

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Význam bezdemontážní diagnostiky v
logistických procesech hutní prvovýroby

Diplomová práce



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání diplomové práce

studentka	Bc. Radka Melková
studijní program	Logistika
obor	Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Význam bezdemontážní diagnostiky v logistických procesech hutní prvovýroby**

Cíl práce:

Na základě rozboru použité dopravní technologie ve vybraném výrobním procesu hutní prvovýroby vybrat vhodné technické řešení pro prevenci selhání a navrhnout logistickou podporu tohoto řešení. Navržené řešení zhodnotit.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

- Úvod
- 1. Logistické procesy při výrobě surového železa
- 2. Potrubní doprava při výrobě
- 3. Měření stěn potrubí s využitím vířivých proudů
- 4. Návrh postupu při bezdemontážní diagnostice
- 5. Ekonomické hodnocení
- Závěr

Rozsah práce: 50 – 60 normostran textu

Seznam odborné literatury:

EVROPSKÁ KOMISE: Výroba železa a oceli, Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při výrobě železa a oceli. Překlad: Hutnictví železa, a.s., Praha 2000. [on-line] https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/aktuality/2016/12/ias_31-3-2010_complete.pdf

FROHLICHOVÁ, M. a kol. Hutnictvo železa a ocele. Technická univerzita v Košiciach, Košice 2014, ISBN 9788055316437

GROS, Ivan a kol. Velká kniha logistiky. VŠCHT Praha 2016. ISBN 978-8-7080-952-5

KREIDL, M., ŠMÍD, R. Technická diagnostika. BEN - technická literatura, 2006, Edice Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-158-6

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Oldřich Kodým

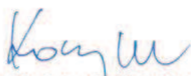
Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2018

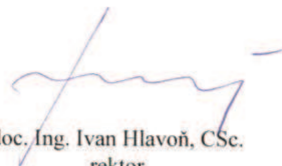
Datum odevzdání diplomové práce:

11. 5. 2019

Přerov 31. 10. 2018



doc. Dr. Ing. Oldřich Kodým
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivan Hlavoň, CSc.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracovala samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušila autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byla také seznámena s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat před tím o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s. prorektora pro vzdělávání.

Prohlašuji, že jsem byla poučena o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované bakalářské/diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské/diplomové práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

V Přerově, dne 10.05.2019

.....
podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala společnosti TÜV Rheinland za ochotnou spolupráci, poskytnutí materiálů ke zpracování této diplomové práce a možnosti aktivně se účastnit na měření zbytkové tloušťky zařízení metodou PEC. Konkrétně panu Ing. Jiřímu Tomasovi za jeho odborné vedení v oblasti hutní výroby a nedestruktivních technologií. Dále bych chtěla poděkovat doc. Dr. Ing. Oldřichu Kodymovi, za jeho odborné vedení diplomové práce a jeho důležitých rad v oboru logistiky a jejího propojení s technikou.

Abstrakt

Tato diplomová práce řeší problematiku zajištění bezproblémového materiálového toku v procesu výroby železa za použití nedestruktivní technologie pulzních vířivých proudů. Tato metoda se používá ke zjištění vnitřní koroze v potrubí a zařízeních bez nutnosti přerušení samotné výroby nebo demontáže kontrolovaného zařízení. Cílem této práce bylo detailně zmapovat tuto metodu, provést konkrétní měření ve spolupráci se společností TÜV Rheinland a zhodnotit jaké zlepšení tato metoda hutnímu podniku

přinese. Provedené měření bylo zpracováno do formy čitelné tabulky, ze které lze snadno číst výsledky a na jejímž principu bylo názorně předvedeno, jak velké přínosy využívání této metody má pro tento podnik. Hlavní přínos práce spočívá v obeznámení s povahou a důležitostí této metody. Dále také její názorný příklad. Konkrétní ukázka proběhlé kontroly, která je v praktické části je obohacena o interní materiály a fotky.

Abstract

This diploma thesis deals with the problem of how to ensure a smooth material flow in the process of iron production, using non-destructive technology called Pulsed eddy current testing (PEC). This method was used to detect internal corrosion in pipes and related devices. The aim of this work was to analyse the method in detail, to carry out the specific measurements in cooperation with TÜV Rheinland company and to evaluate what improvements should be made by the metallurgical company. The measurements of PEC device were made into readable table, which is easy to interpret the results and to show the economical and social benefits by using this method. The main benefit of the work is to become familiar with the form and importance of this method. Then also its objective example. A concrete demonstration of the PEC inspection in the practical part is enriched with internal materials and photos.

Obsah

ÚVOD	1
1 LOGISTICKÉ PROCESY PŘI VÝROBĚ SUROVÉHO ŽELEZA	3
1.1 VÝROBA ŽELEZA.....	4
1.2 TECHNOLOGIE VÝROBY ŽELEZA	5
1.2.1 Koksovna.....	5
1.2.2 Spékárna rud.....	7
1.2.3 Vysoká pec	9
2 POTRUBNÍ DOPRAVA PŘI VÝROBĚ	12
2.1 LOGISTIKA POTRUBNÍ DOPRAVY	12
2.2 LOGISTICKÝ POHLED NA VÝROBU ŽELEZA	13
3 MĚŘENÍ STĚN POTRUBÍ S VYUŽITÍM VÍŘIVÝCH PROUDŮ	18
3.1 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ MATERIÁLU VŠEOBECNĚ	18
3.1.1 Vizuální metoda	20
3.1.2 Ultrazvuková metoda	22
3.1.3 Kapilární metoda	23
3.1.4 Magnetická metoda prášková.....	25
3.1.5 Rentgenová metoda	27
3.1.6 Kontrola netěsnosti.....	28
3.1.7 Měření tvrdosti materiálu.....	28
3.1.8 Měření tečení materiálu.....	29
3.1.9 Termografické zkoušení	30
3.1.10 SLOFEC™	32
3.1.11 Guided waves	33
3.1.12 TOFD.....	34
3.1.13 Phased array.....	36
3.1.14 EMAT.....	36
3.2 MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA	38
4 NÁVRH POSTUPU PŘI BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTICE	40
4.1 METODA PEC	40
4.1.1 Zařízení PEC	41
4.1.2 Výhody a limity PEC	42
4.2 MĚŘENÍ.....	44
4.2.1 Princip měření	47
5 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	49
ZÁVĚR	51

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
SEZNAM TABULEK.....	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

Úvod

Každá průmyslový podnik je spojenou nádobou mnoha prvků, které spolu jsou vzájemně provázány. Ovlivníme-li jednu část, ovlivníme všechny a v hutním průmyslu tomu není jinak. Čím větší máme podnik, tím více také zodpovědnosti k němu náleží. Aktuálním tématem této diplomové práce je otázka, jestli existuje možnost, jak zabezpečit produkci železa, aniž by byl přerušen materiálový tok a bezproblémová doprava médií do vysoké pece vlivem technické závady. Toto téma je velmi obsáhlé a k pochybení může nastat prakticky kdykoliv. Ať už na straně logistiky, kdy zklamou dodavatelé a my nebude mít dostatek materiálu k výrobě železa nebo na straně techniky, kdy zklamou sofistikovaná zařízení zabezpečující hladký chod vysoké pece. To vše, a ještě víc se může stát. Naším úkolem je však problémy předvídat a činit opatření vedoucí k jejich eliminaci. Tím se tak můžeme vyhnout prostojům ve výrobě, odstávkám a přerušením materiálového toku a tím předejít milionovým ztrátám. Jednou z možností, jak toho docílit je zaměřit se na neviditelné články ve výrobě železa. Každého, kdo má alespoň tušení o tom, kde se bere železo, okamžitě napadne vysoká pec. Ta je však až na samém konci výrobního řetězce. Předcházejí jí nejen zařízení vyrábějící koks a vsázku, ale i složitá odprašovací zařízení jako je skrubr, Venturiho pračky nebo jiné filtry. Bez všech těchto zařízení by vysoká pec nevyrobila ani gram železa. Stále je tu však jeden skrytý článek výroby, a tou jsou kilometry spletitého potrubí dopravující plyny, ohřátý vzduch, vodu, vodní páru a prachové částice do filtrů, které zařízení propojují a díky nimž vše může fungovat. Stejně jako je potřeba udržovat vysokou pec, je třeba udržovat i potrubní systémy. Největším protivníkem, jak už tomu bývá u všech běžných kovů je koroze. V případě potrubí se jedná o vnitřní korozi, která se v potrubí šíří vlivem dopravy médií. Velikost koroze se liší i druhem dopravovaného média. Vodní pára má jiný vliv na korozi než prachové částice, které mají abrazivní účinky. Každé potrubí musí být na typ dopravovaného média speciálně konstruováno. V případě dopravy abrazivních médií jsou trubky konstruovány s přídavkem na tloušťku stěny, aby se rychlému opotřebení předešlo a ke každému typu potrubí se následně volí i vhodná izolace. Tady tedy vzniká falešný efekt dobrého potrubí. Na první pohled může trubka vypadat krásně bez jakýchkoliv známek koroze, avšak zevnitř může být koroze natolik rozšířená, až může hrozit havárie a únik média proudícího potrubím. Není však z ekonomického hlediska možné každých pár let vyměnit celý potrubní systém celých železáren, stejně tak jako dělat neustálé odstávky výroby, abychom mohli jednotlivé sekce potrubí demontovat a kontrolovat

jejich stav. Vzniká tu tedy otázka, jestli existuje varianta, která by nám umožnila zkontrolovat stav potrubí zevnitř, aniž bychom demontovali jeho izolaci nebo dokonce celé potrubí a v nejlepší případě mohli vše kontrolovat za běžného provozu bez přerušení dodávky médií. Těmto možnostem se říká nedestruktivní technologie (NDT). Ty nám umožňují zkoumat povrchové a podpovrchové vady, vnitřní korozi a další defekty bez nutnosti demontáže kontrolovaného zařízení. Typů NDT je mnoho. Každý typ má jiné vlastnosti vyznačující se pro různé druhy materiálů a způsob měření.

Motivací této práce bylo provést nejvhodnější metodou kontrolu zbytkové tloušťky potrubí v železárnách a zhodnotit její ekonomickou výhodnost. Touto metodou byla použita metoda PEC neboli metoda pulzními vířivými proudy.

1 Logistické procesy při výrobě surového železa

Chceme-li vyrábět více než 5 milionů tun oceli ročně a dodat každou zakázku včas, musíme pracovat s přesně řízeným harmonogramem. Jednotlivé fáze procesu je třeba pečlivě načasovat a připravit. Nejprve je potřeba vyrobit železo navážením vsázky do vysokých pecí. Z těch po složitém procesu dostáváme surové železo. Poté jsou tony koksu, surového železa, šrotu a dalších surovin dodávány do výroby v přesně daný čas, kdy jsou potřeba, aby ocel mohla být odlita dříve, než se stihne ochladit. Při výrobě surového železa mohou jednotlivé fáze procesu následovat jedna za druhou. Logistika výroby oceli je však mnohem složitější a náročnější, avšak bez kvalitně vyrobené klíčové suroviny by byl celý proces zmařen. K zaručení hladkého průběhu celého procesu potřebujeme především docílit bezporuchovosti všech výrobních zařízení v samotné výrobě. Vzhledem k faktu, že proces zpracování surového železa ve vysokých pecích probíhá za velmi vysokých teplot a tlaků, je nejen náročnost na údržbu celého systému značná, ale také velmi finančně náročná. Z logistického hlediska je tedy klíčový včasný transport všech potřebných médií v požadovaném množství do vysoké pece, k vytvoření ideálního prostředí pro přeměnu vsázky na surové železo. Média jsou transportována nejčastěji potrubní cestou, a to z důvodu automatizace celého procesu. Jsou také nejkritičtější. Jelikož potrubní systém vysoké pece, jak můžeme vidět na obrázku č. 1 je velmi spleťtý a vše na sebe navazuje.¹

Obrázek 1 - Pohled z vysoké pece – Třinecké železářny



Zdroj: vlastní

¹ JIRKOVSKÝ, Jaroslav. Optimalizace výroby a dodávek v hutním průmyslu [online]. 12.03.2013, [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-vyroby-a-dodavek-v-hutnim-prumyslu>

Je tedy nezbytné udržovat tyto potrubní systémy v perfektním technickém stavu, avšak za podmínky co nejmenšího nároku na omezení samotného provozu. Takovou podmínku však není snadné splnit. Některé normy sice přesně nařizují, po jaké době mají být jednotlivé sekce vyměněny s ohledem na to, jaké médium přepravují. Nicméně mohlo by se stát, že určité části je třeba měnit častěji, aby se předešlo případnému prasknutí a úniku média z potrubí. Díky včasné detekci stavu zařízení lze určit i předpokládaný termín nutné výměny a dají se tak naplánovat opravy, což ocení společnost nejen kvůli plánovanému pozastavení produkce vysoké pece, ale také plánování investic. To vše nám umožňují metody nedestruktivního testování. Je to způsob, jak zjistit závažnost koroze a jiných možných defektů v potrubí bez nutné demontáže a příkladem takového zařízení může být ultrazvuk.

1.1 Výroba železa

Výskyt železa v přírodě je poměrně hojný, nicméně nálezy na zemském povrchu v jeho ryzím stavu jsou ojedinělé. Chemicky čisté železo je měkké, snadno tvárné, dokonale svařitelné a velmi dobře tepelně i elektricky vodivé. Avšak pro malou pevnost je jeho praktické využití malé. Ve technické sféře je tak nejčastěji používané Technické železo. Jedná se o slitinu s kovovými i nekovovými prvky a jejich sloučeninami, které byly uměle dodány v procesu výroby nebo při něm samovolně vznikly. Mimo železo jde hlavně o uhlík, mangan, křemík, fosfor, síru a měď, ale může obsahovat i jiné prvky. Technické železo dělíme na nekujné – surové železo a kujné – oceli podle obsahu uhlíku. Nejčastěji jsou tedy z důvodu hojnosti výskytu v přírodě a technologie zpracování pro výrobu železa využívány jen některé minerály, které jsou uvedeny v tabulce 1. ²

² JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. VÝROBA ŽELEZA A OCELI. *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

Tabulka 1 - Nejpoužívanější rudy železa

minerál	chemický vzorec	skupina	max. obsah Fe (%)	průmyslový význam
Magnetit (magnetovec)	Fe ₃ O ₄	oxidy	72	velký
Hematit (krevel)	Fe ₂ O ₃	oxidy	70	velký
Limonit (hnědel)	FeO(OH) · n H ₂ O	oxidy	50–69	střední
siderit	FeCO ₃	uhličitany	48	střední
chamosit	(Fe,Mg) ₅ Al[(OH) ₈ AlSi ₃ O ₁₀]	křemičitany	<38	malý

Zdroj: Výrobní a environmentální technologie [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2009 [cit. 2019-04-10]. ISBN 978-802-4819-600.

Výroba kujného železa se dělí na přímou a nepřímou. Přímou výrobou z rudy získáváme jedním technologickým procesem kujné železo – ocel. Nepřímá výroba má dílčí technologické procesy. Prvním procesem je výroba surového železa, což je meziprodukt, který je následně zkujňován ocelářském procesu.

