



# 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

### DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Leisan Mukhametzianova

### ŠKOLITEL

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2019

## **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.

### **Klíčová slova**

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

## **Abstract**

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.

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.

## **Key words**

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

**Bibliografická citace**

MUKHAMETZIANOVA, Leisan. *Vliv lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí*. Brno, 2019. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Luboše Kotka, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne.....

.....

Leisan Mukhametzianova

## **Poděkování**

Děkuji školiteli Ing. Luboši Kotkovi, Ph.D., za příkladné vedení, cenné rady a připomínky, za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů, které přispěly k napsání této dizertační práce. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu.

# OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	9
2.1	VLIV LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST PRŮMYSLOVÝCH PECÍ .....	9
2.1.1	Legislativní požadavky na bezpečnost průmyslových pecí .....	9
2.1.2	Požadavky technických norem na bezpečnost průmyslových pecí.....	11
2.1.3	Stav vědeckého poznání v oblasti řešené problematiky.....	13
2.2	ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE V JINÝCH PRŮMYSLOVÝCH ODVĚTVÍCH.....	14
2.2.1	Chemický průmysl.....	14
2.2.2	Letectví .....	115
2.2.3	Jaderná energetika.....	12
2.3	ZÁVĚRY Z ANALÝZY SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	13
3	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE .....	15
4	POSOUZENÍ RIZIK SPOJENÝCH S PROVOZEM PRŮMYSLOVÝCH PECÍ.....	20
4.1	VŠEOBECNÉ BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA PRŮMYSLOVÉ PECE DLE ČSN EN 746-1:1998+A1:2010 .....	20
4.2	POŽADAVKY NA POSOUZENÍ RIZIK PRŮMYSLOVÝCH PECÍ DLE ČSN EN ISO 12100:2011 .....	23
4.3	METODY POUŽÍVANÉ PŘI POSOUZENÍ RIZIK.....	29
4.4	PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ PŘI POSOUZENÍ RIZIK .....	30
5	POSOUZENÍ VLIVU LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST PRŮMYSLOVÝCH PECÍ .....	31
5.1	POJEM LIDSKÝ ČINITEL.....	31
5.2	METODY POUŽÍVANÉ PRO POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE .....	31
5.2.1	Klasifikace metod .....	31
5.2.2	Popis nejčastěji používaných metod .....	33
5.2.3	Faktory ovlivňující spolehlivost obsluhy.....	35
5.3	PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ PŘI POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE .....	40
5.4	POPIS NAVRŽENÉ METODIKY POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE .....	41
5.4.1	Posouzení spolehlivosti lidského činitele v rámci posouzení rizik.....	41
6	VERIFIKACE NAVRŽENÉ METODIKY NA CEMENTAČNÍ PECE .....	44
6.1	POPIS PROCESU CHEMICKO-TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ.....	44
6.2	POPIS CEMENTAČNÍ PECE VYBRANÉ K VERIFIKACI.....	43
6.3	POSOUZENÍ VLIVU LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST CEMENTAČNÍ PECE .....	

.....	51
6.3.1 Identifikace nebezpečí .....	51
6.3.1.1 Identifikace nebezpečí spojených s provozem cementační pece .....	51
6.3.1.2 Identifikace úkolů obsluhy cementační pece .....	53
6.3.1.3 Identifikace chyb obsluhy cementační pece a nebezpečí s nimi spojených.....	54
6.3.2 Odhad rizika.....	53
6.3.2.1 Určení pravděpodobnosti vzniku chyby obsluhy.....	53
6.3.3 Snížení rizika .....	70
6.3.3.1 Návrh opatření pro zabránění chybám a omezení jejich následků .....	70
6.3.3.2 Mapa zlepšení stavu systému působením na PSF .....	72
7 ZÁVĚR.....	73
8 POUŽITÁ LITERATURA .....	75
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	84
10 SEZNAM OBRÁZKŮ .....	90
11 SEZNAM TABULEK.....	91
12 SEZNAM PŘÍLOH .....	92
13 SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ .....	93
PŘÍLOHA A POROVNÁNÍ HRA METOD .....	91
PŘÍLOHA B HAZOP .....	101
PŘÍLOHA C HIERARCHICAL TASK ANALYSIS.....	132
PŘÍLOHA D HUMAN HAZOP .....	133
PŘÍLOHA E CREAM – COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD .....	155



# 1 ÚVOD

*„Většina rizik vzniká v důsledku lidských činností, rozhodně tedy je v lidských silách alespoň těch nejzávažnějších rizik se vyvarovat.“ [1]*

Jiří Hlinovský

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 [2]. Asi 30 % všech nehod je způsobeno selháním lidského činitele, v některých zdrojích tato hodnota dosahuje až 50 % [3].

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 nedýchacelné 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. Zatím nebyla vyvinuta žádná metodika pro posouzení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí.

Proto jako hlavní cíl této dizertační práce bylo zvoleno vytvoření metodiky pro posouzení vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí. Sekundárním cílem je verifikace navržené metodiky na reálné cementační peci.

## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 VLIV LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST PRŮMYSLOVÝCH PECÍ

#### 2.1.1 Legislativní požadavky na bezpečnost průmyslových pecí

Průmyslové pece jsou klasifikovány jako strojní zařízení a patří do skupiny průmyslových tepelných zařízení. Za strojní zařízení anebo stroj se považuje montážní celek sestavený z části nebo součástí strojů, z nichž je alespoň jedna pohyblivá, s příslušným pohonným systémem, vzájemně spojenými za účelem specificky přesně stanoveného použití [4].

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 směrnicích Evropského společenství, legislativě České republiky a technických normách.

Aby výrobce průmyslových pecí mohl uvádět svoje výrobky na trh, musí splňovat požadavky zejména následujících legislativních dokumentů:

- Rozhodnutí Evropského Parlamentu a Rady č. 768/2008/ES ze dne 9. července 2008 o společném rámci pro uvádění výrobků na trh a o zrušení rozhodnutí Rady 93/465/EHS [5],
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES [6],
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2014/30/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility [7],
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2014/35/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí na trh [8],
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/104/ES ze dne 16. září 2009 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání pracovního zařízení zaměstnanci při práci [9].

Na pece s provozním tlakem větším než 0,5 bar se vztahuje Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/68/EU ze dne 15. května 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání tlakových zařízení na trh [10]. Na pece určené k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu anebo přístroje, nutné pro bezpečné fungování pece z hlediska nebezpečí výbuchu se vztahuje Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu [11].

V ČR platí následující dokumenty stanovující technické požadavky na průmyslové pece:

- Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh [12] (2014/35/EU),
- Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh [13] (2014/30/EU),
- Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení [14] (2006/42/ES),
- Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. o bližších požadavcích na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí [15] (2009/104/ES),
- Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a jeho novela č. 91/2016 Sb. [16],

- Zákon č. 262/2006 Sb. zákoník práce [17],
- Vyhláška Úřadu bezpečnosti práce 48/1982 Sb., kterou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení [18].

Dokumentem potvrzujícím splnění požadavků uvedených předpisů je ES/EU Prohlášení o shodě. Vystavením prohlášení o shodě výrobce získává nárok na použití značky CE na zařízení uváděném na trh.

Základním dokumentem týkajícím se bezpečnosti průmyslových pecí je strojní směrnice 2006/42/ES. Podle směrnice 2006/42/ES výrobce strojního zařízení zejména musí:

- Zajistit posouzení rizika s cílem určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost a konstruovat zařízení s přihlédnutím k výsledkům posouzení rizika.
- Vzít v úvahu nejen předpokládané použití strojního zařízení, ale rovněž jakékoli důvodně předvídatelné nesprávné použití způsobem, který není uveden v návodu k používání, který však může vyplývat ze snadno předvídatelného lidského chování [6].

Tudíž je pro výrobce průmyslových pecí povinností brát v úvahu hledisko lidského činitele.

S lidským činitelem také těsně souvisí ergonomie jako faktor, který ovlivňuje spolehlivost obsluhy. Dle strojní směrnice [6] při předpokládaných podmínkách používání musejí být nepohodlí, únava a fyzická a psychická zátěž obsluhy sníženy na co nejmenší míru, přičemž se vezmou v úvahu tyto ergonomické zásady:

- umožnit přizpůsobení se tělesným rozměrům, síle a výdrži obsluhy,
- poskytnout dostatečný prostor pro pohyb všech částí těla obsluhy,
- vyhnout se tempu práce, které udává stroj,
- vyhnout se kontrolním činnostem, které vyžadují dlouhou pozornost,
- přizpůsobit rozhraní člověk-stroj předvídatelným vlastnostem obsluhy.

Ovládací systémy musí být navrženy a konstruovány tak, aby nedocházelo k nebezpečným situacím. Zejména musí být navrženy a konstruovány tak, aby:

- snesly zátěž běžného používání a odolávaly vnějším vlivům,
- závada v technickém nebo programovém vybavení ovládacího systému nevedla k nebezpečným situacím,
- chyby v logice ovládacího systému nevedly k nebezpečným situacím,
- důvodně předvídatelná lidská chyba při ovládání nevedla 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.

## 2.1.2 Požadavky technických norem na bezpečnost průmyslových pecí

V současné době se normy vydávají Evropskými normalizačními orgány CEN (Evropský výbor pro normalizaci – European Committee for Standardization) a CENELEC (Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice – European Committee for Electrotechnical Standardization) a také mezinárodními organizacemi ISO a IEC.

Evropské technické normy týkající se bezpečnosti strojních zařízení se rozdělují do tří skupin:

- „normy typu A“ – základní bezpečnostní normy, stanovující obecné základní pojmy, zásady a postupy pro projektování, které je možné uplatnit ke všem strojním zařízením, např. postupy pro posuzování rizika a volbu vhodných bezpečnostních a/nebo ochranných opatření;
- „normy typu B“ – skupinové bezpečnostní normy, rozdělené do dvou skupin, zabývající se buď jednotlivými bezpečnostními aspekty, např. bezpečnými vzdálenostmi, rozměry mezer, teplotami povrchu apod. (normy typu B1), nebo jednotlivými bezpečnostními zařízeními, např. zařízením pro nouzové zastavení, dvouručním ovládacím zařízením, ochrannými kryty apod. (normy typu B2);
- „normy typu C“ – výrobkové normy, které obsahují detailní bezpečnostní a hygienické požadavky pro stroje určitého typu nebo typově příbuzné skupiny strojů, například mechanické lis, hydraulické lis, obráběcí centra apod.

Pokud se ustanovení a požadavky norem různých typů odlišují, mají přednost normy typu C. [19]

Pro provedení posouzení rizik lze výrobcí použít harmonizovanou normu ČSN EN ISO 12100:2011 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika (norma typu A) [4]. Tato norma zahrnuje příklady nesprávného použití stroje nebo snadno předvídatelného lidského chování, které by měly být vzaty v úvahu při návrhu stroje:

- ztráta kontroly nad strojním zařízením ze strany obsluhy;
- reflexní chování osoby v případě chybné funkce, nehody nebo závady při používání strojního zařízení;
- chování vyplývající z nedostatečné pozornosti či nepozornosti;
- chování vyplývající ze snahy jít při plnění určitého úkolu cestou nejmenšího odporu;
- chování vyplývající z tlaku udržet strojní zařízení v chodu za všech okolností;
- chování určitých osob, například dětí.

V části 5.4 Identifikace nebezpečí je uvedeno, že se mají uvážít úkoly spojené s fázemi strojního zařízení a nebezpečí spojená s těmito úkoly, avšak identifikace chyb obsluhy zde není vyžadována. V části 5.5.3 *Hlediska, která mají být uvažována při odhadu rizika* je uvedeno, že při odhadu rizika musí být uvažovány lidské faktory, jako vzájemné působení mezi osobou a strojem, stres, ergonomie, zácvik, zkušenosti a schopnosti obsluhy, únava apod.

Pro zajištění bezpečné konstrukce průmyslových pecí byla vytvořena řada harmonizovaných norem (normy typu C):

- ČSN EN 746-1:1998+A1:2010 Průmyslová tepelná zařízení – Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky na průmyslová tepelná zařízení [20];
- ČSN EN 746-2:2011 Průmyslová tepelná zařízení – Část 2: Bezpečnostní požadavky na zařízení ke spalování a manipulaci s palivou [21];
- ČSN EN 746-3:1998+A1:2010 Průmyslová tepelná zařízení – Část 3: Bezpečnostní požadavky na výrobu a použití řízených atmosfér [22];

- ČSN EN 746-4:2000 Průmyslová tepelná zařízení – Část 4: Zvláštní bezpečnostní požadavky na galvanizační tepelná zařízení [23];
- ČSN EN 746-5:2005 Průmyslová tepelná zařízení – Část 5: Zvláštní bezpečnostní požadavky na tepelná zařízení se solnými lázněmi [24];
- ČSN EN 746-8:2001 Průmyslová tepelná zařízení – Část 8: Zvláštní bezpečnostní požadavky na zařízení pro kalení [25].

Norma ČSN EN 746-1:1998+A1:2010 specifikuje všeobecné bezpečnostní požadavky pro průmyslová tepelná zařízení (např. průmyslové pece či jiná tepelná zařízení v různých průmyslových oborech), 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 následujících harmonizovaných normách:

- ČSN EN ISO 14120:2017 + Opr.1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů [26];
- ČSN EN ISO 14119:2014 + Opr.1:2015 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu [27];
- ČSN EN ISO 13849-1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci [28];
- ČSN EN ISO 13849-2:2013 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 2: Ověřování platnosti [29];
- ČSN EN 62061:2005 + Změna: A2:2016 – Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností [30].

Norma ČSN EN ISO 26800:2012 [31] uvádí obecný přístup k ergonomii a specifikuje základní ergonomické zásady a pojmy.

Pro splnění ergonomických požadavků na průmyslové pece pak lze použít následující harmonizované normy:

- ČSN EN 349+A1:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla [32];
- ČSN EN ISO 14738:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení [33];
- ČSN EN 614-1:2006+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady navrhování – Část 1: Terminologie a všeobecné zásady [34];
- ČSN EN 614-2:2000+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady pro projektování – Část 2: Interakce mezi konstrukcí strojního zařízení a pracovními úkoly [35];
- ČSN EN ISO 13732-1:2009 Ergonomie tepelného prostředí – Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy – Část 1: Horké povrchy [36];
- ČSN EN 1837+A1:2010 – Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů [37];

- ČSN EN ISO 14159:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Hygienické požadavky pro konstrukci strojních zařízení [38].

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. Požadavky na tyto prvky jsou zohledněny v normách:

- ČSN EN 894-3+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovládačů - Část 3: Ovládače [39];
- ČSN EN 61310-1 ed. 2:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 1: Požadavky na vizuální, akustické a taktilní signály [40];
- ČSN EN 61310-2 ed. 2:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 2: Požadavky na značení [41];
- ČSN EN 61310-3 ed. 2:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 3: Požadavky na umístění a funkci ovládačů [42].

Některé neharmonizované normy se také zmiňují o lidském činiteli. Norma ČSN EN 31010:2011 – Management rizik - Techniky posuzování rizik zdůrazňuje význam hodnocení lidského činitele: „*Důležitost metody HRA je ilustrována pomocí různých nehod, při kterých kritické lidské chyby přispěly ke katastrofickému sledu událostí. Takové nehody jsou varováním pro posuzování rizik, které se soustřeďuje pouze na hardware a software v systému.*“ [43]

Norma ČSN EN 60300-1 ed. 2:2015 – Management spolehlivosti – Část 1: Návod pro management a použití také zmiňuje o lidském činiteli v příloze B.2, tabulce B.1: „*Ustanoví se kritéria návrhu pro lidského činitele.*“ [44]

Norma ČSN EN 62508:2011 - Návod pro lidská hlediska spolehlivosti [89] uvádí návod, jak mohou být lidská hlediska spolehlivosti uvažována ve všech etapách životního cyklu systému včetně ergonomických principů.

V této normě je poskytnut přehled principů spolu s některými příklady metod, které mohou být použity.

I přesto, že byly vytvořeny legislativní požadavky na bezpečnost, provádí se posouzení rizik, kde se identifikují možná nebezpečí a navrhují se opatření, stále dochází při provozu průmyslových pecí k nehodám [45], [46], [47], [48].

### 2.1.3 Stav vědeckého poznání v oblasti řešené problematiky

V roce 1982 byl Ústředním výzkumným ústavem v Plzni publikován jeden z prvních dokumentů zmiňujících se o spolehlivosti lidského činitele v České republice [49]. Tento dokument se věnuje otázce spolehlivosti lidského činitele v technických systémech tj. systémech, zahrnujících člověka/lidi a stroj/stroje. Může to být jak pozice jeřábníka, dispečera apod., kteří pracují na stálých pracovištích, tak řidiče, pilota, kosmonauta, u kterých se prostředí neustále mění.

Autoři tohoto dokumentu uvádějí, že „*operátor je z jednoho hlediska nejslabším článkem v systému, na druhé straně je však nejvýkonnějším prvkem systému.*“ Stroj má větší spolehlivost při výkonu rutinní práce, kdežto člověk je nenahraditelný v situacích, kde je potřeba improvizace a rozhodování.

Spolehlivost člověka v technickém systému je vyjadřována pravděpodobností, že zadaná úloha bude operátorem splněna v průběhu určeného času a za známých definovatelných podmínek. Je potřeba věnovat pozornost spolehlivosti člověka v etapě vývoje a projektování systému a také ve výrobním procesu.

Jak je uvedeno v dokumentu [50], po mnoho let byly analýzy rizik zaměřovány na zvýšení spolehlivosti systému působením na „mechanické“ části. Nicméně v posledních letech se šíří povědomí, že prevence nehod a úrazů musí obsahovat důsledné posouzení rizika, které bere v úvahu

lidský činitel. O důležitosti propojení hodnocení spolehlivosti lidského činitele a posouzení rizik se také zmiňují autoři článku „Risk and Human Reliability Assessments at a Tool Factory and Control Suggestions“ [125].

Problematikou bezpečnosti průmyslových pecí se zabývá pracoviště na Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, které publikovalo článek „Rizika vzniku nebezpečné atmosféry v elektrické peci a opatření k jejich eliminaci“ [51].

Většina publikací v oblasti rizik strojních zařízení je zaměřena spíše na ergonomii než na spolehlivost lidského činitele. Problematice vlivu vibrací je věnován např. článek „Occupational exposure to whole-body vibration: unfavourable effects due to the use of old earth-moving machinery in mine reclamation“ [52], vliv hluku popisuje např. článek „Noise levels of the most commonly used hand tools“ [53].

G. Hotta a kol. se ve svém článku „Analysis of the human risk factor which affects the reliability and safety of machinery“ [54] zabývají analýzou vlivu člověka na spolehlivost strojů z hlediska údržby a zvyšování spolehlivosti zařízení snížením MTTR (mean time to repair – střední doba do obnovení). Autory byl navrhnout behaviorální model založený na preferované volbě inženýrem údržby alternativ skládajících ze tří akčních prvků: plánování, akce a hodnocení. Model byl také verifikován na jednotlivcích a skupinách s cílem hodnocení odlišností v jejich chování.

Autoři článku „Analysis of human operators and industrial robots performance and reliability“ [55] porovnávají výkonnost a spolehlivost průmyslových robotů a pracovníků pomocí počítačové simulace pracoviště. Popisují faktory ovlivňující spolehlivost člověka ve výrobním procesu, především faktory věku, zkušeností, únavy, nemoci, změn nálady. Také jsou popsány kategorie lidských chyb a klasifikovány prostoje z různých důvodů. Důležitost zohledňování lidského činitele při stanovení úrovně integrity bezpečnosti (SIL) pro bezpečnostní přístrojové systémy je popsána ve článku „Human factor analysis embedded in risk assessment of industrial machines: Effects on the safety integrity level“ [56]. Pro kvantifikaci pravděpodobnosti vzniku lidské chyby byla vybrána autory metoda THERP.

Problematice lidského činitele je věnována pozornost ve vědeckých člancích a publikacích, avšak doposud neexistuje žádná veřejná metodika pro hodnocení lidského činitele při posuzování rizik strojních zařízení.

## **2.2 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE V JINÝCH PRŮMYSLOVÝCH ODVĚTVÍCH**

### **2.2.1 Chemický průmysl**

Chemický průmysl je oblast, ve které je kladen velký důraz na hodnocení vlivu lidského činitele, a to v rámci prevence závažných havárií (PZH), která se týká objektů a zařízení s významným množstvím nebezpečných chemických látek nebo přípravků.

Závažnou havárií se v tomto případě rozumí mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost (únik, požár, výbuch), která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, a vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážnému dopadu na životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat a životní prostředí nebo k újmě na majetku [57].

S cílem předcházet škodlivým účinkům závažných průmyslových havárií přesahujících hranice jednotlivých států na lidské zdraví, životní prostředí a majetek byla vytvořena Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států [58]. Česká republika se stala smluvní stranou 10. 9. 2000. Důraz je kladen na podporu preventivních opatření zaměřených na hodnocení rizika a předcházení vzniku závažných havárií a v případě, že k nim došlo, na jejich účinnou likvidaci. Příloha I definuje nebezpečné látky pro účely vymezení nebezpečných činností a je čistě technického charakteru. [59]

V rámci Evropského společenství je oblast chemického průmyslu regulována pomocí Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES (direktiva SEVESO III) [60].

V ČR jsou požadavky úmluvy o účincích průmyslových havárií a direktivy SEVESO III zajištěny zákonem č. 224/2015 Sb. o prevenci závažných havárií [57]. Podle tohoto zákona je provozovatel povinen vypracovat analýzu a hodnocení rizik závažné havárie. Způsob zpracování analýzy je stanoven vyhláškou č. 227/2015 Sb. Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí [61] doporučuje způsob a rozsah posouzení vlivu lidského činitele na objekt nebo zařízení v souladu se zákonem o PZH. Pro účely zákona je posouzení vlivu LČ řešeno jako posouzení spolehlivosti a chybování člověka při výkonu stanovených pracovních činností. Toto řešení tvoří nedílnou součást analýzy a hodnocení rizik.

Analýza a hodnocení rizik se provádí pro všechny fáze životního cyklu objektu/zařízení, její součástí je také hodnocení vlivu lidského činitele na technologii a zařízení. Hodnocení vlivu lidského činitele obsahuje zejména tyto části:

- Identifikaci kritických pracovních pozic;
- Kategorizaci systému člověk-technologie;
- Analýza úkolů prováděných při obsluze zařízení s identifikovaným rizikem;
- Zjištění osobnostních determinantů spolehlivosti lidského činitele.

Téma spolehlivosti lidského činitele v chemickém průmyslu je poměrně dobře zpracované. Kniha „Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety“ [62] poskytuje praktické rady ohledně možnosti snížení pravděpodobnosti lidské chyby na všech úrovních v chemickém průmyslu.

Autoři článku „Using Fuzzy Logic to Introduce the Human Factor in the Failure Frequency Estimation of Storage Vessels in Chemical Plants“ [63] upozorňují na obtížnost získání dat o selhání lidského činitele v různých databázích a navrhují způsob zahrnutí lidského činitele do hodnocení frekvence poruch skladovacích nádob v chemickém průmyslu pomocí fuzzy logiky.

V dalším článku „A hybrid model for human factor analysis in process accidents: FBN-HFACS“ [64] je konstatováno, že lidský činitel má největší vliv na bezpečné fungování chemických procesů. Konvenční metody hodnocení lidského činitele jsou často statické, neschopné vypořádat se s nejistotou dat a modelů a zvažovat nezávislost mezi režimy selhání. Tento článek představuje hybridní dynamický model lidského činitele s ohledem na systém analýzy a klasifikace lidských faktorů – HFACS (Human Factors Analysis and Classification System), teorii fuzzy množin a Bayesovskou síť. Model je testován na havarijních scénářích, ke kterým došlo při spojování potrubí zemního plynu. Výsledky ukazují, že ke vzniku nehod převážně přispívají: špatný výcvik v oblasti bezpečnosti práce, selhání při zavádění zásad řízení rizik a ignorování hlášení o nebezpečných podmínkách. Analyzují se potenciální bezpečnostní opatření založená na rizicích pro prevenci podobných havárií.

## 2.2.2 Letectví

Problematikou lidského činitele se začali zabývat již po druhé světové válce ve Spojených státech. V té době Paul Fitts a Richard Jones řešili otázku spolehlivosti pilota a příčin výskytu jeho chyb [65].

Lidský činitel je nejčastěji se vyskytující příčina všech leteckých nehod (cca 75 %) [66]. S cílem snížit počet nehod v letectví byly mezinárodními organizacemi (JAA, ICAO, EUROCONTROL, ECAC, EASA) vytvořeny příslušné předpisy:

- Předpisy JAR;
- Letecké předpisy řady L;
- ESARR, zaměřené na řízení letového provozu (Air Traffic Management). [67]



Uvedené dokumenty stanovují jak technické požadavky včetně požadavků na řízení letového provozu (Air Traffic Management), tak kvalifikační požadavky pro personál. Také jsou mezi nimi předpisy zaměřené na meteorologii, ochranu životního prostředí a ochranu před protiprávními činy.

Výcvik pilotů a jejich dovedností i znalostí je velmi důležitým faktorem, přispívajícím k bezpečnosti leteckého provozu. Řada předpisů JAR je věnována způsobilosti členů leteckých posádek a různých druhů výcvikových zařízení (letové simulátory, trenažéry letových a navigačních postupů).

V ČR je bezpečnost letectví regulována zákonem č. 49/1997 Sb. o civilním letectví [68]. Podle tohoto zákona „*činnosti leteckého personálu mohou vykonávat osoby, které jsou bezúhonné, odborně a zdravotně způsobilé a které mají platný průkaz způsobilosti k výkonu příslušné činnosti*“. Průkaz způsobilosti se vydává na základě zkoušky a zdravotních testů za předpokladu, že před zkouškou bude absolvována předepsaná výuka a výcvik.

Scott Shappell a Doug Wiegmann vytvořili systém analýzy a klasifikace lidských faktorů – HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) [69], využívaný leteckými silami USA k vyšetřování a analýze lidského činitele v letectví. Jiří Šulc a Vladimír Němec ve své knize „Lidský činitel v údržbě letadel“ [70] věnují pozornost potřebě posuzování lidského činitele v letectví, popisují faktory ovlivňující výkonnost člověka, typy chyb vznikajících při údržbě letadel a management identifikovaných rizik.

Dokument vydaný ICAO v roce 2002 – FUNDAMENTAL HUMAN FACTORS CONCEPTS [71] popisuje rozdíl mezi lidským činitelem a ergonomií, také uvádí faktory ovlivňující spolehlivost pilotů. V dalším dokumentu z roku 1992 – ERGONOMICS [72] jsou popsány ergonomické aspekty uvažované v letectví.

V oboru letectví je věnována pozornost také vzájemné komunikaci a vztahům mezi členy posádky. Pro tyto účely byl vytvořen Crew Resource Management (CRM) a Team Resource Management (TRM). CRM je věnován dokument, vytvořený Úřadem pro civilní letectví ve Velké Británii – Civil Aviation Authority (CAA) [73]. CRM již dlouho slouží k omezení chyb posádky a jejich následků v letectví.

HRA metody, které byly původně vytvořeny pro oblast jaderné energetiky, nacházejí uplatnění i v letectví. Například autoři článku „Assessment of Flight Crew Errors Based on THERP“ [74] provádějí posuzování chyb letové posádky založené na metodě THERP původně vytvořené pro potřeby jaderného průmyslu.

### **2.2.3 Jaderná energetika**

Hlavními nástroji, kterými se řídí jaderná bezpečnost, jsou mezinárodně dohodnuté bezpečnostní standardy a mezinárodní úmluvy, zejména Úmluva o jaderné bezpečnosti [75] a Úmluva o včasném oznamování jaderné nehody [76]. Úmluva o jaderné bezpečnosti ve člancích 11, 12 uvádí požadavek, „*aby pro každé jaderné zařízení po celou dobu jeho životnosti byl k dispozici dostatečný počet kvalifikovaného personálu s příslušným vzděláním, zaškolením a opakovaným výcvikem pro všechny činnosti spojené s bezpečností*“ a „*aby byly brány v úvahu možnosti a hranice lidského výkonu.*“

V EU se jaderná bezpečnost řídí Směrnicí Rady 2009/71/Euratom [77]. Tato směrnice provádí do práva Evropského společenství požadavky hlavních mezinárodních nástrojů, stanovených Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE).

V ČR je bezpečnost jaderného průmyslu regulována atomovým zákonem č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016 [78].

Požadavky na lidský činitel jsou uvedeny v normě ČSN EN 62241:2006 – Jaderné elektrárny – Blokova dozorna – Funkce a indikace výstrah [79], která stanovuje funkční požadavky na systémy výstražné signalizace v blokove dozorně jaderných elektráren. Stanovuje rovněž požadavky na lidského činitele a směrnice pro navrhování indikace výstrah pro blokovou dozornu v jaderných

elektrárnách: „Návrh systému výstražné signalizace musí být ve shodě s normami a konvencemi pro další rozhraní člověk-stroj... v průběhu návrhu má být vybrán primární způsob upoutání pozornosti operátora na výstrahy a vyžadování potvrzování. Má to být obvykle přehled výstražných zpráv zajišťující jednoznačnou identifikaci a záznam.“ (bod 5.7).

První aplikace analýz spolehlivosti lidského činitele v oblasti jaderného průmyslu byly uskutečněny počátkem 50. let 20. století. Rasmussenova zpráva, známá jako WASH-1400 se stala základním pilířem pro metody rozvíjené pro potřeby jaderné energetiky. [80]

Podle Spurgina [2] je oblast jaderné energie pramenem pro rozvoj myšlenek při posouzení pravděpodobnosti rizika (PRA) a hodnocení spolehlivosti LČ. V této oblasti bylo vyvinuto mnoho metod za účelem hodnocení spolehlivosti LČ, např. MERMOS, THERP, ATHEANA, ASEP.

Výzkumným ústavem bezpečnosti práce, v.v.i. v rámci projektu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR „1H-PK/21: Metody a nástroje hodnocení a zvyšování spolehlivosti lidského činitele v provozu JE“ byla vyvinuta metoda MIPS pro vyšetřování příčin mimořádných událostí v chemickém průmyslu či energetice. Článek „Human reliability analysis for probabilistic safety assessment of a nuclear power plant“ [81] popisuje simulaci nouzové situace na jaderné elektrárně s použitím kombinace metod ASEP a THERP pro odhad pravděpodobnosti chyby obsluhy a faktorů ovlivňujících její spolehlivost.

### 2.3 ZÁVĚRY Z ANALÝZY SOUČASNÉHO STAVU 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 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 výrobcí použít harmonizovanou normu ČSN EN ISO 12100:2011 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. 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 fází 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 [20] 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 EN 746, 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 zřejmý 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. 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 prostoje z různých důvodů.

Z legislativního hlediska musí výrobce průmyslových pecí provést posouzení rizika včetně přihlídnutí 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, který doporučuje způsob a rozsah posouzení vlivu lidského činitele na objekt nebo zařízení v souladu se zákonem o prevenci závažných havárií. 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.

V oboru letectví byl vytvořen systém analýzy a klasifikace lidských faktorů, využívaný leteckými silami USA k vyšetřování a analýze lidského činitele v letectví. Byly nalezeny publikace týkající se posuzování lidského činitele v letectví, faktorů ovlivňujících výkonnost člověka, typů chyb vznikajících při údržbě letadel a managementu identifikovaných rizik. 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).

První aplikace analýz spolehlivosti lidského činitele v oblasti jaderného průmyslu byly uskutečněny počátkem 50. let 20. století. Rasmussenova zpráva, známá jako WASH-1400, 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 dizertační 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 POSOUZENÍ RIZIK SPOJENÝCH S PROVOZEM PRŮMYSLOVÝCH PECÍ

### 4.1 VŠEOBECNÉ BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY NA PRŮMYSLOVÉ PECE DLE ČSN EN 746-1:1998+A1:2010

Z hlediska bezpečnosti jsou průmyslové pece zdrojem rizika; využívají se v nich nebezpečné látky (cementační a nitridační kapaliny a plyny, inertní plyny, topné plyny, hořlavé kalicí oleje) za vysokých teplot. Případná porucha nebo chyba operátora může způsobit jak poškození zdraví zaměstnance, tak i závažnější důsledky – požár, výbuch, zadušení. V České republice a jiných státech došlo při provozu průmyslových pecí z důvodu selhání lidského činitele k několika haváriím, a to i s fatálními následky.

Podle normy ČSN EN 746-1:1998+A1:2010 [20] specifickými druhy nebezpečí pro průmyslové pece jsou nebezpečí:

- popálení;
- požáru;
- výbuchu;
- udušení.

#### *Nebezpečí popálení*

Použití vysokých teplot při provozu průmyslových pecí při kontaktu s horkým povrchem může způsobit popálení obsluhy. Proto je nutno provést preventivní opatření k zabránění kontaktu s ovládacími prvky a povrchy se zvýšenou teplotou. Obecně teplotu ovládacích míst stanovuje norma ČSN EN ISO 13732-1:2009 – Ergonomie tepelného prostředí – Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy – Část 1: Horké povrchy [36].

Pokud není možné udržet teplotu povrchu pod stanovenou hodnotou, je třeba učinit preventivní opatření k zabránění dotyku s horkými povrchy (např. pomocí zábran). Požadavky na zábrany stanovuje norma ČSN EN ISO 14120:2017 + Opr.1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů. [26]

Pokud tato opatření nejsou prakticky možná, pak je nutno oblasti se zvýšenou teplotou označit vhodnými značkami, varovným označením apod. a také upozornit na existenci těchto nebezpečí v technické dokumentaci.

Tam, kde není možné vyhnout se kontaktu s ovládacími místy, jejichž teplota je nad stanovenou hodnotou, je nutno používat vhodný ochranný oděv.

#### *Nebezpečí požáru*

Použití hořlavých kalicích olejů v průmyslových pecích může způsobit požár, proto je nutno zabránit tomu, aby se olej dostal k horkým částem.

Pokud je to možné, musí být zařízení konstruováno z materiálů odolných proti ohni a instalováno uvnitř a na ohni odolné konstrukci (ohnivzdornost nesmí být menší než 60 min). Tam, kde není možné vyloučit použití hořlavých materiálů a je nepraktické uplatnění materiálů ohnivzdorných, pak je nutno tyto izolovat od zdrojů tepla a možných zdrojů požáru.

Návrh a konstrukce zařízení musí být taková, aby bránila úniku horkých plynů, produktů spalování a plamenů jinak než k tomu účelu konstruovanými kouřovými kanály, větracími otvory, dvířky apod.

Nutno zvážit zejména následující:

- únik horkých plynů nebo plamenů z otvorů;
- nakládání a vykládání horkých kusů materiálu.

