavně disponibilní data pro jeho provedení. Hodnocení rizika je proces, který je podstatnou složkou řízení a regulace a významnou složkou rozhodování, a proto jeho správnost a věrohodnost jsou důležité.

Dle [7] hodnocení rizika je metoda stanovení hodnoty rizika v dané hodnotové stupnici. Podle konkrétní povahy předmětu hodnocení metoda spočívá ve srovnání s kritériem nebo souborem kritérií, která představují měřítka, určující, poznávací a rozlišovací znaky pro srovnávání. Některá z kritérií bývají dokonce jen kvalitativní a mnohá z nich jsou nesouměřitelná. Struktura procesu hodnocení závisí na dále uvedených faktorech:

- co je hodnoceno?
- kdy je hodnoceno, resp. vzhledem k jakému časovému okamžiku je hodnoceno?
- jak, tj. na základě jakých kritérií, je hodnoceno?

Jak bylo řečeno, hodnocení představuje uplatnění jistých kritérií, hodnotících funkcí nebo preferencí. To znamená, že když soubor kritérií nebo pořadí kritérií změním, tak není výsledek stejný.

Pro hodnocení, tj. určení míry rizika (a následně i míry bezpečnosti) se podle potřeby používají:

- alfabetské stupnice (např. podle velikosti dopadu je riziko: zanedbatelné, malé, střední, velké, extrémní; nebo podle četnosti výskytu je riziko: nepravděpodobné, možné, časté, velmi časté, jisté),
- indikátory (číselné hodnoty pravděpodobnosti výskytu dopadu při realizaci rizika nebo číselné hodnoty velikosti dopadu při realizaci rizika), které jsou jistým způsobem vázané na uvedenou alfabetskou stupnici (např. pro pravděpodobnost výskytu dopadu při realizaci rizika: 1 – výskyt je vyloučený, 2 – výskyt je nepravděpodobný, 3 – výskyt je možný, 4 – výskyt je velmi pravděpodobný, 5 – výskyt je téměř jistý; pro velikost dopadu při realizaci

rizika: 1 – škody a ztráty jsou zanedbatelné, 2 - škody a ztráty jsou nízké, 3 - škody a ztráty jsou střední, 4 - škody a ztráty jsou vysoké, 5 - škody a ztráty jsou extrémní). Závažnost (významnost) rizik měřených indikátory se obvykle určuje pomocí rozhodovacích matic, ve kterých se skóruje pravděpodobnost výskytu dopadů a velikost ztráty způsobené dopady nebo pomocí prostého součinu indikátoru vyjadřujícího výši pravděpodobnosti výskytu dopadu a indikátoru vyjadřujícího velikost ztrát (např. v uvedené souvislosti jsou možnosti 1 až 25 a lze použít klasifikaci: je-li součin menší než 5, je riziko nevýznamné; je-li součin mezi 6 a 10, je riziko malé; je-li součin mezi 11 a 15 je riziko střední; je-li součin mezi 16 a 20 je riziko velké; je-li součin na 20, je riziko extrémně velké),

- výsledky přesného stanovení nebo změření konkrétních škod a ztrát [1] (pro potřeby vyjednávání s riziky jsou zjištěné hodnoty srovnávané s prahovými hodnotami, např. přijatelné – škoda je menší než 0.01 měsíčního rozpočtu, nepřijatelné – škoda je větší nebo rovna 0.1 měsíčního rozpočtu a podmíněně přijatelné, když hodnoty jsou v mezi limitami (místo peněz lze použít hodnoty koncentrace škodlivých látek, množství odpadu, stupeň neplnění požadavků apod.).

Hodnocení má několik kvalitativních úrovní, srovnání se provádí vůči limitu danému konkrétní hodnotou, limitu danému konkrétní křivkou nebo konkrétním prostorovým útvarem v případě vícerozměrných problémů. U složitějších případů hodnocení se používají prediktivní metody, které jsou nejčastěji založeny na použití:

- exaktních výpočtů,
- statistických formulí,
- experimentálního sledování a matematického modelování,
- expertních přístupů, založených na odhadech, analogiích a zkušenostech,
- skórování veličin, tj. u nesouměřitelných veličin se používají metody multikriteriální analýzy, tj. např. rozhodovací tabulky.

Pro určité úkoly praxe, kterými je např. zajištění bezpečného technického zařízení, postačí často sledovat jen dopady dílejšího rizika určitého procesu (např. stárnutí či opotřebení). Přitom není třeba znát jeho velikost zcela přesně, postačí pouze hodnota spolehlivého indikátoru (např. určitého fyzikálního parametru), na jehož základě je možno posoudit, zda v daném konkrétním případě je riziko spojené s opotřebením technického zařízení přijatelné, podmíněně přijatelné, anebo nepřijatelné. Tento postup založený na interpretaci výsledků měření fyzikálních jevů je v technické praxi běžně využíván.

