



## ROLE DEFEKTOSKOPICKÝCH METOD PŘI IDENTIFIKACI RIZIK V PRŮMYSLU

## ROLE OF METHODS INVESTIGATING THE DEFECTS AT RISKS IDENTIFICATION AT INDUSTRY

Dana PROCHÁZKOVÁ\*, Václav SVOBODA\*\*

\*ČVUT v Praze, \*\*PREDITEST s.r.o.

Contact e-mail: prochazkova@fd.cvut.cz, svoboda@preditest.cz

### **Abstrakt**

*Technologická zařízení jsou důležitými základními veřejnými aktivy lidského systému, kterým je prostředí, ve kterém žijeme. Každé technické dílo je vystaveno celé řadě zdrojů rizik. Provedená detailní analýza technologických havárií ve světě i v ČR odhalila, že jednou z příčin havárií jsou svary, a to speciálně na tlakových nádobách. Předložený článek ukazuje jak případy, kdy svary již neplní svou funkci, tak i metodu vhodnou pro pravidelné sledování kritičnosti svarů.*

**Klíčová slova:** riziko; havárie; bezpečnost; svary; metoda

### **Abstract**

*Technological facilities are basic public assets of human system that represents world in which we live. Each technical facility is exposed to whole set of risk sources. The detailed analysis of technological accidents in the world and in the CR revealed that one of the sources there are the welds, especially on the compressive vessels. The paper shows both, the cases when the welds do not fulfil their function send the method suitable for regular monitoring the weld criticality.*

**Key words:** risk; accident; safety; welds; method

## **1. Úvod**

Technologická zařízení jsou důležitými základními veřejnými aktivy lidského systému, kterým je prostředí, ve kterém žijeme. Cílem lidského snažení je zajistit životy, zdraví, bezpečí a rozvoj lidí. Proto lidé musí pečovat o základní veřejná aktiva, tj. i o technická díla, která lidstvu poskytují energii a další důležité komodity a služby,

a v případě kritických podmínek i zdroje pro překonání kritických situací [1]. Žádné technické dílo není v prostoru a čase osamocené; je umístěno do území a do lidské společnosti, které ho ovlivňují. Proto je vystaveno celé řadě zdrojů rizik. Článek se soustřeďuje na přehled o zdrojích rizik, která mají potenciál poškodit technická díla [2]; podrobněji se zabývá zdroji rizik, která souvisí s výrobním procesem, a to hlavně s proměnami v čase[3], které nastávají ve svarech.

Provedená detailní analýza technologických havárií ve světě i v ČR odhalila, že jednou z příčin havárií jsou svary na technologických zařízeních [3], a to speciálně na tlakových nádobách. Jde jak o zdroje rizik, které vznikají v procesu svařování, tak i o zdroje rizik, které souvisí se změnami svarů způsobených změnami materiálů a prostředí během času.

Jelikož technická díla mohou zajišťovat požadované potřeby a služby jen tehdy, když jsou bezpečná, je třeba pro zajištění bezpečnosti technických děl sledovat prioritní rizika, což ve sledovaném případě znamená pravidelně posuzovat velikost rizik spojených se svary. Předložený článek ukazuje jak případy, kdy svary již neplní svou funkci, tj. významně ohrožují bezpečnost technického díla, tj. byly či dříve nebo později mohou být zdrojem havárie, tak i metodu vhodnou pro pravidelné sledování kritičnosti svarů. Na základě výsledků posouzení kritičnosti svarů lze v konkrétních případech zavést buď zacílenou kvalitnější údržbu nebo včasnou opravu či výměnu, kterými se zabrání jedné z častých příčin havárií.

## 2. Rizika výrobních procesů

Analýza rizik spojených s výrobními procesy v průmyslu [3] odhalila celou řadu zdrojů rizik. Lze říci, že rizika jsou inherentním aspektem typu řízení, který je označován jako ASSET MANAGEMENT [4]. Na základě jeho kritického vyhodnocení lze konstatovat, že při postupech spojených se zvládnutím rizik, které ohrožují průmysl, se nezvažují vnější zdroje rizik a zdroje rizik spojené s lidským faktorem, a to hlavně úmyslným jednáním lidí.

