



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VLIV LIDSKÉHO Činitele NA BEZPEČNOST
PRŮMYSLových PECÍ**

IMPACT OF HUMAN FACTOR ON INDUSTRIAL FURNACE SAFETY

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leisan Mukhametzianova

ŠKOLITEL

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2019

Klíčová slova

Posouzení rizik, lidský činitel, Human Reliability Assessment (HRA), Performance Shaping Factors (PSF), kvalitativní model

Keywords

Risk assessment, human factor, Human Reliability Assessment (HRA), Performance Shaping Factors (PSF), qualitative model

Místo uložení dizertační práce

Oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, Technická 2, 616 69 Brno

© Leisan Mukhametzianova, 2019

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

ISBN 80-214-
ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD.....	4
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	4
3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	6
4 POPIS NAVRŽENÉ METODIKY POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE.....	6
5 VERIFIKACE NAVRŽENÉ METODIKY NA CEMENTAČNÍ PECI	9
5.1 Identifikace nebezpečí spojených s provozem cementační pece	9
5.2 Identifikace úkolů obsluhy cementační pece	10
5.3 Identifikace chyb obsluhy cementační pece a nebezpečí s nimi spojených.....	11
5.4 Určení pravděpodobnosti vzniku chyby obsluhy	12
5.5 Návrh opatření pro zabránění chybám a omezení jejich následků.....	14
5.6 Mapa zlepšení stavu systému působením na PSF	16
6 ZÁVĚR	21
7 POUŽITÁ LITERATURA.....	23
8 ŽIVOTOPIS.....	25
9 SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ	25
10 ABSTRAKT	27
11 ABSTRACT	27

1 ÚVOD

Jako motivace volby tématu dizertační práce se staly opakující se nehody při provozu průmyslových pecí, kdy častým závěrem vyšetření byla informace, že nehodu zavinil člověk anebo příčinou nehody byl lidský činitel. Z historie jsou známy nehody a havárie, které byly zapříčiněny lidskou chybou anebo selháním lidského činitele (LČ), např. Seveso 1976 (Itálie), Černobyl 1986 (Ukrajina), Houston 1989 (USA) atd. Obecně se předpokládá, že vliv lidského činitele na celkovou výkonnost systému „člověk-stroj“ je významnější než spolehlivost hardwaru a softwaru [1]. Asi 30 % všech nehod je způsobeno selháním lidského činitele, v některých zdrojích tato hodnota dosahuje až 50 % [2].

Člověk je těžko předvídatelný prvek v provozním systému, proto v případě rutinních a opakujících se operací jeho funkce bývá nahrazována strojem, avšak stále zůstává potřebná jeho rozhodovací a kontrolní funkce.

Provoz průmyslových pecí je zatížen riziky. Využívají se v nich nebezpečné látky (cementační a nitridační kapaliny a plyny, inertní plyny, topné plyny, hořlavé kalící oleje) za vysokých teplot. Případná porucha nebo chyba operátora může způsobit jak poškození zařízení nebo jeho obsahu, tak i závažnější důsledky – požár, výbuch, únik nebezpečné výbušné atmosféry nebo vytvoření nedýchatelné atmosféry na pracovišti.

Výše uvedená rizika si uvědomují jak výrobci, tak provozovatelé pecí. Za účelem zvýšení bezpečnosti průmyslových pecí a pro prevenci nehod a úrazů byly vytvořeny legislativní a normativní požadavky. Průmyslové pece splňující požadavky směrnic a norem mohou být zatíženy zbytkovým rizikem způsobeným selháním lidského činitele. Výrobci průmyslových pecí mají povinnost provést posouzení rizik a také vzít v úvahu důvodně předvídatelné nesprávné použití zařízení. I přesto, že byly vytvořeny legislativní požadavky na bezpečnost, stále dochází při provozu průmyslových pecí k nehodám zapříčiněným selháním lidského činitele.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Průmyslové pece jsou klasifikovány jako strojní zařízení a patří ke skupině průmyslových tepelných zařízení. Aby výrobce průmyslových pecí mohl uvádět svoje výrobky na trh, musí splňovat požadavky strojní směrnice [3] a dalších legislativních dokumentů. Dokumentem potvrzujícím splnění požadavků předpisů je ES/EU Prohlášení o shodě. Vystavením prohlášení o shodě výrobce získává nárok na použití značky CE na zařízení uváděném na trh. Pro výrobce průmyslových pecí je povinností provádět posouzení rizik a brát v úvahu hledisko lidského činitele.

S lidským činitelem také těsně souvisí ergonomie, jako faktor, který ovlivňuje spolehlivost obsluhy. Dle strojní směrnice při předpokládaných podmínkách používání musejí být nepohodlí, únava, fyzická a psychická zátěž obsluhy sníženy na co nejmenší míru a musejí být vzaty v úvahu ergonomické zásady. Ovládací systémy musí být navrženy a konstruovány tak, aby nedocházelo k nebezpečným situacím.

Požadavky strojní směrnice lze splnit splněním požadavků harmonizovaných norem, uvedených v Úředním věstníku Evropské unie. Je možné se odvolávat na jednotlivé články takových norem v dokumentaci procesu posuzování shody výrobku, jehož se norma týká. Pro provedení posouzení rizik lze výrobcem použít harmonizovanou normu ČSN EN ISO 12100:2011 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika [4]. Tato norma zahrnuje příklady nesprávného použití stroje nebo snadno předvídatelného lidského chování, které by měly být vzaty v úvahu při návrhu stroje. V části 5.4 normy je uvedeno, že se mají uvážit úkoly, spojené s fázemi strojního zařízení a nebezpečí spojených s těmito úkoly, avšak identifikace chyb obsluhy zde není vyžadována. V části 5.5.3 je uvedeno, že při odhadu rizika musí být uvažovány lidské faktory, jako vzájemné působení mezi osobou a strojem, stres, ergonomie, zcvik, zkušenosti a schopnosti obsluhy, únava apod.

Pro zajištění bezpečné konstrukce průmyslových pecí byla vytvořena řada harmonizovaných norem. Norma ČSN EN 746-1:1998+A1:2010 [5] specifikuje všeobecné bezpečnostní požadavky pro průmyslová tepelná zařízení, zpřesňuje předpokládaná významná rizika spojená s průmyslovým tepelným zařízením a specifikuje odpovídající preventivní opatření pro snížení nebo eliminaci těchto rizik. Jsou uvedeny obecné principy a všeobecné požadavky pro snížení rizik průmyslových tepelných zařízení, jež platí pro všechny následující části této normy, týkající se specifického zařízení, pokud není uvedena výjimka v příslušné části.

K zabránění poškození zdraví anebo života obsluhy se používají různé druhy ochranných a blokovacích zařízení a také ovládací (řídící) systémy, které plní bezpečnostní funkci. Požadavky na tato zařízení jsou uvedeny v harmonizovaných normách. Prvky rozhraní „obsluha-stroj“ (ovládače, signalizační prvky, prvky pro zobrazení dat) musí být navrženy tak, aby byla umožněna jasná a jednoznačná interakce mezi obsluhou a strojem.

V akademickém prostředí je zřetelný nárůst zájmu o problematiku spolehlivosti lidského činitele, který přesto zůstává mimo hlavní oblast zájmu. V posledních letech se šíří povědomí, že prevence nehod a úrazů musí obsahovat důsledné posouzení rizika, které bere v úvahu nejen spolehlivost mechanických prvků, ale i lidského činitele. Většina publikací v oblasti spolehlivosti lidského činitele je zaměřena na ergonomii, zejména popisu vlivu vibrací a hluku na člověka [6], [7]. Některé publikace se zabývají analýzou vlivu člověka na spolehlivost strojů z hlediska údržby, zohledňují lidského činitele při přiřazování úrovně integrity bezpečnosti, popisují faktory, ovlivňující spolehlivost člověka ve výrobním procesu, především faktory věku, zkušeností, únavy, nemoci, změn nálady. Také popisují kategorií lidských chyb a klasifikují postoje z různých důvodů [8], [9], [10].

Z legislativního hlediska musí výrobce průmyslových pecí provést posouzení rizika včetně přihlédnutí k lidskému činiteli. Po provedené rešerši legislativních dokumentů, technických norem a vědeckých článků nebyla nalezena žádná metodika, která by vysvětlovala, jakým způsobem výrobce průmyslových pecí nebo strojního zařízení má posuzovat vliv lidského činitele na bezpečnost zařízení.

V kritických oblastech, jako jaderná energetika, letectví, chemický průmysl, je hodnocení spolehlivosti lidského činitele poměrně běžné. Za účelem prevence závažných havárií v chemickém průmyslu byl vytvořen metodický pokyn [11], který doporučuje způsob a rozsah posouzení vlivu lidského činitele na objekt nebo zařízení v souladu se zákonem o prevenci závažných havárií [12]. Pro účely zákona je posouzení vlivu lidského činitele řešeno jako posouzení spolehlivosti a chybování člověka při výkonu stanovených pracovních činností. Toto řešení tvoří nedílnou součást analýzy a hodnocení rizik. Téma lidského činitele v chemickém průmyslu je poměrně propracované. Existují publikace poskytující praktické rady ohledně možnosti snížení pravděpodobnosti lidské chyby na všech úrovních v chemickém průmyslu [13], [14].