4. Degradační procesy technických zařízení a metody pro posouzení míry rizika

Znalosti fyziky a technologií ukazují, že stav materiálů technických zařízení, komponent i celých technických děl je ovlivňován podmínkami, ve kterých jsou provozovány a také časem, který plyne od jejich zhotovení. Problematika řízení stárnutí materiálů, z nichž jsou zhotovena technická zařízení, technické komponenty i celá technická díla, patří proto do základních technologických oborů [8,9]; a proto se na ni v práci soustředíme a sledujeme zdroje rizik, které předurčují chování materiálů technických zařízení.

Z důvodu zajištění bezpečnosti technických zařízení, komponent i celých technických děl je proto třeba sledovat rizika spojená s degradačními procesy a pomocí optimální údržby, optimálního režimu provozu či včasné výměny opotřebovaných částí udržovat přijatelnou úroveň bezpečnosti, tj. bezpečnost je nutno řídit [2,3]. V souladu s obrázkem 3 jde ve sledovaném případě především o bezpečný stav technického zařízení, který je předurčen materiálem, ze kterého bylo technické zařízení zhotoveno, tj. nejde ani o konstrukční provedení a zařazení technického zařízení do výrobního procesu, které předurčují bezpečný provoz (provozní bezpečnost), ani o začlenění do vyšších celků, které předurčují bezpečný výkon technického díla /celkovou bezpečnost).

Pro řízení jsou nutná data, která se opatřují pomocí nedestruktivních metod měření stavu materiálu [10-14]. Předmětných metod je celá řada a každá z metod má své hranice použitelnosti; dle práce [15]

neexistuje metoda, ktorá by umožňovala zistiť všetky závady na materiálu. Preto je nutné používať kombinácie metód a umieť správne interpretovať ich výsledky.

Predložená práca ukazuje dva konkrétne príklady výsledkov dvoch vybraných nedestruktívnych metód získaných z archívu [15]. Jsou sledovány dopady rizika, ktoré súvisí s opotrebením technického zariadení v dôsledku stárnutia a podmínek, ve ktorých je zariadení provozováno.

5. Metody sledování stavu technických zařízení

Diagnostické metódy [8-14] umožňujú poznať súčasný stav technických zariadení a na základe toho určiť ich možná chováni v ďalšom čase. V provozu majú hlavnú cenu nedestruktívnych metód. Používajú sa v rámci permanentného monitoringu, pri intervalových meraniach i nárazovo pri problémoch. Cieľom nedestruktívnych metód dle údajů v pracích [8-14] je:

- zistiť celistvosť technického zariadení, čo garantuje jeho spoľahlivosť,
- predvídať selhání technického zariadení vlivem poruch, čímž sa predchádza úrazům, zajišťuje sa ochrana investícií a ich návratnosť,
- spokojenosť užívateľů zariadení i služieb, ktoré táto zariadení poskytujú,
- podpora goodwill provozovateľa,
- zlepšení designu technického zariadení,
- zlepšení řízení výrobních procesů,
- snížení výrobních nákladů.

Rozlišuje sa šesť hlavních kategórií nedestruktívnych metód: vizuální; radiační; magneticko-elektrické; mechanické vibrace; termální; a chemické / elektrochemické. Podľa údajů v pracích [8-14] a zkušeností autorů je každá metóda charakterizovaná ďalej uvedenými piatimi faktormi:

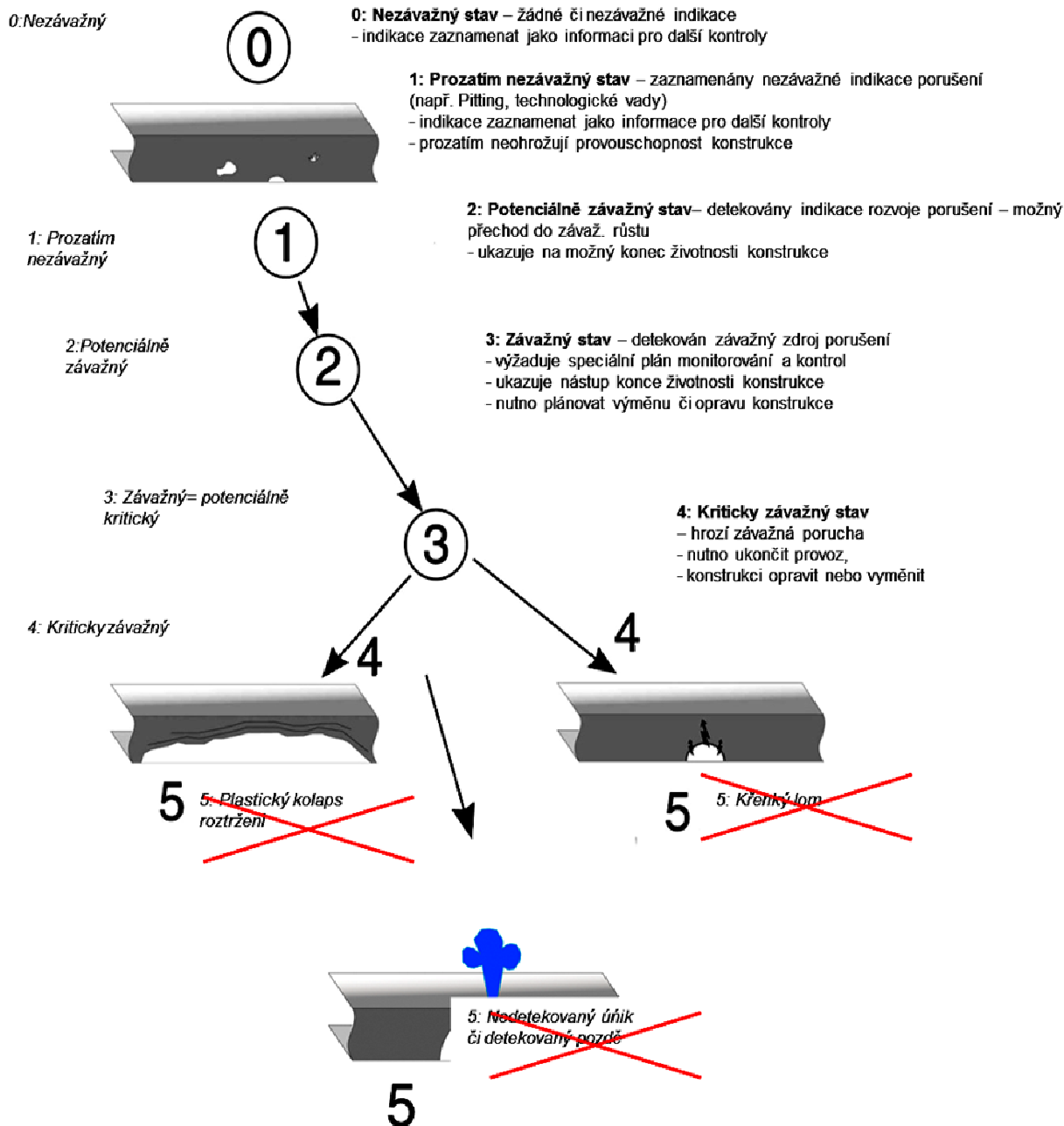
- Predmet sledování při testu (tlak, teplota, průtok, výkon, chování rentgenových paprsků, chování ultrazvukových vln, chování termálního záření, chování intenzity magnetického pole apod.).
- Sledovaný fyzikální parametr (deformace, napětí, tvrdost, útlum rentgenových paprsků, útlum ultrazvukových vln, odraz ultrazvuku, intenzita magnetického pole, koncentrace poruch apod.).
- Zariadení používané k detekování nebo snímání výsledných signálů (fotoemulze, piezoelektrický krystal, indukční cívka apod.).
- Velikost použitá k indikování nebo zaznamenání signálů (odchylka, stopa na oscilografu, průběh magnetogramu, termogramu, radiogramu, konfigurace v ploše či prostoru apod.).
- Podklad pro interpretaci výsledků (přímá nebo nepřímá indikace kvalitativní nebo kvantitativní změny).

Cieľom každej metódy je zistiť údaje o jednom parametre materiálu alebo o niekoľkých parametroch materiálu:

- Existence diskontinuit v materiálu a jejich rozdělení (trhliny, dutiny, městky, štěpení, dělení na vrstvy apod.).
- Charakter struktury materiálu (krystalická, amorfni, velikost zrn, mezilamelární defekty, segregace, poruchy apod.).
- Velikost a charakteristika poruch materiálu (povrchové, pronikající dovnitř, šířka, tloušťka, průměr, spáry, popraskání apod.).
- Fyzikální a mechanické vlastnosti diskontinuit (odrazivost, vodivost, modul pružnosti, rychlost zvuku apod.).
- Složení a chemická analýza materiálu (identifikace slitin, nečistoty, příměsi, rozložení nečistot apod.).
- Pnutí a dynamická odezva materiálu (zbytkové pnutí, narůstání trhlin, opotrebení, vibrace apod.).
- Výskyt termálních, magnetických, elektrických a jiných anomálií v materiálu.