V současné průmyslové praxi se používají hlavně analytické metody, protože jsou pro ně software. Pro reálná řešení konkrétních zařízení v konkrétním místě ideální software nemůže existovat, protože každá technologie či každé zařízení pracuje v jiných podmínkách a jejich časové změny také závisí na podmínkách v daném místě. Proto je třeba používat expertní postup [3], ve kterém se na základě požadavků TQM [5] určují prioritní rizika, se zvážením All-Hazard-Approach [6] a jejich zvládnutí se postupně od samého počátku tvorby zařízení provádí aplikováním zásad Defence-In-Depth [2]. V dalším stádiu zařízení, tj. při provozu, pak už je provedení zásadních technických opatření někdy i nemožné, a lze provádět jen organizační opatření, jejichž účinnost je daleko nižší než účinnost

technických opatření [2]. Možná technická opatření jsou spjatá s údržbou, včasnými opravami či výměnami namáhaných komponent či zařízení. Analýzy příčin havárií, provedené v celé řadě technických zařízení [2], ukazují, že technické příčiny havárií leží právě v chybách, které patří do zmíněných oblastí.

V dalším se soustředíme na zdroje rizik spojených se svary. Práce z oblasti leteckého průmyslu [7] ukazuje detailně řadu zdrojů rizik spojených s provedením svarů. Další rizika v předmětné oblasti vznikají tím, že každý svar se v průběhu času mění v závislosti na materiálových změnách a na působení okolních podmínek [3]. Na základě výše zmíněného konceptu práce s riziky je třeba proto kritické svary sledovat a v případě, že kritičnost přesáhne dovolenou míru, je třeba provést opatření, aby se zabránilo technologickým haváriím a jejich důsledkům na technologické dílo samotné, na lidi a životní prostředí.

### **3. Příklady havárií, jejichž příčinou bylo selhání svarů na tlakových nádobách**

Průmyslových havárií spojených se selháním tlakových nádob bylo již velmi mnoho, jak ukazují např. práce [2,3,8]. Známe jsou Flixborough 1974, Seveso 1976, Mexico City 1984, Pasadena 1989, které vedly k přijetí Směrnice SEVESO 2012/18/EU. V České republice jsou známy např. havárie Záluží 1974, Semtín 1984, Neratovice 1993, Branice 2012, Záluží 2015 [2,3,8].

Údaje v citovaných publikacích a zdroje, ze kterých byly odvozeny výsledky v předmětných publikacích, ukazují, že velmi často u těchto havárií byly kořenovou příčinou poruchy svarů.

Svařování nebo sváření je proces, který slouží k vytvoření trvalého, nerozebíratelného spoje dvou a více součástí. Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik nových meziatomárních vazeb. Problematika svařování je popsána např. v pracích [7,9]. Proto je řada norem a standardů pro proces svařování. Komplexní soubor má např. ASME, jehož standardy upravují proces svařování pro různé typy svarů [10].

Dalším aspektem je vliv času a vliv vnějších podmínek. Životnost svaru, a tím i tlakové nádoby závisí jak na materiálech, tak na vnějších podmínkách; čím agresivnější jsou vnější podmínky, tím je životnost kratší. Proto EPRI má plán inspekcí tlakových nádob pro různé vnější podmínky [11] EPRI.

## 4. Metoda monitorování svarů a příklady výsledků

Tlakové nádoby jsou často součástí různých obsáhlejších systémů. Tlakové nádoby obsahují toxické, reaktivní, výbušné a radioaktivní látky, a proto je důležitá jejich bezpečnost. V nejšířím pojení je podle [2,3] bezpečné zařízení takové zařízení, které ani při svých kritických podmínkách neohrozí ani sebe, ani své okolí. Každé technické zařízení je vyrobeno z určitého materiálu a je v konkrétních podmínkách, tak existují limity, ve kterých je zařízení bezpečné. U tlakových nádob jde o podmínky a limity pro mechanickou integritu. Proto velkou roli hrají inspekce a monitoring poškození zařízení vlivem koroze, strategie údržby, a také systém řízení bezpečnosti [2,3].

### 4.1. Metoda založená na magnetické paměti látek

Metoda založená na magnetické paměti materiálu je NDT metoda založená na měření a analýze rozložení zbytkových magnetických polí v kovových materiálech odrážejících technologickou historii materiálu. Využívá se pro určení **SCZ (Stress Concentration Zones)**, poruch a heterogenity v mikrostruktuře materiálu a svarových spojů [12].