V oboru letectví byl vytvořen systém analýzy a klasifikace lidských faktorů, využívaný leteckými silami USA k vyšetřování a analýze lidského činitele v letectví [15]. Byly nalezeny publikace týkající se posuzování lidského činitele v letectví, faktorů ovlivňujících výkonnost člověka, typů chyb vznikajících při údržbě letadel a managementu identifikovaných rizik [16], [17], [18]. Pozornost je také věnována vzájemné komunikaci a vztahům mezi členy posadky. Pro tyto účely byl vytvořen Crew Resource Management (CRM) a Team Resource Management (TRM) [19].

První aplikace analýz spolehlivosti lidského činitele v oblasti jaderného průmyslu byly uskutečněny počátkem 50. let 20. století. Rasmussenova zpráva, známá jako WASH-1400 [20], se stala základním pilířem pro metody rozvíjené pro potřeby jaderné energetiky. Oblast jaderné energie je pramenem pro rozvoj myšlenek při posouzení pravděpodobnosti rizika a hodnocení spolehlivosti lidského činitele.

Ve výše uvedených kritických oblastech byly vyvinuty metody pro hodnocení spolehlivosti lidského činitele. Každá oblast je něčím specifická (sekvenční, nesequenční činnost, rozsah

a charakter následků, způsob školení, úroveň automatizace apod.), řídí se různými legislativními dokumenty, proto nelze vzít libovolnou metodu a použít ji na strojní zařízení.

U strojních zařízení je ze zákona povinnost brát v úvahu lidského činitele („důvodně předvídatelné nesprávné použití“). Nicméně neexistuje žádná metodika, jakým způsobem má být hodnocen vliv lidského činitele. Výrobce průmyslových pecí proto přistupuje k tomuto hodnocení náhodně, což může vést k tomu, že může zapomenout na nějaká další rizika, spojená s chybou obsluhy.

3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Vzhledem k výše uvedené analýze vědeckého poznání a legislativních požadavků na bezpečnost průmyslových pecí byl stanoven hlavní cíl disertační práce: vypracování metodiky posuzování vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. Dosažení tohoto hlavního cíle je podmíněno vyřešením následujících dílčích cílů:

- stanovení faktorů ovlivňujících spolehlivost lidského činitele na pracovišti;
- zapracování jak kvalitativního, tak i kvantitativního hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí;
- systémová integrace poznatků do vyvíjené metodiky.

Sekundárním cílem bude verifikace metodiky na reálné peci. Pro verifikaci postupu byla vybrána cementační pec. Z hlediska bezpečnosti jsou cementační pece zdrojem rizika: jejich provoz je spojen s použitím nebezpečných látek a zvýšenými teplotami. Obsluha cementační pece je relativně komplikovaná a selhání obsluhy může představovat ohrožení obsluhy.

4 POPIS NAVRŽENÉ METODIKY POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE

Návrh metodiky pro posouzení spolehlivosti člověka je klíčovým prvkem pro vypracování účinných strategií pro pochopení a řešení rizik spojených s lidskými chybami.

Ačkoli jsou k dispozici různé HRA metody, volba nejvhodnějšího nástroje závisí na specifikách různých průmyslových odvětví a požadavků. Návrh metodiky může být založen na různých faktorech:

- jak lidé jednají a reagují v různých odvětvích,
- legislativních a normativních požadavcích,
- faktorech, které mají vliv na vznik lidské chyby, jako jsou např. úkoly, nástroje, prostředí, podpora, školení, postup atd.,
- druhu a dostupnosti dat,
- jak se průmysl podílí na hodnocení rizika a spolehlivosti,
- typech mimořádných událostí, nehod a rutinních úkolů.

Při tvorbě metodiky analýzy vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí bylo využito již existujících metod, používaných pro hodnocení spolehlivosti LČ v jiných oblastech.

Metodika byla vyvinuta tak, aby ji bylo možné zařadit do rámce posouzení rizik dle normy ČSN EN 12100 (viz obrázek 1). Výsledky získané užitím této metodiky slouží jako vstupní údaje pro posouzení rizik.

Identifikace nebezpečí

Dalším krokem posouzení rizik po vymezení hranice analýzy je identifikace nebezpečí. Identifikace nebezpečí u strojních zařízení se obvykle provádí pomocí metody FMEA, kdy se identifikují nebezpečí při běžných operacích a také v případě chyby obsluhy.

Průmyslová pec je specifickým strojním zařízením, které funguje převážně autonomně. Samotná pec je zdrojem rizika, mohou v ní probíhat nebezpečné procesy, jako cementace, nitridace se využitím výbušných a toxických plynů, za vysokých teplot. Lidský činitel výrazným způsobem ovlivňuje průběh nehody, sám o sobě tak představuje významný zdroj rizika.

Pro identifikaci nebezpečí spojených s provozem průmyslové pece byla zvolena metoda HAZOP, která se používá v případech, kdy dochází k proudění tekutin. Metoda HAZOP je týmová metoda, na její realizaci se podílí odborníky různých oborů. Úlohou týmu je najít odchylky od správné funkce analyzovaného úseku (subsystému) a od správných hodnot zásadních veličin (např. tlak, teplota, průtok, složení apod.) na základě aplikace klíčových slov na tuto funkci. Např. klíčové slovo „Není“ kombinované s procesním parametrem „Průtok“ dává odchylku „Není průtok“. Výsledkem je tabulka, ve které jsou identifikovány zdroje rizika, provozní problémy a doporučení pro zlepšení daného stavu [21], [22].

Další nebezpečí mohou souviset se selháním obsluhy pece. Selháním se rozumí odchylka od zásahu obsluhy požadovaného k dosažení cíle. Pro zjištění požadovaných zásahů a jejich analýzu byla zvolena jednoduchá grafická metoda HTA – Hierarchical Task Analysis, pomocí které se jednotlivé úkoly znázorní v podobě diagramu s přehledně vyznačenými cíli, subcíli, operacemi a plány, a to v hierarchickém uspořádání. Diagram má přehledným způsobem co možná nejdětailněji popisovat všechny úkoly a subúkoly, jejichž správným vykonáním obsluha splní stanovený cíl [23].

Pro zjišťování případných chyb při vykonání úkolů z HTA byla zvolena metoda Human HAZOP, která je modifikací metody HAZOP a místo odhalování rizikových stavů zařízení slouží k odhalení selhání lidského činitele [24]. V rámci Human HAZOP se také navrhuje nápravná a preventivní opatření za účelem zvýšení spolehlivosti obsluhy a bezpečnosti zařízení.

Odhad rizika

Po identifikaci nebezpečí se provádí odhad rizika pro každou nebezpečnou situaci určením prvků rizika: *závažnosti následků* a *pravděpodobnosti* jejich vzniku.

Běžně se pro odhad používají expertní odhady a zkušenosti z provozů. Protože obsluha svým zásahem může ovlivnit průběh procesu (jak běžného, tak i havarijního stavu), ovlivňuje to pravděpodobnost vzniku havárií a úrazu. Pro určení pravděpodobnosti vzniku chyby obsluhy – HEP byla zvolena metoda CREAM – pokročilejší metoda 2. generace, která bere v úvahu kognitivní vlastnosti člověka, nabízí jasný a systematický přístup ke kvantifikaci a je dobře validována v literatuře.

Hodnocení rizika

Po odhadu rizika se provádí hodnocení rizika pro určení, zda je požadováno snížení rizika. Pokud je vyžadováno snížení rizika, musí být zvolena a použita ochranná opatření. Během vykonání tohoto kroku musí konstruktér kontrolovat, zda při použití nových ochranných opatření nevznikají další nebezpečí nebo se jiná rizika nezvyšují.