Ze sledovaných zdrojů i zkušeností autorů vyplývá, že žádná metoda neodhalí všechny defekty v materiálu. Pro posouzení rizika spojeného s materiálem technických zařízení v provozu někdy postačí jedna správně vybraná metoda a jindy je třeba použít metod několik.

Metodami nedestruktivních testů sledujeme zpravidla jedno aktivum, a to technické zařízení, a velikost rizika měříme jeho dopadem na vybrané parametry materiálu (kumulace a množství trhlin, intenzity magnetické intenzity), stav materiálu technického zařízení a jeho příspěvek k selhání zařízení. Každé technické zařízení umístěné v provozu má jistý úkol, který musí splnit bezpečně, tj. spolehlivě, a přitom neohrozit sebe a své okolí [1-5]. Je faktem, že každé problémy v materiálu, ze kterého je složené ovlivňují plnění tohoto úkolu. Zkušenosti ukazují, že se tak děje až od určité velikosti problémů. Na obrázku 4 [16] je ukázán vztah mezi stavem materiálu technického zařízení a selháním technického zařízení, přičemž ke klasifikaci velikosti rizika je použita kategorizace 0 až 5, což je v souladu s praxí ve světě [2].



Obr. 4 – Vztah stavu materiálu a selhání technického zařízení [16].

Obrázek 4 ukazuje, jak rozvoj defektů přispívá postupně k riziku. Jestliže defekty překročí bezpečnostní limity, tak dojde k realizaci rizika. Výsledkem je potom selhání technického zařízení, což u kritických zařízení, kterými jsou např. tlakové nádoby, produktovody se stlačenými nebezpečnými látkami apod. znamená havárii.

6. Příklady výsledků dvou nedestruktivních metod

Dále ukážeme výsledky dvou metod, a to: metoda založená na měření akustické emise; a metoda založená na magnetické paměti materiálu. Obě metody slouží ke zjišťování integrity materiálu, k detekci trhlin, ke sledování vzniku a rozvoje trhlin, k monitorování těsnosti systémů (úniky), k detekci materiálových vad tlakových zařízení či jednotlivých komponentů, k vyhodnocení fyzikálních procesů probíhajících v materiálu, ke sledování kritických míst tlakových nádob, potrubí a konstrukcí, ke sledování procesů při únavových materiálových zkouškách a destrukčních testech.

Metoda akustické emise využívá skutečnosti, že defekty v materiálu se při zatížení projevují vyzařováním elastických vln; předmětný jev označujeme jako akustická emise. Principem metody akustické emise je „odposlech“ a vyhodnocení procesů probíhajících v materiálu během zatěžování technického zařízení, tedy při tlakových zkouškách nebo za provozu. U sledovaného technického zařízení se na vytypovaná místa rozmístí snímací sondy (v případě horkého tělesa se na povrch navaří tzv. vlnovody procházející izolací a sonda se montuje na jejich konce). Sonda je přes předzesilovač signálu a koaxiální kabel připojena na analyzátor vln a řídicí počítač, umístěné v bezpečné vzdálenosti. Jako pomocná veličina je zaznamenáván tlak, případně teplota. Naměřená data jsou nahrávána do počítače k dalšímu zpracování (vyhodnocování).

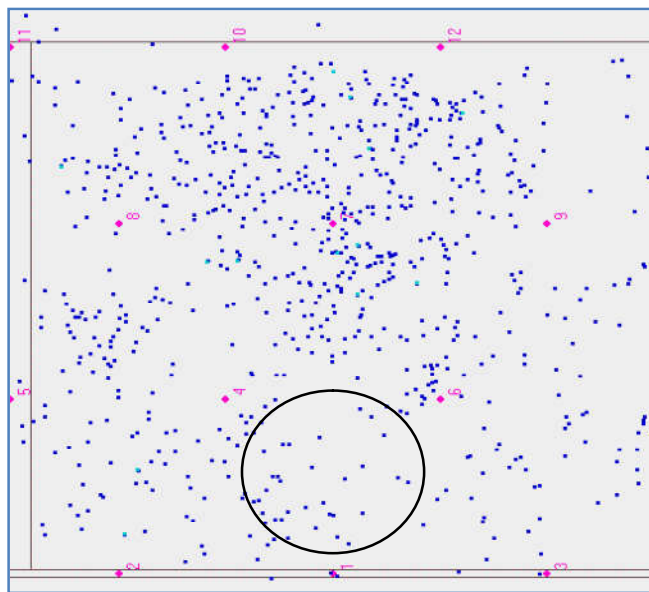
Dále uvedený příklad ukazuje měření akustické emise v Unipetrolu, jehož cílem bylo posouzení integrity tělesa tlakové nádoby z austenitu a identifikace případných zdrojů emisí, které by svojí charakteristikou odpovídaly aktivním defektům a které mohly vzniknout v důsledku působení provozních zatěžovacích parametrů během dlouhodobého provozu. K testu tlakové nádoby došlo proto, že u ní byla opakovaně za provozu detekována netěsnost, a proto vzniklo podezření, zda tato netěsnost není způsobena průchozím defektem typu trhliny v materiálu tělesa tlakové nádoby, k jejímuž rozevírání dochází v průběhu změny zatěžovacích parametrů při náběhu na provozní parametry – tlak do 3,3 MPa, teplota cca -160°C.