Přímá výroba je nazývána jako Bezkoksová metalurgie železa. Pro tuto metodu jsou využívány kvalitní rudy s vysokým obsahem železa a malým obsahem nežádoucích příměsí a palivem bývají lignit, hnědé uhlí, těžké ropné oleje, dehty a zemní plyn.

Nejpoužívanějším typem výroby současné produkce je nepřímá výroba. Výroba surového železa probíhá kontinuálním navážením vsázky do vysokých pecí. Vsázka je tvořená železnou rudou, palivem a struskotvornými přísadami, jako jsou vysokoprocentní vápenec - CaCO₃, dolomit- CaMg(CO₃)₂ nebo přechodný dolomitický vápenec. Jako palivo a zároveň redukční činidlo slouží hutnický koks, který má vysokou výhřevnost a obsahuje více jak 85 % uhlíku.

1.2 Technologie výroby železa

1.2.1 Koksovna

Výrobě železa ve vysokopecním procesu předchází sled mnoha operací. Nejzákladnější klíčovou surovinou je hutnický koks, který se pro metalurgické účely vyrábí výhradně z černého uhlí. Koks má šedo-stříbrnou barvu, je velmi tvrdý, pórovitý a má vysokou výhřevnost. Je téměř výhradně složen z uhlíku a popelových složek. Vyrábí se v zařízeních zvaných koksárenské baterie, což je systém komor, do kterých je uhlí

nasypáno a po dobu 24 hodin zahříváno na teplotu 1100 °C bez přístupu vzduchu, jak můžeme vidět na obrázku č.2.

Obrázek 2 - Koksárenské baterie



Zdroj: <https://www.industrialnifotografie.cz/photos/koksownia-zdzieszowice-oprawa-koksarenskych-komor-118.jpg>

Tomuto procesu se říká pyrolýza uhlí v neoxidační atmosféře, avšak za vysokých teplot je tento proces považován za karbonizaci.

Nejčastějším typem jsou baterie plněné udusaným, rozemletým uhlím zboku a postup je takový, že sázecí stroje připraví uhlí do kvádrového tvaru tak, aby jeden uhelný hranol vlezl přesně do jedné koksovací komory, kam je později zasazen, dveře se uzavřou a musí být dobře utěsněny. V komoře se pak z uhlí při jeho postupném ohřevu uvolňují plynné a prchavé látky, zvané surový, koksárenský plyn. Ten je odsáván potrubím do chemické části koksovny, kde se dále zpracovává.³ Obsahuje totiž cenné produkty, jako je dehet, lehký olej obsahující hlavně benzen, toluen a xyleny, síru a čpavek. Dehet a naftalen v surovém plynu mohou zanášet potrubí a zařízení. Musí tak být odstraněny jako první. Na každou tunu vyrobeného koksu lze získat přibližně 35-45 kg dehtu. Z dehtu pak můžeme získat několik produktů, jako je asfalt, antracénový olej, prací olej, naftalenový olej, karbolový olej aj. Kromě vedlejších dále zhodnotitelných produktů vzniklých karbonizací

³ Informační materiály. *Arcelor Mittal* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.arcelormittal.cz/media/informacni-materialy.aspx>

jsou však zde i sloučeniny síry a čpavek. Ty způsobují značnou korozi potrubí a sloučeniny síry jsou příčinou emisí SO₂, pokud se koksárenský plyn použije jako palivo. Na každou tunu vyrobeného koksu připadá přibližně 3 kg NH₃ a 2,5 kg sirovodíku.⁴ Po 24 hodinách se koks vytlačí na opačné straně komory do hasícího vozu, na kterém je přepraven pod hasící věž. Žhavý koks na vzduchu ihned snadno hoří, proto musí být pod věží uhašen a schlazen vodou.

1.2.2 Spékárna rud

Drobné, až prachové podíly rudy se spolu s rozemletým koksem neboli koksovým mourem, sloužícím jako palivo a dalšími přísadami, jako je vápenec, vápno, rudné koncentráty, olivín, zachycený prach, válcovenské okuje, prach z čištění vysokopečního plynu, anebo také recyklovaný aglomerát z třídění aglomerátu, mísí ve směsném bubnu na aglomerační směs. Ta se poté navlhčí, aby se vytvořily mikropelety, přispívající k prodyšnosti aglomeračního lože a je spékána na spékacích pásech do větších kusů, tzv. aglomerátu, viz obrázek č. 3.

Obrázek 3 - Nekonečný pás, na kterém se spéká prachová ruda



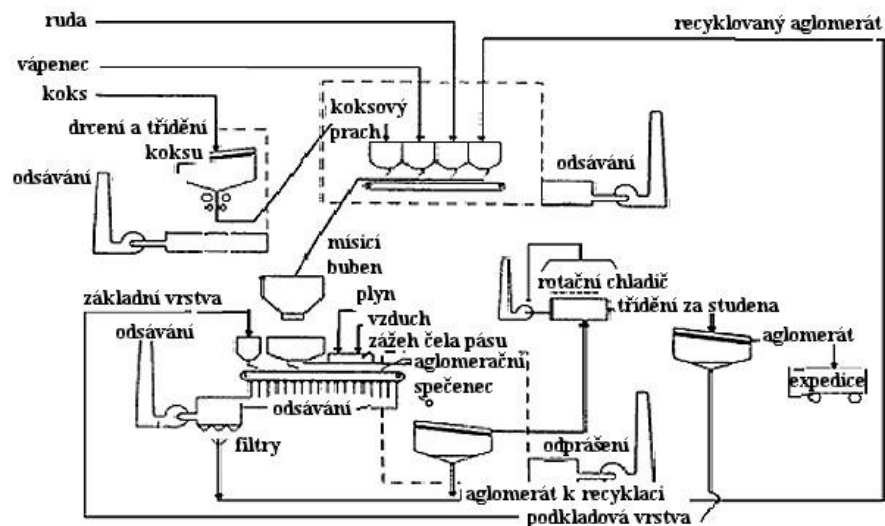
Zdroj: https://www.idnes.cz/technet/reportaze/ocelove-mesto-vysoke-pece-arcelor-mittal-v-ostrave-funguji-i-jako-cisticka-vzduchu.A120513_213940_tec_reportaze_rja

⁴ KONVIČKA, Vladislav. Koksovny. Hornictví.info [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/zprac/koksovny/koks.htm>

Větší kusy jsou důležité pro lepší prodyšnost a tedy hoření. Samotná prachová směs by pec zadusila, proto je důležité ji spéct a připravit aglomerát.

Na začátek sekacích pásů se nasype směs a plynovými hořáky je zapálen koksový mour ve směsi. Spodním tahem prosávají výkonné ventilátory vzduch aglomeračním ložem do rozvodných komor neboli větrovodů, umístěných na spodní straně podél celé délky roštu. Aglomerační zařízení mají velkou odsávanou plochu, a tak mívají dva hlavní sběrače odsávaného plynu s řadou samostatných ventilátorů a odprašovacím zařízením, což příznivě pomáhá omezovat produkci emisí. Celé schéma výroby aglomerátu můžeme vidět na obrázku č. 4.

Obrázek 4 - Schéma výroby aglomerátu



Zdroj: <http://www.podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/zprac/aglomer/2.jpg>

Jak aglomerovaná směs postupuje na páse, je spalování řízeno tak, aby bylo taženo směrem dolů směsí. Tím se vytváří teplo 1330–1480 °C dostatečné k tomu, aby se spekly jemné částice dohromady, a tím byl aglomerát spečen na aglomeraci neboli je tak zvanou vsázkou do vysoké pece. Před dosažením konce pásu je koksový mour zcela spálen a jeden nebo dva poslední větrovody se využívají pro počínající proces ochlazování.⁵ Horký aglomerát postupně padá z konce spékacího pásu do drtiče, poté na síto a dále na

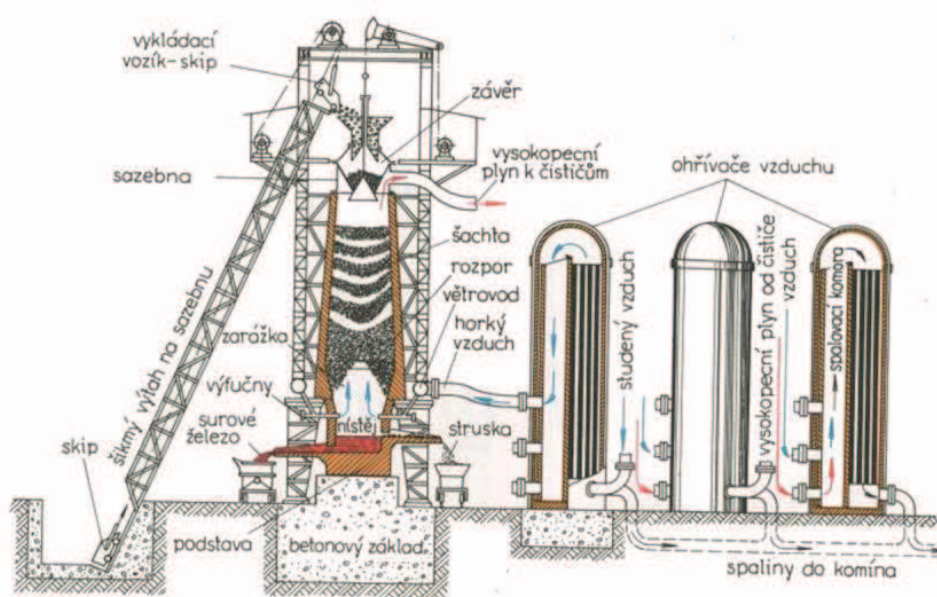
⁵ Aglomerace. Hornictví.info [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/zprac/aglomer/aglomer.htm>

chladič.⁶ V některých případech se značného tepla odpadního plynu z chlazeného aglomerátu využívá v kotlích na odpadní teplo, do hořáku na čele aglomeračního pásu, anebo k předeřevu čerstvé vsázky. Vychlazený a vytříděný aglomerát je dopravován do zásobníku, odkud podle potřeby je dávkován do vysoké pece.⁷

1.2.3 Vysoká pec

Ve vysoké peci se produkuje železo, které se v ní vyrábí redukcí železné rudy. Horní otvor, který se nazývá sazebna vysoké pece, kde je teplota okolo 100–150 °C slouží k plnění pece rudou, palivem, dalšími přísadami a odvádění zde přítomného vysokopecního plynu. Viz obrázek č. 5.⁸

Obrázek 5 - Schéma vysoké pece



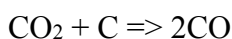
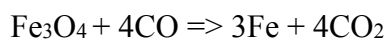
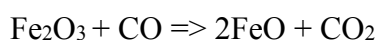
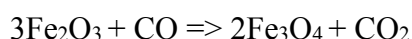
Zdroj: <https://slideplayer.cz/slide/2362968/8/images/5/Schéma+vysoké+pece.jpg>

⁶ RENNER, Boris a Michal ŠÍMA. Ďáblova továrna aneb pár slov o Aglomeraci. Ostravaci.cz [online]. 28.1.2014 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.ostravaci.cz/2014/01/dablova-tovarna-aneb-par-slov-o-aglomeraci/>

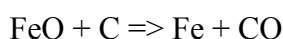
⁷ Provoz spékání železné rudy (tzv. aglomerace) v ArcelorMittal Ostrava bude patřit mezi nejčistější provozy svého druhu na světě. *All for power* [online]. 5.11.2013 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/provoz-spekani-zelezne-rudy-tzv-aglomerace-v-arcelormittal-ostrava-bude-patrit-mez-nejcistejsi-provozy-sveho-druhu-na-sve>

⁸ JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. VÝROBA ŽELEZA A OCELI. *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

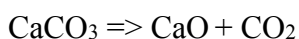
Vlivem gravitace materiál klesá do oblastí vyšších teplot. Níže se pec rozšiřuje a dále se zvyšuje vnitřní teplota hoření až ke 2300 °C. V horní a chladnější části pece dochází sušení a přehřívání vsázky a k nepřímé redukci oxidem uhelnatým. Do dolní části je vháněn výfuknými přehřátý a často i zvlhčený vzduch na spalování koksu. Jak můžeme vidět na vzorcích níže, vzdušný kyslík zde reaguje s uhlíkem za vzniku oxidu uhelnatého, který pak funguje jako redukční činidlo při nepřímé redukci rudy v této části pece. Vzniklý oxid uhličitý reaguje s koksem a redukuje se zpět na oxid uhelnatý, který opět vstupuje do chemických reakcí.



V nižší části pece probíhá přímá redukce železné rudy uhlíkem, jak ukazuje vzorec a vlastní tavení, při níž dochází ke styku úlomků koksu a železné rudy. Vyredukované železo má vysokou hustotu a nadále stéká přes koks, díky čemuž dochází k rozpouštění uhlíku a nauhličení kovu. Odtud se pak odvádí struska a surové železo. Zatímco proces zavážení a tavení je nepřetržitý, vypouštění nepřetržitých produktů, takzvaný odpich železa je jednorázový a provádí je 8 – 10x za 24 hodin.



Tekuté produkty vytékají odpichovým otvorem do hlavního železového žlabu, které se říká nístěj, kde se odděluje vytavené železo a struska. Díky jejich rozdílné hustotě. Železo je těžší, proto je odváděno z dolní části nístěje do speciálních vagónů určených pro přepravu tekutého železa do ocelárny. Vápenec přidávaný do vsázky v množství asi 200 až 300 kg na 1 t vyrobeného železa se při teplotě nad 800 °C se rozkládá viz vzorec.



Oxid vápenatý je mimořádně reaktivní látka. Váže na sebe přednostně křemík, který je vždy přítomen v železných rudách jako nežádoucí příměs a vzniká struska. Je to směs s převahou křemičitanů vápníku, která na sebe dále váže síru ve formě sulfidů a nezredukované oxidy. Má nízkou hustotu, a tak v nístěji tvoří na surovém železe souvislý

povlak. Kromě vazby nečistot má struska i ochrannou funkci, jelikož odděluje vyredukované železo od procesů probíhajících ve vyšší části pece a chrání ho před opětovnou oxidací kyslíkem nebo rozpouštěním dalšího uhlíku z koksu. Struska plovoucí na povrchu železa se odvádí do struskových vozů a odváží se k dalšímu zpracování. Suroviny projdou pecí vysoké 60 m za 8–10 hodin. Surové železo, které získáme z vysoké pece je slitina železa a uhlíku s obsahem až 5 % je odváženo v torpédových železničních vozech. Železo je sice pevné, ale není kujné, není tedy vhodné pro výrobu konečných produktů. Je možné jej použít jen pro výrobu odlitků. Pro zajištění možnosti jeho zkujňování musí dojít k redukci obsahu uhlíku, a tak se ze surového železa stává ocel. Struska, vznikající v množství 200 až 1000 kg na 1 t surového železa, má mnoho využití hlavně ve stavebním průmyslu. Granulovaná se využívá při výrobě cementu, struskový štěrk jako drcené kamenivo, zpěněná struska a hutní pemza slouží k výrobě lehčených stavebních dílů a je možné vyrábět i strusková vlákna. Poslední významný produkt vznikající výrobou železa je vysokopecní plyn. Je toxický, výbušný a má malou výhřevnost. Vzniká ho však velké množství 1500–2400 m³ na 1 t surového železa. Po odprašnění a obohacení může sloužit k předeřívání vzduchu vháněného do vysokých pecí. Celý proces probíhá nepřetržitě a odstávky pecí, či jiné přerušení výroby nastávají obvykle jednou za 5 až 15 let. Existuje více konstrukčních variant pecí než obrázek č. 6, avšak záměrem je co nejefektivnějším způsobem využít teplo a odpadní plyny. Pro vylepšení energetické bilance a zvýšení výkonu pece se výfucnami může do nístěje přivádět i zemní plyn, uhelný prach nebo kyslík.