Snížení rizika

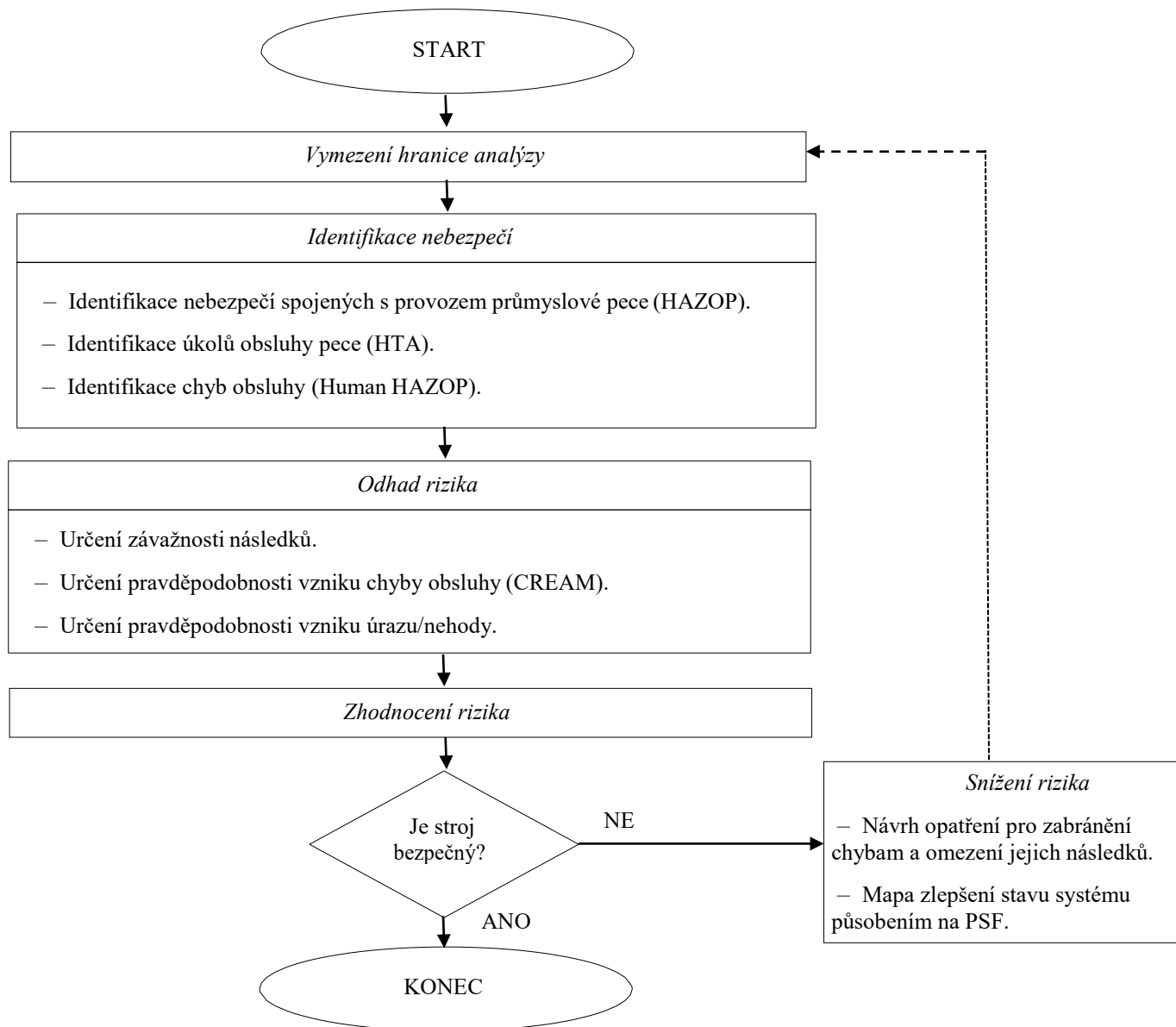
Pro snížení rizika se určují ochranná opatření pro zabránění chybám a omezení jejich následků:

- zabudovaná konstrukční opatření, která jsou dosažena vyloučením nebezpečí nebo snížením rizik vhodnou volbou konstrukčních vlastností samotného stroje a/nebo vzájemným působením mezi vystavenými osobami a strojem;
- bezpečnostní ochrana a/nebo doplňková ochranná opatření, používaná k ochraně osob pokud

zabudovaným konstrukčním bezpečnostním opatřením nebylo možné ani odstranit nebezpečí, ani dostatečně snížit rizika.

- informace pro používání, kde bude uživatel informován a varován o zbytkovém riziku.

Důležitou složkou hodnocení spolehlivosti lidského činitele jsou faktory, které ovlivňují výkon obsluhy. Spolehlivost obsluhy pece pracující ve stresu je nižší než její spolehlivost za normálních podmínek. Faktory ovlivňující spolehlivost obsluhy se také ovlivňují navzájem. Zjištěním charakterů takových závislostí lze navrhnout cestu pro zlepšení stavu systému působením na jednotlivé faktory. Pro tento účel byla vybrána metoda kvalitativního modelování [25].



Obr. 1 – Posouzení spolehlivosti lidského činitele v rámci posouzení rizik

Metodika může být použita pro analýzu vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí složitější konstrukce, kde se používají nebezpečné látky, a spolehlivost operátora hraje velkou roli. Metodika je použitelná zejména pro provozy kde operátor vykonává sekvenční činnosti při interakci s pecí.

Navržená metodika byla pak verifikována na reálném zařízení – cementační peci. Výsledky hodnocení spolehlivosti obsluhy pece jsou také uvedeny v této dizertační práci.

5 VERIFIKACE NAVRŽENÉ METODIKY NA CEMENTAČNÍ PECI

5.1 Identifikace nebezpečí spojených s provozem cementační pece

Identifikace nebezpečí je prvním krokem posuzování rizik a podkladem pro další analýzu a hodnocení rizik. Pro identifikaci rizik byla využita metoda HAZOP vzhledem k jejímu systematickému přístupu a důslednosti. V průběhu analýzy HAZOP byly identifikovány následky odchylek a jejich příčiny.

Výbuch může být zapříčiněn výrobní vadou (netěsnost), poruchou prvku zařízení (přetlakového ventilu, hořáku, řídicího systému, ventilu na dusík), chybou obsluhy (zapomenutí na kontrolu množství dusíku a propanu pro hořák), chemickou reakcí propanu a kyslíku a také vnějším vlivem, například výpadkem elektrické energie.

K *popálení obsluhy* může dojít z důvodu nekontrolované vysoké teploty na povrchu pláště kvůli poruše řídicího systému, čidla na teplotu. Také může dojít k *opaření obsluhy* v případě, kdy do olejové lázně byla namísto oleje přidána voda, která se ve velkém množství vypaří, jde o chybu obsluhy.

Nebezpečí udušení nastává při vdechnutí ochranné atmosféry. Ochranné atmosféry neobsahují kyslík, takže při vdechnutí atmosféry v příslušné koncentraci může nastat dýchací nedostatečnost.

Únik dusíku do vnější atmosféry může nastat v případě poruchy celistvosti předkomory nebo retorty, a to buď z důvodu výrobní vady, anebo porušení integrity vzniklé během provozu.

Požáry při úniku atmosféry mohou vzniknout při úniku hořlavého plynu z pece. Olejové páry, mlha mazacích a tažných olejů, saze a prach mohou nebezpečí požáru ještě zvýšit.

Závažný a poměrně pravděpodobný scénář je vzplanutí kaliciho oleje z důvodu přítomnosti vody. Když se vsázka rozžhavená na 900 °C se ponoří do kalici lázně s olejem, který má teplotu 120 °C, voda se rychle odpaří a okyslíčí olej, čímž způsobí vznik obrovského plamene. Obsah vody v oleji je proto nutné kontrolovat při každém podezření na její výskyt (pěna na hladině lázně, větší množství vznikajících par, vyšší plameny apod.).

Kromě ohrožení zdraví a života obsluhy a zaměstnanců přítomných v hale může jakákoliv porucha ovlivnit i kvalitu nauhličování anebo kalení materiálu.

Možnými příčinami jsou:

- chyba obsluhy (opomenutí kontroly dostatečného množství kaliciho oleje, přidání vody namísto oleje do nádrže, nastavení cementačního potenciálu),
- porucha řídicího systému anebo čidla (při teplotě nižší než 750 °C, plyn vstupující do retorty se nerozloží na potřebný pro cementace uhlík a vodík),
- zaseknutí dveří retorty (vsázka se nedostane do předkomory pro kalení),
- porucha kyslíkové sondy, která řídí složení cementační atmosféry.

Jak je známo, prostoj výroby vede k ekonomickým ztrátám, proto je důležité dbát na funkčnost provozu. Cementační pec má podmínky zahájení procesu cementace, například v případě nefunkčnosti hořáku se pec nezapne, cementace nebude zahájena, při teplotě nižší než 750 °C řídicí systém nedovolí vstup plynů. Určitým způsobem může k nefunkčnosti hořáku přispět i obsluha tím, že nezkontroluje množství propanu v zásobníku anebo neotevře kulový ventil.

Za další následek může být destrukce zařízení. Například jestliže bude čidlo posílat špatný signál o teplotě, dojde k nekontrolovanému zahřátí pece a k následující destrukci retorty. Pokud dojde k navýšení teploty v elektro-prostoru pecí (např. kvůli poruše ventilátoru), může dojít k poškození kabelu, dávkovače, relé atd.

5.2 Identifikace úkolů obsluhy cementační pece

Cementační pec je ovládána prostřednictvím dotykového panelu operátora umístěného na rozvaděči řídicího systému. Pomocí ovládacího panelu lze nastavovat parametry cementace nebo vyvolávat požadované funkce. K ovládání vybraných funkcí cementační pece pak slouží ještě přenosný ovládací pult, umístěný na stojanu.

Zařízení smí obsluhovat pouze proškolení pracovníci. Proškolení obsluhy se musí provádět v pravidelných ročních intervalech.

Obsluha zařízení musí být informována o nebezpečích spojených s její činností a musí být seznámena s bezpečnostními opatřeními, které musí respektovat.

Během obsluhy cementační pece musí operátor provést následující kroky:

1. Kontrola zařízení:

- Kontrola dostatečného množství procesních plynů a metanolu.
- Kontrola hladiny oleje v nádrži.
- Kontrola tlačítka CENTRAL STOP.

2. Zapnutí napájení linky a příprava k cementaci:

- Stisknutí hlavního vypínače.
- Stisknutí tlačítka START.
- Kontrola funkčnosti hořáku přes ovládací panel.
- Zapnutí topení kalici olejové lázně.
- Čekání na předeřhnutí oleje na teplotu 95-100 °C po dobu cca 4 hod..
- Spuštění programu cementace.

3. Založení vsázky:

- Umístění vsázky ve vaničce na roštu před dveřmi předkomory.
- Stisknutí tlačítka pro otevření dveří.
- Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátoru do předkomory.
- Vrácení manipulátoru do výchozí polohy.
- Stisknutí tlačítka pro zavření dveří.
- Čekání na povolení programu pro další operace.
- Založení vsázky do retorty pomocí ovládacího panelu (stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“).