Na vnějším povrchu nádoby byla rozmístěna síť snímačů akustické emise zahrnující celý objem nádoby [15]. V normálním provozu daná tlaková nádoba pracuje v kryogenních podmínkách (-160 °C). Při vlastní tlakové zkoušce dusíkem byla registrovaná zvýšená emisní aktivita, zejména ve válcové části nádoby [15]. Jednotlivé emisní události nebyly lokalizovány do dílčích zdrojů (klastřů), ale byly rozloženy v celém objemu pláště. Předmětná skutečnost způsobila komplikace při hodnocení stavu tlakové nádoby dle stávajících platných norem pro hodnocení signálů akustické emise.

Další analýzou bylo zjištěno, že se jedná o registrované signály akustické emise vyvolané fázovou transformací austenitu na deformační indukovaný martenzit, včetně reverzního procesu v lokálních místech. Proto bylo provedeno měření akustické emise, které bylo realizováno při náhradní tlakové zkoušce dusíkem. Výsledky měření byly zpracovány pro tlakovou nádobu ve formě mapy plošné lokalizace emisních událostí na rozvinutém plášti a časových průběhů emisní aktivity, amplitudy EU a tlaku, obrázek 5.

Na obrázku 5 jsou body zobrazeny lokalizované události akustické emise; jsou odlišeny barevně, od barvy modré > světle modré > zelené > oranžové > po červenou; nejzávažnější mají barvu červenou. Na obrázku 3 vidíme místa:

- s vysokými lokálními koncentracemi aktivity (hustoty bodů),
- s vysokou intenzitou událostí (syntetická barva).

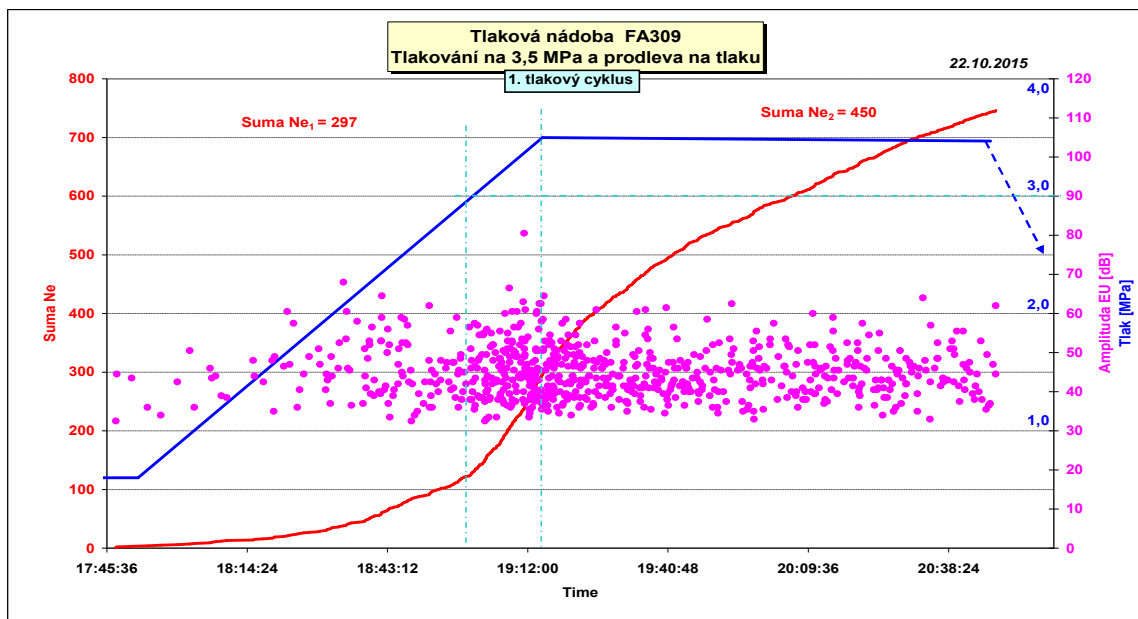


Obr. 5 - Mapa lokalizovaných emisných udalostí ve válcové části nádoby při tlakování s prodlevou na maximálním tlaku [15].