Obrázek 6 - Vysoká pec Třinec



Zdroj: <https://mapio.net/pic/p-46537173/>

2 Potrubní doprava při výrobě

Podmínkou hladké a efektivní výroby železa ve vysoké peci je klíčová včasná doprava veškerých médií v potřebném množství a kvalitě. Celý proces je tak založen na síti potrubí, které vedou veškerá média do pece jako je předehřátý vzduch anebo naopak z pece odvádí jako je vysokopecní plyn, ale také všechna zařízení, do kterých během toho procesu tato potrubí ústí nebo z nich vyústí. Nemluvíme tedy pouze o samotné vysoké peci, ale i o veškerých provozech, jež výrobě železa předcházejí a úzce s ní souvisí. Například spékárna rud nebo koksovna a veškeré zásobníky uchovávající média vzniklá v procesu výroby železa nebo pro výrobu potřebná např. zbytkové teplo určené k vytápění přilehlých prostor, či k ohřevu užitkové vody. Celá zásobovací síť v železárnách je tedy opravdu spletitá a komplikovaná, avšak díky kvalitní logistice můžeme značně ovlivňovat celkovou výrobnost vysoké pece, a tak celkovou prosperitu celého podniku. Prosperující železárenský podnik je tak symbolem rovnováhy mezi úspěšnou logistikou a nadčasovou technologií.

Z logistického hlediska je tedy nutné zvolit rozmístění a způsob dopravy všech médií potřebných k výrobě železa tak, aby se do samotného středu, jímž je vysoká pec, bez problémů dostaly včas a v požadovaném množství. Tím se dostáváme i ke správnému načasování všech procesů zpracování jednotlivých prvků, jež předcházejí samotné výrobě železa.

2.1 Logistika potrubní dopravy

Potrubní doprava zajišťuje dopravu kapalin jako je ropa, ropné produkty, stabilní chemikálie, plyny a zkapalněné plyny i jemně mleté materiály. Zdrojem energie pro zajištění dopravy je gravitační síla a rozdíly tlaku v potrubí. Potrubní doprava nemusí být jen na dopravu na dlouhé vzdálenosti, ale setkáváme se s ní i v každodenním životě. Příkladem je vodovodní a odpadové potrubí nebo radiátory a vytápěcí systém rozvádějící horkou vodu nebo páru. Potrubní doprava je nepatří mezi flexibilní typ dopravy, jelikož vedení potrubí nelze přizpůsobovat novým a nečekaným potřebám, je však levnější a šetrnější k životnímu prostředí než ostatní druhy dopravy.⁹

⁹ GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.

Na dlouhé vzdálenosti, čímž je myšlena vzdálenost mezi různými státy nebo kontinenty se potrubní doprava využívá k přepravě ropy a zemního plynu. Nejdelším ropovodem na světě je ropovod Družba vedoucí z ruské Samary až do Evropy. Je dlouhý 5 502 km. Délka ropovodu na území ČR je 357 km a jeho kapacita je 9 mil. tun ropy ročně.¹⁰ Mimo dopravu ropy, vody a plynů se potrubní doprava používá i pro přepravu pošty, dokumentů, krve na transfuzní oddělení nebo krevních vzorků do laboratoře. Taková možnost funguje například ve Fakultní nemocnici Motol od roku 2015 nebo v nemocnici v Karlových Varech. Dále ji také používají supermarkety pro dopravu tržeb a největším unikátem české potrubní dopravy je Pražská potrubní pošta, která je dnes jediným dochovaným systémem městské potrubní pošty na světě.¹¹

2.2 Logistický pohled na výrobu železa

V prvé řadě je třeba se zaměřit na procesy předcházející samotné výrobě železa a tím je výroba vsázky. Vsázka je klíčovou surovinou k výrobě železa a ta sama je složena z mnoha ingrediencí. První z nich je prachová železná ruda, která se přiváží na železničních vozech. Z těch se vysype na výsypce a putuje na skládku, viz obrázek č. 7, kde se sype tak, aby se promíchaly všechny dovezené dodávky, jelikož jejich zdroj a tím

¹⁰ Potrubní doprava. Vítejte na Zemi [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=potrubni_doprava&site=doprava

¹¹ Potrubní pošta je unikátem. Po cestě do šrotu ji čeká znovuzrození. Idnes.cz [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/unikatni-potrubni-posta-v-praze.A121008_132338_ekonomika_top

i kvalita se mohou lišit. Jejich promísením se tak dlouhodoběji stabilizuje samotné složení železné rudy.

Obrázek 7 - Skládková pole prachové železné rudy



Zdroj: <https://1gr.cz/u/n4/pouzijte-tlacitko-sdilet.gif>

Promíchaná a stabilizovaná prachová ruda tzv. agloruda se těží podobně jako rudné pelety korečkovým rypadlem, jak můžeme vidět na obrázku č.8. Dále je pak převezena do spékárny rud neboli aglomerace, do níž putuje na pásech, kde se smíchá s ocelářskou struskou a okujemi, bazickými přísadami a koksovým mourem nebo antracitem.

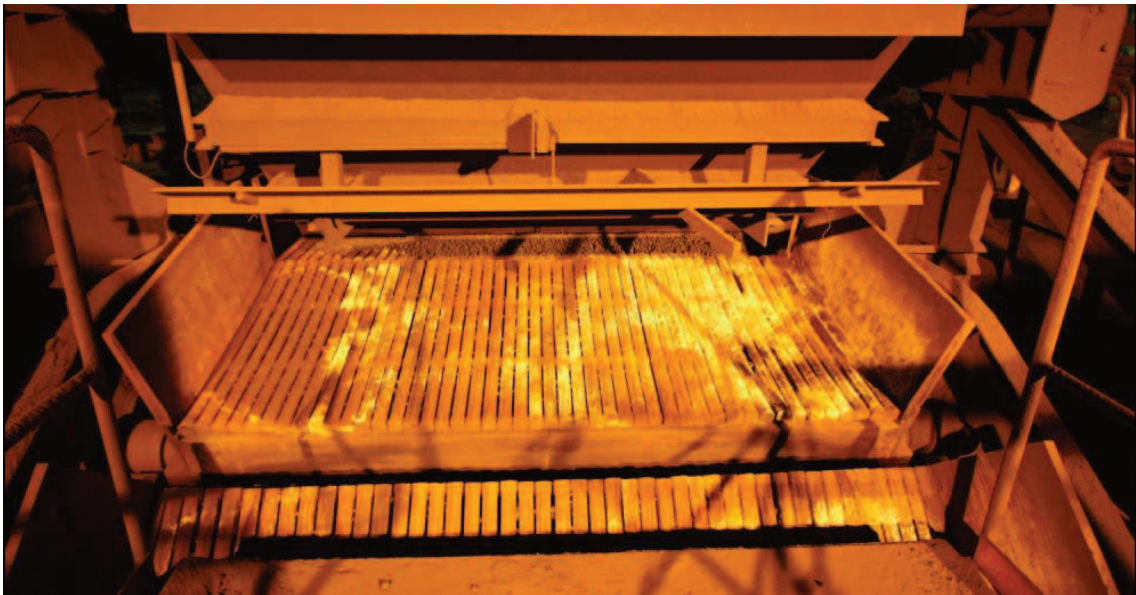
Obrázek 8 - Korečkové rypadlo



Zdroj: https://1gr.cz/fotky/idnes/12/041/cl5/RJA4237f4_Kopie_IMG_5598.JPG

Směs se nasype na aglomerační rošt, které tvoří nekonečný pás, jak je patrné na obrázku č.9. Koksový mour zapalují plynové hořáky a zespodu je pás prosáván, aby hoření bylo kontrolované směrem od vrchu dolů k roštnicím. Spaliny jsou odváděny odsávacím traktem potrubí na filtry.¹²

Obrázek 9 - Rošt na spékání aglomerátu v aglomeraci



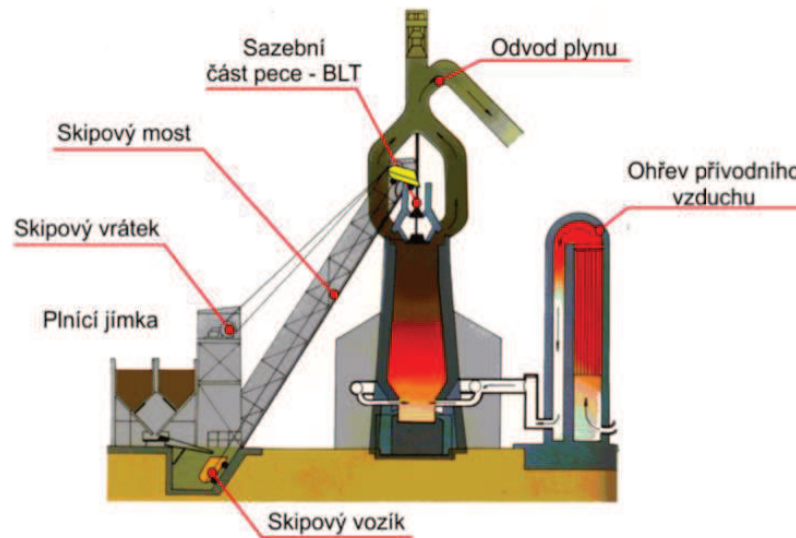
Zdroj: <https://1gr.cz/u/n4/pouzijte-tlacitko-sdilet.gif>

Agglomerát je převážen k vysokým pecím železniční vlečkou a skipovým výtahem je zavážen do vysokých pecí, viz obrázek č. 10. Na horním konci šachty vysoké pece je umístěna sazebná sloužící pro doplňování vsázky. Plnicí otvor je uzavřen kychtovým uzávěrem. Ten umožňuje zavážení pece vsázkovým materiálem a také jej utěsňuje natolik, že je možno odvádět vysokopecní plyn společně s dalšími plyny vznikajícími v hutní výrobě do plynojemu na ohřev dmychaného větru a pro vytápění hutních agregátů. Přibližně ve výši zarážky se nachází kruhové potrubí rozdělovače větru. Předehřátý vzduch je odsud přiváděn pomocí dmyšné soupravy do tavícího prostoru vysoké pece. Na nejnižší úrovni pece, v nístěji je umístěn výtok roztaveného železa tzv. odpichový otvor. Nad odpichovým otvorem pro surové železo je výtokový otvor strusky. Surové železo je pak převáženo v torpédových železničních vozech. Část vyrobeného surového

¹² Ostravský heavy metal. Podívejte se, jak se vyrábí železo v ocelovém městě. Technet [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/reportaze/ocelove-mesto-vysoke-pece-arcelor-mittal-v-ostrove-funguji-i-jako-cisticka-vzduchu.A120513_213940_tec_reportaze_rja

železa je také spotřebovávána ve slévárnách. Veškerý výskyt vysokopeční strusky je zpracován na granulát a kamenivo, které jsou dále upraveny na umělá hutní kameniva a pomalu tuhnoucí pojiva pro další užití v silničním a železničním stavitelství a ve stavebnictví.¹³

Obrázek 10 - Schéma vysoké pece se skipovým vozíkem



Zdroj: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT4q5j01r_e4jMQ26MIQ1qkh_hNwaHVZ-EqJYCiTakLfwziv1ZOaA

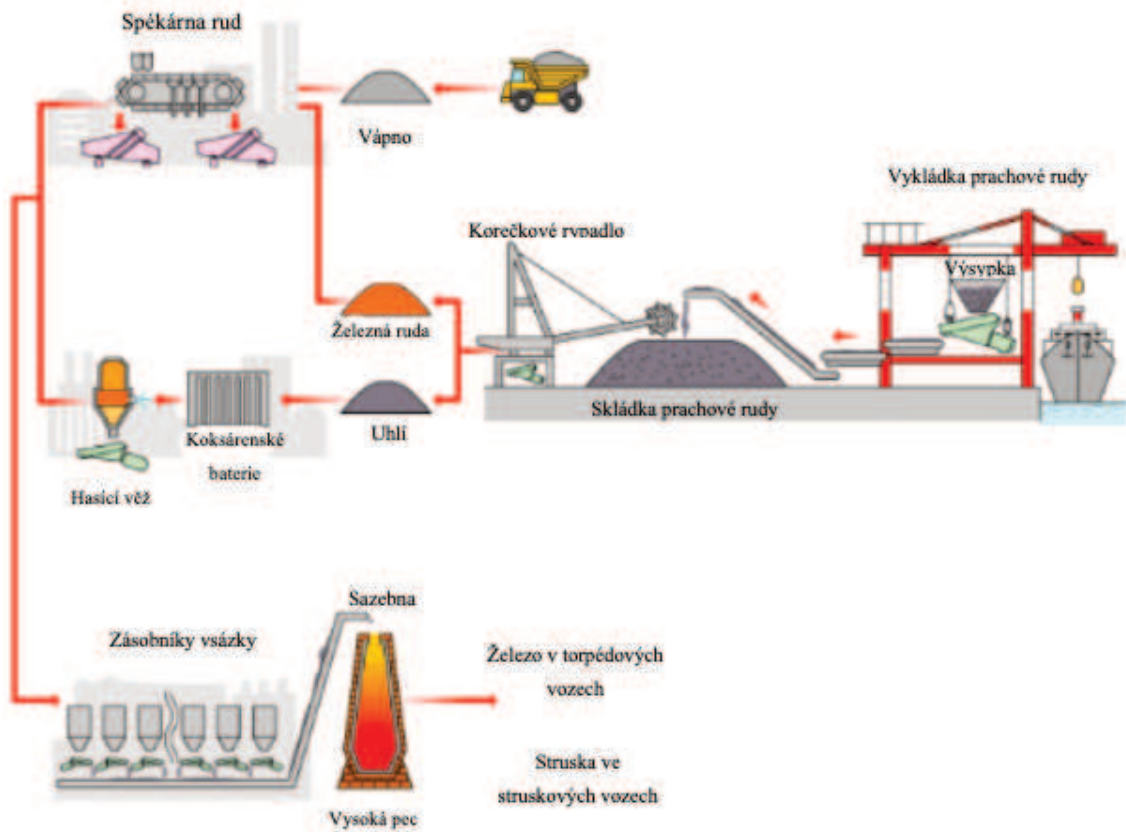
Ve vysokopečním provozu postupně roste podíl automatizovaného řízení chodu vysokých pecí, a tak řídí provoz vysoké pece na směně dva operátoři ve velině a mají k dispozici údaje ze senzorů a kamer, které sledují okolo pěti tisíc položek od teploty, tlaku, složení vsázky, která putuje do pece až po složení hotového surového železa. Speciální software operátorům usnadňuje práci, jelikož zároveň předpovídá i nejlepší postup, aby při výrobě nedošlo k žádným výkyvům. Ty jsou v nepřetržitém provozu, který může trvat až 10 let kritické, jelikož by znamenaly ohromné finanční ztráty, a tak je opravdu nezbytné, aby logistické procesy dopravy médií do vysoké pece probíhaly bez problémů.¹⁴

¹³ *Výroba surového železa* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: www.zav.wz.cz/download/vyroba_suroveho_zeleza_jiracek.doc

¹⁴ Automatizace v těžké váze: Největší hutě v Česku investují stamiliony do modernizace výroby i logistiky. *Logistika* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66109340-automatizace-v-tezke-vaze-nejvetsi-hute-v-cesku-investuji-stamiliony-do-modernizace-vyroby-i-logistiky>

Na schématu materiálového toku níže (obrázek č.11) můžeme vidět, jak ve zjednodušené podobě vypadá celý proces výroby železa popsany výše.