Zvláštní pozornost nutno věnovat nádržím s chladicí směsí, jež obsahují hořlavé oleje. Další požadavky jsou uvedeny v ČSN EN 746-8:2001 – Průmyslová tepelná zařízení – Část 8: Zvláštní bezpečnostní požadavky na zařízení pro kalení [25].

Kapaliny vedoucí teplo musí být netoxické a nesmí být používány při teplotách přesahujících doporučená maxima od výrobce nebo dodavatele těchto kapalin. Vlhkost a obsah kyslíku v těchto kapalinách by měl být kontrolován.

Pokud bude uvažováno s maximální úrovní kapalin vedoucích teplo, je nutno vzít v úvahu jejich roztažnost za běžných provozních podmínek. Systém je nutno opatřit bezpečnostními ventily, které jsou chráněny proti vniknutí nebezpečných kontaminantů (např. vlhkosti, vzduchu).

Každé vytápěcí zařízení pro kapaliny vedoucí teplo je nutno opatřit zařízením zabraňujícím přehřátí.

Vhodné zařízení pro řízení hořáků, topných článků nebo oběhových čerpadel nutno instalovat v těch případech, když jakýkoliv z následujících parametrů bude významný pro bezpečnost:

- tlak;
- teplota;
- hladina (kapaliny).

Další požadavky jsou uvedeny v ČSN EN 746-2 „Průmyslová tepelná zařízení – Část 2: Bezpečnostní požadavky na zařízení ke spalování a manipulaci s palivou“ [21].

Pokud je to možné, protipožární zařízení musí být instalováno na zařízení v místech, kde je největší riziko vzniku požáru. Zvláštní pozornost je nutno věnovat výběru správného hasicího přístroje.

#### *Nebezpečí výbuchu*

U průmyslových pecí využívajících vybušné látky existuje riziko výbuchu, proto zařízení musí být konstruováno tak, aby minimalizovalo toto riziko.

Návrh zařízení musí zahrnovat opatření k zábraně styku hořlavých látek a oxidačních činidel (obvykle vzduch) se zdroji zážehu v mezích hořlavosti.

Odstranění hořlavé (výbušné) směsi lze dosáhnout pročištěním vzduchem nebo inertním plynem (viz ČSN EN 746-2 a ČSN EN 746-3+A1 „Průmyslová tepelná zařízení – Část 3: Bezpečnostní požadavky na výrobu a použití řízených atmosfér“ [22]).

Zvláštní pozornost nutno věnovat zpracovávanému materiálu, který sám o sobě není hořlavý, ale který v důsledku své konstrukce či z jiných důvodů může být pokryt látkami, které mohou tvořit hořlavou směs.

Pokud nemůže být prokázáno, že pravděpodobnost vzniku hořlavé směsi je minimální, nebo že každá předvídatelná exploze bude bezpečně zneškodněna jinými opatřeními, pak je nutno instalovat vybořitelné stěny v místech předpokládaných explozí.

Vybořitelné stěny musí být umístěny po obou stranách zařízení, uvnitř i vně, a musí zajistit takový průběh výbuchu, aby obsluha nebyla vystavena nebezpečí. Síla odlehčení musí být taková, aby odlehčila tlaku výbuchu dříve, než dojde k vážnému poškození zařízení.

Pokud dveře nejsou navrženy jako odlehčení výbuchu, musí být konstruovány tak, aby je nebylo možno otevřít silou možné exploze. Dveře se nebudou otevírat jinak než v předpokládaném směru.

## Nebezpečí udušení/otrávení

Další závažné a možné nebezpečí je nebezpečí udušení obsluhy inertním plynem. V některých pecích se také používají nebezpečné toxické plyny (např. čpavek). Proto při konstrukci zařízení se musí brát v úvahu nebezpečí toxicity (jedovatosti) a dusivosti používaných látek. Konstrukce musí rovněž zahrnovat prostředky k zábraně úniku prachu, výfukových plynů a plynných vedlejších produktů. Tam, kde je určitý únik nevyhnutelný, nutno instalovat vhodné větrací otvory napojené na odtahový systém s nuceným tahem (viz ČSN EN ISO 14123-1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Snižování ohrožení zdraví nebezpečnými látkami emitovanými strojním zařízením – Část 1: Zásady a specifikace pro výrobce strojních zařízení [82]). Je nutno instalovat zvláštní značky varující před nebezpečím.

Preventivní opatření k uvedeným druhům nebezpečí jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 – Preventivní opatření k nebezpečí pocházejícím z průmyslových pecí

Nebezpečí	Preventivní opatření
Popálení	<ul style="list-style-type: none"><li>– omezení přístupu, kde je to možné;</li><li>– zajištění ochrany (izolační bariéry, stínicí desky, ventilace atd.);</li><li>– zajištění varování;</li><li>– označení nebezpečné zóny;</li><li>– zabezpečení a používání osobních ochranných pomůcek;</li><li>– zajištění informací v instrukčních příručkách.</li></ul>
Požár	<ul style="list-style-type: none"><li>– zábrany proti plamenům;</li><li>– efektivní postupy a údržba;</li><li>– udržování čistoty, míchání kalicích prostředků, řízení teploty, zábrana znečištění, samozhášecí systém;</li><li>– zajištění uzavření přívodu procesních plynů;</li><li>– detektory ohně – detektory hořlavého plynu.</li></ul>
Výbuch	<ul style="list-style-type: none"><li>– zajištění odlehčení výbuchu dostačujícího k zábraně rozpadu zařízení;</li><li>– konstrukce k prevenci úniků nespálených plynů, zpětného prošlehnutí v potrubí;</li><li>– hlídač plamene;</li><li>– zajištění jasně definovaného postupu proplachu (např. počet změn objemu) podle okolností;</li><li>– zajištění uzavření přívodu procesních plynů;</li><li>– detektory ohně – detektory hořlavého plynu.</li></ul>
Udušení/otrávení	<ul style="list-style-type: none"><li>– zajištění místního odčerpání, větrání, zajištění řádného odsávání;</li><li>– zajištění detekčních zařízení;</li><li>– zajištění zvláštních značek varujících před nebezpečím,</li></ul>

<p>zajištění varovných zařízení, periodické odebírání vzorků pracovní atmosféry; – definované postupy údržby.</p>
---

Závažným scénářem při provozu průmyslových zařízení je také přerušení dodávky energie a pomocných kapalin. Pokud změna tlaku pomocných tekutin uvádějících v chod nástroje a monitorovací zařízení (např. stlačený vzduch) může způsobit nebezpečnou situaci, je nutno instalovat prostředky, které vypnou zařízení nebo ho uvedou do bezpečného stavu.

Zařízení musí být vybaveno prostředky k přerušení dodávek veškeré energie a rozptýlení všech nashromážděných energií. Zařízení musí být rovněž opatřeno měřicími přístroji, které prokáží, zda došlo k rozptýlení nebezpečné atmosféry, např. prostředky na měření tlaku, měřidly (plynoměry, hodinami), zvukovými nebo vizuálními signály.

Přídavná zařízení, jako jsou vzduchové kompresory, náhradní zdroje elektrické energie, kompresory pro obslužné tekutiny a poháněcí motory, musí být umístěny odděleně od tepelného zařízení. Přívody vzduchu musí být umístěny v otevřených místech mimo výpustě plyných odpadů nebo hořlavých výparů.

Kromě konstrukčních řešení zajišťuje bezpečnost průmyslových pecí také řídicí systém, který monitoruje a řídí stav zařízení. Proto výrobce (konstruktér) musí určit účinky selhání kontrolních systémů v analýze konstrukčního návrhu. Pro případy selhání součástí řídicího systému je nutno zajistit, aby nenastala nebezpečná situace (viz ČSN EN ISO 13849-1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci [28]).

Tam, kde je to potřebné, musí být zařízení opatřeno informačním a varovným zařízením ve vztahu k výskytu selhání. Takovéto zařízení musí splňovat požadavky norem ČSN EN 981+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Systém akustických a vizuálních signálů nebezpečí a informačních signálů [83] a ČSN EN 61310-1 ed. 2: 2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 1: Požadavky na vizuální, akustické a taktilní signály [40].

U průmyslových pecí existují také mechanická nebezpečí, například stlačení ruky v prostoru dvěřních otvorů nebo pohmoždění končetiny z důvodu pádu vsázky. Norma ČSN EN 349+A1:2008 [32] uvádí nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla a ČSN EN ISO 13857:2008+Opr.1:2010 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami [84] bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům dolními končetinami.

## **4.2 POŽADAVKY NA POSOUZENÍ RIZIK PRŮMYSLVÝCH PECÍ DLE ČSN EN ISO 12100:2011**

Výrobce průmyslových pecí je ze zákona povinen provádět posouzení rizik. Postup posouzení rizik je popsán v harmonizované normě ČSN EN ISO 12100:2011 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika (norma typu A) [4]. Splněním požadavků normy výrobce splní tuto povinnost a prokáže, že je zařízení bezpečné a může být provozováno.

Dle této normy je pojem riziko definován jako „kombinace pravděpodobnosti výskytu úrazu a závažnosti tohoto úrazu“. Za úraz se považuje fyzické zranění nebo poškození zdraví.

Pojem riziko souvisí s pojmem „nebezpečí“. Nebezpečí je potenciální zdroj úrazu. Termín „nebezpečí“ může být blíže určen tak, aby byl definován jeho původ (např. mechanické nebezpečí,



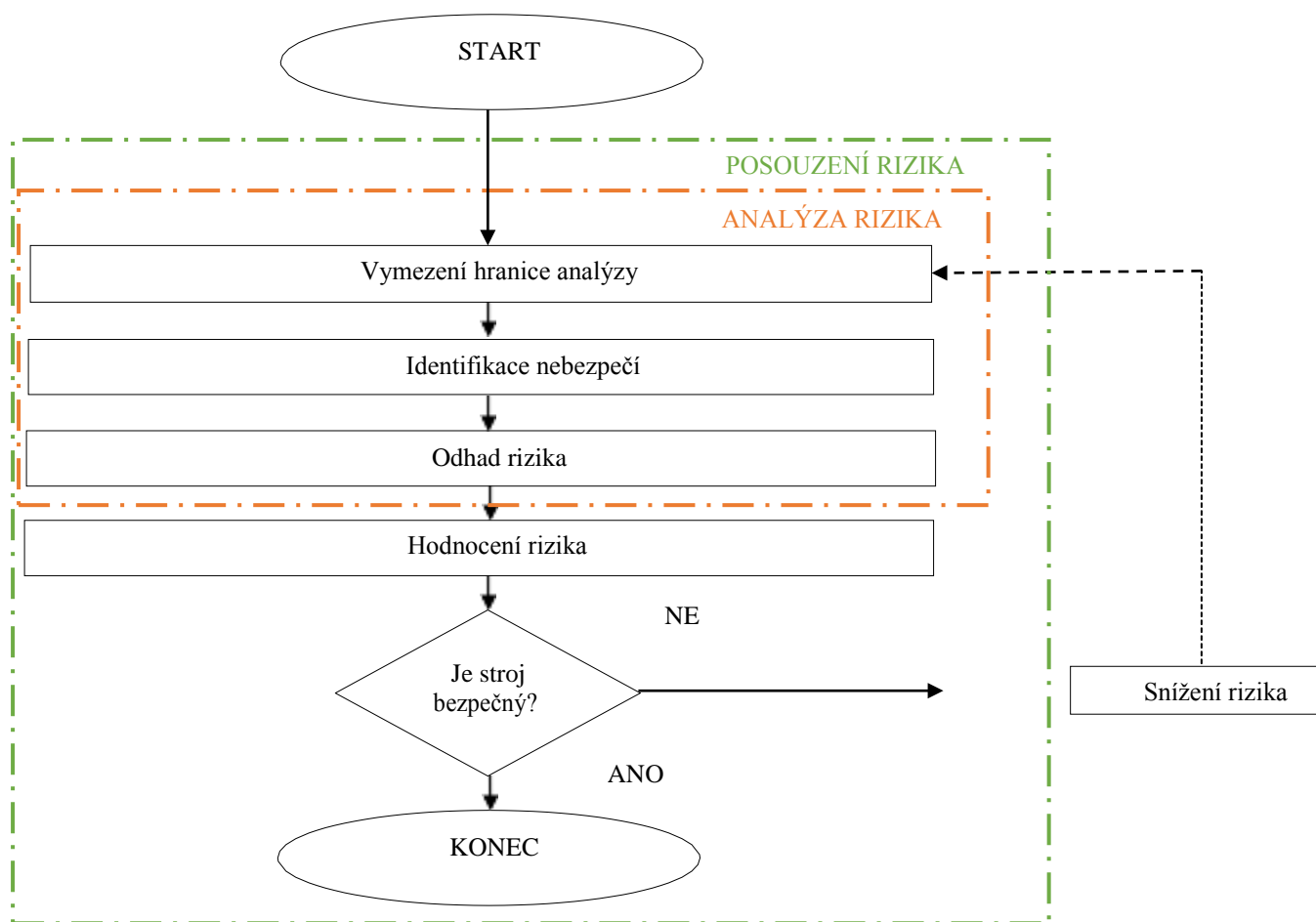
elektrické nebezpečí) nebo druh potenciálního úrazu (např. zasažení elektrickým proudem, nebezpečí říznutí, nebezpečí otravy, nebezpečí požáru).

Nebezpečí předpokládané v této definici je buď:

– nepřetržitě přítomné během předpokládaného používání stroje (např. pohyb nebezpečných pohybujících se prvků, elektrický oblouk při svařování, nevhodná poloha těla, emise hluku, vysoká teplota),

– nebo se může objevit neočekávaně (např. výbuch, nebezpečí stlačení jako důsledek neúmyslného/neočekávaného spuštění, vymrštění jako důsledek roztržení, pád jako důsledek zrychlení/zpomalení).

Norma uvádí v 5. kapitole všeobecné zásady postupu posouzení rizika ve všech fázích životnosti strojního zařízení (viz obrázek 1).



Obr. 1 – Opakovací postup k dosažení bezpečnosti strojního zařízení (převzato a upraveno z [85])

Při posouzení rizika se používají následující informace:

- týkající se popisu strojního zařízení (specifikace, výkresy atd.);
- týkající se předpisů, norem a jiných použitelných dokumentů;

- c) vztahující se ke zkušenosti z používání (historie úrazů, nehod, skoro nehod, zkušenosti uživatelů podobných strojů, výměna informací s potenciálními uživateli);
- d) relevantní ergonomické zásady. [4]

#### *Vymezení hranice analýzy*

Posouzení rizika začíná určením mezních hodnot strojního zařízení s přihlednutím ke všem fázím života strojního zařízení.

Během tohoto kroku mají být určeny:

- a) vymezení používání – předpokládané používání a předvídatelné nesprávné použití:
  - různé provozní režimy stroje a různé postupy zásahů uživatelů včetně požadovaných při selhání stroje;
  - používání strojního zařízení osobami identifikovanými pohlavím, věkem, fyzickými schopnostmi (nebo všeobecné informace o předpokládané populaci uživatele, např. vhodné antropometrické údaje);
  - očekávané úrovně zručnosti, zkušeností nebo schopností uživatelů;
  - vystavení jiných osob nebezpečím, která jsou spojena se strojním zařízením, kde to může být rozumně předvídáno;
- b) vymezení prostoru:
  - rozsah pohybu;
  - požadavky na prostor pro vzájemné působení osob a stroje, např. při provozu a údržbě;
  - vzájemné působení lidí, např. rozhraní obsluha-stroj;
  - rozhraní stroj-dodávka energie;
- c) vymezení doby:
  - životnost strojního zařízení a/nebo některých jeho součástí s přihlednutím k jeho předpokládanému používání a předvídatelnému nesprávnému použití;
  - doporučené intervaly údržby;
- d) ostatní vymezení:
  - vlastnosti zpracovávaného materiálu;
  - udržovatelnost – úroveň požadované čistoty;
  - prostředí – doporučené minimální a maximální teploty, vnitřní/venkovní prostředí, suché/vlhké prostředí, tolerance prachu a vlhkosti atd. [4]

#### *Identifikace nebezpečí*

Po určení mezí strojního zařízení je základním krokem při posouzení rizika systematická identifikace nebezpečí ve všech fázích životního cyklu stroje:

- dopravě, montáži a instalaci;
- uvedení do provozu;
- používání;
- vyřazení z provozu, demontáži a likvidaci.

Norma uvádí možná nebezpečí spojená s použitím strojního zařízení:

- mechanická (vymrštění, stlačení, pořezání atd.);

- elektrická;
- tepelná;
- nebezpečí hluku;
- nebezpečí vibrací;
- nebezpečí záření;
- nebezpečí materiálů/látek;
- ergonomická;
- nebezpečí spojená s prostředím;
- kombinace nebezpečí. [4]

K provedení této identifikace nebezpečí je nezbytné identifikovat činnosti prováděné strojním zařízením a úkoly prováděné obsluhou při vzájemném působení se strojním zařízením.

Konstruktor musí identifikovat nebezpečí s přihlédnutím k následujícímu:

- a) vzájemné působení člověka a stroje během celého životního cyklu stroje:
  - identifikace úkolů spojených se všemi fázemi životního cyklu stroje;
  - identifikace rozumně předvídatelných nebezpečí spojených s úkoly a také netýkajících přímo úkolů;
- b) možné stavy stroje:
  - stroj vykonává předpokládanou funkci (normální provoz stroje);
  - stroj nevykonává předpokládanou funkci (selhání) vlivem různých důvodů;
- c) nepředpokládané chování obsluhy nebo předvídatelné selhání stroje:
  - ztráta kontroly obsluhy nad strojem;
  - reflexní chování osoby v případě selhání, nehody nebo poruchy při používání stroje;
  - chování vyplývající z nedostatečné koncentrace nebo neopatrnosti;
  - chování vyplývající z „cesty nejmenšího odporu“ při provádění úkolu;
  - chování vyplývající z tlaku udržet stroj v chodu za všech okolností;
  - chování určitých osob (např. dětí, invalidních osob). [4]

#### *Odhad rizika*

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

Závažnost může být odhadnuta s přihlédnutím k:

- a) závažnosti zranění nebo poškození zdraví (např. lehké, těžké, smrt);
- b) rozsahu úrazu (např. u jedné osoby nebo u několika osob).

Pravděpodobnost vzniku nebezpečné události ovlivňují:

- a) vystavení osoby (osob) nebezpečím a mimo jiné následující faktory:
  - nutnost přístupu do nebezpečného prostoru;
  - povaha přístupu;
  - doba strávená v nebezpečném prostoru;

- počet osob, jejichž přístup je vyžadován;
- četnost přístupu;
- b) výskyt nebezpečné události a mimo jiné následující faktory:
  - spolehlivost a jiné statistické údaje;
  - historie úrazů;
  - historie poškození zdraví;
  - porovnání rizik;
- c) možnost vyvarování se nebo omezení úrazu a mimo jiné následující faktory:
  - různé osoby, které mohou být vystaveny nebezpečí: kvalifikované, nekvalifikované;
  - jak rychle může vést nebezpečná situace k úrazu: náhle, rychle, pomalu;
  - uvědomění si rizika: všeobecnými informacemi, přímým pozorováním, pomocí výstražných značek/sdělovacích zařízení;
  - lidské schopnosti vyvarování se nebo omezení úrazu;
  - praktické zkušenosti a znalosti, např. strojního zařízení, podobného strojního zařízení, nezkušenost. [4]

Při odhadu rizika musí také být uvažována následující hlediska:

- a) vystavené osoby;
- b) druh, četnost a doba trvání vystavení;
- c) vztah mezi vystavením a účinky;
- d) lidské faktory, např.:
  - vzájemné působení mezi osobou a strojním zařízením, včetně opravy poruchy;
  - vzájemné působení mezi osobami;
  - psychická hlediska (stres);
  - ergonomická hlediska;
  - schopnost osob uvědomit si rizika v dané situaci (zácvik, zkušenosti a schopnosti<sup>1</sup>);
  - hlediska únavy;
  - hlediska omezených schopností (invalidita, věk atd.);
- e) vhodnost ochranných opatření:
  - identifikace okolností, které mohou končit úrazem;
  - použití kvantitativní metody pro porovnání alternativních ochranných opatření;
  - uvedení informací, které mohou přispět k volbě vhodných ochranných opatření.

---

<sup>1</sup>Zácvik, zkušenosti a schopnosti mohou ovlivnit riziko; nicméně žádný z těchto faktorů nesmí být použit jako náhrada za vyloučení nebezpečí, snížení rizika konstrukcí nebo bezpečnostní ochranou, kdekoliv mohou být tato ochranná opatření prakticky realizována.

Jestliže ochranná opatření zahrnují organizaci práce, správné chování, soustředěnost, používání osobních ochranných prostředků, dovednosti nebo zručnosti, musí být při odhadu rizika vzata v úvahu relativně nízká spolehlivost takových opatření v porovnání s ověřenými technickými opatřeními.

f) možnosti vyřazení nebo obejití ochranných opatření;

g) možnost udržení ochranných opatření;

h) informace pro používání: sestávají z komunikačních prostředků, jako jsou texty, slova, značky, signály, symboly nebo diagramy, používané samostatně nebo v kombinaci, aby předávaly informace uživateli. Uživateli musí být poskytnuty informace o předpokládaném používání stroje s přihlednutím ke všem jeho provozním režimům. Informace musí obsahovat všechny pokyny požadované k zajištění bezpečného a správného používání stroje. V tomto ohledu musí uživatele informovat a varovat o zbytkovém riziku. Informace musí uvádět, zda je požadováno zaškolení, zda jsou nutné osobní ochranné prostředky, a možnou potřebu dalších ochranných krytů nebo ochranných zařízení. Musí být také uvedeno varování o riziku, které by mohlo vyplývat z používání stroje jiným způsobem, než je popsáno v informacích pro používání, zejména při předvídatelném nesprávném použití. [4]

### *Hodnocení rizika*

Během vykonání tohoto kroku musí konstruktér kontrolovat, zda při použití nových ochranných opatření nevznikají další nebezpečí nebo se jiná rizika nezvyšují.

Jako součást procesu hodnocení rizika může být provedeno porovnání rizik spojených se strojním zařízením s podobnými strojními zařízeními při srovnatelnosti jejich charakteristik. [4]

### *Snížení rizika*

Snížení rizika může být dosaženo vyloučením nebezpečí a/nebo snížením prvků příslušného rizika:

– závažnost úrazu od uvažovaného nebezpečí;

– pravděpodobnost výskytu úrazu.

Pro dosažení tohoto cíle se určují ochranná opatření v následujícím pořadí:

1. 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.

2. 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.

3. Informace pro používání, kde bude uživatel informován a varován o zbytkovém riziku. [4]

Zabudovaná konstrukční opatření jsou nejdůležitějším krokem vzhledem k jejich účinnosti, kdežto bezpečnostní ochrana může selhat nebo může být obcházena a informace pro používání nemusí být vždy dodrženy.

Proces snižování rizika a volby vhodných bezpečnostních opatření není součástí posuzování rizik.

Technická realizace opatření je upřednostňována před organizačními, jelikož jejich účinnost do značné míry závisí na schopnostech a jednání osob. Pouhé dodržování bezpečnostních předpisů je z hlediska managementu rizik nedostatečné. [1]

Posuzování rizik je prováděno v rámci procesu managementu rizik [86]. Management rizik poskytuje politiku, postupy a organizační uspořádání, které organizace zabuduje do celkového

managementu na všech úrovních [43]. U žádného reálného procesu nelze dosáhnout absolutní bezpečnosti a v případě existence vyššího než mezního rizika musí být zrealizována bezpečnostní a/nebo ochranná opatření.

Management rizik upřednostňuje důslednou prevenci rizika a bezpečnostní opatření zabudované již v etapě návrhu zařízení před ochrannými opatřeními pro snížení rizika, vyvolaného neodstranitelnými nebezpečími. [1]

### 4.3 METODY POUŽÍVANÉ PŘI POSOUZENÍ RIZIK

Metody pro posuzování rizik mohou být kvalitativní, semikvantitativní nebo kvantitativní. Stupeň požadovaných podrobností závisí na dostupnosti dat a potřeb organizace. Některé metody a stupeň podrobností mohou být předepsány legislativou.

Každá metoda má své výhody i nevýhody, její volba je proto závislá na účelu prováděného hodnocení, charakteru dat, která jsou k dispozici a finančních prostředků. [87]

V technické praxi bylo vytvořeno několik metod jak pro ruční aplikaci, tak pomocí vyvinutých softwarových programů. Volbu technik posuzování rizik popisuje norma ČSN EN 31010:2011 – Management rizik – Techniky posuzování rizik [43].

Nejčastěji používanými metodami jsou:

- **CHECK LIST (kontrolní seznam)**

Postup založený na systematické kontrole plnění předem stanovených podmínek a opatření pomocí seznamu kontrolních otázek vyjadřujících charakteristiky posuzovaného systému.

- **PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS – PHA (předběžná analýza nebezpečí)**

Kvantifikace zdrojů rizik založená na vyhledávání nebezpečných stavů či nouzových situací, jejich příčin a dopadů a jejich zařazení do kategorií dle předem stanovených kritérií.

- **HAZARD OPERATION PROCESS – HAZOP (studie nebezpečí a provozuschopnosti)**

Systematický a komplexní přístup pro predikci četnosti a dopadů nehod pro zařízení nebo provoz systému pomocí klíčových slov a parametrů procesu/systému.

- **WHAT-IF ANALYSIS (co se stane, když)**

Postup hledání možných dopadů vybraných provozních situací a hledání nápadů pomocí spontánní diskuse, ve které skupina zkušených lidí dobře obeznámených s procesem klade otázky nebo vyslovuje úvahy o možných nehodách.

- **FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS – FMEA (analýza způsobů a důsledků poruch)**

Postup založený na rozboru způsobů selhání a jejich důsledků, který umožňuje hledání dopadů a příčin na základě systematicky a strukturovaně vymezených selhání zařízení. Metoda FMEA slouží ke kontrole jednotlivých prvků projektového návrhu systému a jeho provozu. Využívá se především pro vážná rizika a zdůvodněné případy. Vyžaduje aplikaci počítačové techniky, speciální výpočetní program, náročnou a cíleně zaměřenou databázi.

- **FAULT TREE ANALYSIS – FTA (analýza stromu poruchových stavů)**

Postup, který zpětně rozebírá příčiny vrcholové události pomocí rozvětveného grafu. Hlavním cílem analýzy je posoudit pravděpodobnost vrcholové události na základě pravděpodobností příčin jejího vzniku, např. hardwarových, softwarových poruch a také lidských chyb.

– **EVENT TREE ANALYSIS – ETA (analýza stromu událostí)**

Postup, který sleduje průběh procesu od iniciační události k důsledkům pomocí rozvětveného grafu. Znázorňují se všechny události, které se v posuzovaném systému mohou vyskytnout. Podle toho, jak počet událostí narůstá, výsledný graf se postupně rozvětňuje.

– **HUMAN RELIABILITY ANALYSIS – HRA (analýza bezporuchové činnosti člověka)**

Postup zabývající se posouzením vlivu lidského činitele na výskyt nebezpečných událostí. V rámci posouzení se zjišťují případné chyby člověka (operátora), pravděpodobnost a závažnost jejich následků. Za účelem omezení vzniku chyb se pak hodnotí faktory ovlivňující jejich výskyt a navrhuje se nápravná a preventivní opatření. Hodnocení HRA se provádí v rámci celkového posouzení bezpečnosti systému. [88]

Tabulka 2 znázorňuje výše uvedené metody z hlediska jejich použitelnosti pro účely identifikace, hodnocení a analýzy rizik.

Tab. 2 – Půžitelnost nástrojů při posuzování rizik [43]

Nástroje a techniky	Proces posuzování rizik				
	Identifikace nebezpečí	Analýza rizik			Hodnocení rizik
		Následek	Pravděpodobnost	Úroveň rizika	
Kontrolní seznamy	SA	NA	NA	NA	NA
Předběžná analýza nebezpečí	SA	NA	NA	NA	NA
Studie nebezpečí a provozuschopnosti (HAZOP)	SA	SA	A	A	A
Co se stane, když	SA	SA	SA	SA	SA
Analýza způsobů a důsledků poruch	SA	SA	SA	SA	SA
Analýza stromu poruchových stavů	A	NA	SA	A	A
Analýza stromu událostí	A	SA	A	A	NA
Analýza bezporuchové činnosti člověka	SA	SA	SA	SA	A

<sup>1)</sup> Velmi dobré použitelné (SA – Strongly applicable)  
<sup>2)</sup> Nepoužitelné (NA – Not applicable)  
<sup>3)</sup> Použitelné (A - Applicable)

#### 4.4 PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ PŘI POSOUZENÍ RIZIK

Největší překážkou při posuzování rizik je obvykle chyba nebo opomenutí při identifikaci zdrojů rizika. Dalším problémem je nedostatek dat a informací (např. údaje o selhání zařízení, lidského činitele). Spolu s informací o smrtelných úrazech by bylo vhodnější sledovat i další ukazatele, jako jsou např. méně závažné úrazy a skoro nehody, případně neshody.

Posuzování rizik by nemělo být pouze formální záležitostí ale poskytovat základ pro další akce (bezpečnostní opatření). Další problém je subjektivita osob provádějících analýzu. Pracovníci mohou přehlížet nebo podceňovat rizika.

Posuzování rizik by mělo být provedeno kompetentními pracovníky s praktickými znalostmi pracovních činností pomocí sdílení svých zkušeností, názorů a poznatků. Ve velkých organizacích se využívá i pomoc vyškolených externích pracovníků jako vedoucích hodnotitelských týmů.

## 5 POSOUZENÍ VLIVU LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST PRŮMYSLOVÝCH PECÍ

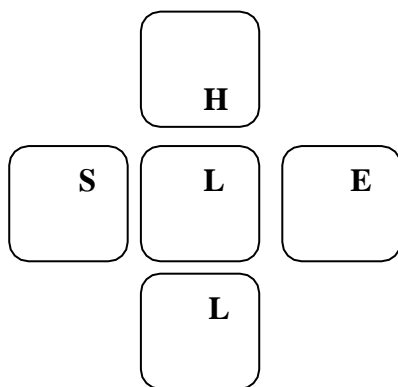
### 5.1 POJEM LIDSKÝ ČINITEL

Podle odhadu různých průzkumů lidský činitel je primární příčinou 60–90 % procent nehod a havárií ve složitých systémech, jako je jaderná energetika, chemický průmysl a letectví. Lidský činitel výrazným způsobem ovlivňuje průběh nehody, sám o sobě tak představuje významný zdroj rizika, resp. riziko sám vytváří. LČ je nutno vnímat jako soubor vlastností a schopností člověka, posuzovaných z psychologických a fyziologických hledisek, které nějakým způsobem v dané situaci ovlivňují výkonnost, efektivnost a spolehlivost pracovního systému. Lidský činitel jako zvláštní faktor v sobě současně integruje opatření ke zvýšení jeho spolehlivosti, např. analýzu vhodných osobnostních nároků na obsluhu. Proto je nezbytná analýza veškerých aspektů tohoto faktoru, na základě které budou provedena preventivní opatření [61].

Souvislost různých component ovlivňujících výkon člověka je možné pochopit pomocí modelu SHELL, který byl vyvinut v roce 1972 prof. Edwardem a následně modifikován v roce 1975 prof. Hawkinsem [66].

Model SHELL znázorňuje pojmový model LČ pomocí blokového schématu, kde jednotlivé bloky znázorňují jeho různé komponenty (viz obrázek 2):

- Software (postupy, symboly, atd.),
- Hardware (stroj),
- Environment (prostředí, ve kterém se odehrává interakce S – H – L),
- Liveware (člověk, jedinec v centru zájmu),
- Liveware (lidé, se kterými je jedinec v centru zájmu v nějakém vztahu).



Obr. 2 – Model SHELL [66]

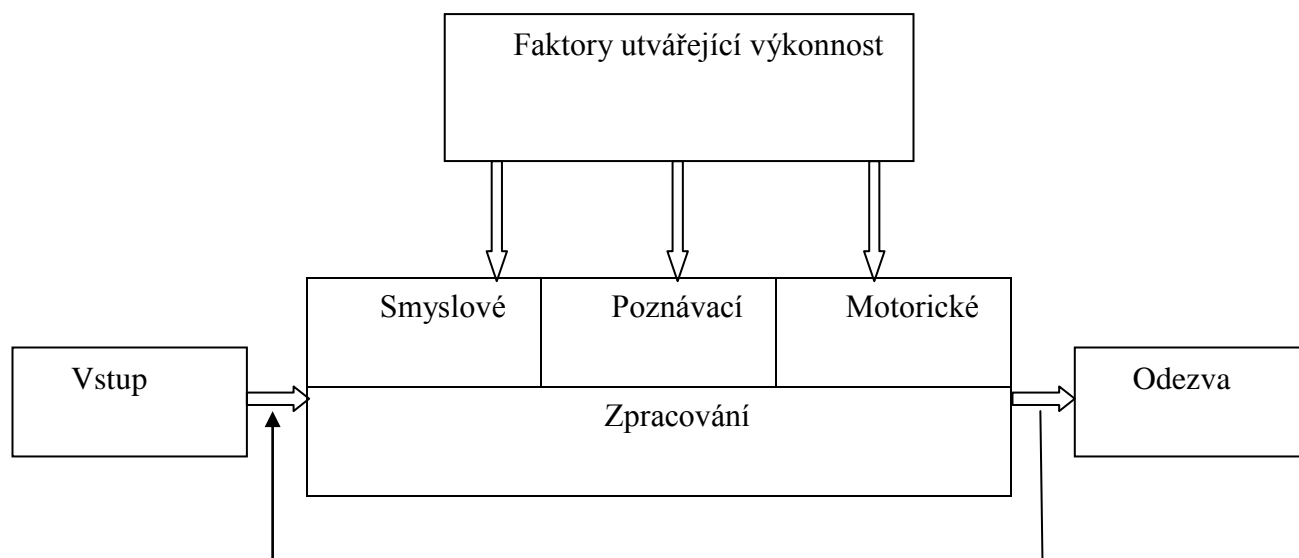
Lidskému činiteli je věnována norma ČSN EN 62508:2011 – Návod pro lidská hlediska spolehlivosti [89]. V této normě jsou definovány následující termíny spojené s lidským činitelem:

- *lidská chyba (human error)* – nesoulad mezi provedeným nebo neprovedeným lidským zásahem a zamýšleným zásahem;
- *pravděpodobnost lidské chyby (human error probability – HEP)* – pravděpodobnost, že obsluha nesplní zadaný úkol;



- *lidské selhání (human failure)* – odchylka od zásahu člověka požadovaného k dosažení cíle bez ohledu na příčinu takové odchylky, která vede k poruše systému a/nebo k nebezpečným následkům;
- *omyl (mistake)* – nedokonalost nebo selhání v procesu usuzování nebo dedukce spojené s výběrem cíle, nebo ve specifikaci prostředků, kterými má být cíl dosažen, bez ohledu na to, zda zásahy běží nebo neběží podle plánu;
- *přestupek (violation)* – úmyslná, ale ne nezbytně trestuhodná odchylka od praktických postupů považovaných za nezbytné;
- *bezchybná činnost člověka (human reliability)* – schopnost lidských bytostí splnit úkol za daných podmínek v definovaném časovém období a v přípustných mezích;
- *faktory utvářející činnost (performance shaping factors)* – charakteristiky vnějšího prostředí, úkolu a lidí, které utvářejí individuální výkonnost.