Magnetická paměť materiálu reprezentuje jev, který nastává v materiálu ve formě zbytkové magnetizace 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 [12].

Skenovacích zařízení je více typů a liší se hlavně počtem a umístěním sond (např. pro inspekci potrubí). Speciální vysoce citlivé skenovací zařízení je určeno pro inspekci potrubí (např. vodovodní, naftovod, plynovod) v podzemní hloubce 1 až 3 m. Zařízení je propojeno kabelem s Měřičem koncentrací napětí TSC-3M-12, který umožňuje sejmutá data graficky zobrazit na displeji, uložit do paměti a později přenést do PC, ve kterém je speciální SW pro analýzu dat. Na displeji Měřiče koncentrací lze zobrazit skenované hodnoty intenzity  $H_p$ , nebo gradientu magnetického pole  $dH_p/dx$  v číselné nebo grafické podobě (tzv. magnetogram), data uložit, přečíst, smazat, přenést do PC atd. [12].

Dle [12] metoda založená na magnetické paměti materiálu se používá k:

- určení míst/oblastí s vysokou koncentrací napětí SCZ (Stress Concentration Zones), detekce materiálových vad a defektů v makro i v mikrostruktuře na povrchu i v hloubce materiálů u konstrukcí, zařízení či jednotlivých komponentů,
- inspekci svarových spojů,
- inspekci kritických míst tlakových nádob, potrubí a konstrukcí,
- sledování procesů při únavových materiálových zkouškách a destrukčních testech,
- zvýšení účinnosti a spolehlivosti inspekce kombinací s konvenčními metodami (např. AE, UT).

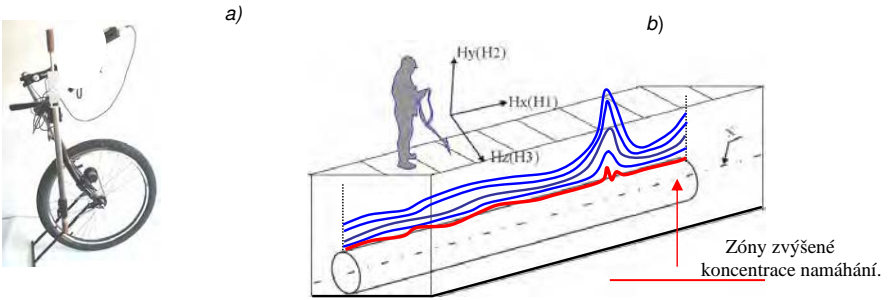
Předmětná metoda má široké oblasti použití, ale i dílčí omezení, vlivem vysoké citlivosti. K limitujícím faktorům patří: nemagnetické materiály, uměle zmagnetované kovy, přítomnost cizích magnetických materiálů v těsné blízkosti kontrolovaného objektu, přítomnost externího magnetického pole nebo elektrického svařování do vzdálenosti 1 m. Dle [12] mezi hlavní výhody metody patří:

- rychlost měření,
- opakovatelnost měření,
- není třeba úprava povrchu měřeného materiálu,
- inspekce je možná za provozu,
- včasná diagnostika únavového poškození,
- vibrace nemají vliv na měření.

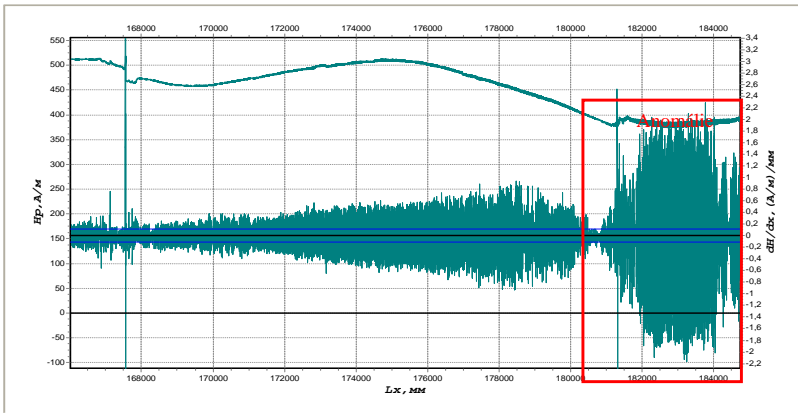
#### **4.2. Příklad aplikace metody MMM**

Aplikace NDT metody MMM na úseku NTL plynového potrubí DN 500, umístěného pod zemí v chodníku v blízkosti gymnázia [13]. Bylo použito skenovací zařízení určené pro inspekci potrubí v zemi, které sestává ze sondy pro snímání intenzity magnetického pole  $H_{xyz}$  ve třech osách, z kola pro odměřování vzdálenosti  $L_x$ . Měřič koncentrací TSC-3M-12 je zobrazen na obrázku 1 a); na obrázku 1 b) je znázorněn způsob skenování.