Obrázek 11 - Schéma materiálového toku při výrobě železa



Zdroj: https://www.sinfo-t.jp/eng/diagram_vib/images/flow-image06.gif

3 Měření stěn potrubí s využitím vířivých proudů

Pro zajištění kvalitních logistických služeb je třeba moci se spolehnout na technologie, jejichž prostřednictvím tyto služby mají být vykonány. Pokud chceme zajistit dopravu všech médií v procesu výroby železa v přesný čas, na přesné místo a v požadované kvalitě, musíme mít možnost spolehnout se na kvalitu každé nepatrné trubky související s vysokou pecí. Existuje široká škála možností, jak můžeme zkoumat kvalitu vyrobených zařízení a výrobků, jak zjistit případné vady a také s odstupem času jejich opotřebenost. Každý materiál má určitou životnost a vlastnosti vhodné přesně pro typ výrobku, který potřebujeme. V první řadě tedy záleží na vlastnostech samotného materiálu, který byl pro konkrétní výrobek použit. Materiál se volí s ohledem na prostředí, ve kterém bude provozován, na mechanickou námahu a teplotu, jakou bude muset snášet a v neposlední řadě na média, jež na něj budou působit. V případě hutní výroby mluvíme o velmi agresivních médiích, jako jsou vysokopecní plyny a o vysokých teplotách, jež budou na materiál v nepřetržitém provozu neustále působit.

Právě z důvodu nepřetržitého provozu vysoké pece, kdy odstávka probíhá pouze jednou za 5–15 let, je nutné celé zařízení, a především rozsáhlé potrubní sítě udržovat v dobrém stavu, což znamená mít kontrolu a přehled nad jejich technickým stavem. Z důvodu již zmiňované agresivity přepravovaných médií, dochází v potrubí ke korozi. Z vnější strany tak může potrubí vypadat v pořádku, avšak zevnitř vlivem koroze může být tloušťka stěny natolik narušena, že provozní tlak v potrubí trubku roztrhne. Přepravované látky by tak mohly uniknout do okolí a napáchat značné ekologické škody. Takovýmito následkům se právě průběžnou kontrolou můžeme vyhnout. A to díky technologiím umožňujícím zjištění přesného technického stavu bez nutnosti demontáže kontrolovaného výrobku. V praxi existuje mnoho takových technologií. Všeobecně se jim říká nedestruktivní technologie zkoušení materiálu.

3.1 Nedestruktivní metody zkoušení materiálu všeobecně

Úkolem nedestruktivního testování tzv. defektoskopie ve zkratce NDT je zjistit, jestli výrobek nebo zařízení nemají defekt, jelikož každý materiál nebo svarový spoj může obsahovat povrchové, popřípadě vnitřní vady anebo nežádoucí odchylky tvaru a struktury. V případě, že by byla detekována vada, tato metoda identifikuje její povahu a dokáže určit její přesnou lokaci. To vše představuje diagnostiku technického stavu testovaného objektu. K přesnému určení jsou využívány znalosti fyzikálního pole, všech

druhů záření, chemické reakce s povrchy a monitorování za pomoci přenosných zařízení a rozsáhlé výpočetní techniky pro zpracování dat. Cílem a výsledkem NDT je odhad zbytkové životnosti a rizik spojených s dalším využíváním testovaného výrobku nebo zařízení. Požadavek, aby výrobek neobsahoval naprosto žádné vady, by byl zcela nereálný, a proto musí být v příslušných normách nebo předpisech stanoveny hranice pro přípustnost, resp. nepřípustnost vad. A v případě potrubí dopravující abrazivní média se už ve výrobě počítá s přídavkem na tloušťku materiálu. Význam NDT je zvláště velký při zajišťování bezpečnosti provozu rozsáhlých výrobních zařízení jako jsou jaderné elektrárny, ropné plošiny, chemické podniky, železárny a potrubí a svařované konstrukce, jejichž havárie by měly za následek obrovské škody. Pouze důsledná kontrola NDT umožňuje, aby rizika spojená s takovým provozem byla přijatelná.

Ve strojírenském průmyslu se často stává, že se objeví problémy, pro které stávající metody neposkytují okamžité řešení. K řešení těchto problémů se často vyžaduje inovativní myšlení, které může přinést nové techniky a nové vybavení. Je proto neustále hledat efektivnější procesy, které by lépe vyhověly vyvstalým podmínkám. Proto můžeme rozdělit nedestruktivní metody zkoušení materiálu na konvenční metody a metody pokročilé. Specializované aplikace pokročilých metod mohou pomoci zvýšit kvalitu inspekcí, zjednodušit procesy, zrychlit inspekční nastavení a usnadnit interpretaci nasbíraných dat. Díky nejmodernějším kontrolním technologiím, tak lze ušetřit celkové náklady na údržbu, zlepšit kvalitu výroby a zajistit spolehlivé provozní procesy. Mezi konvenční metody se řadí:

- Vizuelní metoda
- Kapilární metoda
- Ultrazvuková metoda
- Radiografická metoda
- Magnetická metoda prášková
- Metoda kontroly netěsnosti
- Měření tvrdosti materiálu
- Měření tečení materiálu
- Termografické zkoušení

A do pokročilých metod můžeme zařadit:

- Nasycené nízkofrekvenční vířivé proudy – SLOFEC metodu
- TOFD metodu
- EMAT metodu

- Řízené ultrazvukové vlny – Guided waves metodu
- Phased array metodu
- Metodu pulsními vířivými proudy

Dále se diagnostické metody NDT dělí na:

- Screeningové metody
- Kvantifikační metody

Screeningové metody poskytují rychlý obraz o celkovém stavu kontrolovaného zařízení, tehdy, kdy ještě nedokážeme přesně definovat a lokalizovat případné vady. Může tomu tak být z důvodu prevence, nebo rychlé identifikace problémové oblasti. Pro tento typ kontroly jsou vhodné metody:

- Pulzní vířivé proudy PEC
- Nasycené nízkofrekvenční vířivé proudy SLOFEC™
- Řízené ultrazvukové vlny – Guided Waves

Kvantifikační metody NDT se používají pro přesnou lokalizaci, určení rozměrů vady, její orientaci, charakter apod. Do tohoto typu patří konvenční metody jako jsou:

- Vizuální kontrola
- Magnetická kontrola
- Penetrační zkouška
- Ultrazvuková zkouška
- Radiografická zkouška

V případě nutnosti identifikace výrobních vad, únavových trhlin, korozního praskání, eroze, určitých typů koroze, špatně provařeného kořene nebo pórovitosti svaru apod. používáme pokročilé diagnostické metody NDT jako jsou:

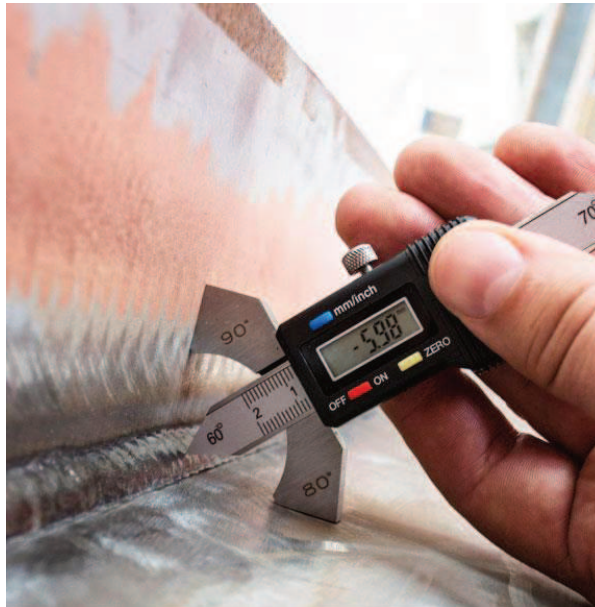
- TOFD
- Phased Array
- EMAT

3.1.1 Vizuální metoda

Tato metoda je zaměřená na zjišťování a hodnocení vlastností povrchů výrobků či součástí pouhým okem nebo pomocí speciálních přístrojů. Tato metoda se zaměřuje především na kontroly povrchu, tvaru a vad. Pozornost je směřována na trhliny, kvalitu svaru, ale posuzuje se i drsnost povrchu, hodnotí povlaky, nátěry, provádí se i kontroly rádiů a závitů. Viz obrázek č. 11. Povrchy jsou vizuální zkouškou hodnoceny podle požadavků zákazníků, které vycházejí z norem nebo příslušných předpisů pro daný

výrobek. Vše se provádí pomocí kalibrů nebo měrek, viz obrázek č. 12. Vizuální kontrola je často prováděna před dalšími NDT metodami nebo jako výrobní nebo operační kontroly.

Obrázek 12 - Vizuální kontrola svaru svarovou měrkou



Zdroj: <https://www.gamalux.cz/wp-content/uploads/2017/01/motivSekce05.jpg>

Operační kontrola je běžná věc probíhající ve většině podniků a je prováděna na pracovištích jako je vstupní kontrola, mezioperační a výstupní kontrola. Je kontrolována například drsnost povrchů po obrobení a další kontrola shody dle výrobního postupu. Podmínkou úspěšně provedené kontroly je vyhovující zraková schopnost pracovníků, musí být kvalifikováni, aby mohli svou práci provádět ve smyslu znalosti čtení technické dokumentace aj.

Do oblasti vizuální kontroly před ostatními metodami NDT spadá většina typů vizuálních kontrol. Příkladem typu takové kontroly může být dlouhá integrální zkouška těsnosti nádrže na ropné produkty, která trvá přibližně 6 hodin. Je tedy třeba před samotnou zkouškou důkladně prohlédnout povrchy nádrže, jestli nebudou nalezeny vady a trhliny, které by mohly vykazovat netěsnost a jestli vůbec viditelně se zdá být nádrž schopná podstoupit nákladnou zkoušku těsnosti.¹⁵

¹⁵ KOPEC, Ing. Bernard. Nedeštruktivní zkoušení materiálu: Učební texty zkoušení vizuálního pro všechny stupně kvalifikace. Ostrava – Nová ves: PTS Josef Solnař, 2013. ISBN PTS 02-16.

3.1.2 Ultrazvuková metoda

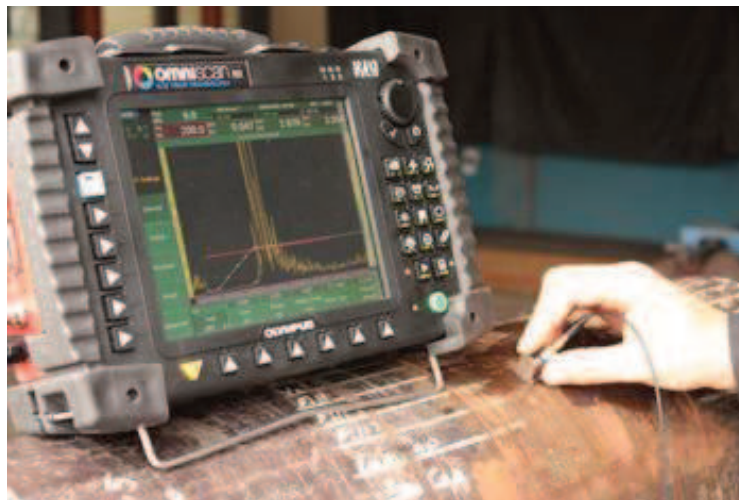
Ultrazvuk je jednou ze základních metod nedestruktivního zkoušení. Ultrazvuková metoda umožňuje zjistit přítomnost vnitřních vad materiálu, a to i ve velké hloubce pod povrchem, má tak největší dosah ze všech NDT metod. Je využívána především pro zkoušení tvářených polotovarů jako jsou například plechy nebo výkovky a také pro kontrolu svarů a odlitků. Uplatňuje se však významně i při zkoušení různých typů nekovových materiálů, jako jsou některé typy plastů a kompozitů. Výhodou této metody je možnost automatizace procesu kontroly, především u polotovarů jednoduchého tvaru. Kromě vnitřních vad, jako jsou trhliny, dvojitosti, dutiny apod. je možno zjišťovat i vady povrchové a její výhodou je hlavně okamžité zobrazení výsledků zkoušky.¹⁶

Ultrazvukové zařízení se skládá z přijímače pulzů, ze snímače a zobrazovacího zařízení. Viz obrázek č.13. To vše funguje na principu použití vysokých akustických frekvencí pro zjištění vlastností materiálu a vad díky odrazu pulzů na strukturách v kontrolované součásti. Nevýhodami této metody je nutnost přístupu k povrchu vzorku pro přenos ultrazvuku a je potřeba přenosové médium pro přenos akustických vln do kontrolované součásti. Problematické je také testování hrubých, nepravidelných a příliš tenkých součástí. Materiály s hrubozrnnou strukturou způsobují vysoký podíl šumu, a to

¹⁶ Ultrasonic Testing (UT). ATG – Advanced technology group [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-121&display=UT>

způsobuje špatný přenos signálu, takže zobrazované výsledky nejsou jednoznačné. Dále také nemusí být detekovány lineární a paralelní defekty.¹⁷

Obrázek 13 - Ultrazvukové testování



Zdroj: <http://www.octgproducts.com/uploads/allimg/ultrasonic-testing.jpg>

3.1.3 Kapilární metoda

Kapilární zkouška, nazývaná i penetrační zkouška dosáhla značného rozsahu zejména v oblasti zkoušení svarových spojů. Tato metoda je jednoduchá, nenáročná a v základních aplikacích finančně výhodná. Kapilární metodou jsou zjišťovány povrchové vady typu trhlin, prasklin, pórů, vměstků, přeložek, zavalenin apod. Využívá vysokou vzlínavost a smáčivost kapalin s nízkým povrchovým napětím tzv. penetrantů.¹⁸

Existují dvě metody indikace, barevná a fluorescenční. Příklady obou metod můžeme vidět na obrázcích 14 a 15. U barevné metody penetrant po aplikaci na suchý a odmaštěný povrch zkoušeného materiálu, pronikne do vad ústících na povrch. Po odstranění přebytku penetrantu se nanese indikátor, do které vyvzlíná penetrant z vad ústících na povrch, a tím zviditelní danou vadu. Podmínkou využití kapilární metody je neporézní zkoušený povrch.