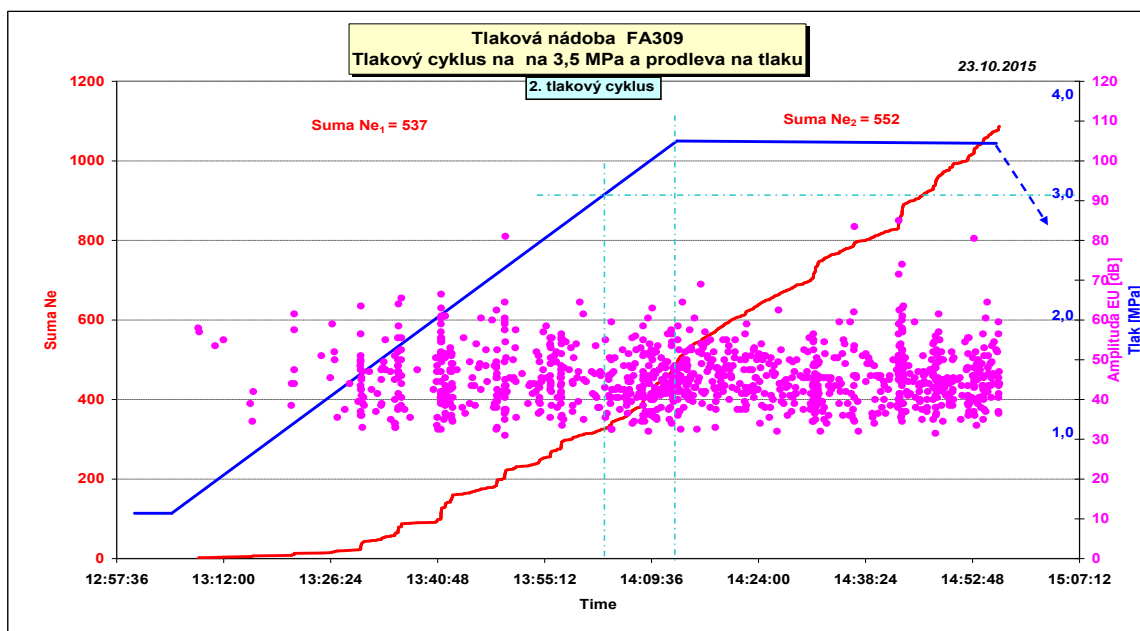
Shluky událostí akustické emise (především pak ty s červeným či oranžovým jádrem) označují lokálně koncentrované zdroje událostí akustické emise; fialově jsou označena místa s instalovanými snímači akustické emise [15].

Při vyhodnocování naměřených dat bylo vzato v úvahu, že na nádobě byl v krátkém časovém horizontu před měřením akustické emise aplikován větší počet zatěžovacích tlakových cyklů na tlak 3,5 a 4,0 MPa při těsnostních tlakových zkouškách, souvisejících s opakovaným náběhem po identifikaci netěsnosti a při jejím hledání pomocí héliového testu.

Měření časového průběhu akustické emise bylo provedeno dvakrát; výsledky ukazují obrázky 6 a 7.



Obr. 6 - Časový průběh emisní aktivity na válcové části nádoby – 1. cyklus [15].



Obr. 7 - Časový průběh emisní aktivity na válcové části nádoby – 2. cyklus [15].

Z časových průběhů emisní aktivity je patrné, že zvýšená četnost emisní aktivity nastává po překročení tlaku 2,8 až 3,0 MPa. Většina emisních událostí vykazuje nízkou až střední intenzitu a nízký počet intenzivních emisních událostí s amplitudou nad 60 dB není koncentrován do emisních zdrojů.

Z map lokalizace a časových průběhů emisní aktivity [15], emisní události byly v obou tlakových cyklech lokalizovány po celém povrchu válcové části; větší hustota byla v horní polovině. Výsledky lokalizace míst vzniku akustické emise v obou tlakových cyklech tudíž nepotvrdily koncentraci emisních událostí do ostrých lokálních emisních zdrojů se zvýšenou četností a intenzitou emisních událostí, které by ukazovaly na možný lokální pevnostní problém materiálu tělesa tlakové nádoby, tj. přítomnost aktivních defektů typu trhliny [15].

Přestože výsledky měření obou tlakových cyklů nepotvrdily lokalizaci lokálních emisních zdrojů, je vysoká emisní aktivita v obou tlakových cyklech a její nárůst i v obou prodlevách porušením Kaisera efektu [17], který představuje významné kritérium pro posuzování závažnosti emisní aktivity a lokálních emisních zdrojů, zejména s ohledem na již dříve aplikované tlakové cykly. Proto i přes absenci lokálních emisních zdrojů, emisní aktivita na válcové části klasifikována v souladu s normou ČSN EN 14584 [18] jako závažná, resp. podle četnosti a intenzity emisní aktivity v obou prodlevách klasifikována stupněm 3 - „Kriticky závažná“, což znamená, že u tlakové nádoby je již velké nebezpečí, že dojde k porušení; tj. výše rizika je velká. Proto bylo provozovateli doporučeno, aby zavedl častější inspekce a zvýšil četnost a kvalitu údržby, aby nedošlo k narušení bezpečnosti [15].