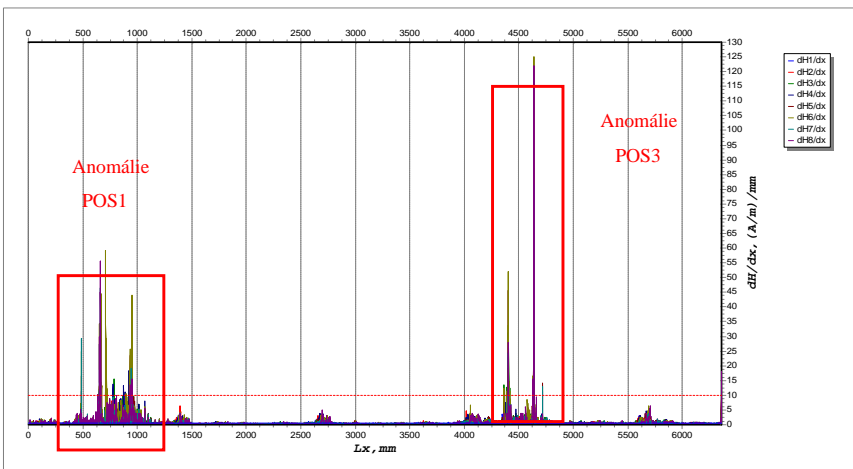
Na obrázcích 2 a 3 jsou uvedeny výsledný magnetogramy; na levé ose  $y$  je intenzita magnetického pole  $H_p$  (A/m), na pravé gradient  $dH/dx$  ((A/m)/mm) a na ose  $x$  vzdálenost  $L_x$  (mm). Zcela zřetelně jsou na magnetogramech vidět anomálie; jsou ohraničené červenou čarou.



Obr. 1. Schéma přístroje - a); schéma postupu měření – b).



Obr. 2. Magnetogram nad místem anomálie.



Obr. 3. Další příklad magnetogramu.

Na obrázku 4 je fotografie části potrubí po odkopání zeminy v místě anomálie, kde byla následně provedena inspekce ultrazvukovou metodou, která prokázala vadné svary.



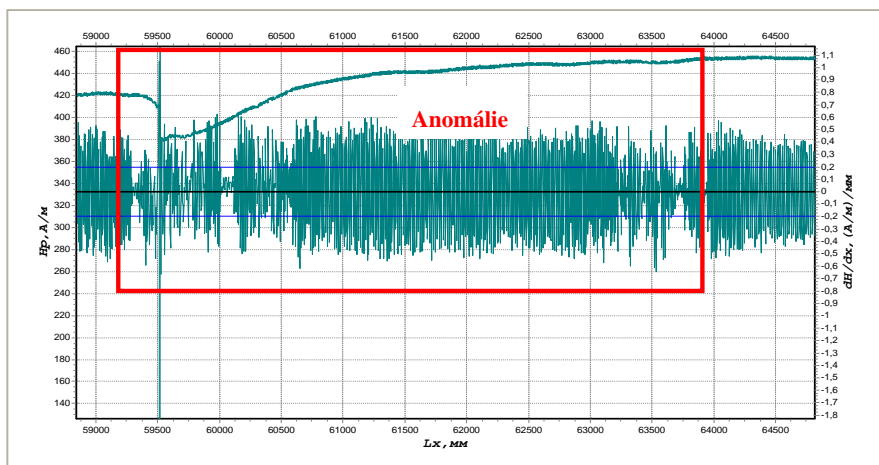
*Obr. 4. Porušené svary na odkrytém potrubí v místě anomálie na magnetogramu.*

Další příklad aplikace metody MMM je z měření VTL plynového potrubí DN 500 v místě vjezdu do areálu společnosti Mediaprint. Značky označují trasu plynovodu.