¹⁷ JÁNSKÝ, Jan. *Ultrazvuková defektoskopie* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2004/UZ_JANSKY.pdf

¹⁸ Penetrační zkouška. *SEPS: Servis potrubných systémov* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/ndt-penetracni-zkouska-pt>

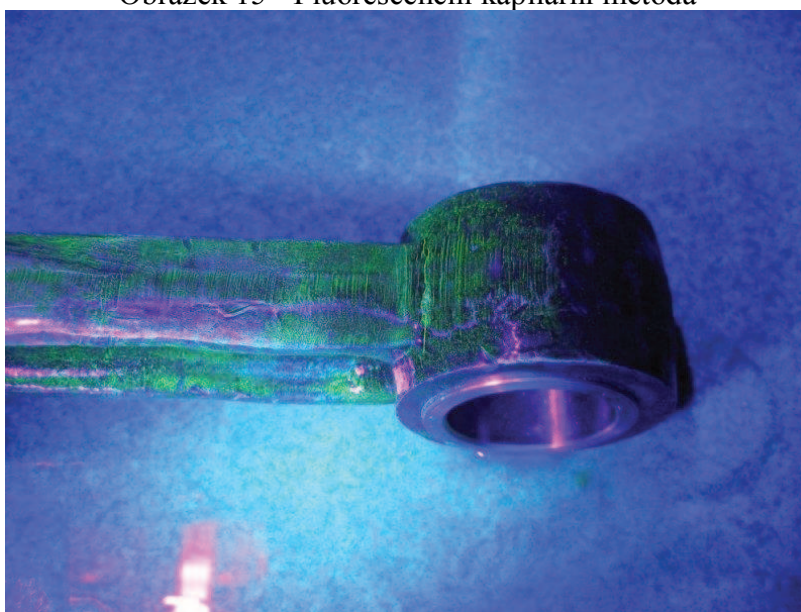
Obrázek 14 – Barevná kapilární metoda



Zdroj: <http://www.matousekhk.cz/img/metody/PT1.jpg>

U fluorescenční metody jsou vady viditelné pod UV světlem v zatemněné kabině, ve které musí být speciálním přístrojem změřena intenzita světla pomocí LUX metru.

Obrázek 15 - Fluorescenční kapilární metoda



Zdroj: <http://www.technotest.cz/images/2013/auta1.jpg>

3.1.4 Magnetická metoda prášková

Jedná se o nejpoužívanější metodu nedestruktivního zkoušení feromagnetických materiálů na povrchové vady. Tradičně se používá v kovárnách, automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu apod.

Magnetická metoda prášková umožňuje zjišťovat pouze vady povrchové nebo vady uložené těsně pod povrchem, max. 2 až 3 mm. Metoda je založena na principu zviditelnění magnetických siločar vystupujících na povrch feromagnetických materiálů. Toto je však určité omezení této metody, neboť feromagnetické jsou pouze nelegované a legované oceli, nikoliv austenitické. Pokud je na povrchu nebo těsně pod povrchem nějaká vada ve zkoušeném materiálu a není feromagnetická, např. trhлина, struska nebo bublina, tak magnetické siločáry tuto vadu obtékají a vystupují nad povrch materiálu, kde tvoří tzv. rozptylové magnetické pole.

Princip magnetické práškové metody je tedy založen na principu zjišťování rozptylu magnetického toku, který vznikne ve zmagnetizovaném feromagnetickém materiálu v místě trhlín nebo náhlé změny magnetických vlastností, což může způsobit přítomnost strusky. Vystupující siločáry lze zviditelnit především rozdílem barvy vady vůči povrchu, a tak jsou do prášku přidávány drobné prachové částice různých kovů. Pokud je prášek černý, nachází se v něm železo. Pokud je prášek žlutý, obsahuje železo barvivo. Další dvě nejčastější barvy jsou červenohnědá, hlavní složkou je hematit a šedočerná, ta obsahuje magnetit. Viz obrázek 16.

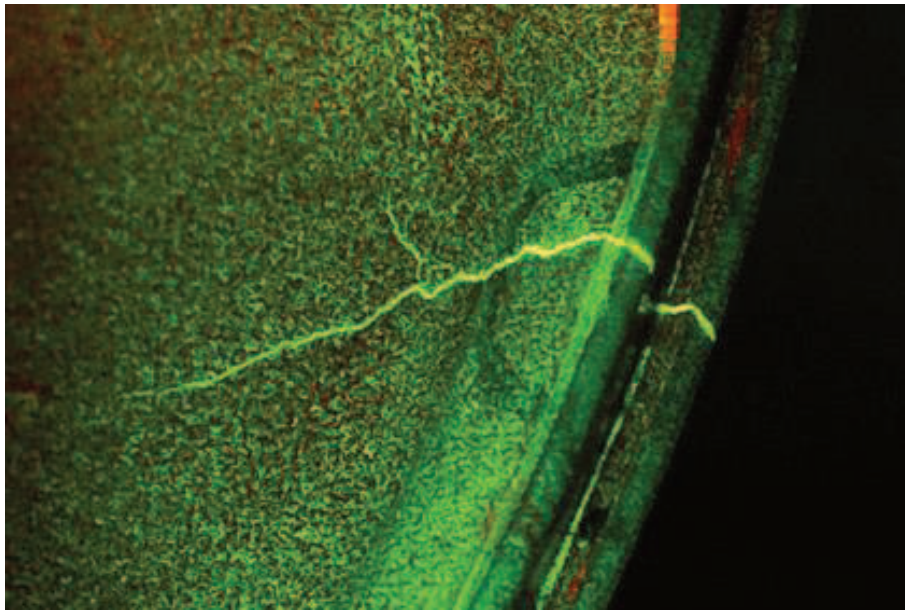
Obrázek 16 - Barevná magnetická prášková metoda zkoušení



Zdroj: <http://tiny.cc/xz195y>

Mimo barevné prášky existují i fluorescenční magnetické zkušební prášky. Ty fungují na principu rozpoznatelnosti vadných míst díky kontrastu částic magnetického prášku vůči ploše materiálu. Při fluorescenční zkoušce je tento kontrast docílen fluoreskujícími částicemi magnetického prášku pod ultrafialovým světlem. Viz obrázek č. 17.

Obrázek 17 - Magnetická fluorescenční metoda s viditelnou vadou



Zdroj: https://weldinspect.cz/wp-content/uploads/2018/08/MagnafluxIndication_0037.jpg

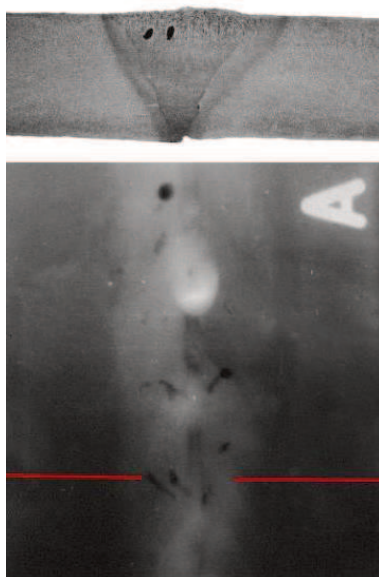
U obou metod pak v místě, kde vycházejí siločáry z povrchu zkoušeného svaru dojde k ulpění magnetického prachu a tím ke zviditelnění defektu. Avšak magnetický zkušební prášek musí mít nejen vysokou permeabilitu, aby mohl citlivě reagovat i na ty nejmenší změny rozptylového toku, ale i po ukončení magnetizace nesmí zrna zůstat zmagnetované. Musí mít také nepatrnou přilnavost, aby nedocházelo k tvorbě nepravých, falešných indikací. Výrobci prášku tak musí pravidelně provádět a deklarovat přezkoušení jeho magnetických vlastností. Výhodou magnetické práškové metody je rychlost, většinou malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit i podpovrchové vady. Nevýhodou je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých a oblých vad. Obtížný je také záznam výsledku zkoušky.¹⁹

¹⁹ BRODSKÝ, Ing. Bohumil. Magnetická metoda prášková. Ostrava: PTS Josef Solnař, 2013.

3.1.5 Rentgenová metoda

Tato metoda umožňuje získat trvalý obraz vnitřních vad materiálu. Detekce je možná zejména objemových, ale v případě vhodné směrové orientace i plošných vad. Používá se hlavně na kontrolu svarů, tvarově složitých odlitků aj. Vzhledem ke své průkaznosti a trvalému a kvalitnímu záznamu, jak můžeme vidět snímek na obrázku č. 18, je jednou z nejdůležitějších metod při kontrole nebezpečných a vysoce přesných zařízení, jako jsou tlakové nádoby a zařízení v leteckém a petrochemickém průmyslu.

Obrázek 18 - Radiografický snímek s viditelnými defekty



Zdroj:[https://www.atg.cz/thumbJPG.php?soubor=pic/galerie/111\(1\).jpg&sirka=200&vyška=145](https://www.atg.cz/thumbJPG.php?soubor=pic/galerie/111(1).jpg&sirka=200&vyška=145)

Při průchodu materiálem dochází k zeslabování procházejícího ionizujícího záření. Toto zeslabení závisí mimo jiné na tloušťce materiálu. Pokud je v materiálu defekt, s vhodnou orientací vůči směru záření, je záření v tomto místě méně zeslabeno. Za předmětem se vytváří neviditelný shluk primárního záření, který se převede na viditelný obraz vhodným detektorem, kterým je radiografický film. Každý film má svou charakteristickou křivku, která určuje, jakého obrazového kontrastu se při dané aplikaci dosáhne. Výsledky se vyhodnocují podle zčernání, což je optická hustota radiogramu vyšších hodnot. Intenzita zčernání v místě vady a mimo ni bude větší a defekt bude zřetelně viditelný.²⁰

²⁰ Radiographic Testing (RT). *ATG: Advanced technology group* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-111&display=RT>

3.1.6 Kontrola netěsnosti

Prostřednictvím této metody se zjišťuje těsnost svarů celková těsnost zkoušených objektů z kovových a nekovových materiálů, zejména potrubí, přepravních a uskladňovacích nádrží. Existuje mnoho druhů zkoušek netěsnosti. V zásadě jsou však rozdělovány na dva základní typy, a to typ integrální, jež slouží k určení celkové hodnoty velikosti netěsnosti a lokalizační, která se zaměřuje na určení polohy konkrétní netěsnosti. Mezi nejznámější poddruhy pak patří metoda měřením mikro-průtoku, ta může být přetlaková nebo vakuová, metoda změny tlaku, což může být pokles nebo naopak vzrůst tlaku, přetlakem kapaliny anebo plynu, bublinková metoda přetlaková a podtlaková s vakuovou komůrkou a heliová metoda, kdy je zkušebním plynem helium za pomoci přetlaku, či vakua.

Vhodná metoda a technika zkoušení se volí dle požadované citlivosti zkoušky, podle charakteru zkoušeného dílce, také podle legislativních požadavků, jež musí být splněny a samozřejmě dle požadavků zákazníka.²¹

Lokalizační metoda je založen na principu vytvoření podtlaku ve vakuové komůrce, která se přiloží na zkoušený předmět. Na testovaný povrch je nanesen pěnotvorný roztok a pokud se zde nachází netěsnost, tak se v těchto místech vytváří bubliny. Z množství a velikosti bublin lze určit, o jak velkou netěsnost se jedná. Tímto typem se dají testovat kovové i nekovové povrchy přístupné pouze z jedné strany, což například mohou být nádrže, těsnící izolační fólie, podlahy, střechy aj.

Integrovaná metoda funguje na principu vytvoření podtlaku uvnitř zkoušeného objektu, avšak růst či pokles tlaku je sledován na měřicí soustavě.²²

3.1.7 Měření tvrdosti materiálu

Tvrдость, jako jedna z mechanických vlastností, má hlavně u kovových materiálů mimořádnou důležitost. Je to proto, že ze všech vlastností materiálu lze zjistit nejrychleji, nejlevněji, a i na předmětech malých rozměrů. Z tvrdosti často usuzujeme i na některé další vlastnosti materiálu, jako jsou pevnost v tahu nebo obrobitelnost. Zkouší se na zkušebních vzorcích, nebo přímo na hotových výrobcích, za pomoci moderních

²¹ Leakage Testing (LT). *ATG: Advanced technology group* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-171&display=LT>

²² Zkouška těsnosti. *Testing Lab s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.testinglab.cz/podtlakzk.htm>

digitálních tvrdoměrů. Zkoušky tvrdosti se rozdělují na zkoušky vrypové, vnikací a odrazové. Nejpoužívanější metodou je vnikací zkouška Brinellova. Funguje na principu vtlačování kuliček o různém průměru předepsanou silou do povrchu. Měří se průměr vtisku a značí se zkratkou HB. Používá se na materiály měkké až středně tvrdé. Obdobnou metodou je Vickersova zkouška, kdy je vtlačován diamantový jehlanu s vrcholovým úhlem 136° předepsanou silou do materiálu a měří se velikost úhlopříčky. Značí se HV a její výhodou je značná univerzálnost, jelikož ji lze použít na tvrdé i měkké materiály. Poslední metodou je Rockwellova metoda, kdy je vtlačován diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° anebo kulička předepsanou silou do povrchu. Měří se trvalá hloubka vtisku.²³

3.1.8 Měření tečení materiálu

Měření tečení neboli creepové poškození je velmi účinnou metodou dlouhodobého sledování deformace vlivem tečení materiálu. Creep je časově závislá deformace materiálu při působení zatížení, které je pod jeho mezí kluzu. Nejčastěji se vyskytuje při zvýšené teplotě, ale některé materiály se tečou při pokojové teplotě, např. polymery. Data o tečení pro obecné použití jsou obvykle získána za podmínek konstantního jednoosého zatížení a konstantní teploty. Výsledky testů jsou obvykle vyneseny jako deformace versus čas do prasknutí. Zkouška tečení se často koná ve třech fázích, jak je vidět na obrázku grafu č.19. V počátečním stádiu dochází k relativně rychlému namáhání, ale rychlost se postupně snižuje, dokud se ve druhém stupni nestane přibližně konstantní. Tato konstantní rychlost tečení se nazývá minimální rychlost tečení nebo ustálená rychlost tečení, protože je to nejpomalejší rychlost tečení během zkoušky. Ve třetí fázi se rychlost deformace zvyšuje, dokud nedojde k poruše.²⁴ Příkladem mohou být sledované ohyby a rovné části potrubí. Na ty jsou navařeny navářky z oceli a mikrometrem se v určitých periodách, které udává norma, měří jejich vzdálenost. Pomocí vzorců se pak sleduje jejich deformační rychlost a trvalá deformace. Spočítané hodnoty se porovnají možnou deformací, která je opět daná normou.²⁵

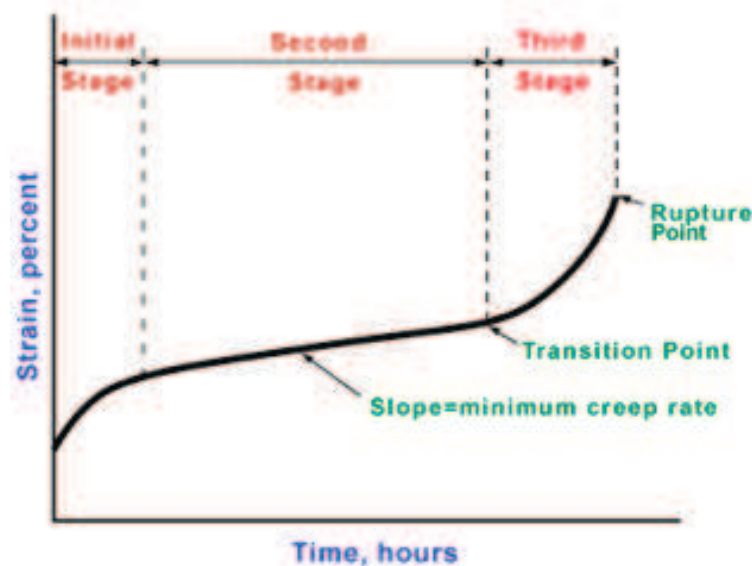
²³ NDT zkoušení. *Pavrquality s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.pavrquality.eu>