Magnetická paměť materiálu je jev, který nastává v materiálu ve formě zbytkové magnetizace, ke které dochází vlivem procesu výroby, tepelného zpracování, ochlazování, tváření, ohýbání, tvarování, lisování, sváření apod. v prostředí zemského magnetického pole a vlivem provozního zatížení. Principem metody je skenování intenzity magnetického pole H_p těsně nad povrchem materiálu pomocí skenovacího zařízení – jde o vozíček, na kterém jsou upevněny snímací sondy, opatřené kolečky pro snímání vzdálenosti l_x a příslušnou elektronikou pro zesílení a digitalizaci signálů ze sond. Při měření se sledují hodnoty intenzity H_p , nebo gradientu magnetického pole dH_p/dx v číselné nebo grafické podobě (tzv. Magnetogram).

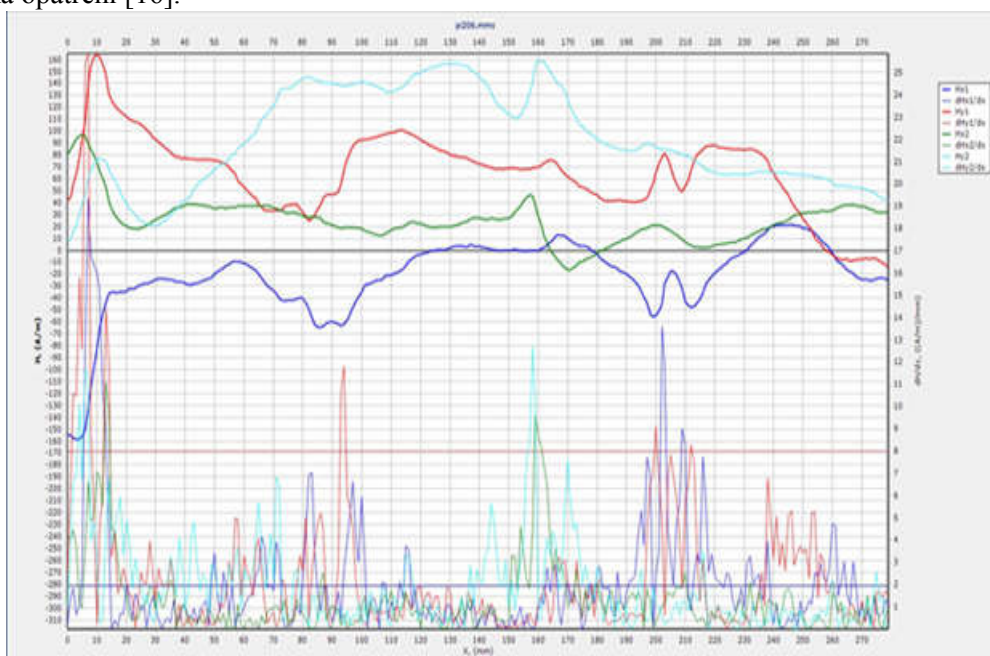
Příklad, který budeme dále sledovat, ukazuje výsledky měření stavu ocelových podpěr pod mosty (pižmy), které se používají při stavbě mostů, které se nachází ve skladu v Bošanech [16]. Bylo použito měřicí zařízení TSC-7M-16, skenovací zařízení 2M-219, systém SW MMM 4 a vyhodnocovací software. Byl kontrolován stav svarů.

Obrázek 8 ukazuje příklad svarů, na kterém nebyly nalezeny žádné zóny koncentrace napjatosti; průběhy magnetické intenzity měřené po svaru nevykazují žádné výrazné výkyvy.



Obr. 8 – Příklad svaru, kde nebyly nalezeny zóny koncentrace napětí [15].

Obrázek 9 ukazuje příklad svarů, kde jsou viditelné zóny koncentrace napětí; vidíme výrazné výkyvy hodnot magnetické intenzity, což znamená závažnou poruchu materiálu. Tento případ byl ještě ověřen metodou vířivých proudů. Jelikož závažnost byla potvrzena, tak ke zlepšení stavu svarů byla přijata technická opatření [16].



Obr. 8 – Příklad svaru, kde jsou viditelné zóny koncentrace napětí [15].