*Obr. 5. Průběh trasy VTL plynového potrubí na zemském povrchu.*

Obrázek 6 ukazuje magnetogram; vidíme výraznou anomálii získanou skenováním bezkontaktní sondou. Obrázek 7 ukazuje fotografii defektu (trhliny) na odkrytém a očištěném potrubí. Následná kontrola ultrazvukem i rentgenem potvrdila přítomnost defektu na potrubí plynovodu.



Obr. 6. Magnetogram získaný měřením nad plynovým potrubím VTL.



Obr. 7. Fotografie defektu (trhliny) na odkrytém a očištěném potrubí.

#### 4.3. Přednosti aplikace metody MMM

Z výsledků měření i z materiálu [14] vyplývají zřetelné přednosti aplikace metody MMM, kterými jsou:

- nedestruktivní metoda,
- rychlost měření,
- inspekce je možná i za provozu,
- není třeba úprava povrchu měřeného materiálu,
- ochranná antikorozní vrstva při inspekci nevádí,



- včasná diagnostika únavového poškození,
- snadné rozpoznání nových a použitých strojních součástí,
- AE a vibrace nemají vliv na měření,
- doplněním a porovnáním výsledků s jinými metodami lze významně zvýšit kvalitu inspekce.

## 5. Závěr

Tlakové nádoby jsou kovovými obaly, které obsahují tekutinu nebo plyn pod tlakem. Látka pod tlakem v tlakové nádobě obsahuje energii, která se používá k vykonání určité práce. Tlakové expanzní nádoby mají uplatnění v mnoha oblastech a to jak v průmyslu, tak i v soukromých oblastech. Tlakové nádoby mohou být i potápěčské láhve, přetlakové komory, destilační věže a autoklávy. Uplatnění najdou tlakové nádoby i v hornické činnosti, v ropných rafineriích, petrochemických závodech, jaderných reaktorech, na lodích, v ponorkách a pro skladování zkapalněných plynů jako je amoniak, propan-butan, chlór a LPG. Proto je třeba dbát o to, aby byly bezpečnými systémy.

Pro zajištění jejich bezpečnosti je třeba dbát o správné řízení procesů, včasnou údržbu a správnou kulturu bezpečnosti. Velmi důležitou roli hraje monitoring. Výše je ukázáno, že metoda MMM je velmi vhodná pro aplikaci v praxi.

## Literatura

- [1] PROCHÁZKOVÁ, D. *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. ISBN: 978-80-01-04844-3. Praha: ČVUT 2011, 483p.
- [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] US EPA. *Asset Integrity Management*. Washington: EPA 2017.
- [5] ZAIRI, M. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: WoodheadPublishing Ltd, 1991
- [6] FEMA. *GuideforAll-Hazard Emergency Operations Planning*. State and LocalGuide (SLG) 101. Washinton: FEMA 1996.
- [7] MAREŠOVÁ, Š. *Nástroj ke snížení rizik při výrobě specifických dílů pro motor letadla*. Praha: ČVUT, fakulta dopravní 2017, 66p.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D., BUMBA, J., SLUKA, V., ŠESTÁK, B. *Nebezpečné chemické látky a chemické přípravky a průmyslové nehody*. ISBN 978-80-7251-275-1. Praha: PA ČR, 2008, 420p.

- [9] BERNASOVSKÝ, P. *Prípady havárií zváraných konštrukcií*. Bratislava: Priemyselny inšttút SR 2017, 97p.
- [10] ASME. *ASME Codes and Standards for Welding*. <http://www.asme.org>
- [11] EPRI. *Characterizing and Controlling Weld Residual Stress*. <http://www2.epri.com>
- [12] SVOBODA, V., OLMR, Z. Metoda magnetické paměti materiálu. In: *Defektoskopie 2011*. Ostrava: Czech Society for Nondestructive Testing 2011, pp. 225-260.
- [13] SVOBODA, V., OLMR, Z. *Výsledky měření a fotografická dokumentace o zjištěných defektech na NTL a VTL plynovém potrubí Ø 500 mm v Bratislavě*. PREDITEST s.r.o., Praha: 2011.
- [14] SVOBODA, V., OLMR, Z. *Propagační materiál Method for non-destructive testing METAL MAGNETIC MEMORY*. PREDITEST s.r.o., Praha