Norma také uvádí jednoduchý model zpracování informací člověkem (viz obrázek 3). Popisuje vnější a vnitřní faktory utvářející výkonnost obsluhy, klade důraz na návrh kritických systémů<sup>2</sup> s přihlédnutím k reakcím obsluhy ve stresových podmínkách a zahrnuje techniky posuzování bezchybné činnosti člověka (HRA – Human reliability assessment).

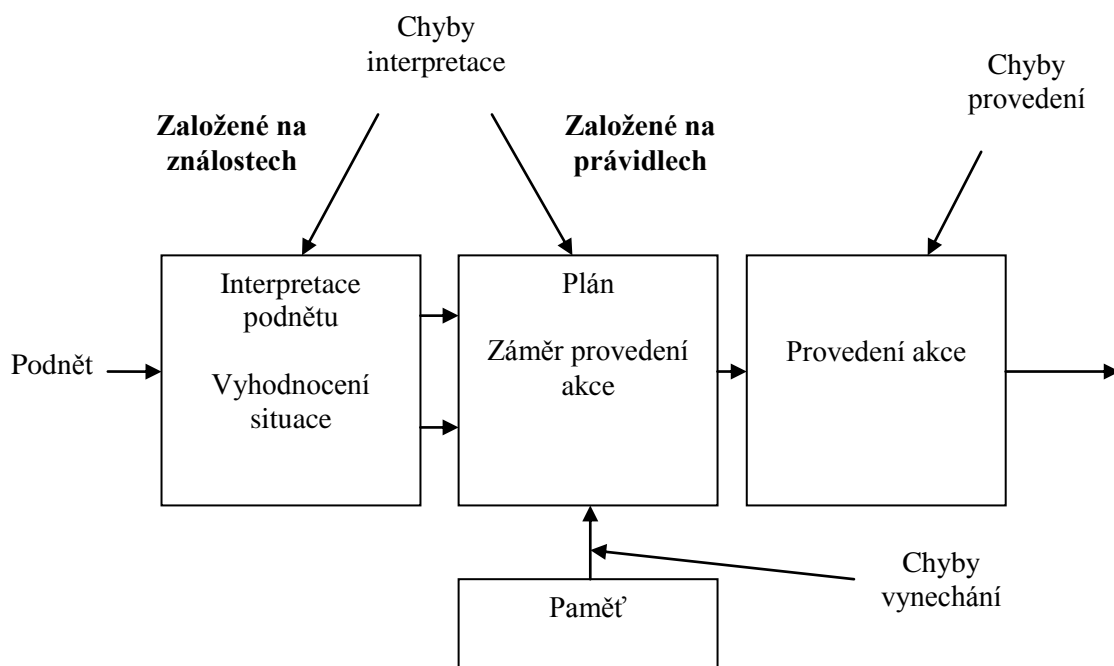


Obr. 3 – Jednoduchý model zpracování informací člověkem [89]

Pro charakterizaci lidské chyby byla navržena řada taxonomií nebo klasifikačních schémat. Jedním z příkladů je jednoduchá dichotomie mezi chybou provedení (error of commission) a chybou vynechání (error of omission) [90]. Chyba provedení znamená, že potřebný krok nebo úkol byl proveden špatným způsobem, v případě chyby vynechání potřebný krok/úkol byl z jakéhokoliv důvodu vynechán.

Podrobnější klasifikační schéma je znázorněno na obrázku 4.

<sup>2</sup> Kritickým systémem je počítač, elektronický, mechanický nebo elektromechanický systém, jehož porucha provozu, jak je požadován, může mít výrazný dopad, např. zranění nebo smrt člověka, závažné poškození zařízení nebo velké finanční ztráty.



Obr. 4 – Kontext zpracování informací pro reprezentaci lidské chyby [90]

Operátor, který reaguje na podnět v systému, může nebo nemusí interpretovat podnět a vyhodnotit situaci správně; pak může nebo nemusí správně naplánovat provedení kroků k řešení situace; nakonec může nebo nemusí tento záměr správně vykonat.

Chyby formulace záměrů se nazývají **chyby interpretace (mistakes)**. Příkladem chyby interpretace je nepochopení významu tlačítka na jakémkoli rozhraní – nedorozumění, které může vést k jeho nesprávnému použití [90]. Reason [91] rozlišuje chyby interpretace založené na znalostech (knowledge-based) a na pravidlech (rule-based).

*Chyby založené na znalostech* jsou druhy chyb, kdy dochází k nesprávnému posouzení situace z důvodu nedostatku znalostí a dále jako následek vytvoření chybného plánu. Chyby založené na znalostech také často mohou být vyvolány špatným zobrazením informací na displejích, kdy se buď zobrazují nedostatečné informace, nebo jsou informace ve špatném formátu.

*Chyby založené na pravidlech* se naopak objevují tehdy, když jsou operátoři poněkud jistější. Znájí situaci (nebo se domnívají, že ji znají) a používají pravidla, která se v dané situaci mají být použita. Volba pravidla obvykle vychází z logiky „pokud – pak“ („if – then“). Například: „pokud počítač nedokáže načíst disk, pak restartuji počítač a zkusím to znovu“. K chybě založené na pravidlech dochází ve chvíli, kdy bylo použito pravidlo pro určité podmínky nevhodné. Například ačkoli je obvykle vhodné natáčet kola vozidla ve směru jízdy, když dostane vozidlo smyk, bude použito jiné pravidlo.

Chyby založené na znalostech stejně jako chyby založené na pravidlech charakterizují záměry, které nejsou pro danou situaci vhodné. Avšak mezi těmito dvěma chybami existuje důležitý rozdíl: v chybách založených na pravidlech je určitá úroveň jistoty, jelikož se chybující domnívá, že pravidlo je přiměřené a správné, zatímco v situacích, kde se pravidla neuplatňují a kde je vznik chyby založen na nedostatku znalostí, je pravděpodobnější, že bude operátor méně jistý. Poslední situace bude také vyžadovat mnohem víc vědomějšího vnímání a pravděpodobnost, že se chyba vyskytne, bude vyšší kvůli dalším způsobům selhání při získávání a interpretaci informace.

Zcela odlišné od chyb interpretace jsou **chyby provedení (slips)**, kdy pochopení situace a formulace záměrů jsou správné, ale je vykonána špatná akce. Běžnými příklady jsou pískař, který na psacím stroji stiskne chybné tlačítko, nebo řidič, který zapne stěrač namísto světel.

Nejčastější příčiny chyb provedení jsou:

- zamýšlená akce (nebo sekvence akcí) se mírně liší od rutinní, často prováděné akce;
- některé charakteristiky stimulačního prostředí nebo samotné akce jsou úzce spojené s nyní špatnou (ale častější) činností;
- sekvence akcí je poměrně automatizovaná, a proto operátorem není pozorně sledována.

Reason [91] tvrdí, že když je vynechán kontrolní krok, je pravděpodobné, že si při interpretaci nebo jednání člověk vybere schéma, které je zvyklý používat.

Příkladem chyby provedení je když pilot chybně aktivuje jeden ze dvou ovládacích prvků, které jsou podobně uspořádané a těsně vedle sebe umístěné, například klapky a podvozek u některých druhů malých letadel. Oba ovládací prvky mají podobný vzhled, hmatový dojem; jsou umístěny blízko sebe; jsou relevantní během stejných fází letu (vzlet a přistání); oba prvky je třeba používat, když je požadována pozornost mimo kokpit.

Dalším druhem chyb jsou **chyby vynechání (lapses)**, kdy na potřebný krok bylo z nějakého důvodu zapomenuto. Jako takové mohou být chyby vynechání přímo vázány na selhání paměti, ale jsou zcela odlišné od chyb založených na znalostech spojených s přetížením pracovní paměti, způsobujícím špatné rozhodování. Typickým příkladem chyby vynechání je opomenutí odstranění poslední stránky ze skeneru po ukončení skenování. K chybám vynechání může dojít z důvodu vyrušení člověka při vykonání činnosti anebo při vykonání posledního kroku. Často se to stává zejména při údržbářských nebo instalačních pracích, kdy vynechání jediného kroku může být kritické. Takovým krokem může být utahování matice, uzavření upevňovacího prvku nebo odstranění nástroje, který byl použit při údržbě.

Výše popsané kategorie chyb lze rozlišovat podle řady kritérií. Například, jak již bylo řečeno, výskyt chyb založených na znalostech je doprovázen poměrně nízkou úrovní zkušeností operátora s podobným druhem situací a vysokou pozorností zaměřovanou na úkol, zatímco chyby založené na pravidlech jsou spojeny s vyšší úrovní dovedností. Jeden z nejdůležitějších rozdílů mezi chybami provedení na jedné straně a chybami interpretace a vynechání na straně druhé je snadnost detekce. Detekce chyb provedení se zdá být poměrně snadná, protože lidé obvykle vědomě nebo nevědomě sledují výstup své činnosti, a když ten výstup neodpovídá očekávanému (na základě správně formulovaných záměrů), rozdíl je často poznatelný. Naproti tomu, pokud jsou záměry samy o sobě špatné nebo krok byl vynechán, jakákoli zpětná vazba o chybě obvykle přichází mnohem později nebo nepřichází vůbec.

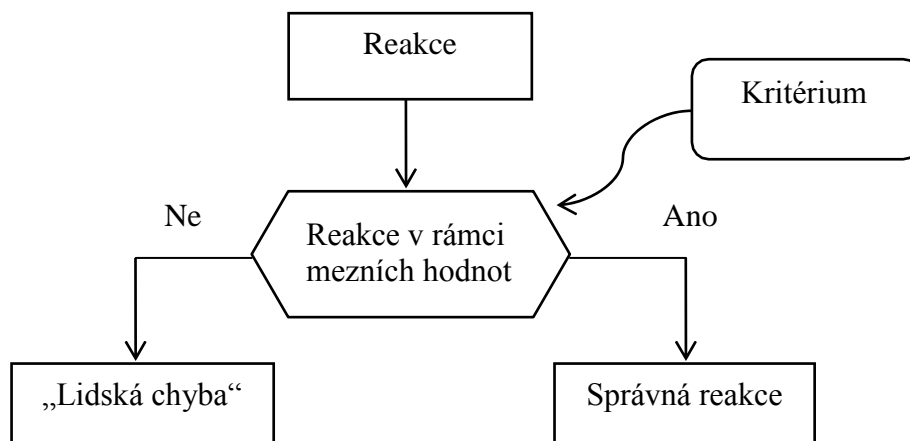
Tento faktor je zčásti spojen se snazším kognitivním procesem kontroly provedené akce než přeformulováním záměru, pravidla nebo diagnózy. Návrh systému se zpětnou vazbou provedené činnosti pro operátora může mít velký vliv na to, jak snadné bude zotavení z chyby.

Vzhledem k uvedeným rozdílům týkajícím se detekci chyb by měly existovat odlišné předpisy pro jejich nápravu: největší důraz při prevenci chyb provedení by se měl klást na návrh systému a úkolů, řešení S-O (stimulace-odezva) kompatibility a podobnosti podnětu a kontroly. K prevenci chyb interpretace je naopak třeba se více soustředit na konstrukční prvky týkající se efektivního zobrazení informace a na školení.

Aby se akce považovala za chybnou, musí (viz obrázek 5) [92]:

- mít jednoznačně stanoveny výkonnostní standard nebo kritérium, podle kterého může být změřena odchylná akce;
- být změřena odchylka od požadované akce;

- být určitá míra tolerance odchylky od požadované akce, aby osoba měla příležitost jednat takovým způsobem, aby se to ještě nepovažovalo za chybné.



Obr. 5 – Schéma lidské chyby [92]

Přestupky se někdy zdají být jako lidská chyba, avšak výrazně se liší od chyb interpretace, vynechání a provedení, protože jsou úmyslným protiprávním jednáním (např. úmyslné nedodržování postupů). Tady se nebere v úvahu, zda to bylo uděláno s dobrým, nebo špatným úmyslem.

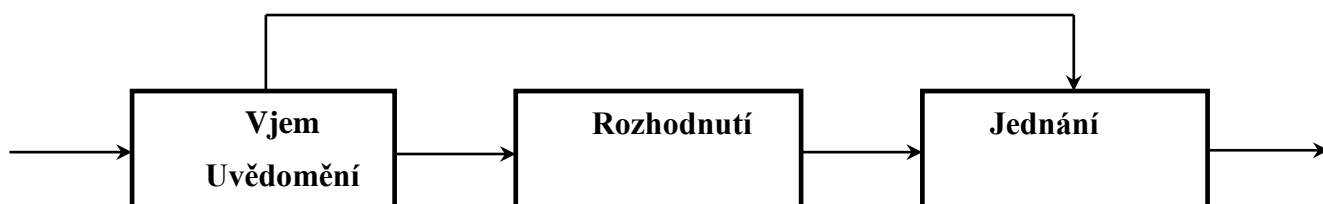
## 5.2 METODY POUŽÍVANÉ PRO POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE

### 5.2.1 Klasifikace metod

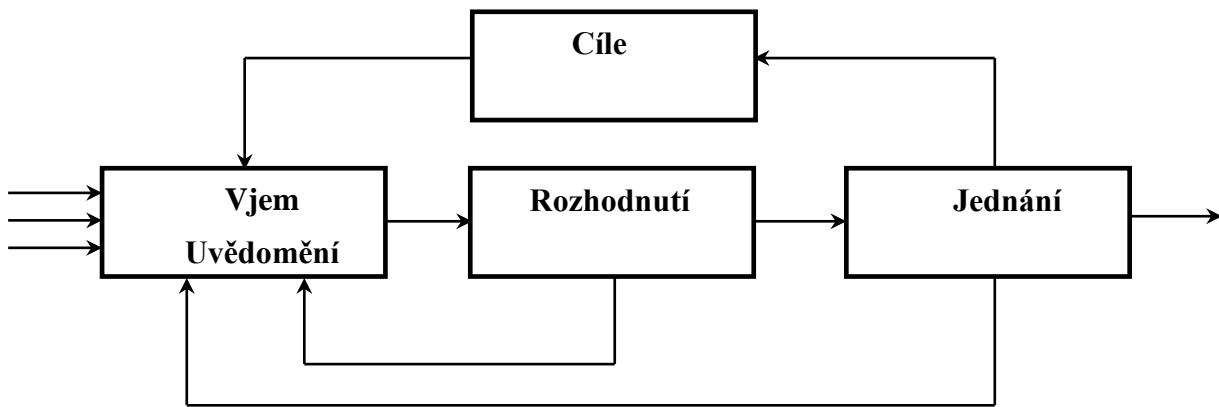
Hodnocení spolehlivosti lidského činitele se začalo provádět po nehodě Three Mile Island. Vývoj metod pro hodnocení spolehlivosti lidského činitele byl aktivně realizován v období 80. - 90. let 20. století a soustřeďoval se především na kvantifikaci lidské chyby (viz vzorec):

$$\text{HEP} = \text{počet nastalých chyb} / \text{počet příležitostí k chybě} [93]$$

Metody hodnocení spolehlivosti lidského činitele se dělí na metody první generace (viz obrázek 6) a metody druhé generace (viz obrázek 7).



Obr. 6 – Metody první generace [94]



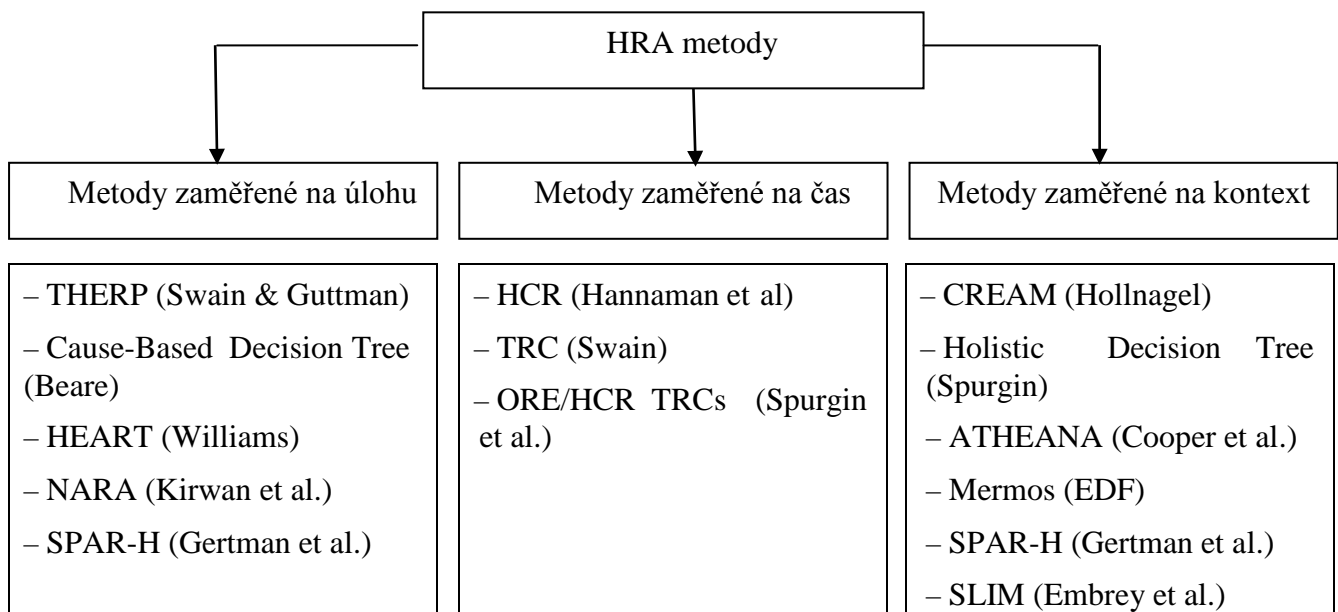
Obr. 7 – Metody druhé generace [94]

Metody první generace posuzují spolehlivost stejným způsobem jako spolehlivost stroje. Metody druhé generace se zaměřují na osobnost operátora a příčiny jeho selhání.

Prvním, kdo provedl tuto klasifikaci, byl Dougherty (1990). „Metody první generace jsou založeny na hypotéze, že chyba v systému je určena zjištěním abnormální situace (např. alarm), rozhodnutím o akci a jejím vykonání. Metody druhé generace vychází z předpokladu, že selhání nebývá záměrné, že pouze jednotlivec nedostal řádné školení, nebyl namotivován nebo nebyl správně vybrán pro svoji profesi. Hledají se organizační a psychologické příčiny selhání (kognitivní)“. [94]

Dougherty a Hollnagel [92] ukázali na omezení modelů první generace a zdůraznili potřebu analýzy metody první generace pro další vývoj modelu druhé generace.

A. Spurgin [2] rozděluje modely metod hodnocení lidského činitele na 3 skupiny (viz obrázek 8):



Obr. 8 – Klasifikace HRA metod podle A. Spurgina

## 5.2.2 Popis nejčastěji používaných metod

Existuje velké množství metod pro hodnocení spolehlivosti lidského činitele. Některé z nich jsou rozsáhle popsány v literatuře, ale nenašly použití v praxi, nebo naopak. Členy týmu Britské organizace HSE (Health and Safety Executive) byla provedena rešerše literatury včetně simulačních studií v oblasti HRA a bylo provedeno posouzení jejich silných a slabých stránek [95].

Celkem bylo zjištěno 72 možných nástrojů HRA. 17 nástrojů bylo identifikováno jako potenciálně použitelné pro HSE. Norma ČSN EN 62508 uvádí 12 metod HRA.

Nejčastěji používané metody podle průzkumu členů HSE a normy ČSN EN 62508 jsou:

- THERP (Technique for Human Error Rate Prediction);
- ASEP (Accident Sequence Evaluation Program);
- HEART (Human Error Assessment And Reduction Technique);
- ATHEANA (A Technique For Human Error Analysis);
- CREAM (Cognitive Reliability And Error Analysis Method);
- SLIM (Success Likelihood Index);
- CAHR (Connectionism Assessment Of Human Reliability);
- MERMOS (Méthode d'Évaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sûreté – Method for the evaluation of the realization of an operator's mission regarding safety).

*Metoda THERP* je standardní metoda pro předpověď bezporuchovosti lidské činnosti, pokud jde o ergonomické záležitosti. Je to fundamentální, klasická metoda pokrývající velkou část rozsahu a variability projevů lidského faktoru v práci obsluhy na jaderné elektrárně. Produkuje hloubkové rozložení úkolu na prvky pomocí taxonomie THERP, chyby u prvků znázorněných ve formě stromu událostí. Ke každému prvku úkolu je přiřazena jmenovitá pravděpodobnost HEP z databáze obsahující přibližně 100 faktorů. Jmenovitá pravděpodobnost HEP je modifikována násobitelem pro faktory PSF, je-li použitelný. Modeluje závislost mezi chybami pro prvky úkolu. THERP je metoda první generace umožňující důkladné posouzení vykonání úkolu a poskytující podrobné ergonomické požadavky pro návrh systému. Není vhodná pro posuzování rozhodování nebo pro dostatečné zohlednění rozsahu kontextuálních podmínek.

*Metoda ASEP* je metoda HRA první generace, která umožňuje posoudit ergonomické problémy v pracovním prostředí. Kritické úkoly jsou rozděleny do dílčích úkolů, které jsou uspořádány do stromu událostí lidské výkonnosti. Pravděpodobnosti HEP pro dílčí úkoly jsou získány z tabulek vydaných v NUREG/CR-4722 (Americká komise pro předpisy a nařízení 1987). K dispozici je také návod pro zohlednění faktorů PSF v pravděpodobnostech HEP. Metoda ASEP umožňuje rychlý předběžný výběr důležitých úkolů.

*Metoda HEART* je snadno a rychle zvládnutelná metoda. Mnoho údajů o faktorech PSF vychází z empirických studií. Metoda je určena spíše pro generické úkoly založené na systému (např. uvedení systému X do provozu) než pro základní úkoly (např. zacházení s vypínačem X). Tato technika je nevhodná pro odhad spolehlivosti lidských zásahů, požaduje-li se vysoká přesnost při posouzení nebo vysoká bezporuchovost (např. u činností okamžitě vedoucích k nepříznivým důsledkům v systému.) HEART je metodou HRA první generace, která umožňuje posoudit provedení úkolu spíše ve smyslu podrobnějšího třídění než důkladného posouzení.

*Metoda ATHEANA* se používá v celé řadě studií zejména v jaderném průmyslu ([96], [97], [98]). Tato metoda umožňuje důkladnou kvalitativní analýzu vlivu kontextu na lidské chování a rozhodování. Při této metodě se zjišťují události lidského selhání (HFE) tak, že se zohlední scénáře nehody. Události HFE jsou charakterizovány jednak nebezpečnými činy, tj. zásahy (nebo jejich zanedbáními), jednak kontextem vynucení chyby (EFC). Událost HFE je kvantifikována

zkombinováním pravděpodobnosti kontextu EFC, pravděpodobnosti nebezpečného činu v kontextu EFC a pravděpodobnosti posouzení daného nebezpečného činu pomocí kontextu EFC a dodatečného důkazu následujícího za nebezpečným činem. Kvantitativní odhady vycházejí z expertního odhadu. ATHEANA je obecně považována za metodu druhé generace, přesto nezohledňuje kognitivní stránku pozorování a chování operátora.

*Metoda CREAM* se využívá k rychlým posouzením kontextu, pokud jde o lidskou výkonnost. Je to metoda druhé generace, která umožňuje kvalitativní analýzu vlivu kontextu na lidské chování a rozhodování a hrubou kvantifikaci. Způsob řízení člověkem, který je použitelný pro tento scénář, je vybrán ze čtyř „kontextuálních způsobů řízení“. Předpokládá se, že se bezchybnost lidské činnosti zvýší tím, že se zvýší úroveň řízení. Kontext úkolu nebo scénáře se popisují pomocí devíti obecných podmínek výkonnosti (podmínek CPC) metody CREAM. Podmínky CPC jsou podobné faktorům PSF. Potenciální chyby jsou určeny a rozděleny do několika skupin, které popisují druhy chyb a příčiny chyb. Metoda CREAM používá k posouzení podobné tabulky jako metoda THERP, ale pouze poté, co byla provedena analýza základních kontextuálních způsobů řízení.

*Metoda SLIM* se používá v případě, kdy se vyžaduje pružná metoda, a nejsou k dispozici žádná specifická data. Nejsou ani zohledněny vnitřní závislosti faktorů PSF. Použití této metody jsou věnovány články [99], [100], [101], [102], [103]. Podstatou této metody je, že experti zjišťují příslušné faktory PSF (např. složitost úkolu) a stanoví koncové body na stupnici od 1 do 9 (např. 1 = jednoduchý a 9 = složitý). Bod na každé stupnici, u kterého se očekává ideální výkonnost, je zaznamenán a použit k přestavení klasifikace podle vzdálenosti od ideální hodnoty. Na těchto stupnicích se hodnotí každý úkol pro každý faktor PSF. Index věrohodnosti úspěchu (SLI) se vypočítá na základě celkového součtu vážených klasifikací faktorů PSF a je transformován na stupnici pravděpodobnosti s použitím nejméně dvou referenčních pravděpodobností HEP. Metoda SLIM byla převážně použita v chemickém průmyslu: v případě mimořádných havarijních stavů [99], při údržbě čerpadla [100] atd.

*Metoda CAHR* se může použít buď k posouzení klasických ergonomických problémů, nebo ke vzájemným vztahům mnohočetných podmínek a faktorů. Aplikace jsou v rozsahu od jaderného, automobilového, leteckého managementu a řízení leteckého provozu po námořní management. CAHR je metoda HRA druhé generace, která umožňuje provádět důkladnou kvalitativní analýzu vlivu kontextu na lidské chování a rozhodování časově efektivním způsobem. Metoda stojí na podobných psychologických základech jako CREAM. Metoda se snaží vypořádat s kognitivním aspektem výkonu člověka. Podobně jako jiné metody se zajímá především o roli člověka v interakci s technickým systémem. Výměna informací mezi člověkem a strojem se děje za určitých psychických okolností a určitých podmínek dané situace. Totéž platí i pro výměnu informací mezi více lidmi. Teoretické pozadí metody CAHR pracuje s myšlenkou kognitivního výkonu, který je velmi ovlivněn vnitřním světem pracovníka.

*Metoda MERMOS* se rozsáhle používá ve francouzském jaderném průmyslu. Platnost metody byla několikrát potvrzena a byla přijata v předpisech a nařízeních. Mnohočetná selhání, která vedou k nesplnění zadání, jsou identifikována s použitím procesu strukturovaného s ohledem na strategii, zásah a diagnózu (CICA). Prvkům cesty jsou přiřazeny pravděpodobnosti pomocí expertního odhadu. Data vycházejí z provozní zkušenosti, jakož i pozorování na simulátoru. Mezi hlavní nevýhody patří především to, že je metoda podrobně popsána pouze ve francouzštině a není veřejně přístupný seznam CICA. Výhodou je ohromná základna elektráren pro zpětnou vazbu aplikace metody a jednoduchý přístup k simulaci nových scénářů. Jde o jedinou skutečně zavedenou a validovanou metodu druhé generace. [93], [89]

V tabulce 3 jsou zobrazeny oblasti implementace popsaných metod.

Tab. 3 – Oblast implementace vybraných metod HRA

Metoda	Oblast implementace
CREAM	Jaderný průmysl, lodní strojírenství, železniční doprava, námořní nehody, námořní operace, letectví
MERMOS	Jaderný průmysl
THERP	
ATHEANA	
ASEP	
SLIM	Jaderný průmysl, chemický průmysl
CAHR	Jaderný průmysl, letectví, ergonomie, námořní, automobilový management
HEART	Letectví

Je vidět, že většina HRA metod se věnuje jadernému průmyslu, což je pochopitelné vzhledem k velkému rozsahu následků chyby operátora.

Druhá důležitá oblast, kde byly implementovány metody hodnocení spolehlivosti lidského činitele, je letectví.

Aplikace metody CAHR je velmi rozsáhlá: od jaderného, automobilového, leteckého managementu a řízení leteckého provozu po námořní management.

Metoda druhé generace CREAM také nachází uplatnění v mnoha oborech (viz články [104], [105], [106]).

Oblast provozu strojních zařízení a specificky průmyslových pecí zatím zůstává nezpracovaná, pokud jde o lidský činitel, přestože je také ovlivněna chováním a rozhodováním člověka.

Sestavení metodiky (souboru metod) použitelné v oblasti analýzy vlivu lidského činitele na bezpečnost průmyslových pecí a její praktické využití bude řešeno v rámci praktické části této práce.

### 5.2.3 Faktory ovlivňující spolehlivost obsluhy

Protože spolehlivost lidského činitele je závislá na pracovních podmínkách, v rámci metod spolehlivosti lidského činitele se zavádějí faktory ovlivňující výkon člověka (Performance Shaping Factors – PSF). Tyto podmínky v sobě zahrnují jednak faktory technické a organizační, tak i osobnostní a faktory prostředí. Počet faktorů v jednotlivých metodách se pohybuje v rozmezí od 8 do 60, u některých metod se tyto faktory vzájemně prolínají, anebo jsou dokonce sloučeny do vyšších celků.

Například metoda SPAR-H používá 8 faktorů, metoda CREAM využívá 9 faktorů, jinak jejich počet může dosahovat až 60. Některé faktory ovlivňující výkon člověka použité v těchto metodách jsou stejné nebo podobné, některé jsou vzájemně propojené, jako například faktory dostupnosti času a pracovní podmínky v metodě CREAM odpovídají faktoru stres v metodě SPAR-H.



Nejčastěji se v metodách a metodikách HRA vyskytují následující kategorie faktorů ([107], [92], [105]):

1. Zkušenosti operátora (doba praxe, dovednosti, znalosti).
2. Stres (vyvolaný úkolem nebo vnějšími příčinami).
3. Schopnosti operátora (schopnost zvládat obtížné situace, inteligence, zdravotní stav).
4. Kvalita školení (kvalita informace, komunikace).
5. Kvalita postupů.
6. Ergonomie (parametry rozhraní člověk-stroj vzhledem k pohodlí obsluhy, efektivity jeho výkonu a bezpečnosti).
7. Složitost úkolu (počet současných cílů, kognitivní a fyzická složitost úkolu).
8. Pracovní podmínky (vibrace, hluk, teplota, denní doba).
9. Čas, který je k dispozici pro vykonání úkolu.
10. Kvalita spolupráce (komunikace).
11. Organizační kultura (pracovní procesy, systém motivace personálu, komunikace).
12. Důvěryhodnost naměřených informací (spolehlivost a přesnost zařízení).
13. Zabezpečení procesu pomocí prostředků.

Stanovení klíčových faktorů a jejich další detailní analýza bude provedena v praktické části disertační práce s ohledem na bezpečnost cementační pece.

### **5.3 PROBLÉMY VZNIKAJÍCÍ PŘI POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE**

Při provádění hodnocení spolehlivosti lidského činitele se potýkáme s určitými omezeními. Hodnocení LČ je velice závislé na typu dat (pravděpodobnosti selhání lidského činitele při vykonání jednotlivé operace za definovaných podmínek), která jsou k dispozici. Případné typy dat lze rozdělit do následujících hlavních skupin:

- empirické nebo historické údaje (skutečná provozní zkušenost),
- simulační údaje (údaje získané pomocí simulátoru),
- expertní odhady.

Empirická data jsou nejlepším základem pro posouzení spolehlivosti člověka, jejich získání je však nákladné a obtížné.

Získání dat ze simulace se používá, pokud je situace, která je řešena, nebezpečná a empirické získání dat o pravděpodobnosti selhání lidského činitele by bylo spojeno s riziky pro obsluhu, případně pro celé zařízení. Simulace se často používá v letectví, vojenském odvětví, námořnictví a při přípravě krizového řízení při katastrofách, případně pro simulační výcvik.

Zvláštním typem simulace je kognitivní modelování. Kognitivní přístup k modelování lidské spolehlivosti se snaží vytvořit model kognitivních funkcí, které mohou být použity k vysvětlení příčin chování. Vyhodnocení spolehlivosti lidského činitele je tedy závislé na přiměřeném modelu kognitivních funkcí. Nejvýznamnějšími metodami, které používají kognitivní modely, jsou SHERPA a CREAM.

V případě, že není možné využít ani empirických nebo generických dat, je nutné přistoupit k expertním odhadům. Metody založené na expertních odhadech jsou APJ (Absolute Probability Judgment) a SLIM.

Významným zdrojem informací pro analýzu jsou formalizovaná hlášení, která jsou uskutečňována přímo pracovníky z provozu. Takový systém byl spuštěn poprvé po dohodě FAA (národní letecký úřad) a NASA. Podobné systémy byly později zavedeny ve Velké Británii, Kanadě a Austrálii.[66]

Problémem při posuzování spolehlivosti lidského činitele je nedostatek empirických údajů, nezbytných jako vstup pro realizaci analýzy vybranou metodou. V mnoha případech byly údaje získány na základě expertního odhadu a nebyly stanoveny empiricky, což vede k subjektivizaci a nespolehlivosti údajů [108]. S podobnými nesnáze je nutné počítat i při použití simulátorů. Pro vyřešení tohoto problému se používá validace výsledků (např. pomocí statistického testování hypotézy o podobnosti středních hodnot). [109]

Pro zpracování nečíselných informací (převedení hodnocení faktorů experty do číselných hodnot) se používají například fuzzy metody [63], [64], [110]. V poslední době jsou v analýzách spolehlivosti člověka také používány Bayesovské sítě (BN) [64, 117, 103]. Jejich výhodou je možnost provedení prediktivní i diagnostické analýzy.

## **5.4 POPIS NAVRŽENÉ METODIKY POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI LIDSKÉHO ČINITELE**

### **5.4.1 Posouzení spolehlivosti lidského činitele v rámci posouzení rizik**

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:

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

Porovnání HRA metod v závislosti na různých kritériích je uvedeno v příloze A této práce.

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 posouzení rizik dle normy ČSN EN 12100 (viz obrázek 9).

#### *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 [112], [113].

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 nejdětalněji popisovat všechny úkoly a subúkoly, jejichž správným vykonáním obsluha splní stanovený cíl [114].