4. Vytažení vsázky po ukončení programu:

- Stisknutí tlačítka Zpět.
- Stisknutí tlačítka „Vsázka z pece“.
- Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“.
- Vyndání vsázky pomocí manipulátoru.
- Vrácení manipulátoru do výchozí polohy.
- Stisknutí tlačítka pro zavření dveří.

- Odložení vsázky.

5. Vypnutí zařízení:

- Stisknutí tlačítka „AUFK – Vypnutí“ na ovládacím panelu.
- Uzavření hlavních koulových kohoutů na vstupu médií do rozváděče.
- Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE.
- Uvedené kroky jsou uvedené v podobě HTA diagramu v příloze C této práce.

5.3 Identifikace chyb obsluhy cementační pece a nebezpečí s nimi spojených

Pro zjištění odchylek od požadované činnosti operátora a jejich následků byla v této práci použita metoda Human HAZOP. Podobným způsobem, jak se to provádí během HAZOP studií, tým odborníků pomocí klíčových slov generuje odchylky od úkolu (z HTA), který má vykonat obsluha.

Pro určení druhů chyb byla použita taxonomie chyb z metody CREAM, která představuje chybu jako poruchu některé z kognitivních funkcí: pozorování, interpretace, plánování nebo provedení.

Konkrétní typy chyb pro tyto funkce jsou:

1. Pozorování:

- O1: byl pozorován špatný objekt;
- O2: chybné rozpoznání objektu;
- O3: pozorování nebylo provedeno.

2. Interpretace:

- I1: chybná diagnostika;
- I2: chyba v rozhodování;
- I3: zpožděná interpretace.

3. Plánování:

- P1: chyba priorit;
- P2: chybný plán.

4. Provedení:

- E1: byla provedena akce špatného typu;
- E2: byla provedena akce v nevhodný čas;
- E3: byla provedena akce na špatném objektu;
- E4: byla provedena akce ve špatné sekvenci;
- E5: akce nebyla provedena, ačkoli měla být provedena.

5.4 Určení pravděpodobnosti vzniku chyby obsluhy

Pro kvantifikaci chyb obsluhy byla zvolena metoda CREAM. Výsledné hodnoty pravděpodobností vzniku chyby obsluhy jsou zobrazeny v tabulce 1:

Tab. 1 – Nominální a upravené hodnoty HEP pro obsluhu cementační pece

Činnost		Nominální HEP	Upravený HEP
1.1	Stisknutí hlavního vypínače	3.0E-2	3.6E-2
1.2	Kontrola tlačítka CENTRAL STOP	2.0E-1	5.0E-1
1.3	Vytažení tlačítka pokud je aretované	3.0E-2	3.6E-2
1.4	Stisknutí tlačítka „START“	3.0E-2	3.6E-2
2.1	Kontrola dostatečného množství procesních plynů a metanolu	2.0E-1	5.0E-1
2.2	Vizuální kontrola hadic na pokroucení nebo poškození	2.0E-1	5.0E-1
2.3	Vizuální kontrola elektrických připojení	2.0E-1	5.0E-1
2.4	Kontrola hladiny oleje v nádrži	2.0E-1	5.0E-1
2.5	Doplnění nebo výměna oleje v závislosti na situaci	2.0E-1	5.0E-1
		3.0E-3	3.6E-3
2.6	Měření obsahu vody v oleji	2.0E-1	5.0E-1
2.7	Zavření ventilu po kontrole olejové lázně	3.0E-2	3.6E-2
2.8	Kontrola/nastavení příslušných tlaků na redukčních ventilech jednotlivých tlakových lahví	2.0E-1	5.0E-1
		3.0E-3	3.6E-3
2.9	Otevření kulových ventilů na přívodu do rozváděče médií	3.0E-2	3.6E-2
2.10	Kontrola funkčnosti hořáku přes ovládací panel: – na stropě předkomory; – u dveří předkomory.	1.0E-2	2.5E-2
2.11	Zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří pece	3.0E-2	3.6E-2
2.12	Zapnutí cirkulačního ventilátoru	3.0E-2	3.6E-2

3.1	Zapnutí topení kalici olejové lázně	3.0E-2	3.6E-2
3.2	Zapnutí topení retorty	3.0E-2	3.6E-2
3.3	Čekání na přehřátí oleje na teplotu 95-100 °C	1.0E-2	2.5E-2
3.4	Čekání na přehřátí retorty na 750 °C	1.0E-2	2.5E-2
4.1	Stisknutí tlačítka „Dveře předkomory – Dolů“	3.0E-2	3.6E-2
4.2	Stisknutí tlačítka „AUFK zapnout“ pro povolení pohybu mechanických částí	3.0E-2	3.6E-2
4.3	Spuštění programu pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“	3.0E-2	3.6E-2
5.1	Umístění vsázky ve vaničce na roštu před dveřmi předkomory	3.0E-3	3.6E-3
5.2	Stisknutí tlačítka pro otevření dveří	3.0E-3	3.6E-3
5.3	Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátoru do předkomory	3.0E-3	3.6E-3
5.4	Vrácení manipulátoru do výchozí polohy, automatické zavření dveří předkomory	3.0E-2	3.6E-2
5.5	Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	7.0E-2	7.0E-2
5.6	Stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty	3.0E-2	3.6E-2
6.1	Sledování průběhu cementace	7.0E-2	7.0E-2
6.2	Případné odstranění chyb	2.0E-1	5.0E-1
		1.0E-2	3.0E-2
		3.0E-3	3.6E-3
6.3	Stisknutí tlačítka „Vsázka z pece“ po ukončení cementace (tlačítko bude aktivní)	3.0E-2	3.6E-2
7.1	Sledování průběhu kalení	7.0E-2	7.0E-2
7.2	Případné odstranění chyb	1.0E-2	2.5E-2
		1.0E-2	3.0E-2
		3.0E-3	3.6E-3
7.3	Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	7.0E-2	7.0E-2
8.1	Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“	3.0E-3	3.6E-3
8.2	Vyvezení vsázky pomocí zasouvacího mechanismu na základací pozici	3.0E-3	3.6E-3
8.3	Vrácení manipulátoru do výchozí polohy a automatické zavření dveří (nebo stisknutí tlačítka pro zavření dveří)	3.0E-2	3.6E-2
8.4	Odložení vsázky	3.0E-3	3.6E-3

9.1	Stisknutí tlačítka „AUFK – Vypnutí“ na ovládacím panelu	3.0E-2	3.6E-2
9.2	Čekání na Test programu zda je pec vypnutá	7.0E-2	7.0E-2
9.3	Čekání na proplach dusíkem 20 minut	7.0E-2	7.0E-2
9.4	Čekání na zapálení hořáku dveří předkomory, lišty dveří a otevření dveří předkomory	7.0E-2	7.0E-2
9.5	Vypnutí plynů pomocí uzavření hlavních koulových kohoutů na vstupu médií do rozváděče	3.0E-2	3.6E-2
9.6	Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	3.0E-2	3.6E-2

Vzhledem k získaným hodnotám pravděpodobnosti selhání obsluhy a jejich následkům nejkritičtějšími kroky jsou:

- měření obsahu vody v oleji;
- kontrola dostatečného množství proplachového dusíku;
- kontrola dostatečného množství propanu pro hořák;
- kontrola funkčnosti hořáků;
- zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří pece a cirkulačního ventilátoru.

To znamená, že v rámci prevence vzniku havárií a omezení jejich následků v první řadě je potřeba se především soustředit na příčiny chyb uvedených činností a jejich prevenci. Zjištěné hodnoty pravděpodobnosti selhání obsluhy lze využít v analýze rizik v rámci posuzování rizik.

5.5 Návrh opatření pro zabránění chybám a omezení jejich následků

Možné následky chyb obsluhy a způsoby jejich prevence jsou popsány v této kapitole.

Výbuch

Z důvodu přítomnosti hořlavé a výbušné atmosféry v cementační peci je důležité hlídat, aby nedošlo k interakci této atmosféry s kyslíkem. To může nastat buď v případě úniku atmosféry ven z pece anebo průniku kyslíku do prostoru pece. Jako prevence průniku kyslíku slouží nepřetržitá dodávka dusíku během procesu cementace a udržování přetlaku, a také bezpečnostní proplach dusíkem 20 min před začátkem a po ukončení cementace.

Pokud obsluha nekontroluje množství procesního nebo proplachového dusíku a dusík dojde během procesu, existuje nebezpečí výbuchu. Z tohoto důvodu musí být zaprvé obsluha vždy přítomna na svém místě a zadruhé je potřeba mít záložní láhev s plynem.

Systém dávkování dusíku je zálohovaný, proto když dojde dusík v jedné lahvi, systém se automaticky přepne na záložní. Avšak jestliže to obsluha neuhlídá, a obě lahve budou prázdné, může to způsobit závažné následky. V sekvenci fáze cementace C21 – konec cementace, otevření dveře retorty chybí proplach, který se zapíná ve fázi C24 po vyvezení vsazky a zavření dveře retorty. Lze tady navrhnout změnit sekvenci kroků a přidat spouštění proplachu dusíkem ještě před otevřením dveří retorty, aby se mohla chyba zjistit ještě před tím, než se cementační atmosféra dostane do předkomory.

Zdrojem kyslíku v peci může být zkondenzovaná voda, kterou obsahuje kalicí olej. Pro zabránění se olej se přehřívá po dobu 4 hodin na 95-100 °C, aby se voda mohla vypařit. Pro případ opomenutí tohoto důležitého kroku obsluhou lze navrhnout jako opatření automatické blokování dalších procesních kroků na základě hodnoty teploty oleje nebo doby přehřátí oleje.