7. Závěr

Pro bezpečnou společnost s potenciálem rozvoje jsou nutná bezpečná technická zařízení od malých až po velké rozměry o různé složitosti. Je třeba optimálně řídit jejich bezpečnost, což lze jen řízením prioritních rizik [3]. V řízení rizik velkou roli hraje rozhodnutí, zda riziko je přijatelné, podmíněně přijatelné, anebo nepřijatelné [1-4]. Pro posouzení jsou třeba data.

V práci jsou ukázány dopady rizika, které souvisí s opotřebením technického zařízení, zjištěné nedestruktivními metodami, a to měřením akustické emise a měřením magnetické paměti materiálu. Příklady ukazují zřetelně místa na technických zařízeních, ve kterých jsou defekty v materiálu, a umožňují určit i jejich rozsah. Tím dovolují správně rozhodnout o riziku, které je spojeno se stavem materiálu technického zařízení, což umožňuje správně vybrat následná opatření na zvýšení či alespoň udržení stávající úrovně bezpečnosti.

Ačkoliv defektoskopická a diagnostická činnost nepřináší v ekonomickém pojetí bezprostřední zisk vlastníkům výrobních zařízení, je důležitá, protože umožňuje včasnými zásahy předejít selháním důležitých technických zařízení, která mohou zapříčinit velké havárie, a tím i ztráty lidských životů, škody na majetku a životním prostředí, ztrátu konkurenceschopnosti a dobrého jména provozovatele, a v mnoha případech poškodit i celý region tím, že budou chybět výrobky, zvýší se nezaměstnanost, což povede k dalším nežádoucím jevům.

Literatura

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222p. <http://hdl.handle.net/10467/78442>
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208p.
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. e-ISBN: 78-80-01-06182-4. Praha: ČVUT 2017, 364p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. ISBN: 978-80-01-05245-7. Praha: ČVUT 2013, 223p.
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D.: *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. ISBN: 978-80-01-04844-3. Praha: ČVUT 2011, 483p.
- [6] BORGES, HICKEY, C. Balancing Safety and Performance through QRA and RAM Analyses. In: *Safety and Reliability: Methodology and Applications*. ISBN: 978-1-138-02681-0. London: Taylor & Francis Group 2015, pp 445-452.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J.: *Data a metodika jejich zpracování pro potřeby inženýrských disciplín*. ISBN: 978-80-01-05792-6. Praha: ČVUT 2015, 186p.
- [8] RAMUHALLI, P., HENAGER C. H., GRIFFIN, J. W., MEYER, R. M., COBLE, J. B., PITMAN, S.G., BOND, L. J.: Material Aging and Degradation Detection and Remaining Life Assessment for Plant Life Management. *IAEA-CN-194-IP28*. www.inis.iaea.org
- [9] BOND, L. J., ET AL.: Damage Assessment Technologies for Prognostics and Proactive Management of Materials Degradation (PMMD). *Nuclear Technology*, 173 (2011) 46, pp 99-152.
- [10] KREINDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. ISBN 80-7300-158-6. Praha: BEN 20006, 466p.
- [11] GAJDOŠ, L. ET AL.: *Spolehlivost plynovodních potrubí*. ISBN 80-01-02143-2. Praha: ČVUT 2000, 217p.
- [12] CHEVILEND, R.: *Inzhenernaya nadezhnost i rasthet na dolgovecznost*. Moskva: Energia 1966, 232p.
- [13] MBA, D. U., RAO, R. B. K. N.: *Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*. ISBN 1-871315-91-3. Granfield: University Press 2006, 649p.
- [14] KOPEC, B. ET AL.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. ISBN 978-80-7204-591-4. Brno: CERM, s.r.o. 2008, 571p.
- [15] PREDITEST: *Archiv*. Praha: Preditest s.r.o. 2019.

- [16] SVOBODA, V.: Vznik a rozvoj defektů a jejich příspěvek k riziku. In: *Archiv*. Praha: Preditest s.r.o.
- [17] API. RP 581, *Risk-Based Inspection Technology, Section 7 Pressured Relief Devices*, American Petroleum Institute (API) Recommended Practice 581, 2nd ed., September 2008.
- [18] ČSN EN 14584. *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení akustickou emisí – Zkoušení tlakových zařízení během přejímací zkoušky – plánární lokalizace zdrojů akustické emise*. Praha: UTNZ 2013.

ADRESY AUTOROV**Doc. RNDr. Dana Procházková, PhD., DrSc.**

VUT Brno, Ústav soudního inženýrství, Brno, Česká republika

e-mail: prochdana7@seznam.cz

RNDr. Jan Procházka, Ph.D.

ČVUT v Praze, Praha, Česká republika

e-mail: japro2am@seznam.cz

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU*Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.***REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS***Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.*