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 [115]. 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 i 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*

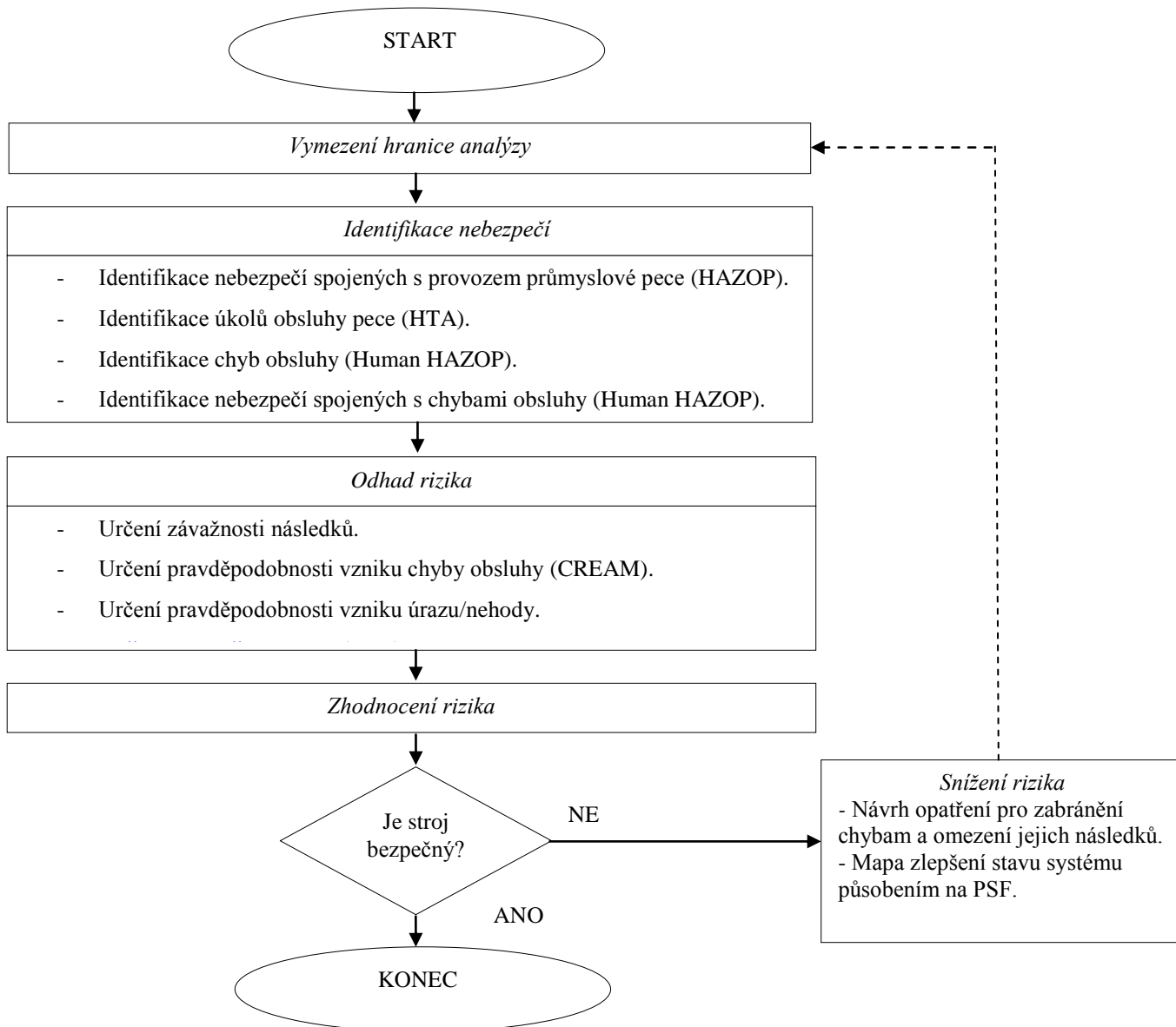
Po odhadu rizika se provádí hodnocení rizika pro určení, zda je požadováno snížení rizika. Pokud je vyžadováno snížení rizika, musí být zvolena a použita ochranná opatření. Během vykonání tohoto kroku musí konstruktér kontrolovat, zda při použití nových ochranných opatření nevznikají další nebezpečí 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 [117].



Obr. 9 – Posouzení spolehlivosti lidského činitele v rámci posouzení rizik

## 6 VERIFIKACE NAVRŽENÉ METODIKY NA CEMENTAČNÍ PECI

### 6.1 POPIS PROCESU CHEMICKO-TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ

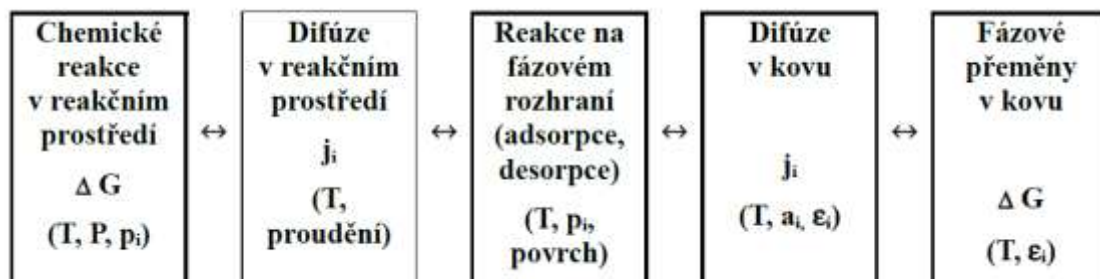
Pro zvýšení tvrdosti povrchu oceli a jeho odolnosti proti opotřebení (popř. i únavě) při současném zachování houževnatého jádra se používá chemicko-tepelné zpracování.

Podstata chemicko-tepelného zpracování spočívá v přenosu látky z reakčního prostředí do předmětu za zvýšených teplot, čím se mění chemické složení povrchové vrstvy oceli. Povrch se může obohacovat uhlíkem (cementování), dusíkem (nitridování), sírou (sulfidování) nebo kombinací těchto prvků (nitrocementace, sulfonitridace). Difúzí proniká pak přidávaný prvek i do podpovrchových vrstev [118].

Řada způsobů chemicko-tepelného zpracování zvyšuje také (nebo převážně) odolnost výrobků proti korozi a proti žáru (např. hliníkování, difúzní chromování, boridování apod.).

Požadovaných vlastností se dosahuje buď přímo, tzn. pouze obohacením povrchové vrstvy příslušným prvkem za zvýšených teplot a pomalým ochlazováním (nitridování) nebo následujícím tepelným zpracováním, kterým bývá obvykle kalení s popouštěním při nízkých teplotách (např. cementování). Obecně chemicko-tepelné zpracování zahrnuje pět základních etap (viz obrázek 10):

- reakce v reakčním prostředí (tvorba složky zabezpečující přenos difundujícího prvku);
- difúze v reakčním prostředí (přívod difundujícího prvku k povrchu výrobku, odvod produktů);
- reakce vytvářejících se na fázovém rozhraní;
- reakce na fázovém rozhraní kov-reakční prostředí;
- difúze v kovu;
- reakce v kovu. [119]



Obr. 10 – Základní etapy chemicko-tepelného zpracování [119],

kde:

T – teplota,

P – celkový tlak,

$p_i$  – parciální tlaky reakčních složek,

$a_i$  – aktivity prvků,

$\epsilon_i$  – interakční koeficienty.

## Cementování

Cementování je nejrozšířenější způsob chemicko-tepelného zpracování. Při tomto procesu se nasýtí povrch ocelového předmětu uhlíkem v cementačním prostředí při teplotě nad  $A_{c3}$ , kdy je struktura oceli tvořena austenitem, tzn. fázi, v níž se uhlík rozpouští rychleji a ve značném rozsahu.

Účelem cementování je zvýšení koncentrace uhlíku povrchové vrstvy nízkouhlíkové oceli (cca do 0,3 %) na úroveň 0,85 %. Obsah uhlíku více než 1 % snižuje houževnatost cementované vrstvy. Hloubka cementované vrstvy nejčastěji bývá do 1 mm (0,8 mm), ve výjimečných případech více než 2 mm.

Kvalitu cementace určuje obsah a rozložení uhlíku v cementační vrstvě, která závisí na:

- použitím cementačním prostředí;
- výši cementační teploty;
- době výdrže na cementační teplotě;
- chemickém složení cementované oceli, především na obsahu uhlíku a karbidotvorných prvků. [118]

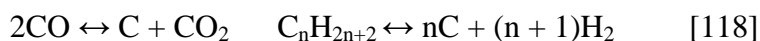
Pro nauhličení povrchové vrstvy oceli lze využít tuhé (sytké), plynné nebo kapalné prostředí.

*Cementování v tuhém prostředí (cementační prášek)* je nejstarším způsobem a jeho používání je již na ústupu.

*Cementování v kapalném prostředí (solné lázně)* je vhodné pro drobné a střední výrobky, zvláště pokud nevyžadují silné cementační vrstvy. Hlavními složkami kapalných prostředí převážně jsou chlorid sodný, chlorid draselný, chlorid barnatý a kyanid sodný.

*Cementování v plynném prostředí* je moderní, technologicky výhodný a produktivní způsob. Plynná prostředí jsou multikomponentní směsi plynů ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_nH_{2n+2}$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ). K jejich tvorbě se používají plyny nebo kapaliny. Obvykle cementační atmosféru tvoří nosná endoatmosféra s přídavkem obohacujícího plynu.

Pro přenos uhlíku mezi plynným prostředím a výrobkem jsou důležité tyto dvě reakce:



Při tomto způsobu cementování lze předně kontrolovat a řídit aktivitu prostředí. Pro řízení cementační atmosféry se používají následující metody:

- infračervená spektrální analýza;
- metody stanovení rosného bodu;
- metody změny elektrického odporu na základě nauhličení;
- metody založené na stanovení množství zbytkového kyslíku ve řízené atmosféře;
- stanovení hladiny uhlíku kyslíkovou sondou.

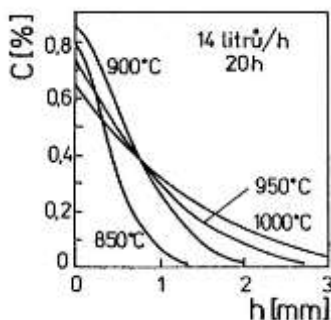
Z výše uvedených metod má metoda stanovení hladiny uhlíku kyslíkovou sondou řadu výhod:

- široká oblast použití;
- rychlá reakce kyslíkové sondy ve srovnání s reakcí analyzátorů  $CO_2$ ;
- vyšší přesnost stanovení hladiny uhlíku;
- jednoduchá obsluha a nižší pořizovací náklady oproti infraanalyzátorům.

Významnou nevýhodou cementování v plynném prostředí je použití hořlavých látek a výskyt nedýchatelné atmosféry, proto je důležité dodržování bezpečnostních předpisů a aplikace preventivních opatření.

*Teplota cementace* je vždy vyšší, než je poloha bodu  $A_{c3}$  cementované oceli [118].

Zvyšováním teploty se cementování urychluje zejména v důsledku zvětšení difuzivity uhlíku v austenitu (nebezpečí hrubnutí austenitického zrna a zvětšení opotřebení pecních agregátů); hloubka nauhličené vrstvy roste, ale při daném průtočném množství atmosféry začíná od určité teploty klesat její nauhličující potenciál (viz obrázek 11). [119]



Obr. 11 – Koncentrační profily uhlíku při různých teplotách cementování [119]

*Doba výdrže na cementační teplotě* má především vliv na hloubku cementované vrstvy a mnohem menší vliv má na obsah uhlíku.

*Chemické složení cementované oceli* se rovněž projeví i na kvalitě cementace. Například rychlost cementace a obsah uhlíku při stejné hloubce cementované vrstvy u oceli s vyšším obsahem uhlíku je nižší než u oceli s nižším obsahem uhlíku. Rychlost cementace také snižuje přítomnost niklu v oceli. Chrom a ostatní karbidotvorné prvky zvyšují obsah uhlíku na povrchu cementované vrstvy. Proto je nutno tyto oceli cementovat v méně aktivním prostředí. Oceli s přídavkem titanu nejsou náchylné ke zhrubnutí zrna, což umožňuje cementaci při teplotách až 1150 °C, a tím pádem zkracení doby cementace. [118]

### ***Tepelné zpracování oceli po cementování***

Po cementaci musí být ocel tepelně zpracována, především kalena a popouštěna, aby se využilo zvýšeného obsahu uhlíku pro dosažení větší tvrdosti povrchu. Rozdílný obsah uhlíku na povrchu a v jádře výrobku má za následek nepříznivé rozložení vnitřních pnutí a komplikuje volbu kalicí teploty. Nejjednodušší způsob je kalení z cementační teploty. Tato teplota je však pro kalení cementované vrstvy příliš vysoká. Cementovaná vrstva má nižší tvrdost, menší odolnost proti únavě a je značně nebezpečí výskytu trhlin. Tento postup je nejlevnější a jeho použití se omezuje na jednoduché, méně namáhané výrobky z uhlíkových ocelí. [118], [119]

Častější způsob je kalení s přichlazením, kdy výrobky po ukončení cementace se ochladí na teplotu nad  $A_{c1}$  a kalí se z této teploty. Dochází při tomto způsobu kalení ke snížení vnitřních pnutí a deformací, proto má tento postup širší použití i pro více namáhané výrobky.

Výhodným postupem často používaným v kontinuálních cementačních linkách nebo ve víceúčelových pecích je kalení s podchlazením pod teplotu  $A_{r1}$ . Zrychlené ochlazení tady přispívá k podstatně jemnější struktuře a zmenšení vnitřních pnutí. Je to nejpoužívanější způsob kalení s velkou povrchovou tvrdostí, bez zvláštních požadavků na pevnost jádra výrobku.

Velmi namáhané součásti se kalí dvakrát: z vyšší kalicí teploty a pak z nižší kalicí teploty.

Pro kalení se mohou používat:

- vzduch;
- olej;
- voda;
- polymery;
- kalicí emulze;
- soli.

Nejrozšířenějším kalicím prostředkem je olej. Typ oleje určuje rychlost ochlazování a rozsah pracovních teplot (50 až 250 °C). Teplota oleje nemá velký vliv na rychlost ochlazování, pokud se nachází v povoleném rozmezí. Oleje jsou hořlavou látkou, proto je potřeba dodržovat určitá bezpečnostní opatření, především zamezení vniknutí vody do lázně, udržení teploty oleje pod hranicí 60 °C od teploty vzplanutí, zajištění odsávání kouře vznikajícího při kalení a co možná nejrychlejší ponoření vsázky do oleje. [120]

## 6.2 POPIS CEMENTAČNÍ PECE VYBRANÉ K VERIFIKACI

Pro účel provedení analýzy vlivu lidského činitele na bezpečnost strojního zařízení byla vybrána laboratorní cementační pec s kalicí lázní. Pec je řízena řídicím systémem a připojená na rozvaděč pracovních médií. Parametry pece jsou uvedeny v tabulce 4 .

Tab. 4 – Parametry posuzované cementační pece

Maximální teplota	950 °C
Maximální hmotnost vsázky	15 kg
Vnitřní objem retorty	cca 30 litrů
Vnější rozměry cca (š×v×h)	1600 × 2400 × 1800 mm
Vnitřní rozměry retorty (š×v×h)	300 × 150 × 400 mm
Objem lázně	cca 550 l
Kalicí médium	olej
Maximální teplota kalicího média	100 °C

Zařízení se skládá z následujících součástí:

- rám z konstrukční oceli;
- těsná předkomora s kalicí lázní (jednoplášťová těsná nádoba);
- ocelová žáruvzdorná retorta;
- dveře retorty otevírané elektricky směrem nahoru;
- dveře předkomory otevírané elektricky směrem nahoru (zakládání vsázky);
- nucená cirkulace atmosféry uvnitř retorty;
- izolace pomocí keramického vlákna a lehčených izolačních cihel;
- topné spirály na keramických trubkách na bočních stranách pece a ve dně;
- přívody pracovních plynů přes zadní stěnu;
- nepřímé chlazení pomocí ručně ovládaných klapek;
- kyslíková sonda, čidla teploty a tlaku;



- elektricky ovládaný pojezd vsázkového roštu;
- ruční manipulátor pro manipulaci se vsázkou z čelní strany;
- řídicí systém.

Kalici lázeň je bez chlazení (výměník voda x olej), po zanoření vsázky o hmotnosti 15 kg a teplotě 950 °C dojde k navýšení teploty olejové lázně o cca 10 °C.

#### *Rozvaděč procesních médií*

Rozvaděč slouží k dodávce procesních médií do pece na chemicko-tepelné zpracování kovů. Rozvaděč je tvořen skříní s potrubím, ventily, průtokoměry a záchytnou vanou. Ve spodní části rozvaděče se nachází prostor pro umístění nádoby na metanol. Vstupní potrubí s jednotlivými médii prostupují průchodkami do skříně zleva. Vstupní potrubí jsou osazena kulovými uzávěry. Výstupní potrubí vystupují ze skříně průchodkami v horní desce rozvaděče. Pracovní tlak procesních médií je 0,5 bar; tlak havarijního dusíku je 6 bar. Na pravé straně skříně je vzduchový kompresor, od kterého je vedena tlaková hadice průchodkou k rozvodům vzduchu ve skříní zprava. Potrubí je nerezové, montované z trubek, tvarovek a různých šroubení.

*Metanol* vytváří atmosféru v cementační peci potřebnou pro cementaci. Vkapává přímo do pece, kde se následně štěpí na H<sub>2</sub> a CO.

*Dusík* primárně slouží jako bezpečnostní plyn při poklesu teploty. Dále slouží jako hnací plyn pro čerpání metanolu do pece.

*Vzduch* je přiváděn do kyslíkové (vodíkové) sondy jako referenční a proplachový plyn, dále pro snížení Cp.

*Propan* primárně slouží jako obohacující plyn v cementační peci, pokud je v atmosféře nedostatek uhlíku.

Vstupní tlaky provozních média jsou uvedene v tabulce 5.

Tab. 5 – Tlaky provozních médií cementační pece

<b>Provozní média</b>	<b>Vstupní tlak</b>
Dusík (procesní) (N <sub>2</sub> )	50 kPa
Dusík (proplachový) (N <sub>2</sub> )	200 kPa
Vzduch	50 kPa
Vzduch (sonda)	vlastní zdroj na rozvaděč
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	50 kPa
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	50 kPa
Voda (chlazení ventilátorů cementační pece)	0,2 bar, min. 30 l/min

Pracovní média jsou umístěna v tlakových lahvích s redukčními ventily. Z láhve odebíráme plynnou fázi plynu, která se odpařuje z kapalně fáze. Tlak plynné fáze je závislý na okolní teplotě a bodu varu plynu, což nám nikdy nemůže ukazovat množství plynu (hladinu) v láhvi.

Jediným spolehlivým a nejlevnějším způsobem měření zůstatku plynu je vážení láhve. Mezi dražší a pohodlnější měření patří elektronická měřidla a hladinoměry. [121]

Pro ovládání a regulace průtoku plynů se používají elektromagnetické ventily a průtokoměry.

### *Rozváděč řídicího systému*

Řídicí systém zabezpečuje tyto tři základní řídicí funkce:

- řízení teploty;
- řízení plynné atmosféry;
- řízení a koordinaci pohybů.

Řídicí systém se skládá z PLC SIMATIC S7-200 a přístroje PROTHERM, které spolu komunikují prostřednictvím rozhraní PROFIBUS. PROTHERM porovnává žádanou hodnotu s hodnotou měřenou (získanou z PLC SIMATIC) a na základě velikosti regulační odchylky (rozdíl mezi žádanou a naměřenou hodnotou teploty) posílá PLC SIMATIC hodnotu regulačního zásahu (výkonu) v %. PLC řídí teplotu olejové lázně, zabezpečuje synchronizaci pohybů dveří cementační pece a pohybů roštu olejové lázně, zabezpečuje synchronizaci pohybů dveří cementační pece a pohybů roštu olejové lázně, dále zobrazuje poruchové stavy zařízení a umožňuje prostřednictvím dotykového panelu v režimu servis provádět základní testy jednotlivých zařízení.

Řídicí systém vyhodnocuje signály z kyslíkové sondy a řídí složení pecní atmosféry a také z dalších čidel za účelem regulace teploty a tlaku.

### *Bezpečnostní prvky cementační pece*

- Prvky zabraňující překročení maximální teploty v retortě:
  - čidlo limitní teploty topení cementační pece (typ S, vstup PLC) na topné spirále;
  - čidlo limitní teploty topení cementační pece (typ S, limitní jednotka) na topné spirále, limit – 1000 °C;
  - čidlo bezpečné teploty v komoře pece (typ K, limitní jednotka) v retortě pece, limit – 960 °C;
  - čidlo regulace teploty v komoře pece (typ K, vstup PLC) teplota komory pece.

Napájení topení pece lze zapnout pouze v případě, že je spuštěna cirkulace vzduchu v peci a limitní jednotkou pece není registrována limitní teplota u spirál (nastaven limit 1000 °C) a limitní jednotkou pece není registrována limitní teplota v retortě pece (nastaven limit 960 °C).

- Prvky zabraňující zvýšení teploty olejové lázně:
  - čidlo limitní teploty olejové lázně (typ K, limitní jednotka);
  - čidlo regulace teploty olejové lázně (typ K, vstup PLC).

Regulační systém lázeň vytápí, pokud není dosažena žádaná teplota minus povolený rozdíl teploty. Regulační systém lázeň chladí, pokud není dosažena žádaná teplota plus povolený rozdíl teploty. V pásmu žádaná teplota plus minus povolený rozdíl teploty je vypnuto topení i chlazení. Z důvodu rovnoměrného přenosu tepla je kalici lázeň vybavena mícháním média.

- Prvky zabraňující úniku plynné atmosféry z pece:
  - čidlo limitní teploty límce motoru ventilátoru cirkulace vzduchu v komoře pece (typ K, vstup PLC);
  - čidlo limitní teploty límce pecních dveří (typ K, vstup PLC);
  - snímač přetlaku předkomory;
  - snímač přetlaku předkomory.
- Indikace silového napájení pece:  
Kontrolka:
  - bliká – napájení není zapnuto;

- svítí trvale – napájení je zapnuto.

Pokud napájení není v pořádku, bliká červené světlo majáku.

- Prvky zabraňující zvýšení teploty elektro prostoru pece:
  - ventilátor;
  - čidlo limitní teploty límce motoru ventilátoru cirkulace vzduchu v komoře pece (typ K, vstup PLC)

Základní parametry průběhu cementace se řídí pomocí různých prvků (viz tabulka 6).

Tab. 6 – Řízení základních parametrů průběhu cementace

<b>Základní parametry průběhu cementace</b>	<b>Čím zajištěno</b>
Teplota v retortě	Čidlo teploty
Teplota u spirál pece	Čidlo teploty
Teplota elektro prostoru pece	Ventilátor Čidlo limitní teploty límce motoru ventilátoru cirkulace vzduchu v komoře pece (typ K, vstup PLC)
Tlak v retortě	Tlakové čidlo retorty cementační pece
Tlak v předkomoře	Tlakové čidlo pro spodní mez Tlakové čidlo pro horní mez
Průtok plynů	Průtokoměr PLC, limitní jednotka teploty cementační pece ( $T > 750\text{ °C}$ )
Pohyb roštu	Magnetické čidlo roštu kalici lázně
Pohyb dopravníku (vně)	Magnetické čidlo dopravníku v předkomoře
Pohyb dveře pece	Magnetické čidlo dveří cementační pece
Pohyb dveře předkomory	Koncový spínač dveří předkomory
Teplota těsnicího límce u dveří CP	Čidlo teploty
Teplota těsnicího límce motoru cirkulace CP	Čidlo teploty
Tlak plynů	Tlakové čidlo

Přetlak dusíku v předkomoře je udržován v rozsahu, jehož spodní a horní mez je dána hodnotami, měřenými čidly přetlaku předkomory (jeden měří spodní mez, druhý horní mez). Při spodní mezi je přívod dusíku do předkomory spínán, při horní mezi vypínán. Pokud je doplňování dusíku do předkomory častější než přednastavená podmínka v programu řídicího systému, je hlášena tato porucha.

## 6.3 POSOUZENÍ VLIVU LIDSKÉHO ČINITELE NA BEZPEČNOST CEMENTAČNÍ PECE

### 6.3.1 Identifikace nebezpečí

#### 6.3.1.1 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.

Tým odborníků pomocí kombinací klíčových slov (viz tabulka 7) a jednotlivých parametrů systému/subsystémů zjišťuje možné scénáře, příčiny a následky.

Tab. 7 – Seznam klíčových slov pro HAZOP, jejich význam a příklad použití (převzato a upraveno z [126])

Klíčové slovo	Logický význam slova	Příklad použití
Není	Negace významu původní funkce	Není chlazení
Větší	Kvantitativní nárůst	Větší teplota
Menší	Kvantitativní pokles	Nižší teplota
A také, a rovněž	Kvalitativní nárůst	Vyšší teplota a také únik plynu
Částečně	Kvalitativní pokles	Částečný průtok plynu
Reverze	Opak funkce	Reverzní tok plynu
Jiný	Náhrada	
Předčasný	Předčasné vykonání funkce	Předčasné zahřátí oleje
Zpožděný	Opožděné vykonání funkce	Opožděné zahřátí oleje

Dále tým navrhuje postup kroků, který je potřeba udělat v případě nebezpečné události a možná opatření, která by vzniku této události zabránila. Komplexnější a složitější systémy je vhodné rozdělit na subsystémy. Cementační pec pro účel analýzy metodou HAZOP byla rozdělena na následující subsystémy:

– CEMENTAČNÍ PEC:

- plášť;
- předkomora;
- olejová kalicí lázeň;
- ocelová žáruvzdorná retorta;
- elektro-prostor pece;
- hořák.

– DODÁVKA MÉDIÍ:

- vzduch (referenční pro kyslíkovou sondu);
- vzduch (proplachový vzduch pro kyslíkovou sondu);
- propan (hořák);
- propan (lišta);
- propan (proces);
- metanol;
- procesní dusík;
- proplachový dusík.

– DODÁVKA ENEGIE.

Pomocí klíčových slov a parametrů každého subsystému cementační pece byly vytvořeny odchylky pro každý parametr. V tabulce 8 je uveden příklad odchylek pro retortu, předkomoru a kalicí lázeň. Plná verze analýzy HAZOP je uvedena v příloze B této práce.

Tab. 8 – Odchytky parametrů prvků cementační pece

Ocelová žáruvzdorná retorta	Předkomora	Kalicií olejová lázeň
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nižší teplota v retortě;</li> <li>• vyšší teplota v retortě;</li> <li>• není dusík v retortě, a také je cementační atmosféra;</li> <li>• nižší koncentrace dusíku v retortě;</li> <li>• vyšší koncentrace dusíku v retortě;</li> <li>• cementační atmosféra není v retortě;</li> <li>• nižší koncentrace cementační atmosféry v retortě;</li> <li>• vyšší koncentrace cementační atmosféry v retortě;</li> <li>• nižší tlak v retortě;</li> <li>• vyšší tlak v retortě;</li> <li>• dveře retorty jsou zavřené, ale měly by být otevřené.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vyšší teplota v předkomoře;</li> <li>• vyšší koncentrace cementační atmosféry v předkomoře;</li> <li>• nižší tlak v předkomoře;</li> <li>• vyšší tlak v předkomoře;</li> <li>• dveře předkomory jsou zavřené, ale měly by být otevřené.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vyšší koncentrace kyslíku v olejových párách, a také je zdroj iniciace;</li> <li>• vyšší teplota oleje;</li> <li>• vyšší hladina oleje v nádrži;</li> <li>• nižší hladina oleje v nádrži;</li> <li>• a také je jiná látka v olejové lázni (voda);</li> <li>• a také je degradace oleje.</li> </ul>

Dále 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 reakci 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 kalicií oleje z důvodu přítomnosti vody. Když se vsázka rozzhavená na 900 °C se ponoří do kalicií lázně s olejem, který má teplotu 120 °C, voda se rychle odpaří a 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 kalicího 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.

### **6.3.1.2 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 kalicí olejové lázně.
- Čekání na předeřtání 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 pomoci manipulátora do předkomory.
- Vrácení manipulátoru do výchozí polohy.
- Stisknutí tlačítka pro zavření dveří.
- Čekání na povolení programu pro další operace.
- Založení vsázku 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 pomoci 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.

### 6.3.1.3 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.

Příklady odchylek jsou uvedeny v tabulce 9:

Tab. 9 – Odchylky od úkolu vykonávaného obsluhou

Klíčové slovo	Logický význam slova
NEUDEĚLÁNO	akce neprovedena
OPAKOVÁNO	akce provedena vícekrát
MÉNĚ	akce byla provedena méněkrát nebo slaběji
VÍCE	akce byla provedena vícekrát nebo silněji
DŘÍVE	akce byla provedena dříve
POZDĚJI	akce byla provedena později
TAKÉ	byla provedena ještě jiná akce
OBRÁCENĚ	posloupnost akcí byla porušena
JINÝ NEŽ	byla provedena ještě jiná akce
ČÁST	byla provedena jen část akce

Do prvního sloupce se napíší kroky z HTA diagramu, pak se přidá pomocí klíčového slova odchylka od vykonávaného úkolu a druh chyby (z taxonomie chyb metody CREAM). Do čtvrtého sloupce se napíše fáze průběhu cementace (viz tabulka 10), do pátého – následky chyby, do šestého – bezpečnostní prvky cementační pece, do posledního sloupce se napíší akce a opatření. Plná verze analýzy Human HAZOP je uvedena v příloze D této práce.

Tab. 10 – Fáze průběhu cementace

Označení	Fáze cementace	Procesní krok
C1	Zapnutí silových obvodů	Zapnutí napájení pece
C2	Povolení propanu pro hořák (test hořáků), zapálení hořáků	Příprava k cementaci
C3	Zapnutí topení lázně a retorty	
C4	Zavření dveří předkomory	
C5	Proplach předkomory 20 minut*	
C6	Povolení pohybu mechanických částí (dveře, dopravník, rošt) – AUFK zapnout	
C7	Čekání programu na ukončení proplachu	
C8	Spuštění hořáku dveře a lišty	
C9	Otevření dveří předkomory	
C10	Zavezení vsázky do předkomory	
C11	Sepnutí koncového spínače	
C12	Zavření dveří předkomory	
C13	Vypnutí hořáku dveře a lišty	
C14	Proplach předkomory 20 minut	
C15	Otevření dveře retorty	
C16	Zavezení vsázky do retorty	
C17	Vracení dopravníku 2 do výchozí pozice	
C18	Zavření dveře retorty	
C19	Začátek cementace – Povolení vstupu dusíku na metanol, metanolu, propanu a procesního dusíku	Cementace
C20	Průběh cementace – Řízení složení cementační atmosféry	
C21	Konec cementace – Otevření dveře retorty	
C22	Vyvezení dopravníkem 2 vsázky z retorty	
C23	Zavření dveře retorty	
C24	Proplach předkomory začátek	
C25	Zavezení vsázky na rošty do kalicí lázně	Kalení
C26	Kalení začátek	
C27	Kalení konec	



C28	Vyvezení vsázky z kalící lazně nahoru pro odkapávání	
C29	Odkapávání začátek	
C30	Odkapávání konec (minimálně 300 s)	
C31	Proplach předkomory konec	
C32	Spuštění hořáku dveře a lišty	Vyvezení vsázky z předkomory
C33	Otevření dveří předkomory	
C34	Vyvezení vsázky z předkomory na zakládací pozici	
C35	Sepnutí koncového spínače	
C36	Zavření dveří předkomory	
C37	Vypnutí hořáku dveře a lišty	
C38	Proplach předkomory 20 minut	
C39	Spuštění hořáku dveře a lišty	
C40	Otevření dveří předkomory	
C41	Zavření dveří předkomory	
C42	Vypnutí hořáku dveře a lišty	
C43	Vypnutí horního hořáku	
C44	Vypnutí plynů kulovými kohouty na rozvaděči médií	
C45	Vypnutí silových obvodů	
C46	Vypnutí ovládacího napětí pomocí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	
* – 600 NI/min při 200 kP		

Pro určení druhu chyby použijeme 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.

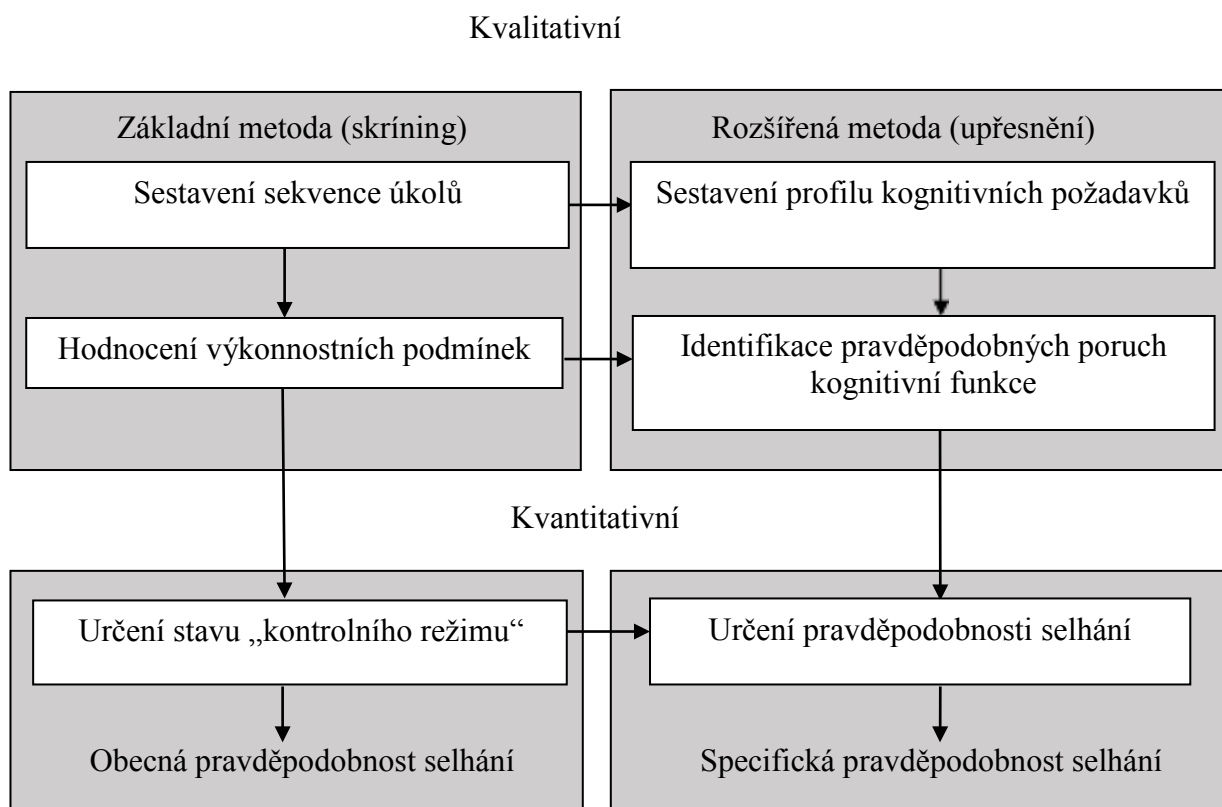
#### 4. Provedení:

- 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.