Dalším zdrojem výbuchu je únik výbušného plynu nebo směsi z roztržených hadic. Proto je důležitá kontrola stavu hadic před každým použitím pece a také provádění pravidelných zkoušek netěsnosti. Jako doplňující opatření také lze navrhnout volbu lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich poškození a instalaci čidla na propan. Retorta, v které probíhá cementace, je

plynotěsná, těsnění z obou stran zajišťuje límec, který je potřeba chladit, aby nedošlo k jeho destrukci. Pro chlazení se používá chladicí okruh s vodou, zapnutí přívodu vody proto je velmi důležité. Pokud se to neprovede a dojde k destrukci límce, cementační výbušná atmosféra se dostane ven z retorty a vznikne nebezpečí výbuchu. Automatické odstavení pece při registraci vyšší teploty límce čidlem je proto nezbytné. Další velice důležitá věc je nikdy nespouštět přívod chladicí vody, když je pec již nahřátá. Voda v okruhu náhle a v obrovském objemu expanduje, dojde k roztržení hadice uvnitř pece, destrukce pece a zasažení obsluhy. Proto nesmí být umožněno obsluze provést tento krok. Lze tady navrhnout jako opatření blokování nahřátí pece řídicím systémem, pokud není spuštěna voda do chladicího okruhu. Pokud nastane nějaká chyba během procesu (např. porucha čerpadla) nebo bude registrována vyšší teplota límce, systém automaticky odstaví pec.

K předehrání a destrukci límce také může dojít, pokud obsluha nepočká na ochlazování pece ve fázi C37 (test programu) a vypne pec příliš brzo. Vypne se ventilátor elektro prostoru pece a chladicí okruh. Z tohoto důvodu je na zvážení autonomní práce ventilátoru a čerpadla vodního oběhu chladicího systému nějakou dobu po vypnutí hlavního vypínače.

Požár

Další nebezpečí, pocházející z provozu cementační pece je požár. Pro kalení vsazky se používá hořlavý kalicí olej a v případě zvýšení jeho teploty nad bod vzplanutí a přítomnosti kyslíku se olej vznítí. Pokud obsluha přidá větší množství oleje, může olej vystříknout na horké části pece a vznítit se. Proto po doplnění oleje je potřeba zkontrolovat hladinu ještě jednou, případně vypustit přebytek oleje pomocí vypouštěcího ventilu.

Degradace oleje způsobuje snížení bodu vzplanutí, proto je důležitá výměna oleje. Každou výměnu je potřeba přidat do záznamu a provádět jeho kontrolu. Dalším opatřením může být výběr oleje s vyšším bodem vzplanutí.

V případě vyššího obsahu kyslíku v olejových párách při ponoření vsázky může dojít k požáru. Měření obsahu vody v oleje doporučuji zahrnout do plánu údržby.

Pro identifikaci požáru lze doporučit instalaci kouřového a zábleskového čidla.

Udušení a otrávení

Jak bylo popsáno ve studii HAZOP, únik dusíku z roztržené hadice může způsobit udušení obsluhy. Proto je potřeba kontrolovat jejich celistvost. V případě opomenutí tohoto kroku obsluhou lze doporučit následující opatření:

- volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabráňujících jejich poškození;
- provádění pravidelných zkoušek těsnosti;
- instalace detektoru dusíku;
- zajištění dostatečného větrání na pracovišti.

Další nebezpečnou látkou používanou při provozu cementační pece je metanol. Vdechování vysoké koncentrace metanolu může způsobit otravu. Volbu lepších konstrukcí pláště hadic a pravidelné zkoušky těsnosti lze tady také doporučit jako opatření.

Opaření

K opaření obsluhy může dojít v případě opomenutí zavření ventilu po kontrole olejové lázně anebo otevření ventilu za chodu pece, kdy je v předkomoře přetlak.

Doporučuje se instalace varovné značky před olejoznakem (např. „Nekontroluj za chodu pece“) a automatické blokování ventilu, když je pec zapnutá.

Popálení

Popálení obsluhy může způsobit plamen bezpečnostní lišty a případný požár v předkomoře. Doporučuje se zvážit instalaci zábran. Dalším zdrojem popálenin je horký povrch vsázky. Odložení vsázky proto je potřeba vykonávat v ochranných rukavicích.

Další úrazy

Cementační pec, kromě výše uvedených nebezpečí, je také zdrojem mechanických nebezpečí, a to přivření ruky do pece a úraz kvůli pádu vsázky na nohu.

Doporučuje se proto uvážit instalaci optické závory a práci v bezpečnostní pracovní obuvi.

5.6 Mapa zlepšení stavu systému působením na PSF

V této práci bude popsána další možnost analýzy vztahů mezi faktory ovlivňujícími spolehlivost člověka, a to pomocí metody kvalitativního modelování [25], která nevyžaduje přesné (kvantitativní) informace o zkoumaném modelu, což v případě PSF není možné získat.

Použitá metoda používá pro popis trendů v časových řadách pouze tři možné hodnoty:

- kladná (rostoucí, +);
- nulová (konstantní, 0);
- záporná (klesající, -).

Kvalitativní model je soustava kvalitativních rovnic, zobrazujících relaci vztahů n proměnných: $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ (2)

Řešením modelu (2) je sada m kvalitativních n -rozměrných scénářů zahrnujících následující triplety:

$$[(X_1, DX_1, DDX_1), (X_2, DX_2, DDX_2), \dots, (X_n, DX_n, DDX_n)]_j, \quad j=1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

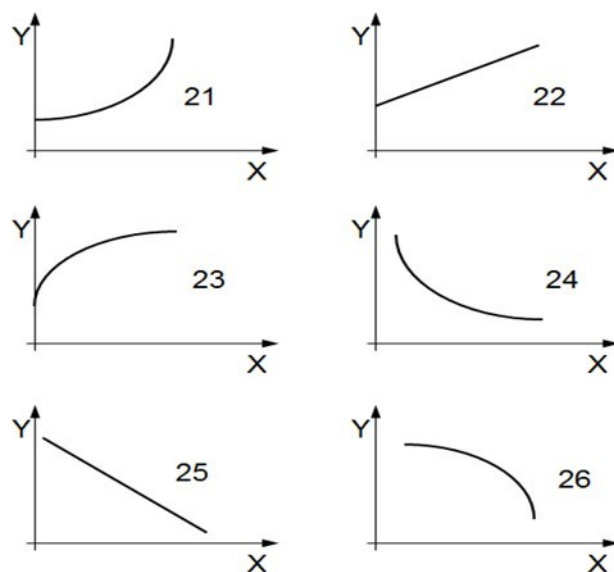
kde DX_i a DDX_i jsou první a druhá derivace proměnné X_i vzhledem k nezávislé proměnné t .

Pro vytvoření kvalitativního modelu bylo vybráno 10 faktorů (viz tabulka 2):

Tab. 2 – Vybrané faktory pro kvalitativní model

No.	Proměnná	Faktor	Podmnožina (C nebo L)
1	REL	Spolehlivost obsluhy (Human reliability)	L
2	SAT	Spokojenost zaměstnance (Employee satisfaction)	L
3	SAL	Mzdové náklady (Labour cost)	C
4	INT	Intelligence (Intelligence)	C
5	AGE	Věk (Age)	C
6	EDU	Vzdělání (Education)	C
7	EXP	Zkušenosti (Experience)	C
8	TIM	Dostupný čas (Available time)	L
9	ENV	Prostředí (Environment)	C
10	STR	Stres (Stress)	L

Korelační vztahy dvou proměnných lze zobrazit pomocí následujících grafů (viz obrázek 2):



Obr. 2 – Korelační vztahy proměnných

Všechny vztahy X, Y na obrázku jsou kvalitativního charakteru. Například vztah č. 23 ukazuje, že:

- Vazba je rostoucí, první derivace je kladná;
- Existuje horní limit Y, jehož číselná hodnota není známa;
- Pokud $X = 0$, pak hodnota Y je kladná.

Vzájemné závislosti mezi proměnnými jsou založeny na výzkumu publikovaném v literárních zdrojích [1], [26], [27], [28] aj. Pro každý pár faktorů byly vybrány příslušné kvalitativní vztahy (oboustranné vazby) (viz obrázek 2). Faktory bez vzájemných závislostí byly označeny „X“ (viz tabulka 3).

Tab. 3 – Vzájemné závislosti mezi faktory v kvalitativním modelu

	REL	SAT	SAL	INT	AGE	EDU	EXP	TIM	ENV	STR
REL	-									
SAT	23	-								
SAL	23	22	-							
INT	23	22	21	-						
AGE	26	23	22	23	-					
EDU	23	22	21	22	22	-				
EXP	23	21	21	X	22	X	-			
TIM	23	23	23	X	X	X	X	-		
ENV	23	23	21	23	X	23	X	22	-	
STR	26	22	25	25	21	22	25	25	25	-

Všechny vazby uvedené v tabulce 3 byly přidány do následujícího vstupního modelu (tabulka 4). V prvním sloupci je pořadové číslo, v druhém je druh grafu, ve třetím a čtvrtém jsou uvedeny proměnné, které na sebe působí a v posledním sloupci je zapsáno, jaká bude Y proměnná (záporná, nulová, kladná), když X proměnná je rovná nule.