²⁴ Creep and Stress Rupture Properties. *NDT Resource Centre* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/Creep.htm>

²⁵ NDT metody. *NDtest* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.ndtest.cz/ndtest_ndt_metody.html

Tento druh zkoušky je využíván především pro součásti namáhané za vysokých teplot jako jsou např. lopatky spalovacího motoru nebo potrubí, kde jsou zvýšené požadavky na odolnost proti vysokoteplotní oxidaci, houževnatost a teplotní stabilitu struktury.²⁶

Obrázek 19 – Obrázek grafu deformace/čas do prasknutí znázorňující 3 stádia tečení materiálu



Zdroj: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Graphics/Mechanical/creep-rupture.gif>

3.1.9 Termografické zkoušení

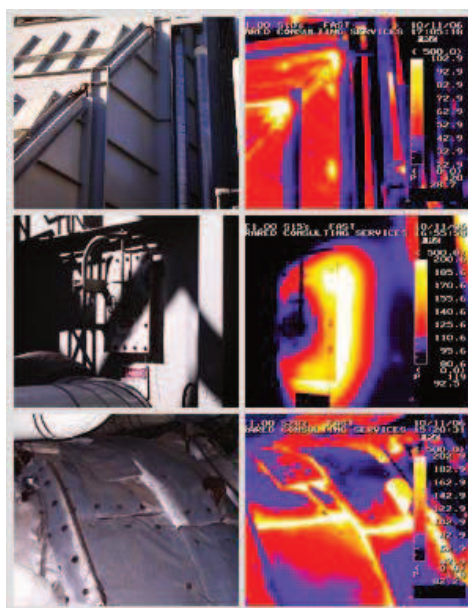
Tento typ zkoušení se využívá v případech, kdy se vada zkoušeného předmětu navenek projevuje změnou rozložení teploty na povrchu. K rozdílnému rozložení teploty může dojít mnoha způsoby. Předmět může být sám zdrojem tepla, pokud je například v tomto místě způsobeno nadměrné tření, nebo v případě zvýšeného elektrického odporu. Předmět může teplo nerovnoměrně akumulovat v případě přítomnosti dutiny či vměstků, anebo může teplo nerovnoměrně vést, k čemu obvykle dochází v místech, kde je materiál uvnitř porušen.

Termografie je hojně využívána v Leteckém opravárenství, jelikož je to metoda vyhovující pro zjišťování obsahu vody ve voštinových strukturách. Druhou nejčastější aplikací je kontrola elektrických rozvaděčů. V hutním průmyslu se termografie využívá

²⁶ ČADEK, Josef. Creep kovových materiálů. Praha: Academia, 1984. Fyzikálně metalurgická řada.

jako automatizovaná kontrola za tepla tvářených polotovarů, jelikož v místech potenciálních vad materiál chladne jinou rychlostí. Další častou aplikací je termografie užívaná pro kontrolu rotačních strojů, protože umožňuje odhalit místa se zvýšeným třením. Každý předmět vyzařuje po celém svém povrchu infračervené záření. Běžné předměty za pokojových teplot vyzařují spektrum s maximem okolo 2–15 μm . Přestože tyto vlnové délky sice lidským okem neviditelné, ale i přesto patří do skupiny optického záření a s pomocí speciálních senzorů je lze zachytit. Viz obrázek č. 20.

Obrázek 20 - Povrch boileru a jeho příslušenství pod termokamerou



Zdroj: <http://irtest.com/wp-content/uploads/2014/09/infrared-testing-service-boiler.jpg>

Termokamera umožňuje v reálném čase sledovat, jak se mění intenzita vyzařování infračerveného záření po povrchu zkoumaného předmětu. Pokud se hledaná vada sama neprojevuje jako zdroj tepla, je obvykle materiál aktivně vyveden z tepelné rovnováhy a sleduje se, jak je absorbované teplo z povrchu odváděno do materiálu. ²⁷

²⁷ Infrared Testing (IRT). ATG: Advanced Technology Group [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-191&display=IRT>

3.1.10 SLOFEC™

Tato metoda celým názvem Saturated Low Frequency Eddy Current využívá nasycené nízkofrekvenční vířivé proudy na rychlé zjištění materiálových úbytků ve formě korozního napadení plošné nebo bodové koroze a v některých případech i nedovařených kořenů svarů u potrubí nebo nádrží. Dokáže zjistit tyto vady i přes silnou vrstvu nátěru nebo i izolace na povrchu, avšak ne víc, než do tloušťky 6 mm. Lze zkoušet feromagnetické i neferomagnetické materiály s tloušťkou stěny do 30 mm. SLOFEC používá princip vířivých proudů v kombinaci s magnetickým polem. S využitím stejnosměrné magnetizace se zvětší hloubka průniku siločar vířivých proudů ve feromagnetickém materiálu. V případě defektu mají magnetické siločáry vyšší hustotu ve zbývajících tloušťce stěny, což následně mění relativní permeabilitu v oblasti, která opět mění linie vířivých proudů.²⁸ Příkladem využití je rychlá kontrola stavu potrubí, tlakových nádob a stěny i dna nádrží, jak můžeme vidět na obrázku č. 21.

Obrázek 21 - Kontrola povrchu nádrže dálkově ovládaným robotickým vozíkem



Zdroj: <https://www.sepssk.cz/data/web-content/156/diagnostika-defektoskopie-kontrola-povrchu-nadrze.jpg?1507473395672>

²⁸ SLOFEC Technique. *NDT Technologies* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.ndttechnologies.com/Brochures/Tank%20Scanning/SLOFEC%20Technique.pdf>

Oproti metodě využívající pulzní vířivé proudy zde nelze provádět měření na zařízeních v provozu a za vysokých či nízkých teplot, avšak výhodou je možnost měření vodivých i nevodivých materiálů.²⁹

3.1.11 Guided waves

Testování řízenými vlnami je relativně nová metoda nedestruktivní technologie zkoušení, a široce se používá pro screening trubek. Tato metoda byla původně vyvinutá pro screening izolovaných vedení, jelikož zde nebyla potřeba jejího odstranění, ale dnes už je mnohem více rozličných aplikací. Od screeningu trubek v potrubních nosnících až po kontrolu podzemních a podmořských vedení. Příklad použití této metody lze vidět na obrázku č. 22. Většina evropských rafinérií a závodů je poměrně stará a musí být udržována. Hlavním úkolem je kontrolovat, sledovat a udržovat na všech místech kilometry potrubí, které standardní přístupy NDT nedokážou pokrýt. V mnoha případech z důvodu nedostatku informací či jiných omezení konkrétní užívané techniky nebo nemožnosti přístupu ke kontrolované části může z potrubí dopravované médium uniknout nebo dokonce způsobit katastrofické selhání. Ve všech výše uvedených případech nabízí kontrola pomocí řízených vln příležitost získat relevantní a kritické informace, které mohou zabránit incidentům a ztrátě výroby.

Obrázek 22 - Kontrola potrubí metodou guided waves



Zdroj: <https://www.piesadec.net/wp-content/uploads/2010/10/serv17.jpg>

²⁹ Diagnostika a kontrola stavu metodou SLOFECT™. SEPS: *Servis potrubních systémov* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.sepssk.cz/diagnostika-kontrola-potrubni-nadrze>

System řízených vln se skládá ze tří primárních komponent: kroužku snímače, nástroje a přenosného počítače s ovládacím softwarem. Kroužky snímače jsou specifické pro velikosti potrubí, které mají být testovány.

Obecně se vyžaduje velmi malá příprava povrchu, protože provozní frekvence je nízká: obvykle pod 100 kHz. Převodníky jsou schopny projít přímo nátěrem, tenkými vrstvami epoxidu, nebo malým množstvím koroze skrz, ale je třeba odstranit veškerý odlupující nátěr, velmi silnou vrstvu nátěru nebo uvolněnou korozi. Není nutné používat jakýkoliv druh vodící kapaliny, je pouze důležité, aby kruh snímače byl schopen dotýkat se stěny potrubí kolem celého obvodu trubky.

Po dokončení inspekčního plánování a přípravy kontrolních míst je proces měření v každé lokalitě velmi rychlý. Kruh je připojen, zvolené nastavení softwaru a měření pořízené během několika minut. Tímto způsobem systém provádí značné množství zpracování, včetně řady samokontrolních postupů, kalibrace a zaznamenávání všech měření a nastavení.³⁰

3.1.12 TOFD

Metoda TOFD neboli Time of flight diffraction využívá ultrazvukové vlny ve dvou módech, a to jako vlny podélné i příčné. Jedná se o průchodovou techniku, kdy jedna sonda vlny vysílá a druhá je přijímá. Tato metoda je vhodná pro zkoušení svarů, základního materiálu a různých dalších komponent Viz obrázek č. 23.

Tato metoda má mnoho výhod. Patří mezi ně fakt, že rychlost kontroly není závislá na kontrolované síle materiálu a výsledky je možné vyhodnotit ihned po ukončení screeningu. Je zde vysoká pravděpodobnost detekce vad, až 98 % a to bez závislosti na orientaci vad, zvláště pak trhlin, studených spojů a jiných vad obtížně detekovatelných radiografickou metodou nebo popřípadě ručním ultrazvukovým zařízením. Oproti běžnému ultrazvuku má TOFD vyšší citlivost, jelikož pracuje na vyšších frekvencích. Dále také umožňuje zkoušení materiálů obtížně kontrolovatelných ultrazvukem, jako je např. materiál z nerezi, a to z důvodu vysokého útlumu či šumu. Nemalou výhodou je i možnost záznamu z kontroly a srovnání výsledků při opakované kontrole. Tak můžeme zaznamenat rozvoj vad, úbytky materiálu způsobené provozem, jako je koroze, eroze, zatížení aj. Avšak sofistikovaný software, který umožňuje tento snadný sběr a porovnání

³⁰ GUIDES WAVES: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS. *NDT* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.ndt.net/article/cofrend2011/papers/261.pdf>

dat má mnoho dalších možností, jako možnost simulace kontrol nebo schopnost sběru dat až ze 4 párů TOFD sond najednou. Tento případ se používá většinou u kontrol velmi silných materiálů. Zařízení napájeno bateriemi, což umožňuje lehký transport na místo kontroly a bezpečný provoz.

Omezující podmínky pro použití této metody jsou například špatný stav povrchu, na kterém je prováděna kontrola, což může být např. masivní koroze, rozstřík svařovaného kovu anebo nevhodně broušený povrch, dále to mohou být silné povlaky jako nátěry a izolace. Dále je omezující pro testování neumožňující přístup z obou stran ke zkoušené součásti a malá tloušťka materiálu, to znamená pod 6 mm.

Nejčastěji se metoda TOFD používá na svary, jako náhrada radiografické zkoušky, na všechny druhy potrubních systémů, na tlakové nádoby, zásobníky, nádrže a na všechny druhy konstrukcí, jako jsou jeřáby, mosty, dopravníky.³¹

Obrázek 23 - Time of Flight Diffraction (TOFD)



Zdroj: <http://www.kanwadegroup.com/images/tofd.jpeg>

³¹ TOFD. Dekra [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.dekra.cz/wp-content/uploads/2018/01/Metoda-TOFD-NAHLED.pdf>

3.1.13 Phased array

Je to moderní ultrazvuková technika, která nachází použití v průmyslovém nedestruktivním zkoušení a jeho běžné aplikace slouží ke zjišťování vad v polotovarech a ve svarech, kdy sondy vyzařují svazek ultrazvuku v určitém směru. Pokud chceme zkontrolovat velký objem materiálu, je třeba provést fyzické skenování, aby ultrazvukovým svazkem byla prozvučená celá testovaná součást.

Principem zkoušení je proces, ve kterém jsou ultrazvuková data generována řízenou postupnou změnou úhlu ultrazvukového svazku v azimutálním nebo bočním směru při skenování zkoušeného objektu. Oproti jiným postupům s použitím konvenčních sond s pevnými úhly svazku je výhodou, že se získává podstatně více informací o odrážejících objektech za použití mnoha úhlů přímého dopadu.

Phased array sonda sestává z mnoha malých ultrazvukových měničů, z nichž každý může být pulsně buzen nezávisle na ostatních. Změnou časování, například přiváděním pulzů postupně na jednotlivé prvky v řadě, lze nastavit vzor konstruktivní interference tak, aby výsledkem byl ultrazvukový svazek vysílaný pod určitým úhlem. Jinan řečeno, svazek může být mířen a rozptýlen elektronicky. Ultrazvukový svazek se rozptyluje, jako paprsek světlometu, v celém objemu zkoušeného objektu, a data z více svazků se zpracovávají dohromady tak, že se vytváří vizuální obraz znázorňující řez zkoušeným objektem na obrazovce přístroje. Díky elektronickému naklánění měničů je zde možnost kontroly ze špatně přístupných míst. Tohoto lze využít při kontrolách turbínových lopatek, nátrubků tlakových nádob aj.³²

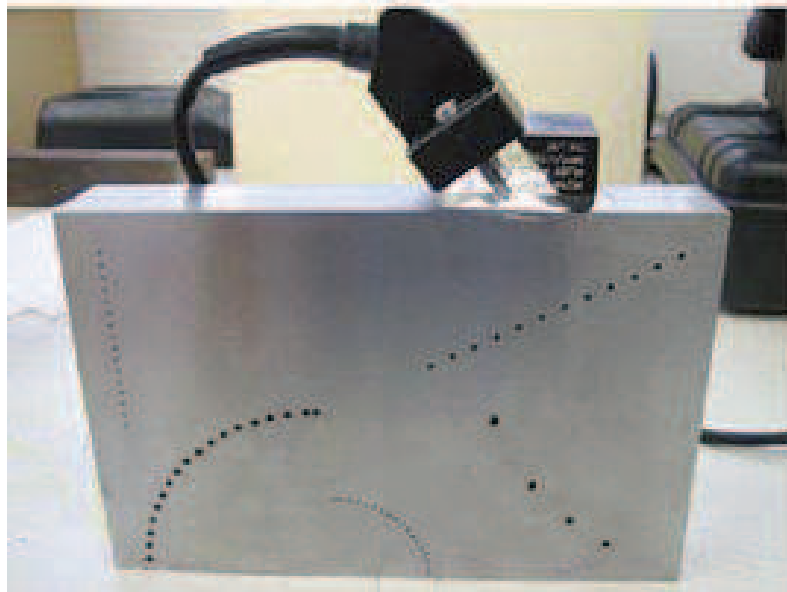
3.1.14 EMAT

EMAT neboli Electromagnetic Acoustic Transducer vytváří a snímá ultrazvukové vlny v materiálu pomocí kombinace magnetického pole a indukovaných proudů. Tento způsob generování je odlišný od běžného ultrazvuku, jelikož nevyžaduje použití akustické vazby. Konstrukce sond může mít různé uspořádání a v závislosti na něm lze vytvářet různé druhy vln. Základní sondy jsou tvořeny permanentním magnetem a cívkou. Existují však i systémy skládající se z několika desítek sond EMAT. Měření většinou probíhá buď ve

³² Ultrazvuková technika zkoušení phased array. *PTS Josef Solnař* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.ptsndt.com/cs/pts-josef-solnar-ndt-skoleni-vzdelavani/ut-ndt-zkouseni-ultrazvukem/ut-zkouseni-phased-array>

výrobě, nebo jako samostatné speciální měření. Díky tomu, že není nutné vazební prostředí, je možné kontrolu provádět i na zahřátých materiálech zařízení, která jsou v neustálém provozu, pokud je tomu však přizpůsobená konstrukce používání sondy. Nevýhodou oproti běžným sondám je menší účinnost sond EMAT a také jejich relativně velký rozměr. Viz obrázek č. 24.