### 6.3.2 Odhad rizika

#### 6.3.2.1 Určení pravděpodobnosti vzniku chyby obsluhy

Pro kvantifikaci chyb obsluhy byla zvolena metoda CREAM. Metoda CREAM byla vyvinuta pro obecné aplikace a je založena na modelu kontextuální kontroly, který z hlediska zpracování informací zdůrazňuje identifikaci a kvantifikaci takzvaných „genotypových chyb“ (nebo kognitivních chyb). CREAM poskytuje dvouúrovňový přístup k výpočtu HEP: *základní* metodu a *rozšířenou* metodu. Základní metoda je určena pro screening úkolů, poskytuje jednoduchá pravidla pro určení rozsahu HEP pro úkol založený na kombinovaných stavech PSF. Rozšířená metoda využívá výsledek základní metody k analýze činností nebo částí úkolu, kde je potřeba větší přesnost a podrobnosti. Vztah mezi základní a rozšířenou metodou je znázorněn na obrázku 12.



Obr. 12 – Vztah mezi základní a rozšířenou metodou CREAM (převzato a přeloženo z [92])

## Základní metoda CREAM

Základní metoda se skládá z následujících kroků:

1. Sestavení sekvence událostí nebo analýza úkolů. Analýza úkolů byla provedena v předchozí kapitole pomocí metody HTA (viz Příloha)
2. Hodnocení výkonnostních podmínek – CPC (Common Performance Conditions), za kterých se provádí úkol.

Metoda CREAM stanovuje 9 všeobecných výkonnostních podmínek (Common Performance Conditions – CPCs), obdobných PSF, které by mohly ovlivnit HEP. Tyto CPC jsou:

- Adekvátnost organizace
- Pracovní podmínky
- Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory
- Dostupnost postupů / plánů
- Počet souběžných cílů
- Dostupný čas
- Denní doba
- Přiměřenost výcviku a příprava
- Kvalita spolupráce zaměstnanců

Pomocí expertního odhadu provedeme hodnocení výkonnostních podmínek prostředí, ve kterém se provádí obsluha cementační pece. Výsledky hodnocení jsou zobrazeny v tabulce 11.

Tab. 11 – CPCs a spolehlivost výkonu (převzato a přeloženo z [92])

CPC	Stav	Očekávaný vliv na spolehlivost výkonu obsluhy
Adekvátnost organizace	Velmi efektivní	Zvýšení
	Efektivní	Nevýznamný
	Neefektivní	Snížení
	Nedostačující	Snížení
Pracovní podmínky	Příznivý	Zvýšení
	Kompatibilní	Nevýznamný
	Nekompatibilní	Snížení
Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory	Podpůrný	Zvýšení
	Přiměřený	Nevýznamný
	Přijatelný	Nevýznamný
	Nevhodný	Snížení
Dostupnost postupů/plánů	Vhodný	Zvýšení
	Přijatelný	Nevýznamný
	Nevhodný	Snížení
Počet souběžných cílů	Méně než kapacita	Nevýznamný
	Odpovídající kapacitě	Nevýznamný

	Více než kapacita	Snížení
Dostupný čas	Přiměřený	Zvýšení
	Dočasně nedostatečný	Nevýznamný
	Stále nedostatečný	Snížení
Denní doba	Denní čas	Nevýznamný
	Noční čas	Snížení
Přiměřenost zkušenosti	Přiměřený, hodně zkušeností	Zvýšení
	Přiměřený, málo zkušeností	Nevýznamný
	Nedostatečný	Snížení
Kvalita zaměstnanců	Velmi efektivní	Zvýšení
	Efektivní	Nevýznamný
	Neefektivní	Nevýznamný
	Nedostačující	Snížení

Žlutě v druhém sloupci jsou označené stavy jednotlivých výkonnostních podmínek, ve třetím sloupci je k tomu přiřazen očekávaný vliv na spolehlivost obsluhy. V popsaném případě podmínky jako celek mají průměrný charakter, s výjimkou dostupnosti postupů/plánů a přiměřenosti výcviku a zkušeností. Zde se předpokládá, že proces cementace má pouze procedurální podporu, ale obsluha není specificky vyškolená. Jinými slovy, proces se nepovažuje za poměrně důležitý (alespoň z bezpečnostního hlediska), výcvik se bere jako součást práce (učení od zkušených kolegů atd.). To znamená, že v daném případě organizace musí být charakterizována jako neefektivní. Metoda CREAM bere také v úvahu vzájemné závislosti mezi výkonnostními podmínkami a „synergický efekt“ jejich vlivů na spolehlivost.

#### *Adekvátnost organizace*

Tento faktor popisuje kvalitu rozdělení odpovědností mezi členy týmu, dodatečnou podporu, komunikační systémy, systém řízení bezpečnosti, vnitřní pokyny a pokyny pro externě orientované aktivity, role vnějších orgánů atd. Adekvátnost organizace jednoznačně ovlivňuje faktor *Pracovní podmínky*. Čím je lepší organizace, tím lepší budou pracovní podmínky a naopak. Podobná závislost existuje vůči faktorům: *Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory*, *Dostupnost postupů/plánů*, *Přiměřenost výcviku a příprava*, *Kvalita spolupráce zaměstnanců*. Ve všech čtyřech případech, a možná zejména v posledních třech, bude rozhodující faktor Adekvátnost organizace. Do jisté míry lze také tvrdit, že Adekvátnost organizace má vliv na faktor *Denní doba*, v tom smyslu, že efektivní organizace bude schopna minimalizovat negativní důsledky změny pracovní doby. To je ovšem spíše nepřímý účinek, a proto nemusí být tady uvažován.

#### *Pracovní podmínky*

Tento faktor zahrnuje fyzické pracovní podmínky, jako je okolní osvětlení, oslnění na obrazovkách, hluk z poplachů, vyrušení z úkolu atd. Pracovní podmínky mají přímý dopad na *počet souběžných cílů*, v tom smyslu, že lepší pracovní podmínky mohou vést ke snížení počtu cílů. Naopak lze předpokládat, že zlepšení pracovních podmínek prodlužuje *dostupný čas*. Nedostatečné pracovní podmínky mohou také více omezit *dostupnost postupů/plánů*, ačkoli to lze také považovat za přímý výsledek adekvátnosti organizace.

#### *Přiměřenost rozhraní člověk-stroj (MMI – Man Machine Interface) a provozní podpory*

Tento faktor zahrnuje stav rozhraní člověk-stroj, včetně informací dostupných na ovládacích

panelech, počítačových pracovních stanicích a operační podporu. Přiměřenost MMI a provozní podpory má přímý vliv na *pracovní podmínky*. Pokud jsou MMI a provozní podpora nedostatečné, budou pracovní podmínky zjevně také horší. Důležitější je významný vliv MMI na *počet cílů a dostupný čas*. Pokud se zlepší MMI, sníží se počet cílů a současně se zvýší dostupný čas.

#### *Dostupnost postupů/plánů*

Postupy a plány zahrnují provozní a nouzové postupy, známé vzorce reakce apod. Tento faktor, stejně jako MMI má zřejmý vliv na *počet cílů a dostupný čas*. Pokud je dostupnost postupů a plánů vysoká, počet cílů bude menší a dostupný čas bude větší.

#### *Počet souběžných cílů*

Faktor popisuje počet úkolů, které je člověk povinen vykonat současně (tj. vyhodnocení účinků akcí, vzorkování nových informací, posouzení více cílů apod.). To má přímý dopad na *dostupný čas* v tom smyslu, že oba faktory jsou nepříbuzné. Pokud je potřeba vykonat více cílů, sníží se dostupný čas – a naopak.

#### *Dostupný čas*

Tento faktor popisuje čas, který je k dispozici pro provedení úkolu. Má vliv na jeden z aspektů *pracovních podmínek* – přerušení úkolu, v tom smyslu, že se pracovní podmínky zhorší, když se sníží množství dostupného času. V kombinaci počet souběžných cílů a dostupného času odpovídá klasickému pojetí pracovní zátěže.

#### *Denní doba*

Denní doba míní čas, kdy je úkol vykonáván, zejména zda je osoba přizpůsobena aktuálnímu času (cirkadiánnímu rytmu). Typickými příklady jsou účinky práce na směny. Je zřejmé, že denní doba má vliv na kvalitu práce a že výkon je menší, pokud je normální cirkadiánní rytmus narušen. Konkrétně to může být vyjádřeno jako vliv na *pracovní podmínky*, stejně jako vliv na *dostupný čas*, v tom smyslu, že méně efektivní výkon znamená, že je k dispozici potenciálně snížené množství času.

#### *Přiměřenost výcviku a zkušeností*

Tento faktor zahrnuje úroveň a kvalitu školení poskytovaných operátorům jako seznámení s novými technologiemi, osvěžení starých dovedností apod. To se týká také úrovně provozních zkušeností. Přiměřenost výcviku a příprava má vliv na *pracovní podmínky*, *dostupný čas* a *spolupráci zaměstnanců*. Čím je lepší výcvik a víc zkušeností, tím jsou lepší pracovní podmínky, tím více času bude k dispozici a tím kvalitnější bude spolupráce zaměstnanců.

#### *Kvalita spolupráce zaměstnanců*

Kvalita spolupráce mezi členy týmu je důležitá pro běžné i nevhodné situace. V týmu, kde členové spolupracují, budou úkoly vykonávány efektivně, potřeba zbytečné komunikace bude snížena, nesprávné akce budou často zaznamenávány a obnovovány včas a odpovědnost a zdroje budou sdíleny flexibilně. Kvalita spolupráce členů týmu má vliv na *dostupný čas*, neboť účinná komunikace a účinné využívání zdrojů zabrání nedorozumění a bude šetřit čas.

Výše popsané závislosti jsou znázorněny v tabulce 12, kde faktory v levém sloupci jsou ovlivněny faktory v horním řádku. Světle šedé buňky indikují závislost dvou faktorů. Ve druhém sloupci se tedy předpokládá, že „počet souběžných cílů“ a „dostupný čas“ jsou závislé na „pracovních podmínkách“. Pokud se pracovní podmínky zlepší, předpokládá se, že počet souběžných cílů, tj. počet úkolů, které má obsluha současně vykonat, se sníží (v tabulce označeno jako „-“) a množství dostupného času se zvýší (v tabulce označeno jako „+“).

Tab. 12 – Závislosti mezi CPCs v metodě CREAM (převzato a přeloženo z [92])

	Adekvátnost organizace	Pracovní podmínky	Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory	Dostupnost postupů / plánů	Počet souběžných cílů	Dostupný čas	Denní doba	Přiměřenost výcviku a zkušeností	Kvalita spolupráce zaměstnanců
Adekvátnost organizace									
Pracovní podmínky	+		+			+	+	+	
Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory	+								
Dostupnost postupů / plánů	+								
Počet souběžných cílů		-	-	-					
Dostupný čas		+	+	+	-		+		+
Denní doba									
Přiměřenost výcviku a zkušeností	+								
Kvalita spolupráce zaměstnanců	+							+	

Každý faktor může zvyšovat, snižovat spolehlivost obsluhy anebo nemít významný vliv (viz tabulka). Pro uvažování vlivu vzájemné závislosti mezi CPCs lze použít schéma na obrázku 13.

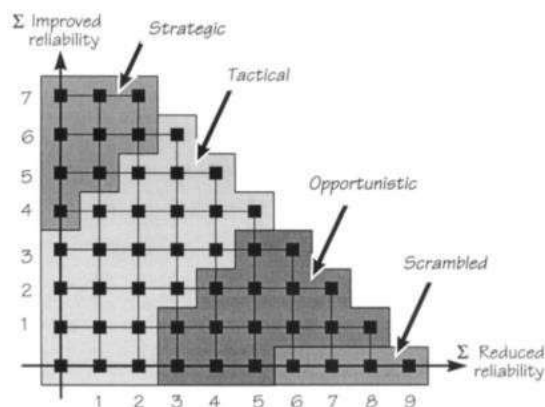


Obr. 13 – Postup úpravy vlivu CPCs na spolehlivost obsluhy (převzato a přeloženo z [92])

Hodnoty vlivu CPCs na spolehlivost pro analyzovaný v této práci případ po aplikaci výše uvedeného postupu se nemění.

### 3. Určení stavu „kontrolního režimu“ a také obecné pravděpodobnosti selhání.

Na základě počtu snížení a zvýšení spolehlivosti obsluhy se pak pomocí grafu na obrázku 14 vyhodnocuje „kontrolní režim“ a odpovídající hodnota HEP:



Obr. 14 – Vztah mezi CPC a kontrolním režimem (převzato a přeloženo z [92])

Hodnoty HEP pro různé kontrolní režimy jsou:

- Strategic (strategický):  $5E-6 < HEP < 1E-2$ ;
- Tactical (taktický):  $1E-3 < HEP < 1E-1$ ;
- Opportunistic (oportunistický):  $1E-2 < HEP < 5E-1$ ;
- Scrambled (zmatený):  $1E-1 < HEP < 1$ .

V prostředí analyzovaném v této práci dojde ke snížení spolehlivosti obsluhy kvůli stavu CPC ve dvou případech, ke zvýšení – v jednom případě, vliv ostatních výkonnostních podmínek je nevýznamný (viz obrázek 14).

V této situaci jde o taktický kontrolní režim s obecnou hodnotou HEP v rozmezí:

$$1E-3 (0.001) < HEP < 1E-1 (0.1)$$

### **Rozšířená metoda CREAM**

Pro detailnější analýzu a výpočet specifické hodnoty HEP se používá rozšířená metoda CREAM. (viz obrázek 12). Rozšířená metoda se skládá z následujících kroků:

#### 1. Sestavení profilu kognitivních požadavků pro úkol.

V tomto kroku sekvence úkolů je rozepsána podle kognitivních aktivit, které charakterizují jednotlivé akce. CREAM identifikuje patnáct základních kognitivních aktivit, které může obsluha provádět během své pracovní činnosti (viz tabulka 13).

Tab. 13 – Kognitivní aktivity podle metody CREAM (převzato a přeloženo z [92])

<b>Kognitivní aktivita</b>	<b>Obecná definice</b>
Koordinovat	Přivádět systém do potřebného stavu pro provedení úkolu. Přidělení nebo výběr zdrojů v rámci přípravy k provedení úkolu, kalibrace zařízení atd.
Komunikovat	Předávat nebo přijímat informace potřebné pro provoz systému verbálními, elektronickými nebo mechanickými prostředky. Komunikace je nezbytnou součástí manažementu.
Porovnávat	Prozkoumávat vlastnosti dvou nebo více subjektů (výsledků měření) s cílem objevit podobnosti nebo rozdíly. Porovnání může vyžadovat výpočet.
Diagnostikovat	Rozpoznat nebo určit povahu nebo příčinu stavu systému pomocí určitých příznaků nebo provedením vhodných testů. Diagnostika je důkladnější než identifikace.
Vyhodnocovat	Vyhodnotit skutečnou nebo hypotetickou situaci na základě dostupných informací bez nutnosti zvláštních operací. Související pojmy jsou „prozkoumat“ a „zkontrolovat“
Vykonat	Provést dříve určenou akci nebo plán. Vykonání zahrnuje takové akce jako otevření / zavření, start / stop, plnění / vypouštění apod.
Identifikovat	Stanovit totožnost stavu systému nebo podsystému. To může zahrnovat specifické operace získání informací a prozkoumání podrobností. Identifikovat je důkladnější než vyhodnocovat.
Udržovat	Zachování určitého provozního stavu (liší se od údržby, která je obecně činnost mimo provoz).
Monitorovat	Sledovat stav systému v průběhu času nebo sledovat vývoj parametrů procesu.
Pozorovat	Dívat se nebo si číst specifické měřené hodnoty systémových indikací
Plánovat	Formulovat nebo připravovat seznam kroků, kterými bude cíl úspěšně



	dosažen. Plán může být krátkodobý nebo dlouhodobý.
Zaznamenat	Zapisovat nebo zaznamenávat události systému, měření atd.
Regulovat	Změna parametrů systému pomocí ovládacích prvků za účelem dosažení cíle.
Prohledávat	Rychlá revize displeje nebo jiných informačních zdrojů pro získání celkového dojmu o stavu systému/subsystému.
Ověřovat	Potvrzení správnosti stavu nebo měření systému, a to buď kontrolou, nebo zkouškou. To také zahrnuje zpětnou vazbu z předchozích operací

Přiřazení kognitivních aktivit v sekvenci úkolů při obsluze cementační pece je uvedeno v tabulce E-1 Přílohy E této práce.

Kognitivní aktivity se pak používají k vytvoření kognitivního profilu pro hlavní úlohy, založené na funkcích popsanych v základním kognitivním modelu.

Pojem kognitivního profilu je založen na myšlence, že uvedené kognitivní aktivity kladou různé požadavky na kognitivní funkce, které jsou nedílnou součástí lidské činnosti. Některé aktivity se většinou skládají z operací přímo na fyzickém rozhraní (tj. manipulace s kontrolním zařízením), například *regulovat* nebo *vykonat*. Naopak jiné kognitivní aktivity zahrnují především manipulaci se znalostmi (tj. symbolickou reprezentací systému a prostředí), například *identifikovat* nebo *vyhodnocovat*. Všechny jsou však kognitivními aktivitami v tom smyslu, že zahrnují neredukovatelnou úroveň mentální činnosti. Pouze tropismy a reflexe, podmíněné či nepodmíněné, mohou být považovány za aktivity, které nejsou kognitivní.

Účelem kognitivního profilu je reprezentovat požadované charakteristiky pro vykonání úkolu a určit druh poruchy, který může být očekáván. Existují zřetelné rozdíly mezi úkoly, které převážně zahrnují manipulaci s kontrolním zařízením podle předem definovaného postupu, a úkoly, kdy operátor neví okamžitě, co má dělat. Kognitivní profil s kognitivními funkcemi a aktivitami je znázorněn v tabulce 14.

Tab. 14 – Kognitivní profil úkolů dle CREAM

Druh aktivity	Kognitivní funkce			
	Pozorování	Interpretace	Planování	Provedení
Koordinovat			•	•
Komunikovat				•
Porovnávat		•		
Diagnostikovat		•	•	
Vyhodnocovat		•	•	
Vykonat				•
Identifikovat		•		
Udržovat			•	•
Monitorovat	•	•		
Pozorovat	•			

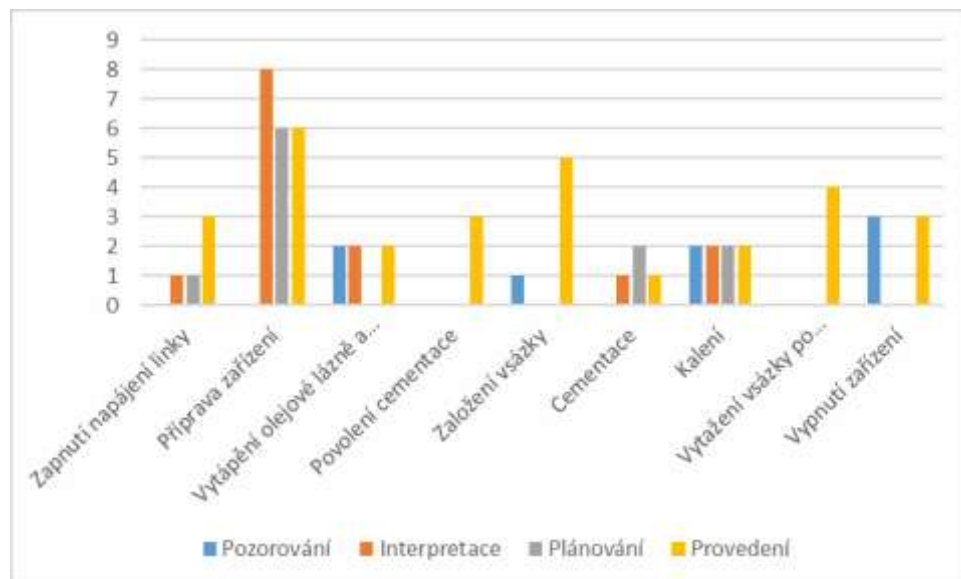
Plánovat			•	
Zaznamenat		•		•
Regulovat	•			•
Prohledávat	•			
Ověřovat	•	•		

Model, ze kterého vychází tabulka, předpokládá, že existují čtyři základní kognitivní funkce, které souvisejí s pozorováním, interpretací, plánováním a prováděním. Každá typická kognitivní aktivita pak může být popsána z hlediska kombinace čtyř kognitivních funkcí, které vyžaduje. Například, koordinace zahrnuje plánování a provedení: plánování se používá k určení toho, co má být uděláno, a provedení je realizace plánu. Naopak úkol, který vyžaduje, aby operátor sledoval parametry výkonu systému (druh aktivity – monitorovat), bude primárně vyžadovat pozorování a interpretaci jak je označeno v tabulce.

Aktivita „komunikovat“ se týká pouze kognitivní funkce provedení, tj. provádění komunikační činnosti. Nezapomínejme, že kognitivní funkce nelze přiřadit kognitivním aktivitám, protože kognitivní funkce nelze kombinovat svévolným způsobem. Tak obě kognitivní aktivity: *diagnostikovat* a *vyhodnocovat* se vztahují ke kognitivním funkcím interpretace a plánování. Důvodem, proč jsou samostatnými kognitivními aktivitami, je to, že odkazují na různé charakteristické úkoly na úrovni výkonu.

Kognitivní profil obsluhy cementační pece je uveden v tabulce E-2 Přílohy E této práce.

Po vytvoření kognitivního profilu lze sečíst počet výskytů každé z kognitivních funkcí pro každý úkol. Celkové součty lze snadno zobrazit v grafické podobě (viz obrázek 15), pro reprezentaci kognitivního profilu úkolů. Na obrázku je zobrazen kognitivní profil postupu obsluhy cementační pece.



Obr. 15 – Kognitivní profil postupu obsluhy cementační pece

## 2. Identifikace pravděpodobných poruch kognitivní funkce.

Po identifikaci kognitivních aktivit a odpovídajících kognitivních funkcí je možné určit poruchy kognitivní funkce, které by mohly nastat, a to pomocí taxonomie chyb CREAM (viz kapitola 6.3.1.3). Možné chybové režimy pro obsluhu cementační pece jsou uvedeny v tabulce E-3 Přílohy E této práce.

## 3. Určení základní HEP pro všechny dílčí úkoly.

Pomocí tabulky 15, ve které jsou uvedeny různé druhy poruch kognitivních funkcí, lze určit základní hodnoty HEP pro každý úkol.

Tab. 15 – Matice pro stanovení HEP kognitivních aktivit podle metody CREAM

Kognitivní aktivita	Typ lidské funkce												
	Pozorování			Interpretace			Plánování		Provedení				
	O1	O2	O3	I1	I2	I3	P1	P2	E1	E2	E3	E4	E5
	1E-3	3E-3	3E-3	2E-1	1E-2	1E-2	1E-2	1E-2	3E-3	3E-3	5E-4	3E-3	3E-2
Koordinovat													
Komunikovat													
Porovnávat													
Diagnostikovat													
Vyhodnocovat													
Vykonat													
Identifikovat													
Udržovat													
Monitorovat													
Pozorovat													
Plánovat													
Zaznamenat													
Regulovat													
Prohledávat													
Ověřovat													

\* Stínované buňky jsou možné typy lidských chyb

O1: Byl pozorován špatný objekt    O2: Chybné rozpoznání objektu    O3: Pozorování nebylo provedeno

I1: Chybná diagnostika

I2: Chyba v rozhodování

I3: Zpožděná interpretace

P1: Chyba priorit

P2: Chybný plán

E1: Akce špatného typu

E2: Akce v nevhodný čas

E3: Akce na špatném objektu

E4: Akce ve špatné sekvenci

E5: Neprovedená akce

## 4. Určení vlivu PSF na HEP dílčích úloh a výpočet specifické pravděpodobnosti selhání.

Pomocí tabulky 16 se základní hodnoty HEP upraví násobením koeficientů faktorů na základě zjištěných stavů PSF.

Tab. 16 – Koefficienty PSF pro úpravu základních hodnot HEP

CPC	Stav PSF	Typ lidské funkce			
		Pozorování	Interpretace	Plánování	Provedení
Adekvátnost organizace	Velmi efektivní	1.0	1.0	0.8	0.8
	Efektivní	1.0	1.0	1.0	1.0
	<b>Neefektivní</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>
	Nedostačující	1.0	1.0	2.0	2.0
Pracovní podmínky	Příznivý	0.8	0.8	1.0	0.8
	<b>Kompatibilní</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	Nekompatibilní	2.0	2.0	1.0	2.0
Přiměřenost rozhraní člověk-stroj a provozní podpory	Podpůrný	0.5	1.0	1.0	0.5
	Přiměřený	1.0	1.0	1.0	1.0
	<b>Přijatelný</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	Nevhodný	5.0	1.0	1.0	2.0
Dostupnost postupů / plánů	Vhodný	0.8	1.0	0.5	0.8
	<b>Přijatelný</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	Nevhodný	2.0	1.0	5.0	
Počet souběžných cílů	Méně než kapacita	1.0	1.0	1.0	1.0
	<b>Odpovídající kapacitě</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	Více než kapacita	2.0	2.0	5.0	2.0
Dostupný čas	<b>Přiměřený</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
	Dočasně nedostatečný	1.0	1.0	1.0	1.0
	Stále nedostatečný	5.0	5.0	5.0	5.0
Denní doba	<b>Denní čas</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
	Noční čas	1.2	1.2	1.2	1.2
Přiměřenost výcviku a zkušeností	Přiměřený, hodně zkušeností	0.8	0.5	0.5	0.8
	Přiměřený, málo zkušeností	1.0	1.0	1.0	1.0
	<b>Nedostatečný</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>

Kvalita spolupráce zaměstnanců	Velmi efektivní	0.5	0.5	0.5	0.5
	Efektivní	1.0	1.0	1.0	1.0
	Neefektivní	1.0	1.0	1.0	1.0
	Nedostačující	2.0	2.0	2.0	5.0

Výpočet nominálních a upravených specifických hodnot HEP je uveden v tabulce E-4 Přílohy E této práce.

Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 17:

Tab. 17 – 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 3.0E-3	5.0E-1 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 3.0E-3	5.0E-1 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 manipulátora 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.

### 6.3.3 Snížení rizika

#### 6.3.3.1 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 předehřívá 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 předehřátí 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 předebrátí 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 vsázky 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, zabraňujících 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 otrávu. 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.

### 6.3.3.2 Mapa zlepšení stavu systému působením na PSF

Pro odhad vlivu PSF (performance shaping factors) se používají lineární a logaritmické modely, které zahrnují hodnoty HEP a váhy PSF (the weight of PSF), avšak nepočítají se závislostmi mezi jednotlivými faktory [122].

Různými autory byly udělány pokusy vytvořit model, který by zohledňoval dané vazby, a to pomocí Bayesian Belief Network (BBN) [111], Analytic Network Process (ANP) [130] a modelu IDAC (information, decision, and action in crew context) [131].

V této práci bude popsána další možnost analýzy vztahů mezi faktory ovlivňujícími spolehlivost člověka, a to pomocí metody kvalitativního modelování [117], 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

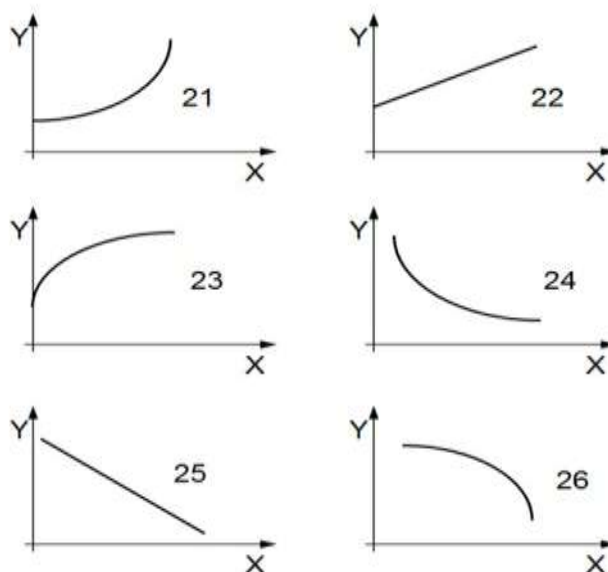
t. Pro vytvoření kvalitativního modelu bylo vybráno 10 faktorů (viz tabulka 18):

Tab. 18 – 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 16):



Obr. 16 – 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 [2], [62], [123], [124] aj. Pro každý pár faktorů byly vybrány příslušné kvalitativní vztahy (oboustranné vazby) (viz obrázek 16). Faktory bez vzájemných závislostí byly označeny „X“ (viz tabulka 19).

Tab. 19 – 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 19 byly přidány do následujícího vstupního modelu (tabulka 20). 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. 20 – 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 20.

Tab. 20 – 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	+--	+--	+--	+--	+--

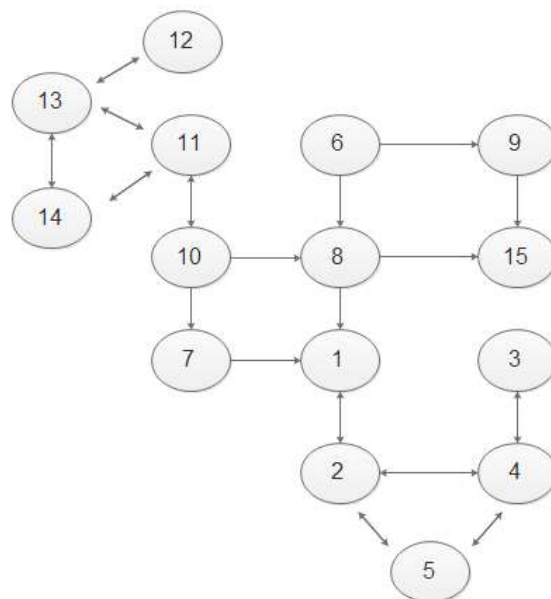
14	+--	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
15	+--	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

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 20.

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 17.



Obr. 17 – 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“. Přejchod 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.

## 7 ZÁVĚR

Tato dizertační 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 směrnicích 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 dizertační 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 dizertační 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.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Management rizik v konstrukci výrobních strojů: Historické pojetí managementu rizika dle Hlinovského. 2009. ISSN 1212-2571.
- [2] SPURGIN, Anthony J. *Human reliability assessment. Theory and practice*. USA: CRC Press, 2010. 300 s. ISBN 978-1-4200-6851-1.
- [3] MUKHAMETZIANOVA, Leisan a Luboš KOTEK. Prevence havárií zapříčiněných selháním lidského činitele v České republice a Rusku. In: *Plné texty přednášek konference Aprochem 2012*. Praha: PCHE PetroCHemEng, 2012, s. 8. ISBN 978-80-02-02376-0.
- [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] Rozhodnutí Evropského Parlamentu a Rady č. 768/2008/ES ze dne 9. července 2008 o společném rámci pro uvádění výrobků na trh a o zrušení rozhodnutí Rady 93/465/EHS. In: L 218/82. 2008. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32008D0768>
- [6] 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>
- [7] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility. In: L 96/79. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1548169517503&uri=CELEX%3A32014L0030>
- [8] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/35/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí na trh Text s významem pro EHP. In: L 96/357. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0035>
- [9] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/104/ES ze dne 16. září 2009 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví pro používání pracovního zařízení zaměstnanci při práci. In: L 260/5. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0104>
- [10] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/68/EU ze dne 15. května 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání tlakových zařízení na trh. In: L 189/164. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>
- [11] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/34/EU ze dne 26. února 2014. In: L 96/309. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0034>
- [12] Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh. In: Částka č. 45/2016 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-118>
- [13] Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh. In: Částka č. 45/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-117>
- [14] Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení. In: Částka č. 56/2008 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-176>



- [15] Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. o bližších požadavcích na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí. In: Částka č. 144/2001 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-378>
- [16] Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. In: Částka č. 6/1997 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>
- [17] Zákon č. 262/2006 Sb. zákoník práce. In: Částka č. 84/2006 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>
- [18] Vyhláška Českého úřadu bezpečnosti práce č. 48/1982 Sb., kterou se stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení. In: Částka č. 9/1982 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1982-48>
- [19] Management rizik v konstrukci výrobních strojů: Směrnice a normy pro management rizik. 2009. ISSN 1212-2571.
- [20] 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.
- [21] ČSN EN 746-2:2011 Průmyslová tepelná zařízení – Část 2: Bezpečnostní požadavky na zařízení ke spalování a manipulaci s palivy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [22] ČSN EN 746-3:1998+A1:2010 Průmyslová tepelná zařízení – Část 3: Bezpečnostní požadavky na výrobu a použití řízených atmosfér. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [23] ČSN EN 746-4:2000 Průmyslová tepelná zařízení – Část 4: Zvláštní bezpečnostní požadavky na galvanizační tepelná zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [24] ČSN EN 746-5:2005 Průmyslová tepelná zařízení – Část 5: Zvláštní bezpečnostní požadavky na tepelná zařízení se solnými lázněmi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [25] ČSN EN 746-8:2001 Průmyslová tepelná zařízení – Část 8: Zvláštní bezpečnostní požadavky na zařízení pro kalení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.
- [26] ČSN EN ISO 14120:2017 + Opr.1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [27] ČSN EN ISO 14119:2014 + Opr.1:2015 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [28] ČSN EN ISO 13849-1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [29] ČSN EN ISO 13849-2:2013 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 2: Ověřování platnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

- [30] ČSN EN 62061:2005 + Změna:A2:2016 – Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [31] ČSN EN ISO 26800:2012 – Ergonomie – Obecný přístup, zásady a pojmy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [32] ČSN EN 349+A1:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [33] ČSN EN ISO 14738:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [34] ČSN EN 614-1:2006+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady navrhování – Část 1: Terminologie a všeobecné zásady. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [35] ČSN EN 614-2:2000+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické zásady pro projektování – Část 2: Interakce mezi konstrukcí strojního zařízení a pracovními úkoly. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [36] ČSN EN ISO 13732-1:2009 Ergonomie tepelného prostředí – Metody posuzování odezvy člověka na kontakt s povrchy – Část 1: Horké povrchy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [37] ČSN EN 1837+A1:2010 – Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [38] ČSN EN ISO 14159:2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Hygienické požadavky pro konstrukci strojních zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [39] ČSN EN 894-3+A1:2009 – Bezpečnost strojních zařízení – Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovládačů – Část 3: Ovládače. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [40] ČSN EN 61310-1 ed. 2: 2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 1: Požadavky na vizuální, akustické a taktilní signály. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [41] ČSN EN 61310-2 ed. 2: 2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 2: Požadavky na značení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [42] ČSN EN 61310-3 ed. 2: 2008 – Bezpečnost strojních zařízení – Indikace, značení a uvedení do činnosti – Část 3: Požadavky na umístění a funkci ovládačů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [43] ČSN EN 31010:2011 – Management rizik – Techniky posuzování rizik. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [44] ČSN EN 60300-1:2015 ed. 2 Management spolehlivosti – Část 1: Návod pro management a použití. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [45] JÍRA, Jiří. Hořely kalicí pece, škoda je za deset milionů. In: Deník.cz [online]. 2012 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: <https://jihlavsky.denik.cz/pozary/horely-kalici-pece-skoda-je-za-deset-milionu-20121215.html>

- [46] KROUPA, Vladimír. Jak umřít snadno a rychle. In: Blog.idnes.cz [online]. 2009 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: <http://vladimirkroupa.blog.idnes.cz/c/111797/Jak-umrit-snadno-a-rychle.html>
- [47] KAMENÍKOVÁ, Miroslava. Při požáru kalicí pece vznikla škoda skoro 4 miliony. In: Deník.cz [online]. 2009 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: <https://krkonosky.denik.cz/pozary/pri-pozaru-kalici-pece-vznikla-skoda-skoro--milion.html>
- [48] DANĚK, Jan. Požár v Brně zničil průmyslovou pec, škoda je dvacet milionů. In: Idnes.cz [online]. 2014 [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: [http://brno.idnes.cz/pozar-kalici-pecebrno-slatina-dej-/brno-zpravy.aspx?c=A140812\\_093921\\_brno-zpravy\\_daj](http://brno.idnes.cz/pozar-kalici-pecebrno-slatina-dej-/brno-zpravy.aspx?c=A140812_093921_brno-zpravy_daj)
- [49] LEITL, Rudolf a Ivan KUNA. *Sledování a zabezpečování spolehlivosti lidského činitele*. Plzeň: Ústřední výzkumný ústav, 1982. ISBN 715-092-2119/7.
- [50] PETRILLO, A., DE FELICE, F., FALCONE, D. et al. J Fail. Anal. and Preven. (2017) 17: 462. <https://doi.org/10.1007/s11668-017-0262-y>
- [51] KOTEK, Luboš, Marek TABAS, Petr BLECHA a Radim BLECHA. Rizika vzniku nebezpečné atmosféry v elektrické peci a opatření k jejich eliminaci. *Automa* [online]. 2012, č. 12 [cit. 2013-10-13].
- [52] 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>
- [53] 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.
- [54] 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 take z: <http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SAFE15-025-1>
- [55] 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
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států. In: L 326/6. 1992. Dostupné také z: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:21998A1203\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:21998A1203(01))
- [59] Úmluva o účincích průmyslových havárií přesahujících hranice států, Helsinky, Finsko, 1992 [online]. In: . [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/umluva\\_o\\_ucincich\\_havarii](https://www.mzp.cz/cz/umluva_o_ucincich_havarii)

- [60] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU ze dne 4. července 2012 o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES. In: L 197/1. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32012L0018>
- [61] 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.
- [62] Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, 2010. ISBN 9780470925096.
- [63] 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.
- [64] ZAREI, Esmail, 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>
- [65] DEKKER, Sidney W.A. *Ten Questions About Human Error: A New View of Human Factors and System Safety*. London: Lawrence Erlbaum Associates, 2005. 240 s. ISBN 0-8058-4744-8.
- [66] Kapitola I. Lidský činitel v letecké dopravě (část 1). *Investice do rozvoje vzdělávání: VŠB – Technická univerzita Ostrava* [online]. 2011 [cit. 2013-11-14]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/117>
- [67] VAŇOUREK, Jiří. *Lidský faktor v letectví*. Brno, 2009. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10626/2009\\_DP\\_Vanourek\\_Jiri\\_53176.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10626/2009_DP_Vanourek_Jiri_53176.pdf?sequence=1). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Miroslav Šplíchal, Ph.D.
- [68] Zákon č. 49/1997 Sb. o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů. In: Částka č. 17/1997 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49>
- [69] 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.
- [70] ŠULC, Jiří a Vladimír NĚMEC. *Lidský činitel v údržbě letadel*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 151 s. ISBN 80-720-4482-6.
- [71] CAP 719 Fundamental Human Factors Concepts. Civil Aviation Authority, 2002. Dostupné také z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/cap719.pdf>
- [72] HUMAN FACTORS DIGEST No. 6: ERGONOMICS. Montreal: International civil aviation organization, 1992.
- [73] 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>
- [74] YANG, Kun, Liqun TAO a Jie BAI. Assessment of Flight Crew Errors Based on THERP. *Procedia Engineering*. 2014, 80, 49-58. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.09.059. ISSN 18777058. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814011527>
- [75] Convention on nuclear safety. In: *Official Journal of the European Communities*. 1999, L 318/21.