Tab. 4 – Vstupní model

1 23 SAT REL 0	10 21 EXP SAT 0	19 22 EDU INT 0
2 23 SAL REL 0	11 23 TIM SAT 0	20 23 ENV INT 0
3 23 INT REL 0	12 23 ENV SAT 0	21 25 STR INT 0
4 26 AGE REL 0	13 21 INT SAL 0	22 21 STR AGE 0
5 23 EDU REL 0	14 21 EDU SAL 0	23 23 ENV EDU 0
6 26 STR REL 0	15 21 EXP SAL 0	24 25 STR EXP 0
7 22 SAL SAT 0	16 23 TIM SAL 0	25 22 ENV TIM 0
8 22 INT SAT 0	17 21 ENV SAL 0	26 25 STR TIM 0
9 22 EDU SAT 0	18 25 STR SAL 0	27 25 STR ENV 0

Chování nestabilního stavu může být popsáno časovou řadou scénářů (3). Při vývoji algoritmů používaných k vytváření proveditelných sekvencí je možné vzít v úvahu různé pohledy. Například scénáře jsou založeny na první a druhé derivaci (3). Avšak ignorované/neznámé třetí deriváty mohou být hnací silou přechodu mezi dvěma scénáři, pokud je studován následující triplet (+ + +).

Např. pokud je třetí derivát negativní, nastane následující přechod:

$$(+ + +) \rightarrow (+ + 0)$$

Mezi triplety jsou možné přechody, které vznikají změnou jakékoliv derivace.

Výsledkem simulace jsou scénáře obsažené v následující tabulce 5.

Tab. 5 – Scénáře přechodů mezi triplety

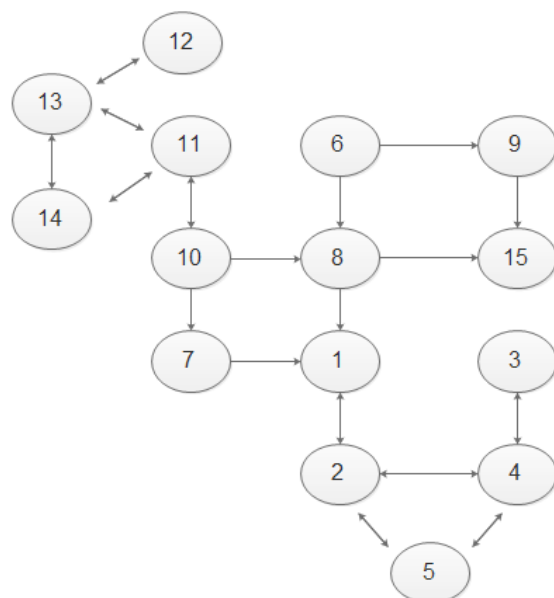
Scénář/ faktor	REL	SAT	SAL	INT	AGE	EDU	EXP	TIM	ENV	STR
1	+++	+++	+++	+++	+--	+++	+++	+++	+++	+--
2	++0	+++	+++	+++	+--	+++	+++	+++	+++	+--
3	++-	+++	+++	+++	+ - +	+++	+++	+++	+++	+--
4	++-	+++	+++	+++	+ - 0	+++	+++	+++	+++	+--
5	++-	+++	+++	+++	+--	+++	+++	+++	+++	+--
6	++-	++-	++-	++-	+ - +	++-	++-	++-	++-	+ - +
7	+0+	+0+	+0+	+0+	+0-	+0+	+0+	+0+	+0+	+0-
8	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00
9	+0-	+0-	+0-	+0-	+0+	+0-	+0-	+0-	+0-	+0+
10	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-
11	+ - 0	+ - +	+ - +	+ - +	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-
12	+--	+ - +	+ - +	+ - +	+++	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-
13	+--	+ - +	+ - +	+ - +	++0	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-
14	+--	+ - +	+ - +	+ - +	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-
15	+--	+--	+--	+--	+++	+--	+--	+--	+--	+++

Pro náš případ jsou nejzajímavější scénáře, kde spolehlivost a spokojenost obsluhy stoupá a zároveň náklady na zaměstnance klesají. To lze vyjádřit následujícím způsobem:

Variable	Goals, i.e. desired trends	
Human reliability	REL	Increase
Employee satisfaction	SAT	Increase
Salary	SAL	Decrease

Z výsledků provedené analýzy je vidět, že tento scénář není možný (nelze dlouhodobě provozovat zařízení, jehož obsluhu realizuje spolehlivá a spokojená obsluha s klesajícími náklady na pracovníka). Pokud má být obsluha spolehlivá a spokojená při výkonu své práce, je potřeba zvýšit také náklady spojené s výkonem práce. Proto se zaměříme na scénáře, kde spolehlivost, spokojenost, jakož i náklady na pracovníka stoupají, jak je patrné ve scénářích 1 až 6 v tabulce 5.

Ostatní scénáře odkazují na případy, kdy spolehlivost obsluhy klesá, jedná se tedy o nežádoucí situaci. Abychom zjistili, je-li možno přejít z aktuálního scénáře, ve kterém se nachází systém, do požadovaného scénáře, je možné použít matici přechodu, která je graficky znázorněna na obrázku 3.



Obr. 3 – Přechody mezi scénáři

Na tomto orientovaném grafu je znázorněno, jak může být daného scénáře dosaženo. Uzly představují jednotlivé scénáře, orientované spojnice – možné přechody mezi scénáři.

Scénář 15 představuje situaci, kdy již neexistuje cesta pro zlepšování, jedná se o nejhorší stav, kde jsou všechny parametry nevyhovující. Ze scénáře 9 máme jedinou cestu do nevyhovujícího scénáře 15. Při přechodu ze scénáře 6 do scénáře 9 dosáhneme nejhoršího stavu. V opačném případě scénář 6 povede k 8. Scénář 8 je nulový bod (rozhodující), odtud se můžeme dostat jak do nejlepšího, tak do nejhoršího scénáře. Přechodu z nevyhovujícího scénáře 12 do vyhovujícího scénáře 1 lze dosáhnout několika cestami:

- 12 → 13 → 11 → 10 → 7 → 1,
- 12 → 13 → 14 → 11 → 10 → 7 → 1,
- 12 → 13 → 11 → 10 → 8 → 1,
- 12 → 13 → 14 → 11 → 10 → 8 → 1.

Pokud uvažujeme první cestu 12 → 13 → 11 → 10 → 7 → 1, potom se při přechodu 12 → 13 se mění faktor „AGE“. Přechod 13 → 11 je doprovázen dvěma změnami: faktorů „REL“ a „AGE“. Zásadními přechody jsou 10 → 7 a 7 → 1, kde se mění všech 10 proměnných. Některé proměnné jsme schopni kontrolovat, např. faktory „INT“, „AGE“, „EDU“, „EXP“ můžeme ovlivnit tím, že záměrně přijmeme na pracovní pozici lepšího uchazeče. Faktor „ENV“ je také kontrolovatelný, fyzikální podmínky na pracovišti a ergonomie jsou měřitelné a je možné je měnit. Proměnnou „SAL“ anebo náklady na pracovníka je možné také ovlivnit. Ostatní faktory, jako jsou spolehlivost, spokojenost zaměstnance, dostupný čas pro vykonání úkolu a stres jsou ovlivnitelné pouze nepřímo. Stav 2 až 5 ovlivňuje pouze věk zaměstnanců. Tento fakt může být způsoben tím, že faktor „AGE“ má nejvíc interakcí ve vstupním modelu.

Prostřednictvím daného modelu lze říct, jakým způsobem je možné po zmapování situace zvýšit spolehlivost a spokojenost obsluhy. Z vytvořeného modelu je vidět, že k uskutečnění tohoto cíle nevede cesta ve snižování nákladů na zaměstnance. Při výběru vhodného pracovníka bychom se měli soustředit na faktory věku, inteligence, vzdělání a zkušeností uchazeče.

6 ZÁVĚR

Tato disertační práce vznikla jako reakce na absenci postupu hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnost provozu strojních zařízení, konkrétně průmyslových pecí.

Průmyslové pece mohou představovat ohrožení pro obsluhu, ve zvlášť kritických případech i pro celý podnik a okolní obyvatelstvo. Aby se zabránilo nežádoucím následkům spojeným s provozem průmyslových pecí byla vytvořena soustava požadavků jejichž naplněním se možné riziko minimalizuje. Tyto požadavky jsou definovány v nařízeních a směrnících Evropského společenství, legislativě České republiky a technických normách. V předložené dizertační práci bylo provedeno vyhodnocení těchto požadavků a stavu vědeckého poznání v oblasti hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnosti průmyslových pecí.

Z rešerše legislativních dokumentů, technických norem a vědeckých článků vyplynulo, že neexistuje žádná veřejná metodika, kterou by mohl výrobce strojních zařízení (např. právě průmyslových pecí) využít pro hodnocení spolehlivosti lidského činitele.

Proto byla následně provedena rešerše uvedené problematiky v jiných průmyslových odvětvích, kde lidský činitel hraje velkou roli, a to: chemickém průmyslu, letectví a jaderné energetice.

Na základě provedené analýzy byl stanoven hlavní cíl dizertační práce: návrh metodiky pro posouzení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí.

Při tvorbě metodiky analýzy vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí bylo využito již existujících metod, používaných pro hodnocení spolehlivosti LČ v jiných oblastech. Navržená metodika zahrnuje:

- metodu HAZOP pomocí které se identifikují nebezpečí, spojená s provozem průmyslové pece;
- metodu HTA pro identifikace úkolů, které vykonává obsluha pece;
- metodu Human HAZOP pro identifikace chyb obsluhy a nebezpečí, spojených s chybami;
- metodu CREAM pomocí které se určuje pravděpodobnost vzniku chyby obsluhy.