Obrázek 24 - Zařízení phased array



Zdroj: https://www.ptsndt.com/images/Vzdelavani/obr_clanku/phased_array.jpg

Všeobecně však patří mezi nejpoužívanější metody pro hledání vnitřních vad v kovových předmětech a předmětech z umělé hmoty. Ultrazvuková metoda využívá vniku ultrazvukových vln do zkoušeného materiálu. Ultrazvukové vlny jsou do materiálu dopraveny přes ultrazvukovou sondu. Ultrazvukové sondy se liší hlavně úhlem, pod kterým vnikají ultrazvukové vlny do materiálu a nepotřebují vodivé médium jako tomu je u běžného ultrazvuku. Pokud se ve zkoušeném materiálu nachází nějaká necelistvost, dojde ke zpětnému odrazu ultrazvukových vln do sondy. Na obrazovce přístroje se pak tento odraz vyhodnocuje. Zkoušení ultrazvukem je zaměřeno především na zjišťování objemových vnitřních vad materiálu, plošných vad typu trhlin a zdvojenin a zjišťování tloušťky stěn. Velmi rozšířenou aplikací je zjišťování a hodnocení vad svarových spojů.³³

³³ MĚŘENÍ TLOUŠŤKY MATERIÁLU ZA ZVÝŠENÝCH TEPLŮT. *Techmagazín* [online]. 2017 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/archiv/2017/techmagazin2017_08.pdf

3.2 Multikriteriální analýza

V následující zpracované multikriteriální analýze můžeme vidět, jak všech 15 porovnávaných metod dopadlo, pokud jsme je porovnali podle čtyř základních kritérií, a to je cena, rychlost provedení metody, univerzálnost použití a přesnost.

Tabulka 2 - Multikriteriální analýza NDT metod

Metody	Cena	Rychlost	Univerzálnost	Přesnost	Výsledná hodnota
Váha	15	10	5	10	40
Vizuální metoda	285	180	95	70	630
PEC	135	150	80	170	535
TOFD	90	170	85	180	525
Kontrola netěsnosti	285	50	55	100	490
Ultrazvuková metoda	105	120	70	190	485
Měření tvrdosti materiálu	270	80	50	80	480
EMAT	120	150	60	150	480
Phased array	90	120	75	190	475
SLOFEC	75	150	75	170	470
Guided waves	90	150	50	170	460
Termografické zkoušení	150	120	65	120	455
Kapilární metoda	150	80	50	160	440
RTG metoda	90	90	70	170	420
Magnetická prášková metoda	120	80	50	160	410
Měření tečení materiálu	240	40	50	80	410

Kritériím byly přiřazeny váhy 5 až 15 a jednotlivým metodám byly přiřazeny váhy 0 až 20. Z výsledků můžeme pozorovat, jak je patrné v posledním sloupci, který je řazen sestupně, že nejefektivnější metodou je metoda vizuální, proto je nejčastěji využívaná před všemi ostatními, avšak nejméně přesná, což vede k tomu, že bývá doplňována přesnějšími metodami. Druhé místo má metoda PEC, se kterou jsem i já pracovala a je

součástí mé praktické části práce, třetí místo má metoda TOFD, což je novější a dražší obdoba metody PEC. A nižší pozice obdržely metody, jejichž univerzálnost nebo kvalita výsledků v porovnání s jejich cenou provedení není natolik efektivní. Avšak každý druh zkoušení a měřený materiál je jiný, což vede k tomu, že i neefektivní metoda jako celek může být nejefektivnější variantou pro dané konkrétní měření.

4 Návrh postupu při bezdemontážní diagnostice

Ve spolupráci se společností TÜV Rheinland bylo v železárnách provedeno mnoho měření potrubí vedoucích do vysoké pece a také dalších zařízení s nimi související, jako jsou prašníky, cylindry a další zařízení a konstrukce. Veškeré měření bylo provedeno pomocí nedestruktivní metody pulzními vířivými proudy (PEC – Pulsed eddy current). Kontrola tolika zařízení o takové ploše však trvá dlouhou dobu. V této práci tak lze uvést pouze příklad jednoho konkrétního měření a interpretaci jeho výsledků. Avšak z celkového hlediska se nejedná pouze o zjištění zbytkové tloušťky potrubí způsobené korozním úbytkem, nýbrž o možnost zjištění celkového technického stavu vysoké pece. To vede k zajištění bezproblémové logistiky potrubní dopravy vysoké pece, jelikož se dá díky metodě PEC určit zbývající životnost měřených zařízení. Tím lze předejít případným haváriím, neplánovaným odstávkám nebo prostojům ve výrobě vlivem technické nezpůsobilosti. To znamená, že přehledem o aktuálním stavu zařízení vedoucích do vysoké pece má klient, který si tato měření objednal možnost plánování svých budoucích výdajů na opravy zajišťující bezproblémový chod a produkci vysoké pece.

4.1 Metoda PEC

Mezi speciální metody nedestruktivního zkoušení materiálu patří metoda v angličtině zvaná jako Pulsed-eddy current (PEC), neboli metoda pulzními vířivými proudy, která byla vyvinuta společností Shell Global Solutions v Amsterdamu pro měření tloušťky stěny a tím detekci koroze bez dotyku samotného povrchu. Což oproti konvenční metodě vířivými proudy, měření bez dotyku nelze. Pulzní vířivý proud může být účinně použit pro monitorování a detekci koroze na trubkách a nádobách z uhlíkové oceli nebo nízkolegované oceli bez kontaktu s povrchem oceli samotným. Toto zařízení je tak vhodné pro izolovaná anebo potažená zařízení, objekty v podmínkách vysoké teploty, těžce zkorodovaná zařízení a zařízení pod vodou, jako jsou mořské plošiny a kesony, mosty a dále také objekty s ohnivzdornou betonovou izolací, viz obrázek č. 25.

Obrázek 25 - Kontrola povrchových pláštů nosníků na mořské plošině



Zdroj: TÜV Rheinland

Jedná se o velmi užitečnou vlastnost, díky které je umožněno provádět nedestruktivní zkoušky přímo za provozu kontrolovaného zařízení.³⁴

4.1.1 Zařízení PEC

Jedná se o přenosný nástroj s ruční sondou, jehož váha je 6 kg, jeho velikost je 350 x 200 x 130 mm a funguje na baterii. Toto zařízení je vhodné pro použití venku, má robustní konstrukci je vodotěsné. Jak vypadá můžeme vidět na obrázku č. 26.

Obrázek 26 - Zařízení PEC



Zdroj: TÜV Rheinland

³⁴ Veškeré informace o metodě PEC byly použity z interních materiálů TÜV Rheinland

V průběhu sběru dat není nutný žádný počítač, do paměti samotného přístroje lze uložit až 1000 bodů měření. Sběr dat je jednoduchý a rychlý, sondě trvá asi 5 sekund, než odečte naměřené hodnoty. Jelikož přístroj PEC měří bodová měření, musí tak být sonda pevně držena po dobu sběru dat v každém bodu v naprostém klidu a není možné jí při sběru dat pohybovat. Stahování uložených dat pak do osobního počítače se provádí pomocí tabulky Excel. Přístroj poskytuje okamžitý odhad tloušťky stěny. Pro některé aplikace je dostatečně přesná a nevyžaduje se žádná další analýza. Náročnější aplikace vyžadují podrobnější analýzu. To se provádí po kontrole připojením přístroje k počítači a stažením uložených dat. Data mohou být zpracována pomocí vyhrazeného softwaru. Toto off-line zpracování může být provedeno vzdáleně, např. zaslání dat elektronickou poštou. To znamená, že inspektor nemusí být na místě ani přítomen během shromažďování údajů a ukázalo se, že toto rozdělení ve sběru a analýze dat je nákladově efektivní.

4.1.2 Výhody a limity PEC

Všechny techniky NDT mají silné i slabé stránky. Relevance těchto silných a slabých stránek se velmi liší v závislosti na aplikaci a je třeba ji posuzovat zvlášť pro každou aplikaci. Za tím účelem jsou zde popsány výhody a omezení metody pulzních vířivých proudů.

Největší výhodou, jak už bylo zmiňováno v úvodu této kapitoly je jednoznačně možnost měřit tloušťku stěny bez přímého kontaktu se sondou a přes jakýkoliv materiál, který nevodí elektřinu, jako je izolační materiál, nátěry, barvy, beton, bitumen, nečistoty, kal a jiné, což snižuje náklady na samotnou inspekci a zvyšuje její rychlost, protože materiál nemusí být odstraněn a povrch nemusí být nijak připraven. Tyto vrstvy na povrchu materiálu mohou mít tloušťku až 200 mm. Dále PEC dokáže měřit i přes hliníkové a nerezové povlakování. V zásadě je také možné provést měření i skrze pozinkované povlakování, avšak výkonnost je nižší. Kontrola objektů je tak možná s tloušťkou stěny od 3 až po 35 milimetrů a kontrola předmětů s průměrem potrubí nad 75 milimetrů. Neméně zanedbatelnou schopností je i dobrá reprodukovatelnost naměřených hodnot na stejných místech, typicky s odchylkou $\pm 0,05$ mm. Díky tomu je PEC velmi vhodný jako zařízení nejen pro detekci koroze pod izolací, kde je jeho přesnost ± 10 %, ale i pro monitorování koroze, kde jeho přesnost činí $\pm 0,2$ %. Výše uvedené vlastnosti zajišťují, že ho lze i používat přímo během provozu měřeného zařízení, jelikož jeho výsledky neovlivní ani široký teplotní rozsah, který činí -100 °C až 550 °C, lze jej použít i pod

vodou a přístroj může být ovládán dálkovým ovládáním, např. pro dálkově ovládaná vozidla.

Jako nevýhody lze uvést, že měření je vhodné pouze pro uhlíkovou ocel a nízkolegovanou ocel. PEC pokrývá relativně velkou oblast a v důsledku toho má nejmenší zjištěná závada průměr asi 50% tloušťky izolace, pokud hovoříme o tloušťce izolace mezi 30 až 120 mm. Je proto vhodný spíše pro detekci všeobecně defektů v tloušťce, ale nelze detekovat izolované jamky. Nasbírané hodnoty tloušťky stěny jsou relativní hodnoty, ukazující odchylky tloušťky stěny na kontrolovaném objektu. I když jsou tato zjištění dostatečné pro mnoho aplikací, absolutní hodnoty lze získat pouze kalibrací tloušťky stěny v jednom bodě objektu. Hodnoty získávané pomocí PEC závisí na elektromagnetických vlastnostech materiálu, a proto změny těchto hodnot ovlivní hodnoty definující tloušťku stěny. Rozdíly ve vlastnostech materiálu v rámci jednoho objektu budou mít za následek nepravidelné odchylky v údajích o tloušťce stěny, pouze však do 10 %. Proto je důležité, aby geometrie zkušebního objektu byla jednoduchá; např. rovné úseky potrubí. Údaje o tloušťce stěny jsou také ovlivněny okolními tryskami, svary, vnitřními částmi a nosnými konstrukcemi.

4.2 Měření

V železárnách proběhla měření horních plynovodů vysoké pece, pláště prašníku, vodního skrubru a potrubí k němu vedoucímu, dále měření větrovodů, pláště ohříváče větrů, viz obrázky 27–30. Všechny fotografie poskytl TÜV Rheinland.

Obrázek 27 - Ohříváče větru a větrovody



Obrázek 28 - Větrovody vedoucí do vysoké pece



Obrázek 29 - Plynovod vedoucí do vysoké pece



Obrázek 30 - Vodní skrubr a potrubí z něho vedoucí



V těchto výškách s tím, že mnohá místa jsou často špatně dostupná a s přihlédnutím k faktu, že potrubí jsou v provozu a pod tlakem není vždy možné osobně sondu přikládat k měřenému povrchu. V tomto případě TÜV Rheinland sestrojil vozík na dálkové

ovládání, na němž je umístěná sonda. Vozík má magnetická kolečka, která mu umožňují šplhat po měřeném povrchu, aniž by bylo za potřeby člověka. Vozík je rádiově řízený pomocí dálkového ovladače. Má vyměnitelnou dobíjecí baterii, která pohání kolečka a dále je na něm připevněná sonda PEC, která je kabelem propojená s počítačem, do něhož posílá snímaná data. Vozík je samozřejmě jištěn pomocí lan, aby nespádl, jelikož hutní průmysl je znám svou vysokou koncentrací prachu a všechny povrchy jsou tak velice znečištěné. Nečistoty mají tendenci ulpívat na kolečkách vozíku a mohou tak způsobit ztrátu kontaktu s magnetickou plochou a tím jeho pád. Viz obrázek č. 31.

Obrázek 31 - Vozík s PEC



Jedním z měřených potrubí bylo provedeno měření potrubí vedoucí páru o teplotě 300 °C. Toto potrubí má cementovou izolaci o tloušťce 150 mm a jeho světlost je DN200, s tloušťkou stěny 16 mm, 8 x 33 m. Předpokládaným degradačním mechanismem byla

plošná koroze. Sonda připojená k počítači byla přikládána postupně na všechna místa označená na potrubí, jak je patrné z obrázku č. 32 a sbírala data.

Obrázek 32 - Potrubí vedoucí páru (300 °C) s cementovou izolací



Z naměřených hodnot je programem vygenerovaná tabulka do Excelu interpretující viditelnou formou reálnou procentuální tloušťku stěny. Žluté až tmavě oranžové hodnoty mají nejnižší procentuální hodnotu a tím představují riziková místa. Můžeme tedy vidět, že místa s nejmenší tloušťkou mají 70% původní tloušťky. Největší úbytek materiálu je dle tabulky níže v pozici D, která je vyobrazená na fotce č. 32. Zákazník si tedy dokáže s těmito výsledky snadno spočítat dle data poslední výměny tohoto parovodu, jak rychle se rozšiřuje vnitřní koroze a spolu s normou, která předepisuje její minimální bezpečnou tloušťku dokáže vyhodnotit, kdy bude nutno jej nejpozději vyměnit, aby se předešlo případnému úniku. I malý únik páry o takové teplotě a tlaku by mohl způsobit zranění procházejících pracovníků neslučitelná se životem. Naopak v zelených políčkách můžeme vidět, že je potrubí v naprostém pořádku. Hodnoty nad 100 % jsou zde z důvodu možné odchylky v měření. I přesto, že zařízení měří relativně přesně, stále je potřeba brát

v úvahu fakt, že měření skrze silné izolační vrstvy, jako je tomu zde nemohou být dokonale přesná.