- [76] Úmluva o včasném oznamování jaderné nehody. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2005, L 314/22.
- [77] Směrnice Rady 2009/71/Euratom ze dne 25. června 2009, kterou se stanoví rámec Společenství pro jadernou bezpečnost jaderných zařízení. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2009, L 172/18.
- [78] Česká republika. Předpis č. 263/2016 Sb. Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. In: *Sbírka zákonů č.5*. 1997. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-18>
- [79] ČSN EN 62241:2006+Z1:2016 – Jaderné elektrárny – Blokova dozorna – Funkce a indikace výstřah. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [80] SKŘEHOT, Petr. Spolehlivost lidského činitele. In: Oborový portál pro BOZP [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/spolehlivost-lidskeho-cinitele>
- [81] VORONOV, R., ALZBUTAS, R. (2010). Human reliability analysis for probabilistic safety assessment of a nuclear power plant. *Energetika*. 56. 178–185.
- [82] ČSN EN ISO 14123-1:2017 – Bezpečnost strojních zařízení – Snižování ohrožení zdraví nebezpečnými látkami emitovanými strojním zařízením – Část 1: Zásady a specifikace pro výrobce strojních zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [83] ČSN EN 981+A1:2009 - Bezpečnost strojních zařízení – Systém akustických a vizuálních signálů nebezpečí a informačních signálů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [84] ČSN EN ISO 13857:2008+Opr.1:2010 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [85] BLECHA, Petr. Jsou stroje z hlediska EU bezpečné? In: Oborový portál pro BOZP [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/jsou-stroje-z-hlediska-eu-bezpecne>
- [86] ČSN EN 31000:2018 – Management rizik – Směrnice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [87] KOUDELKA, Ctirad a Václav VRÁNA. Rizika a jejich analýza. VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra obecné elektrotechniky, 2006. Dostupné také z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>
- [88] PROCHÁZKOVÁ, Dana. Metodiky hodnocení rizik. In: Oborový portál pro BOZP [online]. 2004 [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/metodiky-hodnoceni-rizik>
- [89] ČSN EN 62508:2011 – Návod pro lidská hlediska spolehlivosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [90] WICKENS, Christopher D., Justin G. HOLLANDS, Simon. BANBURY a R. PARASURAMAN. *Engineering psychology and human performance*. Fourth edition. ISBN 02- 059-4574-0.
- [91] REASON, J. T. *Human error*. New York: Cambridge University Press, 1990. ISBN 05-213-1419-4.
- [92] HOLLNAGEL, Erik. *Cognitive reliability and error analysis method*. Oxford: Elsevier, 1998. 302s. ISBN: 978-0-08-042848-2.
- [93] BLACKMAN. *Human Reliability and Safety Analysis Data Handbook*. USA: John Wiley & Sons, 1994. ISBN 0471591106, 9780471591108.

- [94] KOTEK, Luboš. Vysoké učení technické v Brně. *Spolehlivost lidského činitele*. Přednáška z předmětu Bezpečnostní inženýrství. Brno, 2005.
- [95] BELL, J. a HOLROYD, J. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Review of human reliability assessment methods. 2009.
- [96] FONSECA, R. A., A. C. M. ALVIM, E. FRUTUOSO, P. F. F. MÊLO a M. A. B. ALVARENGA. A THERP/ATHEANA analysis of the latent operator error in leaving EFW valves closed in the TMI-2 accident. *Science and Technology of Nuclear Installations*. *Science and Technology of Nuclear Installations* [online]. 2013, [cit. 2013-11-10]. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/stni/2013/787196/>
- [97] BORING, R. L. a D. I. GERTMAN. Human reliability analysis for small modular reactors. In: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012*. Helsinki: Curran Associates, Inc., 2012, s. 10.
- [98] RUIZ-SÁNCHEZ, T. a P. F. NELSON. Application of the ATHEANA methodology for the HRA of a PSA scenario for a BWR nuclear power plant. In: *10th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, PSAM 2010*. Seattle: IAPSAM, 2010, s. 10.
- [99] MUSHARRAF, Mashrura, J. HASSAN, F. KHAN, B. VEITCH, S. MACKINNON a S. IMTIAZ. Human reliability assessment during offshore emergency conditions. *Safety Science*. *Science Direct* [online]. 2013, č. 59 [cit. 2013-11-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575351300088X>
- [100] NOROOZI, Alireza, N. KHAKZAD, F. KHAN, S. MACKINNON a R. ABBASSI. The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities. *Reliability Engineering & System Safety*. *Science Direct* [online]. 2013, č. 119 [cit. 2013- 11-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013002032>
- [101] EMBREY, David a Peter LEADBETTER. New thinking in human reliability assessment: How to assess human reliability in dynamic, interactive environments. In: *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012*. NY: Curran Associates, Inc., 2012, pages 10[29] – 1054. ISBN 978-1-62276-436-5.
- [102] DIMATTIA, D. G. Predicting human error probabilities for muster actions during LNG tanker emergencies. In: *International Gas Research Conference Proceedings*. NY: Curran Associates, Inc., 2012, pages 2846 – 2866. ISBN 978-1-62276-385-6.
- [103] PARK, K. S. a J. I. LEE. A new method for estimating human error probabilities: AHP- SLIM. *Reliability Engineering and System Safety*. *Science Direct* [online]. 2008, č. 93 [cit. 2013- 11-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832007000567>
- [104] MITOMO, N. Common Performance Condition for Marine Accident – Experimental Approach. In: *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET)*. Himeji: IEEE, 2012, s. 5. ISBN 978-1-4799-0276-7ISSN 2157-0477.
- [105] YANG, Z. L., S. BONSALL, A. WALL, J. WANG a M., USMAN. A modified CREAM to human reliability quantification in marine engineering. *Ocean Engineering*. *Science Direct* [online]. 2013, č. 58 [cit. 2013-11-16]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801812003915>
- [106] XIAO-YAN, ZHONG-XIANG a EN-RONG. Driver Behavior Failure Probability Prediction Based on CREAM. In: *Information Engineering and Computer Science*, 2009. ICIECS 2009. Wuhan, 2009, s. 4. ISBN 978-1-4244-4994-1.

- [107] GERTMAN, D., H. BLACKMAN, J. MARBLE, J. BYERS, L. HANEY a C. SMITH. *The SPAR-H human reliability analysis method* [online]. Washington, DC, 2005 [cit. 2013-11-12]. Manuscript. US Nuclear Regulatory Commission. Dostupné z: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr6883/cr6883.pdf>.
- [108] STRATER, Oliver a Heiner BUBB. Reliability engineering and system safety. *Science Direct* [online]. 1999, č. 63 [cit. 2013-11-05]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832098000477>
- [109] LUBOŠ, Kotek a Leisan MUKHAMETZIANOVA. Validation of human error probabilities with statistical analysis of misbehaviors. In: *CHISA 2012*. Praha: Česká společnost chemického inženýrství, 2012, s. 5. ISBN 978-80-905035-1-9.
- [110] GONZALEZ, R., M. DARBRA a Josef ARNALDOS. Using Fuzzy Logic to Introduce the Human Factor in the Failure Frequency Estimation of Storage Vessels in Chemical Plants. In: *LP 2013*. Florence: The Italian Association of Chemical Engineering, 2013, s. 6. ISBN 978-88-95608-23-5ISSN 1974-9791.
- [111] GOMES, Erika a Juliana P. DUARTE. Human Reliability Analysis of Radiotherapy Procedures Using Bayesian Networks. In: *LP 2013*. Florence: The Italian Association of Chemical Engineering, 2013, s. 6. ISBN 978-88-95608-24-2ISSN 1974-9791.
- [112] HAZOP. Výzkumný ústav bezpečnosti práce [online]. 2005 [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/HAZOP>
- [113] FUCHS, Pavel a David VALIŠ. Technická univerzita v Liberci. *Metody analýzy a řízení rizika*. Liberec, 2004.
- [114] 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](http://www.vubp.cz/index.php/component/docman/doc_download/147-hta-metoda)
- [115] 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](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.
- [116] Management rizik v konstrukci výrobních strojů. Praha : MM Průmyslové spektrum, 2009. 90 s. ISSN 1212-2572.
- [117] VICHA, 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. ISSN09600779. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960077908000155>
- [118] JECH, Jaroslav. Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969.
- [119] KRAUS, Václav: Tepelné zpracování a slinování, Plzeň 2000
- [120] Druhy kalicích prostředků. In: AZ Prokal [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <http://azprokal.cz/cs/prehled-sortimentu/chemicke-pripravky/kalici-oleje-a-polymery/teorie/>
- [121] Měření množství propan butanu v láhvi. In: Expedice Apalucha o.s. [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <http://www.expedice-apalucha.cz/technika/obytno-auto/plyn-lpg/mereni-propan-butanu.html>
- [122] HOLLNAGEL, Erik. *Human Reliability Analysis Context and Control*. London: Academic Press, 1993, 326 s. ISBN 01-235-2658-2.

- [123] GROTH, Katrina M. A DATA-INFORMED MODEL OF PERFORMANCE SHAPING FACTORS FOR USE IN HUMAN RELIABILITY ANALYSIS. Maryland, USA, 2009. ce. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland.
- [124] MODARRES, M. Risk analysis in engineering: techniques, tools, and trends. Boca Raton, 2006. ISBN 978-157-4447-941.
- [125] ESMAEILI, Fatemeh, Zohreh JAMALI a Amin BABABEIPOUYA. Risk and Human Reliability Assessments at a Tool Factory and Control Suggestions. Pakistan Journal of Medical and Health Sciences. 2018(12).
- [126] BERNATÍK, A. Prevence závažných havárií I. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006, 86 s. ISBN 80-866-3489-2.



## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ANP	Analytic Network Process
APJ	Absolute Probability Judgment
ASEP	Accident Sequence Evaluation Program
ATHEANA	A Technique For Human Error Analysis
BBN	Bayesian Belief Network
CAHR	Connectionism Assessment Of Human Reliability
CPC	Common Performance Conditions
CREAM	Cognitive Reliability And Error Analysis Method
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
EHS	Evropské hospodářské společenství
EN	Evropská norma
ES	Evropské společenství
ESARR	EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement
ETA	Event Tree Analysis
EU	Evropská unie
EUROCONTROL	European Organization for the Safety of Air Navigation
FAA	Federal Aviation Administration
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
HAZOP	Hazard Operation Process
HEP	Human Error Probability
HCR	Human Cognitive Reliability Correlation
HEART	Human Error Assessment And Reduction Technique
HRA	Human Reliability Assessment
ILO	International Labour Organization
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDAC	Information, Decision and Action
ISO	International Organization for Standardization
LČ	Lidský činitel
JAA	Joint Aviation Authorities
JAR	Joint Aviation Requirements

MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
MERMOS	Méthode d'Evaluation de la Réalisation des Missions Opérateur pour la Sùreté
MMI	Man Machine Interface
NARA	Nuclear Action Reliability Assessment
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NV	Nařizení vlády
OSN	Organizace spojených národů
PRA	Probabilistic Risk Assessment
PSF	Performing Shaping Factors
PZH	Prevence závažných havárií
Sb.	Sbírka zákonů
SLIM	Success Likelihood Index
SPAR-H	The Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
TRC	Time Reliability Correlation

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1– Opakovací postup k dosažení bezpečnosti strojního zařízení	25
Obr. 2 – Model SHELL	32
Obr. 3 – Jednoduchý model zpracování informací člověkem	33
Obr. 4 – Kontext zpracování informací pro reprezentaci lidské chyby	34
Obr. 5 – Schéma lidské chyby	36
Obr. 6 – Metody první generace	36
Obr. 7 – Metody druhé generace	37
Obr. 8 – Klasifikace HRA metod podle A. Spurgina	37
Obr. 9 – Posouzení spolehlivosti lidského činitele v rámci posouzení rizik	44
Obr. 10 – Základní etapy chemicko-tepelného zpracování	45
Obr. 11 – Koncentrační profily uhlíku při různých teplotách cementování	47
Obr. 12 – Vztah mezi základní a rozšířenou metodou CREAM	58
Obr. 13 – Postup úpravy vlivu CPCs na spolehlivost obsluhy	63
Obr. 14 – Vztah mezi CPC a kontrolním režimem	63
Obr. 15 – Kognitivní profil postupu obsluhy cementační pece	66
Obr. 16 – Korelační vztahy proměnných	74
Obr. 17 – Korelační vztahy proměnných	76

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Preventivní opatření k nebezpečí pocházejícím z průmyslových pecí	23
Tab. 2 – Použitelnost nástrojů při posuzování rizik	31
Tab. 3 – Oblast implementace vybraných metod HRA	40
Tab. 4 – Parametry posuzované cementační pece	48
Tab. 5 – Tlaky provozních médií cementační pece	49
Tab. 6 – Řízení základních parametrů průběhu cementace	51
Tab. 7 – Seznam klíčových slov pro HAZOP, jejich význam a příklad použití	52
Tab. 8 – Odchytky parametrů prvků cementační pece	53
Tab. 9 – Odchytky od úkolu vykonávaného obsluhou	55
Tab. 10 – Fáze průběhu cementace	56
Tab. 11 – CPCs a spolehlivost výkonu	59
Tab. 12 – Závislosti mezi CPCs v metodě CREAM	62
Tab. 13 – Kognitivní aktivity podle metody CREAM	64
Tab. 14 – Kognitivní profil úkolů dle CREAM	65
Tab. 15 – Matice pro stanovení HEP kognitivních aktivit podle metody CREAM	67
Tab. 16 – Koeficienty PSF pro úpravu základních hodnot HEP	68
Tab. 17 – Nominální a upravené hodnoty HEP pro obsluhu cementační pece	69
Tab. 18 – Vybrané faktory pro kvalitativní model	73
Tab. 19 – Vzájemné závislosti mezi faktory v kvalitativním modelu	74
Tab. 20 – Vstupní model	75

## **12 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A: Porovnání HRA metod	95
Příloha B: HAZOP	101
Příloha C: Hierarchical Task Analysis	132
Příloha D: Human HAZOP	133
Příloha E: CREAM – Cognitive Reliability And Error Analysis Method	155

### 13 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 havarijní 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.

## PŘÍLOHA A

### POROVNÁNÍ HRA METOD

Tab. A-1 – Vlastnosti a možnosti metod HRA

Metoda	Screening <sup>1</sup>	Rozklad úkolů <sup>2</sup>	Seznam PSF (množství)	Kauzální model <sup>3</sup>	Pokrytí <sup>4</sup> : 1: Ergonomie 2: Kognitivní 3: Organizační
THERP	Ano	Screening, diagnostika a akce	3+ <sup>5</sup>	Jednovrstvý <sup>6</sup>	1 a 3
CREAM	Ano	15 typů úloh	9 pro kvantifikaci, mnoho pro kořenové příčiny	Vícevrstvý	1, 2 a 3
NARA	Ne	14 obecných úkolů	18	Jednovrstvý	1, 2 a 3
SPAR-H	Ne	Diagnostika, akce	8 pro kvantifikaci, mnoho pro kořenové příčiny	Jednovrstvý	1, 2 a 3
ASEP	Ne	Diagnostika, akce	Na základě THERP	Jednovrstvý	1 (omezeně) 2 (omezeně) 3 (omezeně)
SLIM	Ne	Není specifikováno	Definováno uživatelem (9 doporučeno)	Jednovrstvý	Analytici mohou definovat oblast, která má být pokryta, navrhovaný seznam pokrývá 1, 2, 3
HEART	Ne	9 obecných úkolů	38	Jednovrstvý	1, 2 a 3
ATHEANA	Ne	Není specifikováno	Definováno uživatelem	Implicitní	1, 2 a 3
CAHR	Ne	12 typů činností uvedených v diagramu systému člověk-stroj	35	Jednovrstvý	1, 2 a 3
UMH	Ne	7 typů úloh	23	Dvouvrstvý	1, 2 a 3
CESA	Ne	Chyba při rozhodování, korekce chyb	5	Jednovrstvý	1, 2 a 3
TRC	Ano	Není specifikováno	Nejméně 1		Analytici mohou definovat oblast, která má být pokryta, navrhovaný seznam pokrývá 1, 2, 3 (omezeně)
EPRI	Ne	Diagnostika,	30	Dvouvrstvý	1, 2 (omezeně), 3



CBDT		Akce			
HF PFMEA	Ne	Funkční analýza, HTA	Mnoho	Třívrstvý	1, 2 a 3

<sup>1</sup> Pro předběžný screening a identifikaci významných lidských aktivit v PRA.

<sup>2</sup> Rozložení zjištěných významných lidských aktivit do subúkolů pro specifickou analýzu chyb.

<sup>3</sup> Zda je kauzální řetězec předložen analytikovi k identifikaci „kořenových příčin“ z bezprostředních příčin.

<sup>4</sup> Metoda poskytuje „relativně podrobné“ pokyny pro posouzení PSF a jejich vlivů na specifický problémový rozsah.

- Ergonomie – návrh ovládacích systémů, aspektů strojů, osvětlení, návrh systému, fyzická pracovní zátěž, fyzická únava; tj. cokoli fyzikální nebo fyziologické
- Kognitivní – rozhodování, duševní pracovní zátěž, kognitivní únava, tj. cokoli kognitivní (poznávací)
- Organizační – návrh úkolů, vliv managementu na spolehlivost člověka, pracovní procesy, organizace úkolů / procesní uspořádání, kultura bezpečnosti, tým, komunikace

<sup>5</sup> THERP umožňuje uživateli přidávat jiné PSF než tři výslovně určené metodou (tj. úroveň výcviku, stres a zkušenosti) pro úpravu hodnot HEP, nicméně neposkytuje pokyny pro vliv dalších PSF

<sup>6</sup> Jednovrstvý znamená, že je k dispozici pouze seznam PSF. Vícevrstvý znamená, že je poskytnut explicitní kauzální řetězec s ohledem na vzájemnou závislost kauzálních faktorů. Takové kauzální modely mohou být použity při retrospektivní analýze a při identifikaci kořenových příčin

Tab. A-2 – Zdroje metod, přístupy a zacházení se závislostí a obnovení

Metoda	Primární zdroj pro odhad HEP		Přístup analýzy		HEP pro specifické chybové režimy	Explicitní zpracování		Odhady hranic nejistot <sup>1</sup>
	číslo je poskytnuto metodou	číslo je získáno analytikem	manuální	podporovaná softwarem		závislosti mezi úkoly/ chybami	obnovení (zahrnuje akce se zpětnou vazbou)	
THERP	√		√		Specifikuje typické chyby provedení a opomenutí	√	√	√
CREAM	√		√		13 chybových režimů			√
NARA	√		√		Není specifikováno			
SPAR-H	√		√		Diagnostika, akce	√	√	√
ASEP	√		√		Diagnostika, akce	√	√	√
SLIM		√	√	√	Není specifikováno			
HCR	√		√		Opomenutí <sup>2</sup>			
HEART	√		√		Není specifikováno			

ATHEANA		√	√		Odborný úsudek	√	√	√
CAHR	√			√	Na základě THERP			
UMH	√	√	√	√	Opomenutí <sup>2</sup>	√		√
CESA	√	√	√		Není specifikováno	Na základě THERP	Na základě THERP	
TRC	√		√		Pouze diagnostika			√
EPRI CBDT	√		√	√	Pouze diagnostika		√	
HF PFMEA	-- <sup>3</sup>	-- <sup>3</sup>	√	Ve vývoji	Mnoho chybových režimů			

<sup>1</sup> Žádná z metod, která poskytuje hranice nejistot, nedělá rozdíl mezi náhodným a epistemickým charakterem neurčitosti

<sup>2</sup> Vynechání požadované akce v určeném čase

<sup>3</sup> Metoda HF PFMEA nevypočítává HEP

Tab. A-3 – Identifikace chyb v metodach a odhad HEP

Metoda	Identifikace chyb		Odhad HEP			Zkušenosti**
	Reprodukovatelnost <sup>1</sup>	Validace <sup>2</sup>	Validace <sup>2</sup>	Reprodukovatelnost <sup>1</sup>	Citlivost <sup>3</sup>	
THERP	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	1 známá validace; široce uváděná	Střední	Nízká	Široce používaná a odkazovaná (jaderný průmysl, ropné vrty na moři, NASA)
CREAM	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Žádná	Vysoká	Nízká	Několik aplikací v jaderném průmyslu, ropné vrty na moři, NASA)
NARA	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Ověření informací proti výsledkům HEART	Střední	Vysoká	Nebyla použita
SPAR-H	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Porovnání základní míry <sup>6</sup>	Vysoká	Nízká	Mnoho aplikací v jaderném průmyslu USA
ASEP	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	1 známá validace	Střední	Střední	Mnoho aplikací v jaderném průmyslu USA
SLIM	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci	Žádná	Nízká	Vysoká	Mnoho aplikací v jaderném

		chyb				průmyslu USA
HEART	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	2 známé validace <sup>5</sup>	Nízká	Vysoká	Aplikace v jaderném, chemickém a obranném průmyslu Velké Británie
ATHEANA	Střední	Žádná	Žádná	Nízká	Střední	Aplikace pro demilitarizace chemických a jaderných zbraní v Americe a železnice
CAHR	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Na základě THERP	Vysoká	Nízká	Aplikace v řízení jaderného, automobilového a leteckého provozu v Německu
UMH	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Žádná	Střední	Citlivý v jednom konci rozdělení pravděpodobnosti	Jednou v jaderném průmyslu USA
CESA	Vysoká <sup>4</sup>	Žádná	Žádná	Střední	Nízká	Jednou v jaderném průmyslu ve Švýcarsku
TRC	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Žádná	Střední	Vysoká v oblasti vysoké pravděpodobnosti	Několik aplikací v jaderném průmyslu USA
EPRI CBDT	Neprovádí identifikaci chyb	Neprovádí identifikaci chyb	Žádná	Vysoká	Nízká	Několik aplikací v jaderném průmyslu USA
HF PFMEA	Vysoká	Žádná	Neprovádí kvantifikaci HEP	Neprovádí kvantifikaci HEP	Neprovádí kvantifikaci HEP	NASA

\*\* Odkazuje na počet a rozmanitost aplikací

<sup>1</sup> Reprodukovatelnost se týká úrovně konzistence výsledků analýz prováděných různými osobami

<sup>2</sup> Odkazuje na formální nezávislé ověření výsledků

<sup>3</sup> Odkazuje na velikost změny numerických výsledků při změně vstupních parametrů

<sup>4</sup> Vyžaduje provozní / nouzové postupy a PRA modely systému

<sup>5</sup> Jedna validace byla provedena autorem metody, druhá nezávislým expertem

<sup>6</sup> Validace byla provedena autory metod

Tab.A-4 – Požadavky na zdroje

Metoda	Úroveň znalostí			Nástroj		Míra úsilí potřebného pro identifikaci chyb	Míra úsilí potřebného pro výpočet HEP <sup>1</sup>
	Specialista HRA (založený na znalostech)	Analytik HRA (asi jeden rok zkušeností)	Analytik PRA (kvalifikovaný)	Ručně	Počítačový kód		
THERP		√		√		*	Střední
CREAM		√		√		*	Střední
NARA		√		√		*	Nízká
SPAR-H			√	√		*	Nízká
ASEP			√	√		*	Nízká
SLIM		√		√		*	Vysoká
HCR		√		√		*	Střední
HEART		√		√		*	Nízká
ATHEANA	√			√		Vysoká	Vysoká
CAHR		√			√	*	Nízká <sup>3</sup>
UMH		√		√	√	*	Střední
CESA		√		√		Nízká	Střední
TRC		√		√		*	Střední
EPRI CBDT		√		√	√ <sup>2</sup>	*	Nízká
HF PFMEA		√		√		Vysoká	**

\* Metoda nezahrnuje specifické pokyny pro identifikaci chyb

\*\* Metoda nezahrnuje specifické pokyny pro výpočet HEP

<sup>(1)</sup> Nízká = během jednoho dne

Střední = do 2 týdnů

Vysoká = náročné na čas a zdroje (zahrnuje odborné získávání informace, více než 2 týdny úsilí)

<sup>(2)</sup> Počítačový kód je k dispozici, ale není nezbytný

<sup>(3)</sup> Vzhledem ke vlastní databázi je analýza jasná a požadavky na zdroje jsou nízké

Tab. A-5 – Náklady a dostupnost metody, nástrojů a dat

<b>Metoda</b>	<b>Metoda/Software</b>	<b>Hodnoty parametrů<sup>1</sup></b>	<b>Hrubá data<sup>2</sup></b>
THERP	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
CREAM	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
NARA	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici veřejně
SPAR-H	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
ASEP	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
SLIM	Volně přístupné	Nejsou k dispozici <sup>3</sup>	Nejsou k dispozici
HCR	Volně přístupné	Nejsou k dispozici <sup>4</sup>	Nejsou k dispozici
HEART	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici veřejně
ATHEANA	Volně přístupné	Nejsou k dispozici	Nejsou k dispozici
CAHR	Licenční poplatek	Volně přístupné s kódem	Nejsou k dispozici veřejně
UMH	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
CESA	Volně přístupné	Nejsou k dispozici	Nejsou k dispozici
TRC	Volně přístupné	Volně přístupné	Nejsou k dispozici
EPRI CBDT	Licenční poplatek	Volně přístupné s kódem	Volně s kódem, primárně pochází z THERP
HF PFMEA	Volně přístupné	Neuplatňuje se (kvalitativní metoda)	Neuplatňuje se (kvalitativní metoda)

<sup>1</sup> vztahuje se na všechny hodnoty parametrů potřebných pro analýzu (např. průměrná doba, referenční HEP)

<sup>2</sup> vztahuje se na původní „surové“ údaje použité při vývoji odhadů HEP

<sup>3</sup> vztahuje se na referenční hodnoty HEP

<sup>4</sup> vztahuje se na střední hodnotu odezvy

## PŘÍLOHA B

### HAZOP

Tab. B-1 – Identifikace nebezpečí spojených s provozem průmyslové pece pomocí metody HAZOP

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
<b>CEMENTAČNÍ PEC</b>						
<b>Plášť</b>						
vyšší	teplota	vyšší teplota na povrchu pláště	výpadek regulace teploty uvnitř pece (porucha PLC) a zároveň porušení izolace	– tavení barvy na povrchu pláště, porušení vrstvy barvy; – při kontaktu obsluhy s horkým povrchem může dojít k popáleninám.	– čidlo limitní teploty topení cementační pece; – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – v případě popálenin první zdravotní pomoc; – proplach pece dusíkem; – odstavení hořáku až po vyhoření cementační atmosféry; – odstavení pece; – kontrola, zjištění příčin. <b>Opatření:</b> – zavedení pravidelné kontroly zadané teploty na panelu operátora; – zavedení průběžné kontroly měřené teploty pomocí panelu operátora; – zavedení pravidelné kalibrace čidel a kontrola signalizace; – nezávislá kontrola nastavení teploty.
			chybné nastavení teploty a zároveň porušení izolace		je limit na zadání teploty cca do 1000° C (bezpečnostní meze)	
			selhání čidel limitní teploty		pozornost obsluhy	
není	celistvost	není celistvost pláště	– výrobní vada; – porušení integrity vzniklé během provozu.	– únik plynů z pece/předkomořy, automatické doplňování dusíku při poklesu tlaku	– měření přetlaku (místní i dálkové) v retortě a předkomoře; – měření množství	<b>Akce:</b> – v případě úniku propanu a metanolu uzavřít přívody látek a větrat; – vypnout elektrické napájení pomocí hlavních

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				<p>v peci/předkomoře;  – v případě, že je spuštěn proces cementace může dojít k úniku propanu a metanolu z pece nebo předkomory, případně zahoření/výbuch vně pece;  – v případě úniku bude klesat přetlak v peci.</p>	<p>dávkovaného dusíku do pece, pokud je vyšší než limita, je hlášená porucha: „Problém s netěsností“;  - automatické bezpečné odstavení pece (odpojení topení, uzavření přívodu procesních plynů, spuštění poplach dusíkem).</p>	<p>uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);  – nahlásit nehodu.  <b>Opatření:</b>  – naplánovat pravidelnou vizuální kontrola integrity pláště;  – uvážit instalaci detektoru úniku propanu;  – pravidelná kontrola tlaku uvnitř pece/předkomoře obsluhou;  – zabezpečit dobré větrání a odsávání na pracovišti.  – kontrola plynůstnosti pece a předkomory (1x měsíc).</p>
				<p>– v případě úniku v přípravné fázi inertizace únik inertního plynu (dusíku) vně pece, možnost udušení obsluhy.</p>	<p>– měření přetlaku (místní i dálkové) v retortě a předkomoře;  – pokud je doplňování dusíku do předkomory častější, než přednastavená podmínka v programu řídicího systému je hlášená porucha: „Problém s netěsností“.</p>	<p><b>Akce:</b>  – v případě úniku dusíku uzavřít přívod dusíku, zajistit větrání místnosti;  – evakuace personálu z pracovního prostoru;  – sledovat hladinu kyslíku.  <b>Opatření:</b>  – instalace detektoru úniku dusíku, kyslíku případně osobní čidla;  – zabezpečit dobré větrání a odsávání na pracovišti (podložit výpočtem).</p>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
<b>Předkomora</b>						
vyšší	teplota	vyšší teplota v předkomoře	<p>výpadek regulace teploty olejové lázně (porucha PLC)</p> <p>– chybné nastavení teploty; – dveře retorty jsou otevřené; – selhání čidla.</p>	<p>– v případě že bude malé množství oleje, může dojít ke zvýšení teploty oleje nad teplotu vznícení, vysoká teplota oleje, nadměrná tvorba kouře, v případě přítomnosti kyslíku případné vznícení oleje, požár; – v případě vznícení oleje a přítomnosti plynné atmosféry ve směsi s kyslíkem výbuch; – v případě otevření vstupních dveří jsou možné popáleniny od horkého vzduchu.</p>	<p>– čidlo regulace teploty olejové lázně; – čidlo limitní teploty olejové lázně; – světelná a akustická signalizace; – bezpečnostní proplach dusíkem; – limit nastavení teploty olejové lázně pod zápalnou hodnotu oleje; – výkonové dimenzování topných spirál.</p>	<p><b>Akce:</b></p> <p>– v případě vyšší teploty oleje vypnout topení olejové lázně; – zapnout bezpečnostní proplach dusíkem; – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu, v případě požáru do příjezdu HZS použít prostředky zásahové hasicí techniky. Použít hasivo, určené pro třídu požáru F nebo vysokotlakovou vodní mlhou při tlaku min. 40 MPa. Nepoužívat vodu, pěnu, hasební prášek, CO<sub>2</sub> nebo jiná plynná hasiva.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <p>– průběžná kontrola teploty pomocí ovládacího panelu; – signalizace vysoké teploty v olejové lázni; – automatické vypnutí topení po dosažení limitní hodnoty; – kalibrace čidel kvalifikovanými pracovníky; – instalovat požární hlásiče (EPS).</p>
vyšší	koncentrace cementační atmosféry	vyšší koncentrace cementační atmosféry v předkomoře	otevřené dveře retorty nebo netěsná retorta	<p>– v případě že retorta nebude těsná nebo dveře retorty budou otevřené, začne se snižovat teplota a přetlak v retortě; – pokud tlak v retortě klesne</p>	<p>– čidlo na hladinu uhlíku v cementační atmosféře – kyslíková sonda; – snímač přetlaku v předkomoře; – měření tlaku uvnitř</p>	<p><b>Akce:</b></p> <p>– v případě vyšší koncentrace cementační atmosféry v předkomoře uzavřít příklady plynů, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <p>– průběžná kontrola teploty v retortě pomocí</p>



Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				pod mezní hodnotu nastavenou v PLC, je hlášena porucha „nízký tlak“.	retorty; – hlášení PLC: dveře pece jsou otevřené; – světelná a akustická signalizace; – pozornost obsluhy (je zobrazena na panelu operátora poloha dveří).	ovládacího panelu; – kontrola dostatečného množství dusíku.
			– vyšší průtok propanu z tlakové láhve kvůli poruše redukčního ventilu, poruše PLC, elektro ventilu; - chybné nastavení průtokoměrů kvalifikovaným pracovníkem.	– zvýšení přetlaku v peci; – odvod přebytečného tlaku přes přetlakový ventil a vyhoření cementační atmosféry.	– přetlakový ventil předkomory a pece; – vyhoření pecní atmosféry přes přetlakový ventil pomocí hořáku; – dva ventily v sérii; – 3 tlakových čidla v rozváděči procesních médií; – v případě vyššího tlaku hlášení poruchy.	<b>Akce:</b> – v případě odhalení zvýšeného tlaku plynu v tlakové láhvi, uzavřít ventil, nechat vyhořet cementační atmosféru, propláchnout pec dusíkem během 20 minut; – vypnout napájení, zkontrolovat stav redukčního ventilu. <b>Opatření:</b> – kontrola manometrů redukčního ventilu obsluhou.
a také	je kyslík	a také průnik kyslíku do předkomory v průběhu cementace	– inertizace neproběhla; – není dusík v zásobníku; – porucha řídicího systému; – porucha celistvosti	propan a páry metanolu mohou tvořit výbušnou směs ve spojení se vzduchem (kyslíkem), iniciace, možnost výbuchu	– automatické zapnutí proplachu dusíkem; – automatické vypnutí přívodu metanolu a propanu; – automatické odvětrání atmosféry v peci přes	<b>Akce:</b> – v případě vyšší koncentrace cementační atmosféry a přítomnosti kyslíku v předkomoře uzavřít přívody plynů, odvětrat, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem. <b>Opatření:</b> – kontrola dostatečného množství dusíku v

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			pláště retorty; – netěsnost vstupních dveře do předkomory.		hořák.	zásobníku; – kontrola průchodnosti průtokoměrů dusíku; – kontrola těsnosti rozvodů tlakových hadic (tlaková zkouška); – kontrola elektrických připojení; – kontrola zásoby všech plynů před každým použitím; – kontrola tlaku plynů před každým použitím; – kontrola těsnosti dveří; – vizuální kontrola integrity pláště; – kontrola plynotěsnosti pece a předkomory (1x měsíc).
nižší	tlak	nižší tlak v předkomoře ve fázi cementace	– dveře jsou otevřené; – netěsnost předkomory; – nízký tlak plynů z tlakové láhve; – ucpaný ventil; – netěsné potrubí; – porucha přetlakového ventilu – otevření, případně zaseknutí v otevřené poloze.	– pokud tlak v předkomoře klesne pod mezní hodnotu nastavenou v PLC, je hlášena porucha „nízký tlak“; – automatické vypnutí prívodů pracovních plynů, zapnutí proplachu dusíkem.	– čidlo přetlaku v předkomoře; – pokud je doplňování dusíku do předkomory častější, než přednastavená podmínka v programu řídicího systému je hlášena porucha: „Problém s netěsností“; – světelná a akustická signalizace; – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – zkontrolovat možná místa úniku atmosféry (dveře, ventile, potrubí, přetlakový ventil). <b>Opatření:</b> – kontrola tlaku plynů před každým použitím; – kontrola rozvodů tlakových hadic; – kontrola plynotěsnosti pece a předkomory (1x měsíc).
vyšší	tlak	vyšší tlak v předkomoře	– vyšší tlak plynů (propan) z tlakových	– pokud v předkomoře bude vyšší tlak, přetlakovým	– pozornost obsluhy; – čidlo přetlaku v	<b>Akce:</b> – v případě odhalení vyššího tlaku v předkomoře

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			láhvi kvůli poruše redukčního ventilu; – porucha PLC (nereguluje průtok plynů); – zvýšení teploty v předkomoře; – porucha přetlakového ventilu (zaseknutý v uzavřené poloze).	ventilem bude zbytečný tlak odveden do hořáku; – při nárůstu tlaku uvnitř předkomory možnost protržení membrány a únik obsahu předkomory do okolního prostředí, možnost poranění obsluhy.	předkomoře; – přetlakový ventil na předkomoře; – membrána; – hlášení poruchy „vysoký tlak“; – světelná a akustická signalizace. – bezpečnostní vypnutí.	uzavřít přívod procesních plynů, zkontrolovat teplotu. V případě že je vyšší vypnout topení. <b>Opatření:</b> – kontrola teploty; – kontrola ventilů, včetně přetlakového, redukčního; – kontrola průtoku procesních plynů; – zvážít otevření odvětrávacího ventilu.
reverze	dveře předkomory jsou zavřené, ale měly by být otevřené	dveře předkomory jsou zavřené, ale měly by být otevřené	– porucha PLC; – nečistoty.	– ve fázi začátku procesu vsázka se nedostane dovnitř předkomory, cementace neproběhne; – ve fázi ukončení procesu cementace vsázka se nedostane ven z předkomory, žádný vliv na bezpečnost.	– v případě funkčnosti PLC bude v systému hlášena porucha; – pozornost operátora.	<b>Akce:</b> – v případě odhalení poruchy bezpečnostně vypnout pec, provést kontrolu zařízení. <b>Opatření:</b> – vizuální kontrola.
<b>Olejová kalici lázeň</b>						
vyšší	koncentrace kyslíku v olejových párách	vyšší koncentrace kyslíku v olejových párách	– inertizace neproběhla; – otevřené vstupní dveře.	v případě otevřených vstupních dveří může dojít k popáleninám od horkého vzduchu	bezpečnostní proplach dusíkem	<b>Akce:</b> – v případě požáru zapnout bezpečnostní proplach dusíkem; – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu, v případě

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
a také	iniciace olejové lázně	a také je zdroj iniciace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zkrat na topném tělese v olejové lázni (topení je sestaveno z topných těles (3 x 1 kW/230 VAC));</li> <li>– porucha piezoelektrického zapalovače na hořákové liště předkomory. (hořák dveřní lišty je zapalován pomocí zapalovacího transformátoru).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě vyššího obsahu kyslíku v olejových párách a přítomnosti zdroje iniciace může dojít k požáru;</li> <li>– v případě vznícení oleje a přítomnosti plynné atmosféry zahoření uvnitř pece, výbuch.</li> </ul>		<p>požáru do příjezdu HZS použít prostředky zásahové hasicí techniky. Použít hasivo, určené pro třídu požáru F nebo vysokotlakovou vodní mlhou při tlaku min. 40 MPa. Nepoužívat vodu, pěnu, hasební prášek, CO<sub>2</sub> nebo jiná plynná hasiva.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– měření obsahu vody v oleji;</li> <li>– před používáním cementační pece je nutné olej předeheat na teplotu 95-100°C po dobu cca 4 hod, aby se vypařila zkondenzovaná voda v oleji.</li> </ul>
vyšší	teplota oleje	vyšší teplota oleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– selhání regulace teploty (porucha PLC);</li> <li>– porucha čidla regulace teploty olejové lázně.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– při průniku kyslíku a nadměrném přehřátí oleje nad bod vzplanutí, vznícení oleje, případně požár;</li> <li>– v případě vznícení oleje a přítomnosti cementační atmosféry výbuch;</li> <li>– v případě otevřených vstupních dveří jsou možné popáleniny od horkého vzduchu;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pozornost obsluhy;</li> <li>– čidlo regulace teploty olejové lázně;</li> <li>– čidlo limitní teploty olejové lázně;</li> <li>– bezpečnostní proplach dusíkem;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– limit ručního nastavení teploty na max. 130°C.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě požáru zapnout bezpečnostní proplach dusíkem;</li> <li>– vypnout topení pece;</li> <li>– přivolat HZS;</li> <li>– zásah podle vnitřního havarijního plánu, v případě požáru do příjezdu HZS použít prostředky zásahové hasicí techniky. Použít hasivo, určené pro třídu požáru F nebo vysokotlakovou vodní mlhou při tlaku min. 40 MPa. Nepoužívat vodu, pěnu, hasební prášek, CO<sub>2</sub> nebo jiná plynná hasiva.</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				– vliv na kvalitu kalení.		<b>Opatření:</b> – kontrola teploty oleje na panelu operátora; – udržení teploty oleje alespoň 60°C pod teplotou vzplanutí;
vyšší	hladina oleje v nádrži	vyšší hladina oleje v nádrži	přeplnění nádrže v předkomoře (chyba obsluhy)	– v případě vyšší hladiny oleje, olej může vystříknout na horké části pece a vznítit se; – v případě vznícení oleje a přítomnosti cementační atmosféry výbuch; – v případě otevřených vstupních dveří jsou možné popáleniny od horkého vzduchu.	kontrola hladiny oleje v nádrži	<b>Akce:</b> – v případě požáru uzavřít pec a zapnout bezpečnostní proplach dusíkem; – vypnout topení pece; – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu, v případě požáru do příjezdu HZS použít prostředky zásahové hasicí techniky. Použít hasivo, určené pro třídu požáru F nebo vysokotlakovou vodní mlhou při tlaku min. 40 MPa. Nepoužívat vodu, pěnu, hasební prášek, CO <sub>2</sub> nebo jiná plynná hasiva. <b>Opatření:</b> – kontrola hladiny oleje v nádrži před zahájením procesu (otevřít ruční ventil před olejoznakem, zkontrolovat, zda je hladina oleje v přípustných mezích (min-max)); – po kontrole je nutno ventil zavřít; – nikdy nekontrolovat hladinu oleje za chodu pece (v předkomoře je udržován přetlak, a ten by způsobil únik oleje přes olejoznak).
nižší	hladina oleje v nádrži	nižší hladina oleje v nádrži	nedostatečné množství oleje z důvodu	v případě menšího množství oleje v nádrži může dojít	kontrola hladiny oleje v nádrži olejoznakem před	<b>Akce:</b> – v případě odhalení nižší hladiny oleje v nádrži

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			opomenutí jeho kontroly a opomenutí doplnění	k poškození chlazeného materiálu	zahájením cementaci	doplnit olej při dalším cyklu cementace (olej musí být zahřát na určitou teplotu). <b>Opatření:</b> – kontrola hladiny oleje v nádrži před zahájením procesu (otevřít ruční ventil před olejoznakem, zkontrolovat, zda je hladina oleje v přípustných mezích (min-max)); – po kontrole je nutno ventil zavřít; – nikdy nekontrolovat hladinu oleje za chodu pece (v předkomoře je udržován přetlak, a ten by způsobil únik oleje přes olejoznak).
a také	jiná látka	a také je jiná látka v olejové lázni (voda)	do nádrže v olejové lázni byla přidána jiná látka (voda) (chyba obsluhy)	– v případě kdy do nádrže byla přidána voda místo oleje, voda se vypaří, kalení neproběhne, vsázka bude poškozena; – únik velkého množství páry komínem, možné opaření obsluhy.	indikace teploty olejové lázni (100°C) (pozornost obsluhy)	<b>Akce:</b> – v případě odhalení chyby bezpečnostně vypnout pec; – vyčistit nádrž, přidat olej. <b>Opatření:</b> – pořádek na pracovním místě, omezit možnost chyby, to znamená nechat v pracovním prostoru jen potřebné prostředky, které by měli být označené.
a také	degradace oleje	a také je degradace oleje	nebyla provedena výměna oleje, olej byl používán delší dobu	degradace oleje způsobuje snížení teploty vzplanutí, může dojít k požáru	není	<b>Akce:</b> – v případě požáru zapnout bezpečnostní proplach dusíkem; – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu, v případě požáru do příjezdu HZS použít prostředky zásahové hasicí techniky. Použít hasivo, určené pro třídu

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						<p>požáru F nebo vysokotlakovou vodní mlhou při tlaku min. 40 MPa. Nepoužívat vodu, pěnu, hasební prášek, CO<sub>2</sub> nebo jiná plynná hasiva.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– záznam každé výměny oleje a kontrola záznamů.</li> </ul>
<b>Ocelová záruvzdorná retorta</b>						
nižší	teplota	nižší teplota v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– výpadek regulace teploty;</li> <li>– porucha topných spirál;</li> <li>– chybné nastavení teploty;</li> <li>– výpadek el. energie.</li> </ul>	v případě teploty nižší než 750°C, plyn vstupující do retorty se nerozloží na uhlík a vodík, může dojít ke snížení kvality cementace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– čidlo na teplotu;</li> <li>– signalizace;</li> <li>– automatické zapínání proplachu dusíkem;</li> <li>– automatické vypnutí přívodu metanolu a propanu;</li> <li>– vyhoření pecní atmosféry pomocí hořáku;</li> <li>– v případě spouštění pece pod hodnotu 750 C° se nedá spustit procesní plyn (zajištěno PLC);</li> <li>– v průběhu procesu cementace se uzavřou přívody procesních plynů a zapne se proplach dusíkem (5-krát objem retorty).</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení teploty v retortě pod 750°C, uzavřít přívod pracovních plynů, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem;</li> <li>– nechat atmosféru vyhořet.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– průběžná kontrola teploty pomocí ovládacího panelu;</li> <li>– kontrola dostatečného množství dusíku;</li> <li>– kontrola rozvodů tlakových hadic;</li> <li>– kontrola elektrických připojení.</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
vyšší	teplota	vyšší teplota v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– výpadek regulace teploty;</li> <li>– nejsou otevřené ručně ovládané klapky pro nepřímé chlazení;</li> <li>– chybné nastavení teploty.</li> </ul>	v případě výpadku regulace teploty, čidlo může buď nevysílat žádný signál, buď vysílat špatný. V prvním případě se pec odpojí, v druhém může dojít k neustálému zahřátí pece a k následující destrukce retorty (materiál retorty je dimenzován na 1000°C, maximální provozní teplota spirály je 1400°C)	čidla limitní teploty topení retorty	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení vyšší teploty v retortě vypnout topení pece, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– průběžná kontrola teploty pomocí ovládacího panelu;</li> <li>– kalibrace termočlánků.</li> </ul>
není	dusík	není dusík v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není dusík v zásobníku;</li> </ul>	v případě že bude probíhat cementace a nebude v retortě dusík je možné že se dostane do pece kyslík a ve směsi s plynnou atmosférou vytvoří výbušnou směs	<ul style="list-style-type: none"> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě zjištění v průběhu cementace nepřítomnosti dusíku uzavřít přívod pracovních plynů, atmosféru v peci nechat vyhořet.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola dostatečného množství dusíku před zapnutím pece;</li> <li>– kontrola rozvodů tlakových hadic;</li> <li>– kontrola elektrických připojení;</li> <li>– kontrola ventilů;</li> <li>– kontrola průtoku inverzního dusíku.</li> </ul>
a také	cementační atmosféra	a také je cementační atmosféra	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ventil je zavřený;</li> <li>– porucha PLC (nedošel signál o proplachu dusíkem).</li> </ul>			
nižší	koncentrace dusíku	nižší koncentrace dusíku v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha ventilu (ucpaný);</li> <li>– malé množství dusíku</li> </ul>	v případě že koncentrace dusíku nebude dostatečná pro bezpečnost, může dojít	<ul style="list-style-type: none"> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– hlášení poruchy „nízký“</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení nižší koncentrace dusíku v retortě (podle tlaku), uzavřít přívod pracovních</li> </ul>



Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			v láhvi; – z netěsných potrubí uniká dusík; – únik dusíku z pece.	k výbuchu	tlak dusíku“.	plynů, atmosféru v peci nechat vyhořet, zjistit příčinu a odstranit. <b>Opatření:</b> – kontrola dostatečného množství dusíku před zapnutím pece; – kontrola ventilů; – kontrola průtoku inverzního dusíku; – instalace detektorů úniku dusíku, kyslíku.
vyšší	koncentrace dusíku	vyšší koncentrace dusíku v retortě	– porucha redukčního ventilu; – porucha PLC; – přebytečné množství dusíku při proplachování pece.	nemá vliv na bezpečnost	– kyslíková sonda; – průtokoměr dusíku; – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> nemá vliv na bezpečnost
není	cementační atmosféra	cementační atmosféra není v retortě	– proces cementace není zahájen; – není plyn v láhvích; – uzavřené ventily (mechanická porucha – zaseknutí, porucha PLC).	v případě že v retortě nebude cementační atmosféra, cementace neproběhne, žádný vliv na bezpečnost	– tlaková čidla (dusík pro metanol, propan); – pozornost obsluhy (panel operátora).	<b>Akce:</b> – v případě odhalení nepřítomnosti cementační atmosféry v retortě, zkontrolovat láhev s plynem a funkčnost ventilů. <b>Opatření:</b> – kontrola dostatečného množství procesních plynů před zapnutím pece; – kontrola ventilů.

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
nižší	koncentrace cementační atmosféry	nižší koncentrace cementační atmosféry v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha ventilu (ucpaný);</li> <li>– malé množství propanu v láhvi;</li> <li>– nízký tlak dusíku na metanol;</li> <li>– retorta není těsná.</li> </ul>	v případě nižší koncentrace cementační atmosféry bez úniku plynů ven, může být ovlivněna kvalita nahličování	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kyslíková sonda;</li> <li>– průtokoměr propanu a metanolu;</li> <li>– měření tlaku (místní a dálkové), snímač přetlaku, manometr;</li> <li>– hlášení poruchy v případě nízkého tlaku propanu nebo dusíku vytlačujícího metanol.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení nižší koncentrace cementační atmosféry v retortě a plyn neuniká ven, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu a odstranit ji.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola dostatečného množství propanu, metanolu a dusíku v láhvích;</li> <li>– kontrola funkčnosti ventilů;</li> <li>– kontrola plynotěsnosti retorty (1x měsíc).</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>– z netěsných potrubí uniká plyn;</li> <li>– porucha ventilu (ulomený);</li> <li>– atmosféra uniká z pece.</li> </ul>	v případě nižší koncentrace cementační atmosféry z důvodu úniku plynů ven, existuje riziko výbuchu vně pece	<ul style="list-style-type: none"> <li>– měření tlaku (místní a dálkové), snímač přetlaku, manometr (pozornost obsluhy);</li> <li>– pokud je doplňování dusíku do předkomory častější, než přednastavená podmínka v programu řídicího systému je hlášená porucha: „Problém s netěsností“;</li> <li>– bezpečně vypnutí pece (odpojení topení, uzavřou se procesní plyny, zapne se poplachový dusík).</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení nižší koncentrace cementační atmosféry z důvodu úniku plynů uzavřít přívody látek a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP).</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vizuální kontrola integrity pláště;</li> <li>– instalace detektoru úniku propanu;</li> <li>– kontrola tlaku plynu;</li> <li>– na pracovišti zabezpečit dobré větrání a odsávání.</li> <li>– kontrola plynotěsnosti pece a předkomory (1x měsíc);</li> <li>– kontrola těsnosti potrubí a ventilů.</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
vyšší	koncentrace cementační atmosféry	vyšší koncentrace cementační atmosféry v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha redukčního ventilu;</li> <li>– porucha elektromagnetického ventilu (zaseknutý);</li> <li>– porucha PLC.</li> </ul>	vyšší koncentrace cementační atmosféry v retortě může ovlivnit kvalitu nauhličování	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kyslíková sonda;</li> <li>– průtokoměr propanu a metanolu;</li> <li>– měření tlaku (místní a dálkové), snímač přetlaku, manometr (pozornost obsluhy).</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení vyšší koncentrace cementační atmosféry v retortě bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu a odstranit ji.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola funkčnosti ventilů;</li> <li>– kalibrace manometrů.</li> </ul>
nižší	tlak	nižší tlak v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– dveře retorty jsou otevřené;</li> <li>– dveře retorty jsou netěsné;</li> <li>– netěsnost retorty;</li> <li>– nekontrolovaný únik plynné atmosféry;</li> <li>– nízký tlak plynů z tlakové láhve;</li> <li>– ucpaný ventil;</li> <li>– netěsné potrubí.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud tlak v retortě klesne pod mezní hodnotu nastavenou v PLC, je hlášena porucha „nízký tlak“;</li> <li>– riziko průniku kyslíku do retorty, může dojít k výbuchu uvnitř retorty;</li> <li>– v případě úniku atmosféry může dojít k výbuchu vně pece.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– čidla přetlaku v předkomoře;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– pozornost obsluhy (manometr).</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení nižšího tlaku v retortě vypnout přívody pracovních plynů, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem;</li> <li>– zkontrolovat možná místa úniku atmosféry (dveře, ventile, potrubí, přetlakový ventil);</li> <li>– v případě úniku propanu a metanolu uzavřít přívody látek a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nekouřit;</li> <li>– nepoužívat otevřený oheň;</li> <li>– nezapínat žádné elektrické spotřebiče;</li> <li>– zavolat odborníky.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola tlaku plynů před každým použitím;</li> <li>– kontrola rozvodů tlakových hadic;</li> <li>– kontrola plynutěsnosti retorty (1x měsíc);</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						<ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola přetlaku v retortě;</li> <li>– vizuální kontrola integrity pláště;</li> <li>– instalace detektoru úniku propanu;</li> <li>– na pracovišti zabezpečit dobré větrání a odsávání.</li> </ul>
vyšší	tlak	vyšší tlak v retortě	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyšší tlak plynů z tlakových láhví kvůli poruše redukčního ventilu;</li> <li>– porucha PLC (nereguluje průtok plynů);</li> <li>– zvýšení teploty v retortě;</li> <li>– ucpaný nebo vadný přetlakový ventil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud v retortě bude vyšší tlak, přetlakovým ventilem bude zbytečný tlak odveden do hořáku;</li> <li>– v případě závady přetlakového ventilu, existuje riziko výbuchu, při kterém se energie uvolní přes membránu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pozornost obsluhy (manometr);</li> <li>– čidlo přetlaku v retortě;</li> <li>– přetlakový ventil;</li> <li>– membrána;</li> <li>– hlášení poruchy „vysoký tlak“;</li> <li>– světelná a akustická signalizace.</li> <li>– bezpečnostní vypnutí.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení vyššího tlaku v předkomoře uzavřít přívod procesních plynů, zkontrolovat teplotu; v případě že je vyšší vypnout topení;</li> <li>– zkontrolovat funkčnost přetlakového ventilu; v případě závady ji odstranit a nechat atmosféru vyhořet přes hořák.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola teploty;</li> <li>– kontrola ventilů, včetně přetlakového, redukčního;</li> <li>– kontrola průtoku procesních plynů;</li> <li>– kontrola přetlaku v retortě.</li> </ul>
reverze	dveře jsou zavřené, ale měly by být otevřené	dveře retorty jsou zavřené, ale měly by být otevřené	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha PLC;</li> <li>– nečistoty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vsázka se nedostane dovnitř retorty;</li> <li>– vsázka se nedostane ven z retorty, kalení neproběhne, vliv na kvalitu nauhličování.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě funkčnosti PLC bude v systému hlášena porucha;</li> <li>– pozornost operátora.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení poruchy bezpečnostně vypnout pec, provést kontrolu zařízení.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vizuální kontrola.</li> </ul>
<b>Elektro-prostor pece</b>						
vyšší	teplota	vyšší teplota v elektro-prostoru peci	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha ventilátoru;</li> <li>– zborcení ucpávky.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud dojde k navýšení teploty v elektro-prostoru pece, může dojít k poškození kabelu, dávkovače, relé,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě poruchy ventilátoru světelná a akustická signalizace, hlášení poruchy na panelu</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení vyšší teploty v elektro-prostoru peci bezpečně odstavit pec;</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				celého zařízení a ekonomickým ztrátám; – horká atmosféra se dostane ven kolem hřídele; – únik atmosféry ven, může dojít k výbuchu.	operátora; – signalizace.	– kontrola funkčnosti ventilátoru; – zvážit instalaci čidla limitní teploty do elektroprostoru pece; – vyvést informace o poruše motoru ventilátoru do řídicího systému.
<b>Hořák</b>						
není	propan	není propan u hořáku při zapalování	– není propan v láhvi; – ventil propanu je zavřený (mechanická porucha nebo porucha řídicího systému).	v případě nefunkčnosti hořáku se pec nezapne	– indikace plamene (ionizační elektroda); – automatika hořáku; – světelná a zvuková signalizace poruchy; – zobrazení na panelu operátora informace o poruše; – test hořáku před zahájením cementace.	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s propanem; – provést test hořáku a zapnout pec; <b>Opatření:</b> – kontrola množství propanu před zahájením procesu cementace.
		není propan u hořáku v průběhu cementace		v případě že nebude hořet hořák a v peci bude cementační atmosféra, pec se bezpečnostně vypne (uzavřou se přívody procesních plynů, pustí se poplachový dusík); část obsahu pece se může přes přetlakový ventil dostat ven. V případě velké koncentrace výbušné směsi a zdroje iniciace může dojít k výbuchu.		<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s propanem, zapnout hořák pro vyhoření zbylé atmosféry v peci. <b>Opatření:</b> – zajistit zvýšenou bezpečnost hoření plamene (např. náhradní hořák); – zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec.

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
není	plamen	není plamen u hořáku při zapalování	porucha zapalování plamene hořáku	– v případě nefunkčnosti hořáku se pec nezapne; – cementace nebude zahájena, prostož výroby, ekonomické ztráty.	– indikace plamene (ionizační elektroda); – automatika hořáku.	<b>Akce:</b> – zjištění příčin poruchy, oprava kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – pravidelná kontrola, údržba systému zapalování plamenu hořáku.
		není plamen u hořáku v průběhu cementace				
<b>DODÁVKA MEDIÍ</b>						
<b>Vzduch (referenční pro kyslíkovou sondu)</b>						
<b>1.7-15 NI/h, 100 kPa</b>						
není	průtok	není průtok referenčního vzduchu	porucha vzduchového kompresoru	– v případě že nebude dodáván referenční vzduch pro kyslíkovou sondu, sonda nebude funkční (chyba regulace průtoku uhlovodíků do pece); – chybná koncentrace uhlovodíku v peci, snížení kvality nauhličování.	– odstavení pece při výpadku el. energie; – monitorování stavu kompresoru referenčního vzduchu; – signalizace a zobrazení informace o nižším průtoku na obrazovce.	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy, opravit vzduchový kompresor (kvalifikovanou osobou). <b>Opatření:</b> – údržba kompresoru.
nižší	průtok	nižší průtok referenčního vzduchu	znečištěný filtr kompresoru	v případě nižšího průtoku ref. vzduchu nebude dodáváno dostatečné množství vzduchu pro správnou činnost sondy, snížení kvality nauhličování.	signalizace a zobrazení informace o nižším průtoku na obrazovce	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy, opravit (kvalifikovanou osobou). <b>Opatření:</b> – údržba kompresoru (pravidelná výměna filtru).

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
nižší	tlak	nižší tlak vzduchu	– porucha regulace otáček vzduchového kompresoru; – netěsnost na výstupu z kompresoru.	nižší průtok vzduchu, vliv na kvalitu nauhličování	signalizace a zobrazení poruchy na obrazovce	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy, opravit (kvalifikovanou osobou). <b>Opatření:</b> – údržba kompresoru.
<b>Vzduch (proplachový vzduch pro kyslíkovou sondu)</b> <b>20-200 NI/h, 100 kPa</b>						
není	průtok	není průtok vzduchu	– porucha vzduchového kompresoru; – elektromagnetický ventil je uzavřený; – roztržená hadice; – výpadek el. energie.	v případě že nebude dodáván proplachový vzduch pro kyslíkovou sondu, může to ovlivnit funkčnost sondy, vliv na kvalitu nauhličování	signalizace a zobrazení poruchy na obrazovce	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy, opravit (kvalifikovanou osobou). <b>Opatření:</b> – údržba kompresoru; – záložní zdroj energie.
nižší	průtok	nižší průtok vzduchu	– ucpaná nečistotami hadice; – ventil je zaseklý v polootevřené poloze; – znečištěný filtr kompresoru.	v případě nižšího průtoku vzduchu je možné, že proplach sondy nebude dostačujícím pro její funkčnost, vliv na kvalitu nauhličování	signalizace a zobrazení poruchy na obrazovce (informace o průtoku z průtokoměru)	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zjistit příčinu poruchy, opravit (kvalifikovanou osobou). <b>Opatření:</b> – údržba kompresoru (výměna filtru); – kontrola funkčnosti ventilu; – kontrola hadic; – kontrola tlaku před použitím pece.
vyšší	průtok	vyšší průtok vzduchu	vyšší tlak kompresoru	větší spotřeba el.energie, opotřebení kompresoru	signalizace a zobrazení informace o vyšším průtoku na obrazovce	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, nastavit potřebný tlak. <b>Opatření:</b>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						– pozornost obsluhy.
<b>Propan (hořák)</b>						
není	průtok	není průtok propanu při zapalování	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není propan v láhvi;</li> <li>– ventil láhvi je uzavřený;</li> <li>– ruční ventil je uzavřený;</li> <li>– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC);</li> <li>– roztržení hadice s propanem, únik.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– při zapalování v případě nefunkčnosti hořáku se pec nezapne;</li> <li>– v případě dlouhodobého úniku při roztržení hadice propanu může dojít k výbuchu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– indikace plamene (ionizační elektroda);</li> <li>– automatika hořáku;</li> <li>– světelná a zvuková signalizace poruchy;</li> <li>– zobrazení informace o poruše na panelu operátora;</li> <li>– pozornost operátora (identifikace úniku);</li> <li>– test hořáku před zahájením cementace.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zkontrolovat ruční ventil, otevřít;</li> <li>– provést test hořáku a zapnout pec;</li> <li>– vyměnit láhev s propanem;</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem;</li> <li>– kontrola ručního ventilu.</li> </ul>
		není průtok propanu v průběhu cementace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není propan v láhvi;</li> <li>– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>v případě že nebude hořet hořák a v peci bude cementační atmosféra, pec se bezpečnostně vypne (uzavřou se přívody procesních plynů, pustí se poplachový dusík); část obsahu pece se může přes přetlakový ventil dostat ven.</li> </ul>		<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vyměnit láhev s propanem, zapnout hořák pro</li> </ul>



Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				V případě vysoké koncentrace výbušné směsi a zdroje iniciace může dojít k výbuchu.		vyhoření zbylé atmosféry v peci. <b>Opatření:</b> – zajistit zvýšenou bezpečnost hoření plamene (např. náhradní hořák); – zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec; – kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem.
nižší	průtok	nižší průtok propanu	– chybně nastavený redukční ventil; – ruční ventil není dostatečně otevřen; – nečistoty v hadici; – netěsnost hadice s propanem, únik.	– samovolné odstavení hořáku; – v případě dlouhodobého úniku propanu může dojít k výbuchu.	pozornost operátora (redukční ventil, ruční ventil, únik)	<b>Akce:</b> <i>V případě úniku:</i> – uzavřít přívod propanu a větrat; – vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP); – nahlásit nehodu. <i>V případě, že plyn neuniká:</i> – v případě odhalení nižšího průtoku propanu, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu, opravit kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – zajistit zvýšenou bezpečnost hoření plamene (např. náhradní hořák); – zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec; – kontrola ručního ventilu propanu před zapnutím pece;