Z důvodu absence přístupu, který by zohledňoval vliv vzájemné interakce faktorů na spolehlivost obsluhy, byl také v této disertační práci navrhnout postup analýzy vztahů mezi faktory s použitím metody kvalitativního modelování.

Metodika byla vyvinuta tak, aby ji bylo možné zařadit do rámce posouzení rizik dle normy ČSN EN 12100; výsledky získané užitím této metodiky slouží jako vstupní údaje pro posouzení rizik.

Metodika může být použita pro analýzu vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí složitější konstrukce, kde se používají nebezpečné látky, a spolehlivost operátora hraje velkou roli. Metodika je použitelná zejména pro provozy kde operátor vykonává sekvenční činnosti při interakci s pecí.

Navržená metodika byla pak verifikována na reálném zařízení – cementační peci. Výsledky hodnocení spolehlivosti obsluhy pece jsou také uvedeny v této disertační práci.

V praktické části práce byl věnován prostor i diskuzi výsledků jednotlivých částí metodiky, kde je zahrnuta rovněž perspektiva budoucích prací v oboru spolehlivosti lidského činitele a také z ní vyplývá význam výsledků vzhledem k realizaci v praxi a praktická doporučení.

Výhodami navržené metodiky jsou:

- odhalení případných chyb obsluhy, které by při běžném posuzování rizik mohly uniknout,
- určení kritických úkolů vykonávaných obsluhou pece, na které je potřeba se soustředit;
- návrh na zlepšení stavu systému a zvýšení bezpečnosti při provozu pece.

Nevýhodou metodiky je, že neodhaluje scénáře, kdy dochází k souběhu několika selhání současně. Metoda Human HAZOP navazuje na sekvenci úkolů obsluhy z metody HTA a analyzuje jednotlivá selhání obsluhy odděleně a také za podmínek, že prvky zařízení fungují správně. Toto by bylo možné vyřešit pomocí analýzy jednotlivých scénářů, například pomocí metody ETA, která umožňuje se podívat na scénáře komplexně. Metoda ETA zahrnuje iniciační událost, např. poruchu prvku zařízení a reakce obsluhy spolu s následky takových reakcí. Metodu ETA by bylo možné propojit s metodou FTA v podobě tzv. motýlkového grafu „Bow-tie“, kde se zjišťuje, jak k jednotlivé iniciační události mohlo dojít. Další možností vylepšení metodiky je doplnění analýzy spolehlivosti obsluhy v případě havarijního režimu, kde úkolem obsluhy je zabránit pokračování havarijního scénáře a tím zmírnit následky.

- ***Teoretický přínos dizertační práce:***

V rámci vypracování disertační práce bylo dosaženo:

- provedení studie současného stavu posuzování vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí a v jiných oblastech;
- provedení studie v oblasti lidského činitele a HRA metod;
- provedení studie přístupů pro hodnocení faktorů ovlivňujících výkon obsluhy;
- vytvoření základu pro vznik dalších vědeckých prací zaměřených na posuzování vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí.

- ***Praktický přínos dizertační práce:***

V rámci vypracování disertační práce bylo dosaženo:

- vytvoření metodiky posuzování vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí;
- vytvoření postupu pro analýzu vztahů mezi faktory ovlivňujícími spolehlivost obsluhy pomocí metody kvalitativního modelování;
- verifikace vyvinuté metodiky na reálném zařízení – cementační pece.

- ***Pedagogický přínos dizertační práce***

V rámci vypracování disertační práce byly získány znalosti, které:

- jsou využitelné v předmětech zaměřených na průmyslovou bezpečnost;
- mohou být základem pro bakalářské nebo diplomové práce.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SPURGIN, Anthony J. *Human reliability assessment. Theory and practice*. USA: CRC Press, 2010. 300 s. ISBN 978-1-4200-6851-1.
- [2] MUKHAMETZIANOVA, Leisan a Luboš KOTEK. Prevence havárií zapříčiněných selháním lidského činitele v České republice a Rusku. In: *Plné texty přednášek konference Aproxchem 2012*. Praha: PCHE PetroCHemEng, 2012, s. 8. ISBN 978-80-02-02376-0.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES. In: L 157/24. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32006L0042>
- [4] ČSN EN ISO 12100: 2011. Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] ČSN EN 746-1:1998+A1:2010. Průmyslová tepelná zařízení – Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky na průmyslová tepelná zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [6] DENTONI, Valentina a Giorgio MASSACCI. Occupational exposure to whole-body vibration: unfavourable effects due to the use of old earth-moving machinery in mine reclamation. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2013, vol. 27, issue 2, s. 127–142. DOI: 10.1080/17480930.2012.672271. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17480930.2012.672271>
- [7] SVELANA, L., Z. MAIRITA a S. ANITA. Noise levels of the most commonly used hand tools. In: *19th International Congress on Sound and Vibration 2012, ICSV 2012*. Vilnius, 2012, Pages 1823–1827. ISBN 978-162276465-5.
- [8] HOTTA, G., D. ISHIBASHI, Y. OHBUCHI a H. SAKAMOTO. Analysis of the human risk factor which affects the reliability and safety of machinery. 2015-05-06, 287–298. DOI: 10.2495/SAFE150251. Dostupné také z: <http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SAFE15-025-1>
- [9] GOLDA, G., KAMPA, A., & PAPROCKA, I. (2018). Analysis of human operators and industrial robots performance and reliability. *Management and Production Engineering Review*, 9(1), 24–33. doi:10.24425/119397
- [10] DEMICHELA, M., PIRANI, R., & LEVA, M. C. (2014). Human factor analysis embedded in risk assessment of industrial machines: Effects on the safety integrity level. *International Journal of Performability Engineering*, 10(5), 487– 496.
- [11] Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí k rozsahu a způsobu zpracování dokumentu „Posouzení vlivu lidského činitele na objekt nebo zařízení v souvislosti s relevantními zdroji rizik“ podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. In: *Věstník ministerstva životního prostředí*. Praha: ALQ Plus, s.r.o, 2007, roč. 17. ISSN 0862-9013.
- [12] Zákon č. 224/2015 Sb.: o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2006, 25.
- [13] ROBERTO GONZALEZ, J., DARBRA, R. M., ARNALDOS, J. (2013). Using Fuzzy Logic to Introduce the Human Factor in the Failure Frequency Estimation of Storage Vessels in

Chemical Plants. Chemical Engineering Transactions. 32. 193 – 198. 10.3303/CET1332033.

[14] ZAREI, Esmaeil, Mohammad YAZDI, Rouzbeh ABBASSI a Faisal KHAN. A hybrid model for human factor analysis in process accidents: FBN-HFACS. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019, 57, 142 – 155. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.11.015. ISSN 09504230. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950423018306752>

[15] WIEGMANN, Douglas A a Scott A SHAPPELL. A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system. Burlington, VT: Ashgate, 2003, xv, 165 p. ISBN 0754618757.

[16] ŠULC, Jiří a Vladimír NĚMEC. *Lidský činitel v údržbě letadel*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 151 s. ISBN 80-720-4482-6.

[17] CAP 719 Fundamental Human Factors Concepts. Civil Aviation Authority, 2002. Dostupné také z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/cap719.pdf>

[18] HUMAN FACTORS DIGEST No. 6: ERGONOMICS. Montreal: International civil aviation organization, 1992.

[19] Flight-crew human factors handbook CAP 737. Civil Aviation Authority, 2014. Dostupné také z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%20737%20DEC16.pdf>

[20] SKŘEHOT, Petr. Spolehlivost lidského činitele. In: Oborový portál pro BOZP [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/spolehlivost-lidskeho-cinitele>

[21] HAZOP. *Výzkumný ústav bezpečnosti práce* [online]. 2005 [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/HAZOP>

[22] FUCHS, Pavel a David VALIŠ. Technická univerzita v Liberci. *Metody analýzy a řízení rizika*. Liberec, 2004.

[23] SKŘEHOT, Petr. Hierarchical Task Analysis. In: *VUBP* [online]. 2010 [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: http://www.vubp.cz/index.php/component/docman/doc_download/147-hta-metoda

[24] RICHTER, Marek. *Hodnocení spolehlivosti lidského činitele*. Brno, 2010. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/17314/2010_DP_RICHTER_MAREK_48742.pdf?sequence=1. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Luboš Kotek, Ph.D.

[25] VICHÁ, T. a M. DOHNAL. Qualitative feature extractions of chaotic systems. Chaos, Solitons & Fractals [online]. 2008, 38(2), 364-373 [cit. 2019-03-02]. DOI: 10.1016/j.chaos.2008.01.008. ISSN 09600779. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960077908000155>

[26] Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, 2010. ISBN 9780470925096.

[27] GROTH, Katrina M. A DATA-INFORMED MODEL OF PERFORMANCE SHAPING FACTORS FOR USE IN HUMAN RELIABILITY ANALYSIS. Maryland, USA, 2009. Dizertace. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.

[28] MODARRES, M. Risk analysis in engineering: techniques, tools, and trends. Boca Raton, 2006. ISBN 978-157-4447-941.