Tabulka 3 - Tabulka interpretující výsledky měření s legendou procentuální zbytkové tloušťky

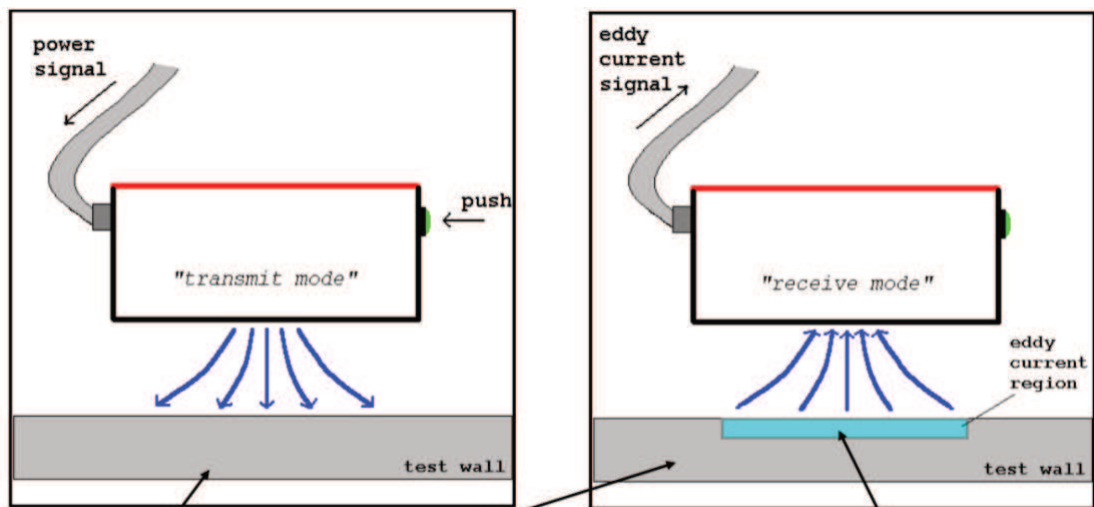
Tloušťka [%]	Hodinové pozice			
	Ax. poz.	A	B	C
1	105.1	95.9	101.0	97.0
2	102.8	75.5	107.4	109.9
3	106.3	73.5	98.2	85.7
4	101.5	93.2	95.6	77.1
5	101.0	73.7	79.2	101.6
6	105.5	70.3	79.8	89.3
7	102.3	88.9	83.2	97.4
8	101.3	81.8	70.5	88.5
9	90.7	94.8	73.7	80.2
10	95.3	76.3	P	89.9
11	97.2	74.5	80.0	72.9
12	102.3	101.4	86.4	82.9
13	110.2	82.9	70.6	71.0
14	99.3	99.1	74.6	89.3
15	93.2	82.6	Z	81.9
16	99.7	76.8	104.9	80.1
17	99.7	83.0	95.9	75.5
18	107.9	103.8	93.8	104.5
19	F	F	F	F

Průměrná zbytková tloušťka [%]	
> 110 %	
90 To 110 %	
85 To 90 %	
80 To 85 %	
75 To 80 %	
70 To 75 %	
65 To 70 %	
60 To 65 %	
55 To 60 %	
0 To 55 %	

4.2.1 Princip měření

Sběr dat metodou PEC je možný u elektricky vodivých materiálů fungujících na principu Lenzova zákona, kdy elektricky vodivý předmět, který je vystaven změně magnetického pole, vytvoří vířivé proudy, které odporují změně magnetického pole. Viz obrázek 33.

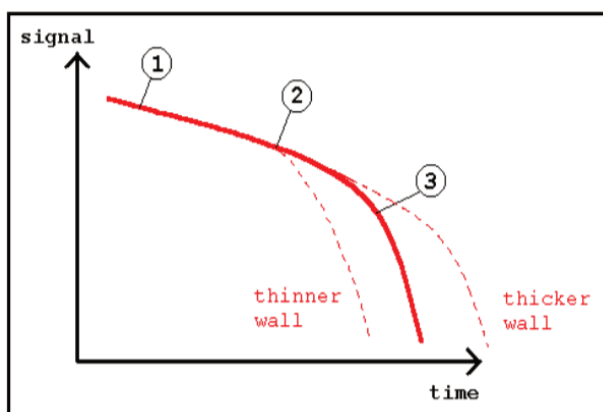
Obrázek 33 - Princip měření metodou PEC



Zánik primárního pole generuje vířivé proudy, které se šíří materiálem a generují sekundární magnetické pole

Průběh signálu PEC je poté použit pro určení zbytkové tloušťky měřeného materiálu. Sonda vysílá signály a vzniká primární pole, dále se generují vířivé proudy, které se šíří stěnou kontrolovaného materiálu. Signál rychle poklesne a generuje se sekundární magnetické pole. Z vysílací sondy se stává přijímač. Podle toho, jak rychle signál poklesne se určuje, jaká je reálná tloušťka stěny. Viz obrázek 34.

Obrázek 34 - Princip průchodu signálu



1. Vysílání pulsních vířivých proudů
- ↓
2. Pulsní vířivé proudy procházejí stěnou
- ↓
3. Rychlý pokles signálu

5 Ekonomické hodnocení

Každá firma se z ekonomického hlediska snaží vždy mít co největší zisk a co nejnižší náklady, zatímco se snaží poskytovat výrobky nebo služby v kvalitě, jakou jeho zákazníci požadují a jaké normy dovolují. Je to systém spojených nádob, který se každý účastník na ekonomickém trhu snaží vybalancovat co nejefektivněji vůči svým možnostem. V hutním průmyslu mluvíme o celosvětovém ekonomickém trhu, kde se běžně hovoří v miliardových položkách. K miliardovým ziskům však také mohou patřit i milionové ztráty. Jejich příčinou může být cokoliv, avšak úkolem každého manažera je snaha ztrátám předcházet. Obzvláště kritickým místem je oblast logistiky a výrobních technologií. Pokud nebudeme mít včasné dodávky, dostatečného množství a kvality materiálů potřebných k výrobě železa vzniknou prostoje ve výrobě, stejně tak jako se kvalitní železo nemůže vyrábět, pokud vysoká pec nebude plně funkční. Vše tak musí být perfektně časově sladěné a technika nesmí tento systém zklamat. Samozřejmě je nutné celý systém pravidelně udržovat, kontrolovat a snažit se jej neustále zefektivňovat. Proto se plánují pravidelné odstávky, kdy se počítá se sníženou výrobností. Jednou z možností, jak snížit riziko technologického výpadku je využití nedestruktivních technologií kontroly materiálu. Díky nim dokážeme výrazně snížit riziko neplánovaných oprav.

Konkrétně měření zbytkové tloušťky potrubí a přilehlých zařízení vysoké pece je sofistikovaná metoda, kterou nemůže provádět jen tak kdokoliv. Každý inspektor jakékoliv NDT metody musí projít nákladným školením, které má 3 stupně. Pracovníci s kvalifikací prvního stupně jsou oprávněni provádět zkoušky a zaznamenávat výsledky zkoušek. Nejsou způsobilí vyhodnocovat výsledky zkoušek a podepisovat protokoly. Pracovníci s kvalifikací druhého stupně mohou provádět a řídit NDT zkoušení podle NDT postupů, požadovaných norem a předpisů a jsou už i odpovědní za vyhodnocení výsledků NDT zkoušek. Mohou také vypracovávat NDT instrukce pro provádění zkoušek. Pracovníci s kvalifikací třetího stupně mohou provádět a řídit NDT zkoušení podle požadovaných norem a předpisů, jsou odpovědní za vyhodnocení výsledků NDT zkoušek a mohou vypracovávat NDT postupy pro provádění zkoušek. Dále musí být schopni převzít odpovědnost za podřízené NDT pracovníky a vést je v jejich pracovní činnosti. Zároveň také přebírají odpovědnost za NDT zkušební zařízení.

Firma, která chce, aby na jejím zařízení byla provedena kontrola zbytkové tloušťky potrubí má tak dvě možnosti. Jedna je objednání si inspektora u firmy, která má své vybavení a inspekci provede anebo si NDT vybavení koupit, pravidelně jej kalibrovat a

zaměstnat způsobilou osobu nebo svého stávajícího zaměstnance nechat proškolit. Zvolená varianta závisí na četnosti a rozsahu prováděných kontrol, nicméně v porovnání s možnými ztrátami ve výrobě v případě havárie nebo zastavení výroby jsou tyto náklady nízké a rozhodně se pravidelná kontrola vyplatí.

V případě kontroly zbytkové tloušťky potrubí metodou pulzními vířivými proudy je zde možnost přesné předpovědi rychlosti úbytku materiálu na konkrétních místech. To umožňuje zákazníkovi rozplánování si nákladů na postupnou obměnu částí podle vypracovaného plánu oprav a renovací od nejkritičtějších.

Závěr

Ekonomický trh hutního průmyslu je celosvětový a částky, ve kterých se pohybuje jsou miliardové. Nicméně žádné peníze nedokáží vynahradit ekologické havárie nebo újmu na zdraví, které se mohou stát z důvodu zanedbání dobrého technického stavu celého výrobního procesu. Jako každá firma se i hutní společnosti snaží mít co největší zisky a co nejmenší náklady, zatímco budou produkovat železo odpovídající kvality. Pro splnění takovýchto požadavků je třeba vyvážení všech spolu souvisejících aspektů vedoucích k výrobě železa. Je to efektivita logistických procesů, správné naplánování všech vstupů a výstupů z procesu výroby železa a také udržitelnost dobrého technického stavu všech potrubí a zařízení, které dopravu médií pro výrobu železa umožňují.

Ve světě pokročilých technologií máme dnes velkou výhodu, že už dokážeme haváriím a nehodám aktivně předcházet včasnou kontrolou, která nijak neovlivňuje výrobnost ani chod zařízení. Kontrola dobrého technického stavu tak může být průběžně prováděna, aniž by jakkoliv ovlivnila produktivitu podniku.

Pomocí vybrané metody PEC (pulsní vířivé proudy) byla provedena kontrola zbytkové tloušťky potrubí v železárnách způsobené korozi, čímž nejen, že zajistila přehled o aktuálním technickém stavu všech kontrolovaných zařízení, ale umožnila tak klientovi rozplánovat si své náklady na opravy a renovace v časovém horizontu od nejnnutnějších oprav díky předpovědi rychlosti rozšíření koroze podle identifikace kritických míst. S touto metodou tak podniky mohou ušetřit velké náklady spojené se zbytečnou renovací stále technicky dobrých zařízení nebo v opačném případě ušetřit náklady spojené s nápravou ekologické havárie či odškodného zraněných zaměstnanců v případě nehody.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Pohled z vysoké pece – Třinecké železářny.....	3
Obrázek 2 - Koksárenské baterie	6
Obrázek 3 - Nekonečný pás, na kterém se spéká prachová ruda	7
Obrázek 4 - Schéma výroby aglomerátu.....	8
Obrázek 5 - Schéma vysoké pece	9
Obrázek 6 - Vysoká pec Třinec	11
Obrázek 7 - Skládková pole prachové železné rudy.....	14
Obrázek 8 - Korečkové rypadlo	14
Obrázek 9 - Rošt na spékání aglomerátu v aglomeraci.....	15
Obrázek 10 - Schéma vysoké pece se skipovým vozíkem	16
Obrázek 11 - Schéma materiálového toku při výrobě železa	17
Obrázek 12 - Vizuální kontrola svaru svarovou měrkou	21
Obrázek 13 - Ultrazvukové testování	23
Obrázek 14 – Barevná kapilární metoda.....	24
Obrázek 15 - Fluorescenční kapilární metoda	24
Obrázek 16 - Barevná magnetická prášková metoda zkoušení	25
Obrázek 17 - Magnetická fluorescenční metoda s viditelnou vadou	26
Obrázek 18 - Radiografický snímek s viditelnými defekty	27
Obrázek 19 – Obrázek grafu deformace/čas do prasknutí znázorňující 3 stádia tečení materiálu	30
Obrázek 20 - Povrch boileru a jeho příslušenství pod termokamerou	31
Obrázek 21 - Kontrola povrchu nádrže dálkově ovládaným robotickým vozíkem	32
Obrázek 22 - Kontrola potrubí metodou guided waves	33
Obrázek 23 - Time of Flight Diffraction (TOFD)	35
Obrázek 24 - Zařízení phased array	37
Obrázek 25 - Kontrola povrchových plášťů nosníků na mořské plošině.....	41
Obrázek 26 - Zařízení PEC	41
Obrázek 27 - Ohřívače větru a větrovody.....	44
Obrázek 28 - Větrovody vedoucí do vysoké pece	44
Obrázek 29 - Plynovod vedoucí do vysoké pece	44
Obrázek 30 - Vodní skrubr a potrubí z něho vedoucí.....	44
Obrázek 31 - Vozík s PEC	45

Obrázek 32 - Potrubí vedoucí páru (300 °C) s cementovou izolací	46
Obrázek 33 - Princip měření metodou PEC.....	47
Obrázek 34 - Princip průchodu signálu	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Nejpoužívanější rudy železa.....	5
Tabulka 2 - Multikriteriální analýza NDT metod.....	38
Tabulka 3 - Tabulka interpretující výsledky měření s legendou procentuální zbytkové tloušťky.....	47

Seznam příloh

1. PEC Theory – dostupná brožura společnosti TÜV Rheinland v pdf na CD vloženém v diplomové práci.
2. Pulsed eddy current – inspection through insulation – dostupná brožura společnosti TÜV Rheinland v pdf na CD vloženém v diplomové práci.
3. Corrosion detection using Pulsed eddy current – dostupná prezentace společnosti TÜV Rheinland v pdf na CD vloženém v diplomové práci.

Autor (vypracoval)	Bc. Radka Melková
Název DP	Význam bezdemontážní diagnostiky v logistických procesech hutní prvovýroby
Studijní obor	Logistika
Rok obhajoby DP	2019
Počet stran	51
Počet příloh	
Vedoucí DP	doc. Dr. Ing. Oldřich Kodým
Oponent DP	
Anotace	Diplomová práce se zabývá vlivem bezdemontážní diagnostiky pomocí užití metody pulzních vířivých proudů (PEC). Celá metoda je aplikována na příkladu zajištění materiálového toku v procesu zpracování železa v železárnách. V práci je podrobně rozebráno teoretické chápání potrubní dopravy, nedestruktivních technologií, procesu výroby železa a jejich spojitost. Dále praktická ukázka provedení kontroly parovodu pomocí metody PEC. Z poznatků zpracovaných v této práci byla multikriteriální analýza všech nedestruktivních metod zkoušení materiálů a u praktického měření byly interpretovány výsledky do názorné tabulky. Výsledkem práce je zaměření se na ekonomický přínos této metody v hutním průmyslu.
Klíčová slova	Pulsní vířivé proudy, Výroba železa, Potrubní doprava, Nedestruktivní technologie
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	