8 ŽIVOTOPIS

Osobní informace

Příjmení, jméno	Mukhametzianova Leisan
Datum narození	3. února 1988
Adresa	Blažková, 5 Brno – 638 00
Telefon	+420 734 520 996
E-mail	leisan.muhamet@gmail.com

Vzdělání

2011 – dosud	VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, doktorské stadium
březen – červenec 2013	Technická univerzita ve Vídni, výměnný studentský pobyt
2009 – 2011	Kalašnikova Iževska státní technická univerzita, Fakulta řízení jakosti, magisterské studium
2005 – 2009	Kalašnikova Iževska státní technická univerzita, Fakulta řízení jakosti, bakalářské studium

Znalosti a dovednosti

Jazykové znalosti	Ruština, čeština, angličtina
Práce na PC	Vybrané programy: MS Office, základy Compass, Matlab, Mathcad, ALOHA
Pedagogická činnost	Řízená výuka z předmětu: <i>Měřicí technika, Bezpečnostní inženýrství, Pokročilé metody managementu rizik, Pokročilé metody bezpečnostních analýz, Průmyslová bezpečnost</i>

9 SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ

- [1] MUKHAMETZIANOVA, L.; KOTEK, L. Prevence havárií zapříčiněných selháním lidského činitele v České republice a Rusku. In Plné texty přednášek konference Aprochem 2012. Praha: PCHE PetroCHemEng, 2012. s. 1 – 8. ISBN: 978-80-02-02376-0.
- [2] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L. Validation of human error probabilities with statistical analysis of misbehaviors. *Procedia Engineering*, 2012, roč. 2012, č. 42, s. 1955 – 1959. ISSN: 1877-7058.
- [3] MUKHAMETZIANOVA, L.; KOTEK, L. Comparison of approaches to prevention of injuries, accidents and incidents between the Czech Republic and Russia. In *Engineering mechanics 2012 Conference proceedings*. Praha: Academy of Sciences of the Czech Republic, 2012. s. 893 – 899. ISBN: 978-80-86246-40-6.
- [4] DURAKBASA, N.; MUKHAMETZIANOVA, L.; BAS, G.; GÜCLÜ, E. The Role of MMS in an Integrated Management for Improving Production Efficiency and Quality. In *Vision 2020: Innovation, Development Sustainability, and Economic Growth*. 2013. s. 1385 – 1393. ISBN: 978-0-9860419-0-7.
- [5] MUKHAMETZIANOVA, L.; BLECHA, P. Způsob splnění požadavků EU a Ruské federace v oblasti související s funkční bezpečností strojních zařízení. *Journal of Safety Research and Applications (JOSRA)*, 2013, roč. 6, č. 1, s. 1 – 7. ISSN: 1803-3687.

- [6] MUKHAMETZIANOVA, L.; KOTEK, L. Comparison of Approaches to Major Accident Prevention between the European Union and Russia. *Chemical Engineering Transactions*, 2013, roč. 2013, č. 31, s. 271 – 276. ISSN: 1974-9791.
- [7] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L.; BABINEC, F. Snížení koncentrace kyslíku – modelování následků nehody. In *Sborník příspěvků. Mikulov: ICCT, 2013. s. 1 – 4. ISBN: 978- 80-86238-37-1.*
- [8] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L.; BABINEC, F. Prevence úniku závadných látek do vod a havarijný plán v průmyslovém podniku. In *Týden vědy, výzkumu a inovací pro praxi 2013. Praha: CEMC, 2013. s. 1 – 4. ISBN: 978-80-85990-22-5.*
- [9] MUKHAMETZIANOVA, L. Analýza rizik a identifikace chyb obsluhy průmyslových pecí. In *Týden výzkumu a inovací pro praxi 2014. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2014. s. 1181 – 1185. ISBN: 978-80-85990-25-6.*
- [10] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L.; BLECHA, P. Zkušenosti s použitím samohodnocení bezpečnosti v průmyslu. *Journal of Safety Research and Applications (JOSRA)*, 2014, roč. 2014, č. 3 – 4, s. 1 – 7. ISSN: 1803-3687.
- [11] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L.; BLECHA, P.; HOLUB, M. Low Concentration of Oxygen in External Environment – Modeling the Consequences of Accident. In *Chemical Engineering Transactions. Italy: Associazione Italiana di Ingegneria Chimica, 2014. s. 73 – 78. ISBN: 978-88-95608-27-3. ISSN: 2283-9216.*
- [12] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L. Experience with Using Self-Audit Handbook for SMEs in Process and Power Industry. In *Chemical Engineering Transactions. Italy: Associazione Italiana di Ingegneria Chimica, 2014. s. 73 – 78. ISBN: 978-88-95608-27-3. ISSN: 2283-9216.*
- [13] KOTEK, L.; TRÁVNÍČEK, P.; BABINEC, F.; JUNGA, P.; MUKHAMETZIANOVA, L. Impact of microclimate conditions on the control room personnel - case study. *MM Science Journal*, 2015, roč. 2015, č. 3, s. 682 – 685. ISSN: 1803-1269.
- [14] MUKHAMETZIANOVA, L.; KOTEK, L.; DOHNAL, M. Qualitative model of performance shaping factors in HRA. *MM Science Journal*, 2015, roč. 2015, č. 4, s. 731 – 734. ISSN: 1803-1269.
- [15] KOTEK, L.; TRÁVNÍČEK, P.; BABINEC, F.; JUNGA, P.; MUKHAMETZIANOVA, L. Vliv faktorů pracovního prostředí na pracovníky na velínu. In *TVIP 2015. Praha: CEMC, 2015. s. 1 – 6. ISBN: 978-80-85990-26-3.*
- [16] KOTEK, L.; TRÁVNÍČEK, P.; BABINEC, F.; JUNGA, P.; MUKHAMETZIANOVA, L. Vliv vybraných mikroklimatických podmínek na pracovníky ve velínu. *Automa*, 2015, roč. 2015, č. 5, s. 48 – 50. ISSN: 1210-9592.
- [17] KOTEK, L.; MUKHAMETZIANOVA, L. Identifikace zdrojů rizik cementační pece. In *TVIP 2015. Praha: CEMC, 2015. s. 15 – 24. ISBN: 978-80-85990-26-3.*
- [18] KOTEK, L.; BABINEC, F.; TRÁVNÍČEK, P.; MUKHAMETZIANOVA, L. Specifický typ poruchy průmyslové pece. In *TVIP 2016. Hustopeče: CEMC, 2016. s. 1 – 3. ISBN: 978-80- 85990-28-7.*
- [19] KOTEK, L.; TŮMA, Z.; BLECHA, P.; MUKHAMETZIANOVA, L. Risk based workload and staffing level analysis. In *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice - Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2016. London: CRC Press, 2016. s. 2997 – 3001. ISBN: 978-1-138-02997-2.*

10 ABSTRAKT

Předložená dizertační práce je zaměřena na hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. Průmyslové pece jsou klasifikovány jako strojní zařízení a patří ke skupině průmyslových tepelných zařízení. Provoz průmyslových pecí je zatížen riziky, která si uvědomují jak výrobci, tak provozovatelé pecí.

V první části práce je uvedena analýza současného stavu legislativy a vědeckého poznání v oblasti hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. V této části práce je dále popsáno řešení problematiky lidského činitele v jiných průmyslových odvětvích: chemickém průmyslu, letectví a jaderné energetice. Na základě provedené rešerše je pak stanoven hlavní cíl dizertační práce: vypracování metodiky posuzování vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. Dále jsou uvedeny sekundární cíle.

Druhá část práce se věnuje posouzení rizik spojených s provozem průmyslových pecí a posouzení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. Jsou popsány bezpečnostní požadavky na pece, proces posouzení rizik průmyslových pecí, metody používané při posouzení rizik a problémy spojené s posouzením rizik. V této části práce je vysvětlen pojem lidský činitel, předložena klasifikace a popis metod používaných pro posouzení spolehlivosti lidského činitele a také popsány faktory ovlivňující spolehlivost obsluhy.

Třetí část práce obsahuje navrženou metodiku posouzení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. V rámci metodiky jsou stanoveny faktory ovlivňující spolehlivost lidského činitele na pracovišti, zapracováno kvalitativní a kvantitativní hodnocení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí a navržena systémová integrace poznatků do vyvíjené metodiky – kvalitativní model pro zlepšení stavu systému. Metodika je dále verifikovaná na reálném zařízení – cementační peci.

The presented doctoral thesis is focused on assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces. Industrial furnaces are classified as machinery and belong to a group of industrial thermal equipment. The operation of industrial furnaces is burdened with the risks which the manufacturers and the furnace operators realize.

11 ABSTRACT

The first part of the thesis presents an analysis of the current situation of legislation and scientific knowledges in the field of assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces. In this part of the thesis the issue of human factor in other industrial branches: chemical industry, aviation and nuclear industry is also described. On the basis of conducted research the main aim of the thesis was established: preparation of a methodology for assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces. Secondary targets were also listed.

The second part deals with the assessment of risks connected with the operation of industrial furnaces and the assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces. The furnace safety requirements, the process of furnaces risk assessment, the methods used for risk assessment and problems connected with the risk assessment are described. This part of the thesis explains the concept of human factor, presents a classification and description of the methods used for human reliability assessment, as well as the factors influencing the reliability of the operator.

The third part of the thesis contains a proposed methodology for assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces. Within the methodology performance shaping factors are stated, qualitative and quantitative assessment of human factor impact on safety of industrial furnaces is made and the system integration of the knowledges into the developed methodology is proposed – qualitative model for improvement of system state. The methodology is further verified on a real equipment – a hardening furnace.