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						<ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem;</li> <li>– instalace čidla na propan.</li> </ul>
vyšší	průtok	vyšší průtok propanu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyšší tlak z láhve z důvodu poruchy redukčního ventilu;</li> <li>– porucha elektromagnetického ventilu;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyšší spotřeba propanu;</li> <li>– ekonomické ztráty.</li> </ul>	pozornost operátora (redukční ventil, elektromagnetický ventil)	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě odhalení vyššího tlaku na láhvi s propanem, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu, opravit kvalifikovanou osobou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů;</li> <li>– kontrola redukčního ventilu.</li> </ul>
<b>Propan (líšta)</b>						
není	průtok	není průtok propanu (při zahájení procesu cementace)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není propan v láhvi;</li> <li>– ventil láhvi je uzavřený;</li> <li>– ruční ventil je uzavřený;</li> <li>– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC);</li> <li>– roztržení hadice s propanem, únik.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– při zapalování v případě nefunkčnosti hořáku lišty se pec nezapne;</li> <li>– v případě dlouhodobého úniku při roztržení hadice propanu může dojít k výbuchu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hořáková automatika;</li> <li>– hlídač plamene;</li> <li>– ionizační elektroda;</li> <li>– světelná a zvuková signalizace poruchy;</li> <li>– zobrazení informace o poruše na panelu operátora;</li> <li>– pozornost operátora (identifikace úniku);</li> <li>– test hořáku lišty před zahájením cementace;</li> <li>– vyhoření atmosféry přes horní hořák.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zkontrolovat ruční ventil, otevřít;</li> <li>– provést test hořáku a zapnout pec;</li> <li>– vyměnit láhev s propanem.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem;</li> <li>– kontrola ručního ventilu.</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
		není průtok propanu v průběhu cementace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není propan v láhvi;</li> <li>– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC);</li> <li>– roztržení hadice s propanem, únik.</li> </ul>	v případě že nebude hořet hořák lišty při otevření předkomory a budou v peci zbytky cementační atmosféry a zdroj iniciace, může dojít k výbuchu		<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zavřít dveře předkomory, nechat horní hořák zapnutým, vyměnit láhev s propanem, v případě poruchy elektromagnetického ventilu opravit kvalifikovanou osobou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola zásoby propanu před každým použitím;</li> <li>– zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec;</li> <li>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem.</li> </ul>
nižší	průtok	nižší průtok propanu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– chybně nastavený redukční ventil;</li> <li>– ruční ventil není dostatečně otevřen;</li> <li>– nečistoty v hadici;</li> <li>– netěsnost hadice s propanem, únik.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– samovolné odstavení hořáku;</li> <li>– v případě dlouhodobého úniku propanu může dojít k výbuchu.</li> </ul>	pozornost operátora (redukční ventil, ruční ventil, únik)	<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</li> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						<p>– v případě odhalení nižšího průtoku propanu, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu, opravit kvalifikovanou osobou.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <p>– zajistit zvýšenou bezpečnost hoření plamene (např. náhradní hořák);</p> <p>– zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec;</p> <p>– kontrola ručního ventilu propanu před zapnutím pece;</p> <p>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnnotvorným roztokem.</p>
vyšší	průtok	vyšší průtok propanu	<p>– vyšší tlak z láhve z důvodu poruchy redukčního ventilu;</p> <p>– porucha elektromagnetického ventilu.</p>	<p>– vyšší spotřeba propanu;</p> <p>– ekonomické ztráty.</p>	pozornost operátora (redukční ventil, elektromagnetický ventil)	<p><b>Akce:</b></p> <p>– v případě odhalení vyššího tlaku na láhvi s propanem, bezpečnostně vypnout pec, zjistit příčinu, opravit kvalifikovanou osobou.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <p>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů;</p> <p>– kontrola redukčního ventilu.</p>
<b>Propan (proces) (0,01Nm<sup>3</sup>/hod)</b>						
není	průtok	není průtok propanu při zahájení procesu cementace	<p>– není propan v láhvi;</p> <p>– ventil láhvi je uzavřený;</p> <p>– ruční ventil je uzavřený;</p> <p>– elektromagnetický</p>	<p>– proces cementace nebude zahájen, přerušeni provozu, ekonomické ztráty;</p> <p>– signalizace poruchy v systému;</p> <p>– automatické vypnutí pece;</p>	<p>– kyslíková sonda;</p> <p>– řízení PLC;</p> <p>– pozornost obsluhy.</p>	<p><b>Akce:</b></p> <p><i>V případě úniku:</i></p> <p>– uzavřít přívod propanu a větrat;</p> <p>– vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</p>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC).	– v případě dlouhodobého úniku propanu může dojít k výbuchu.		– nahlásit nehodu. <i>V případě, že plyn neuniká:</i> – zjistit příčinu poruchy, opravit kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – kontrola zásoby propanu před zapnutím pece; – kontrola ventilu láhvi a ručního ventilu propanu před zapnutím pece.
		není průtok propanu v průběhu cementace	– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC); – únik plynu.	– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nauhličování); – signalizace poruchy v systému; – automatické vypnutí pece; – v případě dlouhodobého úniku propanu může dojít k výbuchu.		<b>Akce:</b> <i>V případě úniku:</i> – uzavřít přívod propanu a větrat; – vypnout elektrické napájení pomocí hlavních uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP); – nahlásit nehodu. <i>V případě, že plyn neuniká:</i> – zjistit příčinu poruchy, opravit kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – kontrola zásoby propanu před zapnutím pece; – kontrola ventilu láhvi a ručního ventilu propanu před zapnutím pece.
nižší	průtok	nižší průtok propanu při zahájení procesu cementace	– nižší tlak propanu z láhve; – ruční ventil není dostatečně otevřen;	– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nauhličování);	– kyslíková sonda; – řízení PLC; – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> <i>V případě úniku:</i> – uzavřít přívod propanu a větrat; – vypnout elektrické napájení pomocí hlavních

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
		nižší průtok propanu v průběhu cementace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nečistoty v hadici;</li> <li>– únik směrem ven ze systému (roztržená hadice);</li> <li>– únik plynu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– automatické vypnutí pece;</li> <li>– v případě dlouhodobého úniku propanu může dojít k výbuchu.</li> </ul>		<p>uzávěrů a vypínačů (zmačknutí tlačítka CENTRAL STOP);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nahlásit nehodu.</li> </ul> <p><i>V případě, že plyn neuniká:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zjistit příčinu poruchy, opravit kvalifikovanou osobou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola ventilu láhvi a ručního ventilu propanu před zapnutím pece;</li> <li>– kontrola těsnosti hadic a spojů s plynem pěnortvorným roztokem.</li> </ul>
vyšší	průtok	<p>vyšší průtok propanu při zahájení procesu cementace</p> <p>vyšší průtok propanu v průběhu cementace</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– vyšší tlak z láhve;</li> <li>– porucha elektromagnetického ventilu;</li> <li>– porucha PLC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nahličování);</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– automatické vypnutí pece.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kyslíková sonda;</li> <li>– řízení PLC;</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zjistit příčinu poruchy, opravit kvalifikovanou osobou..</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola ventilu láhvi s propanem před zapnutím pece.</li> </ul>
<b>Metanol (0,08l/hod)</b>						
není	průtok	není průtok metanolu při přípravě atmosféry	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není metanol v nádrži;</li> <li>– není dusík v láhvi;</li> <li>– nízký tlak dusíku;</li> <li>– ventil dusíku na láhvi je uzavřený;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– proces cementace nebude zahájen, přerušeni provozu, ekonomické ztráty;</li> <li>– signalizace poruchy v systému.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– kyslíková sonda;</li> <li>– manometr (měření tlaku dusíku);</li> <li>– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zjistit příčinu a opravit (doplnit nádrž s metanolem, doplnit nádrž s dusíkem, otevřít ventil dusíku, otevřít ruční ventil na metanol);</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– použití nádoby na methanol s možností měření</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			<ul style="list-style-type: none"> <li>– ruční ventil na dusík je uzavřený;</li> <li>– ruční ventil na metanol je uzavřený;</li> <li>– elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>ventilu);</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hladiny;</li> <li>– kontrola tlaku dusíku před zapnutím pece;</li> <li>– kontrola poloh ventilů před zapnutím pece;</li> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.</li> </ul>
a také	únik methanolu		<ul style="list-style-type: none"> <li>– roztržení hadice s metanolem, únik;</li> <li>– netěsnost na nádobě s methanolem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– únik metanolu, v případě přítomnosti zápalných zdrojů, může dojít k požáru a vytváření jedovatých plynů;</li> <li>– metanol se rychle odpařuje, existuje nebezpečí vznícení a výbuchu par;</li> <li>– vdechování vysoké koncentrace metanolu může způsobit otravu;</li> <li>– potřísnění methanolem může způsobit otravu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě roztržení hadice s metanolem, uzavřít přívod metanolu, vyměnit hadici;</li> <li>– v případě úniku metanolu zastavit únik v ochranné výstroji, zajistit uniklý metanol před zápalnými zdroji, zajistit dostatečné větrání;</li> <li>– uniklý methanol odčerpat do bezpečné a těsné nádoby, použít absorpční materiály;</li> <li>– v případě malého úniku zředit velkým množstvím vody, zajistit dostatečné větrání.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vizuální kontrola hadic obsluhou a servisním personálem údržby.</li> </ul>
nižší	průtok	nižší průtok metanolu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ventil je v polootevřené poloze;</li> <li>– porucha elektromagnetického</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nahličování);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– manometr (měření tlaku dusíku);</li> <li>– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry);</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zjistit příčinu a opravit;</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola tlaku dusíku před zapnutím pece;</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
			ventilu na metanol; – nižší tlak dusíku;	– signalizace poruchy v systému;	– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu); – pozornost obsluhy.	– kontrola poloh ventilů před zapnutím pece; – kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.
vyšší	průtok	vyšší průtok metanolu	vyšší tlak dusíku z láhve (porucha redukčního ventilu) a porucha elektromagnetického ventilu (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC)	– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nauhličování); – signalizace poruchy v systému.	– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu); – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – zjistit příčinu poruchy, opravit kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – kontrola redukčního ventilu láhve s dusíkem před zapnutím pece; – kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů. – vizuální kontrola údajů z obrazovky obsluhou.
<b>Procesní dusík</b>						
není	průtok	není průtok dusíku	– není dusík v láhvi; – ventil láhvi je uzavřený; – ruční ventil je uzavřený; – elektromagnetický ventil je uzavřený (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC); – roztržení hadice s dusíkem, únik.	– procesní dusík v cementační a nitridační peci udržuje přetlak, který zabraňuje vstup kyslíku do pece. Pokud tlak v předkomoře klesne pod mezní hodnotu nastavenou v PLC, je hlášena porucha „nízký tlak dusíku“; – v případě úniku dusíku může dojít k zasažení obsluhy.	– řízení PLC, (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu); – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – zjistit příčinu a opravit (doplnit láhev s dusíkem, otevřít ventil dusíku); – v případě poruchy elektromagnetického ventilu vypnout pec, opravit kvalifikovanou osobou; – v případě roztržení hadice s dusíkem, uzavřít přívod dusíku, vyměnit hadici; – v případě úniku dusíku zastavit únik, zajistit dostatečné větrání. <b>Opatření:</b> – kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů; – vizuální kontrola hadic obsluhou a servisním



Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
						personálem údržby; – instalace detektoru úniku dusíku.
nižší	průtok	nižší průtok dusíku	ventil je v polootevřené poloze	signalizace poruchy řídicím systémem (nižší průtok)	– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu); – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – v případě poruchy elektromagnetického ventilu vypnout pec, opravit kvalifikovanou osobou; – pootevřít ruční ventil; <b>Opatření:</b> – kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.
			roztržení hadice s dusíkem, únik	v případě úniku dusíku může dojít k udušení obsluhy	pozornost obsluhy	<b>Akce:</b> – v případě roztržení hadice s dusíkem, uzavřít přívod dusíku, vyměnit hadici; – v případě úniku dusíku zastavit únik, zajistit dostatečné větrání. <b>Opatření:</b> – vizuální kontrola hadic obsluhou a servisním personálem údržby; – zajištění kyslíkových masek na pracovišti a systému větrání; – zvážit instalace detektoru úniku dusíku.
vyšší	průtok	vyšší průtok dusíku	vyšší tlak dusíku z láhve (porucha redukčního ventilu) a porucha elektromagnetického ventilu (nereguluje průtok)	– změna koncentrace uhlíku v atmosféře, otevření pojistného ventilu, únik na hořák; – signalizace poruchy řídicím systémem (vyšší průtok).	– řízení PLC (měření průtoku); – pozornost obsluhy.	<b>Akce:</b> – v případě poruchy redukčního ventilu a poruchy elektromagnetického ventilu vypnout pec, opravit kvalifikovanou osobou. <b>Opatření:</b> – kontrola redukčního ventilu; – kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
<b>Proplachový dusík 2 bary</b>						
není	průtok	není průtok dusíku v potrubích, která vedou do pece (zahájení cementace, proplach před vpuštěním propanu, metanolu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není dusík v láhvi;</li> <li>– ventil láhvi s dusíkem je uzavřený;</li> <li>– ruční ventil je uzavřený;</li> <li>– elektromagnetické ventily, jsou uzavřené (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nedojde k proplachu pece před zahájení tvorby cementační atmosféry;</li> <li>– blokování dveří;</li> <li>– zastavení procesu cementace;</li> <li>– signalizace poruchy řídicím systémem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– záložní elektromagnetický ventil;</li> <li>– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu);</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vypnout pec, zjistit příčinu a opravit (vyměnit láhev s dusíkem, otevřít ventil dusíku);</li> <li>– v případě poruchy elektromagnetického ventilu opravit kvalifikovanou osobou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola poloh ventilů před zapnutím pece;</li> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.</li> </ul>
není	průtok	není průtok dusíku po skončení cementace	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není dusík v láhvi;</li> <li>– elektromagnetické ventily jsou uzavřené (z důvodu mechanické poruchy anebo poruchy PLC).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nedojde k proplachu pece po skončení cementace;</li> <li>– blokování dveří retorty;</li> <li>– narušení kvality cementace;</li> <li>– signalizace poruchy řídicím systémem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– záložní elektromagnetický ventil;</li> <li>– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu);</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě vyprázdnění láhvi s dusíkem vyměnit láhev za plnou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů;</li> <li>– zajistit nepřerušené dodání dusíku (záložní láhev).</li> </ul>
nižší	průtok	nižší průtok dusíku	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ventil je v polootevřené poloze;</li> <li>– netěsnost na hadici s dusíkem, únik.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– otevření záložního ventilu;</li> <li>– v případě, že nedojde k otevření záložního ventilu, možnost vzniku výbušné atmosféry uvnitř pece, požár, výbuch;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– záložní elektromagnetický ventil;</li> <li>– řízení PLC (měření průtoku, polohy elektromagnetického ventilu);</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě poruchy elektromagnetického ventilu vypnout pec, opravit kvalifikovanou osobou;</li> <li>– pootevřít ruční ventil V5R;</li> <li>– v případě roztržení hadice s dusíkem, uzavřít přívod dusíku, vyměnit hadici;</li> <li>– v případě úniku dusíku zastavit únik, zajistit</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchyłka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				<ul style="list-style-type: none"> <li>– signalizace poruchy řídicím systémem (nižší průtok);</li> <li>– v případě úniku dusíku může dojít k zasažení obsluhy.</li> </ul>		<p>dostatečné větrání.</p> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů;</li> <li>– vizuální kontrola hadic obsluhou a servisním personálem údržby;</li> <li>– zajištění dýchacích přístrojů na pracovišti a systému větrání;</li> <li>– instalace detektoru úniku dusíku.</li> </ul>
vyšší	průtok	vyšší průtok dusíku	vyšší tlak dusíku z láhve (porucha redukčního ventilu) a porucha elektromagnetického ventilu (nereguluje průtok)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– otevření pojistného ventilu, únik na hořák;</li> <li>– vyšší spotřeba dusíku, ekonomické ztráty;</li> <li>– signalizace poruchy řídicím systémem (vyšší průtok);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– řízení PLC (měření průtoku);</li> <li>– pozornost obsluhy.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě poruchy redukčního ventilu a poruchy elektromagnetického ventilu vypnout pec, opravit kvalifikovanou osobou.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontrola redukčního ventilu;</li> <li>– kontrola funkčnosti elektromagnetických ventilů.</li> </ul>
<b>DODÁVKA ENEGIE</b>						
není	elektrická energie	výpadek dodávky elektrické energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– porucha elektrického zařízení (např. kvůli nadproudu), která vede k vypnutí elektrického jističe;</li> <li>– výpadek dodávky elektrické energie z distribuční sítě.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– automatické odstavení pece (uzavře se přívod procesních plynů, pustí se proplachový dusík), pokud hořák bude funkční, pecní atmosféra se vyhoří;</li> <li>– v případě že nebude hořet hořák a v peci bude</li> </ul>	bezpečné polohy ventilů	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě výpadku elektřiny a funkčního hořáku nechat atmosféru vyhořet, vypnout pec;</li> <li>– v případě, že nebude hořet hořák napojit záložní zdroj napájení;</li> <li>– po proplachu pece uzavřít vstup proplachového dusíku.</li> </ul>

Klíčové slovo	Parametr	Odchylka	Možné příčiny	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
				cementační atmosféra, část obsahu pece se může přes přetlakový ventil dostat ven, může dojít k výbuchu.		<b>Opatření:</b> – instalace zdroje nepřerušovaného napájení; – zajistit odsávání atmosféry mimo místnosti, ve které je umístěna pec.

# PŘÍLOHA C

## Hierarchical Task Analysis

### Úkolový diagram

Podnik: XXX

Provoz: Cementační pec

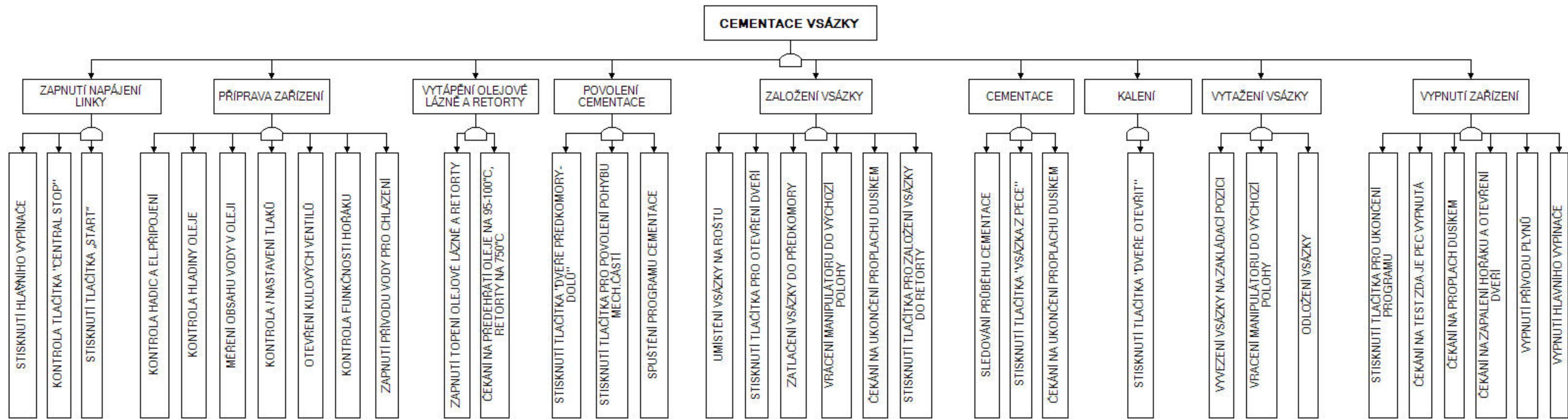
Pracovní operace: Cementace vsázky

Pracovní zařazení obsluhy: Obsluha cementační pece

Pracovní reglementy:

Datum: 14.10.2018

Provedl:



## PŘÍLOHA D

### HUMAN HAZOP

Tab. D- 1 – Identifikace chyb obsluhy pece pomocí metody Human HAZOP

Činnost	Klíčové slovo	Druh chyby	Fáze	Následky	Bezpečnostní funkce	Akce, opatření
1.1 Stisknutí hlavního vypínače	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C1	proces cementace nebude zahájen, přerušení provozu, ekonomické ztráty	světelná indikace (rozsvítí se kontrolky průchodu média na panelu rozvaděče)	<b>Akce:</b> – zahájit program stisknutím hlavního tlačítka.
1.2 Kontrola tlačítka CENTRAL STOP	neprovedeno	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C1	– na panelu operátora se objeví obrazovka s upozorněním; – řídicí systém nedovolí provedení dalších operací; – pozastavení procesu cementace.	– řídicí systém; – upozornění na obrazovce „Tlačítko je aretované“; – školení obsluhy.	<b>Akce:</b> – odaretovat tlačítko CENTRAL STOP.
1.2.1 Odaretování tlačítka pokud je aretované	neprovedeno	E5 – neprovedená akce				
1.3 Stisknutí tlačítka „START“	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C1	– napájení pece nebude zapnuto; – proces cementace nebude zahájen, přerušení provozu, ekonomické ztráty.	– blikání zelené kontrolky tlačítka START na panelu rozvaděče; – školení obsluhy.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko „START“.

2.1.1 Kontrola dostatečného množství procesního propanu	neprovedeno (není propan v láhvi)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C19	– není průtok propanu při zahájení procesu cementace; – proces cementace nebude zahájen, přerušení provozu, ekonomické ztráty.	– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řídicí systém; – tlaková čidla, průtokoměr s regulačním ventilem; – měření množství propanu pomocí váhy.	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s propanem za plnou.
			C20	– není průtok propanu v průběhu cementace; – změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nahličování); – ekonomická ztráta.	– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řídicí systém; – tlaková čidla, průtokoměr s regulačním ventilem.	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s propanem za plnou.
2.1.2 Kontrola dostatečného množství propanu pro hořák (lištu)	neprovedeno (není propan v láhvi)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C2	– není průtok propanu pro hořák v době přípravy k cementaci, hořák se nezapálí; – pokud se nezapálí hořák (lišta), pec se nezapne, přerušení provozu, ekonomické ztráty.	– průtokoměr; – řídicí systém; – hořáková automatika; – ionizační elektroda; – měření množství propanu pomocí váhy; – signalizace řídicím systémem limitního množství propanu pro výměnu láhve;	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s propanem za plnou. <b>Opatření:</b> – propojení váhy s řídicím systémem.
			C8	pokud se nezapálí hořák při zavezení vsázky do předkomory, bude systémem signalizována chyba, cementace neproběhne, ekonomické	– záložní láhev na propan.	

				ztráty		
			C32	– pokud se nezapálí lišta, dveře předkomory se neotevřou, vsázka zůstane v retortě do odstranění chyby; – ovlivnění kvality cementovaného povrchu.		
			C39	pokud se nezapálí hořák při vypnutí pece po proplachu dusíkem, bude systémem signalizována chyba do jejího odstranění		
2.1.3 Kontrola dostatečného množství <b>procesního dusíku</b>	neprovedeno (není dusík v láhvi)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C19	– není průtok dusíku na začátku cementace; – signalizace poruchy v systému; – cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– tlakové čidlo, průtokoměr; – světelná a akustická signalizace; – řídicí systém; – záložní láhev na dusík.	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s dusíkem za plnou.
			C20	– není průtok dusíku v průběhu cementace; – procesní dusík v cementační peci udržuje přetlak, který zabraňuje vstup kyslíku do pece. – pokud se dostane do	– tlakové čidlo, průtokoměr; – světelná a akustická signalizace; – řídicí systém. – bezpečnostní odstavení pece (vypnou se procesní plyny, zapne se proplach dusíkem);	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s dusíkem za plnou.



				pece kyslík, může dojít k výbuchu.	– záložní láhev na dusík.	
2.1.4 Kontrola dostatečného množství <b>proplachového dusíku</b>	neprovedeno (není dusík v láhvi)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C5, C14	– není průtok proplachového dusíku ve fázi přípravy a zavezení vsázky; – signalizace poruchy v systému; – cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– tlakové čidlo, průtokoměr; – světelná a akustická signalizace (měření tlaku a průtoku); – řídicí systém; – automatické přepínání na záložní láhev.	<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s dusíkem za plnou.
			C24 – C31	– není průtok proplachového dusíku po cementaci a během kalení; – po otevření dveří retorty, část obsahu cementační atmosféry se dostane do předkomory, pokud se nezapne proplach dusíkem existuje riziko výbuchu v předkomoře; – signalizace poruchy v systému do její odstranění; – kalení neproběhne tak jak mělo, zhoršení kvality zpracování		<b>Akce:</b> – vyměnit láhev s dusíkem za plnou. <b>Opatření:</b> – proplach dusíkem spustit ještě před otevřením dveří retorty (fáze C20).

				vsázky.		
			C38	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není průtok proplachového dusíku při vypínání pece;</li> <li>– signalizace poruchy v systému do odstranění problému;</li> </ul>		<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vyměnit láhev s dusíkem za plnou.</li> </ul>
2.1.5 Kontrola dostatečného množství <b>dusíku na metanol</b>	neprovedeno (není dusík v láhvi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C19	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není průtok dusíku pro dávkování metanolu na začátku cementace;</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– cementace neproběhne, ekonomické ztráty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– řídicí systém;</li> <li>– tlaková čidla, průtokoměr s regulačním ventilem.</li> </ul>	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vyměnit láhev s dusíkem za plnou.</li> </ul>
			C20	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není průtok dusíku pro dávkování metanolu v průběhu cementace;</li> <li>– změna uhlíkového potenciálu atmosféry (snížení kvality nauhličování);</li> </ul>		

2.1.6 Kontrola dostatečného množství <b>metanolu</b>	neprovedeno (není metanol v nádrži)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C19	<ul style="list-style-type: none"> <li>– není průtok metanolu na začátku cementace;</li> <li>– proces cementace nebude zahájen, přerušení provozu, ekonomické ztráty;</li> </ul>		
2.2.1 Vizuální kontrola hadice na <b>propan pro hořák</b>	neprovedeno (pokroucená hadice)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nižší průtok propanu;</li> <li>– pokud se nezapálí hořák (lišta), pec se nezapne, přerušení provozu, ekonomické ztráty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– řídicí systém;</li> <li>– hořáková automatika;</li> <li>– ionizační elektroda;</li> <li>– tlaková čidla, průtokoměr s regulačním ventilem.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– upravit pokroucení hadice pokud je možné v průběhu cementace, pokud není, vypnout pec a provést úpravy.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich pokroucení.</li> </ul>
	neprovedeno (poškozená hadice)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C2	v případě úniku propanu a jeho vysoké koncentrace může dojít k výbuchu v místnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>– řídicí systém;</li> <li>– hořáková automatika;</li> <li>– ionizační elektroda;</li> <li>– tlaková čidla, průtokoměr s regulačním ventilem.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout pec.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich poškození;</li> <li>– provádění pravidelných zkoušek těsnosti;</li> <li>– instalace čidla na propan.</li> </ul>

2.2.2 Vizualní kontrola hadice na <b>proplachový dusík</b>	neprovedeno (pokroucená hadice)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C5	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nízký tlak plynu;</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– cementace neproběhne, ekonomické ztráty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tlakové čidlo, průtokoměr;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– upravit pokroucení hadici pokud je možné v průběhu cementace, pokud není, vypnout pec a provést úpravy.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich pokroucení.</li> </ul>
	neprovedeno (poškozená hadice)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C5 C19	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nízký tlak dusíku;</li> <li>– únik dusíku;</li> <li>– může dojít k udušení obsluhy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tlakové čidlo, průtokoměr;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod dusíku, zajistit dostatečné větrání;</li> <li>– vypnout pec.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich poškození.</li> <li>– provádění pravidelných zkoušek těsnosti;</li> <li>– instalace detektoru úniku dusíku;</li> <li>– zajištění dostatečného větrání na pracovišti.</li> </ul>
2.2.3 Vizualní kontrola hadice na <b>propan</b>	neprovedeno (pokroucená hadice)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O3 – pozorování nebylo provedeno;</li> <li>– I1 – chybná diagnostika.</li> </ul>	C19	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nízký tlak plynu;</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– cementace neproběhne, ekonomické ztráty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tlakové čidlo, průtokoměr;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry);</li> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– uzavřít přívod propanu a větrat;</li> <li>– vypnout pec.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich</li> </ul>

						poškození; – provádění pravidelných zkoušek těsnosti; – instalace čidla na propan.
	neprovedeno (poškozená hadice)			– nízký tlak plynu; – únik plynu; – v případě dlouhodobého úniku může dojít k výbuchu.	– tlakové čidlo, průtokoměr; – světelná a akustická signalizace; – kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – uzavřít přívod propanu a větrat; – vypnout pec. <b>Opatření:</b> – volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich poškození; – provádění pravidelných zkoušek těsnosti; – instalace čidla na propan.
2.2.4 Vizualní kontrola hadice na <b>metanol</b>	neprovedeno (pokroucená hadice)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.	C19	– nízký průtok metanolu; – signalizace poruchy v systému; – cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– průtokoměr; – světelná a akustická signalizace; – kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – upravit pokroucení hadice pokud je možné v průběhu cementace, pokud není, vypnout pec a provést úpravy. <b>Opatření:</b> – volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich pokroucení.
	neprovedeno (poškozená hadice)	– O3 – pozorování nebylo provedeno; – I1 – chybná diagnostika.		– únik metanolu; – v případě přítomnosti zápalných zdrojů může dojít k požáru a vytváření jedovatých plynů;	– tlakové čidlo, průtokoměr; – světelná a akustická signalizace; – kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry); – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – uzavřít přívod metanolu, větrat; – vypnout pec; – zajistit uniklý metanol před zápalnými zdroji, zajistit dostatečné větrání;

				<ul style="list-style-type: none"> <li>– existuje nebezpečí vznícení a výbuchu par;</li> <li>– vdechování vysoké koncentrace metanolu může způsobit otravu.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– uniklý metanol odčerpát do bezpečné a těsné nádoby, použít absorpční materiály;</li> <li>– v případě malého úniku zředit velkým množstvím vody, zajistit dostatečné větrání.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– volba lepších konstrukcí pláště hadic, zabraňujících jejich poškození;</li> <li>– provádění pravidelných zkoušek těsnosti.</li> </ul>
2.3.1 Kontrola hladiny oleje v nádrži	později (za chodu pece);	E2 – akce v nevhodný čas;	C5 C14 C19 a dále	<ul style="list-style-type: none"> <li>– únik oleje přes olejoznak z důvodu přetlaku v předkomoře;</li> <li>– opaření obsluhy.</li> </ul>	– průhledítko	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě popálení poskytnout první pomoc, přivolat lékaře;</li> <li>– bezpečně vypnout pec, zavřít ventil olejové lázně.</li> </ul> <p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– varovná značka před olejoznakem (např., „Nekontroloj za chodu pece“);</li> <li>– automatické blokování ventilu, když je pec zapnutá.</li> </ul>
2.3.2 Doplnění oleje	méně	E1 – akce špatného typu	C3 a dále	<ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě menšího množství oleje v nádrži může dojít k poškození chlazeného materiálu;</li> <li>– teplota oleje bude vyšší, může dojít</li> </ul>	– průhledítko	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě požáru zavřít pec, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem (pec se automaticky vypne);</li> <li>– přivolat HZS;</li> </ul>

				k požáru. Bod vzplanutí oleje 400°C, povrchová teplota spirále 250°C		– zásah podle vnitřního havarijního plánu. <b>Opatření:</b> – instalace snímače teploty oleje; – měření hladiny pleje s propojením do řídicího systému.
	více	E1 – akce špatného typu	C25	– v případě vyšší hladiny oleje, olej může vystříknout na horké části pece a vznítit se; – v případě otevření dveří předkomory jsou možné popáleniny.	– průhledítko	<b>Akce:</b> – v případě požáru zavřít pec, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem (pec se automaticky vypne); – přivolat HZS. <b>Opatření:</b> – další kontrola hladiny oleje po doplnění, pokud bude vyšší než stanovená, vypustit přebytek oleje; – měření hladiny pleje s propojením do řídicího systému. – kouřové čidlo, zábleskové čidlo.
2.3.3 Výměna oleje	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C3 a dále	– degradace oleje způsobuje snížení bodu vzplanutí, může dojít k požáru.	– není.	<b>Akce:</b> – v případě požáru zavřít pec, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem (pec se automaticky vypne); – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu.

						<b>Opatření:</b> – záznam každé výměny oleje a kontrola záznamů; – výběr oleje s vyšším bodem vzplanutí.
2.4 Měření obsahu vody v oleji refraktometrem	neprovedeno (olej obsahuje vodu)	E5 – neprovedená akce	C26	– v případě vyššího obsahu kyslíku v olejových párách při ponoření vsázky může dojít k požáru.	– není.	<b>Akce:</b> – v případě požáru zavřít pec, zapnout bezpečnostní proplach dusíkem (pec se automaticky vypne); – přivolat HZS; – zásah podle vnitřního havarijního plánu. <b>Opatření:</b> – tuto kontrolu zahrnout do plánu údržby.
2.5 Zavření ventilu po kontrole olejové lázně	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C5 C14 C19 a dále	– z důvodu přetlaku v předkomoře, únik oleje přes olejoznak; – v případě blízkosti obsluhy olejoznaku může dojít k popálení (tady je nižší pravděpodobnost než v případě scénáře provedení kontroly hladiny oleje za chodu pece);	– není;	<b>Akce:</b> – bezpečně vypnout pec, zavřít ventil olejové lázně. – v případě popálení poskytnout první pomoc, přivolat lékaře; <b>Opatření:</b> – automatické blokování ventilu, když je pec zapnutá.
2.6.1 Otevření kulového ventilu na	méně	E1 – akce špatného typu	C2	– ventil není dostatečně otevřený;	– řídicí systém; – hořáková automatika;	<b>Akce:</b> – otevřít kulový ventil na propan



přívod propanu pro hořáky a lištu				<ul style="list-style-type: none"> <li>– nedostatečný pro zapálení hořáku průtok propanu;</li> <li>– pokud se nezapálí hořák (lišta), pec se nezapne.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ionizační elektroda;</li> </ul>	pro hořáky a lištu.
2.6.2 Otevření kulového ventilu na přívod procesních médií	méně	E1 – akce špatného typu	C5 C19	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ventily nejsou dostatečně otevřené;</li> <li>– nízký tlak procesních médií;</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– cementace neproběhne, ekonomické ztráty.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tlakové čidlo, průtokoměr;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– kyslíková sonda (hodnotí složení atmosféry);</li> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– otevřít kulový ventil na propan pro hořáky a lištu.</li> </ul>
2.6.3 Otevření kulového ventilu na přívod proplachového dusíku	méně	E1 – akce špatného typu	C5	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nízký tlak plynu;</li> <li>– signalizace poruchy v systému;</li> <li>– zastavení procesu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– tlakové čidlo, průtokoměr;</li> <li>– světelná a akustická signalizace;</li> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– otevřít kulový ventil na propan pro hořáky a lištu.</li> </ul>
2.7.1 Nastavení tlaku na redukčním ventilu tlakové lahve s propanem pro hořáky	méně	E1 – akce špatného typu	C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nedostatečný tlak pro zapálení hořáku průtok propanu;</li> <li>– pokud se nezapálí hořák (lišta), nedojde k zahájení procesu;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– řídicí systém.</li> </ul>	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– nastavit příslušný tlak na redukčním ventilu.</li> </ul>

	více	E1 – akce špatného typu	C2	– vyšší tlak propanu; – žádný vliv na bezpečnost.	– regulační ventil; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – nastavit příslušný tlak na láhvi.
2.7.2 Nastavení tlaku na redukčním ventilu tlakové lahve s procesními média	méně	E1 – akce špatného typu	C5 C19	– nízký tlak procesních média; – signalizace poruchy v systému; – zastavení procesu.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – nastavit příslušný tlak na láhvi.
	více	E1 – akce špatného typu	C5 C19	– vyšší průtok média – v případě selhání regulačního ventilu přetlakování prostoru pece.	– regulační ventil; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – nastavit příslušný tlak na láhvi.
2.8 Kontrola funkčnosti hořáků přes ovládací panel stisknutím tlačítka kontroly	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C2	– řídicí systém neumožní další krok, – zastavení procesu.	– řídicí systém;	<b>Akce:</b> – provést test hořáků.
2.9 Kontrola ventilátoru cirkulace vzduchu v retortě	neprovedeno (porucha ventilátoru)	E5 – neprovedená akce	C1	– pokud není spuštěna cirkulace vzduchu, pec se nezapne.	– řídicí systém;	<b>Akce:</b> – zapnout cirkulaci vzduchu.
2.10 Zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří retorty	neprovedeno (vyšší teplota límce)	E5 – neprovedená akce	C3 a dále	– v případě že teplota bude vyšší než limitní teplota límce dveří retorty, netěsnosti může unikát cementační atmosféra do předkomory;	– tlakové čidlo, průtokoměr; – čidlo teploty límce dveří; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – pokud je signalizovaná vyšší teplota límce dveří, bezpečně vypnout pec; – nespouštět vodu pro chlazení. <b>Opatření:</b> – automatické blokování pece

						(podle signálu z průtokoměru); – automatické odstavení pece v případě vyšší teploty límce dveří.
	později	E2 – akce v nevhodný čas	C3 a dále	– roztržení hadice s vodou uvnitř pece, destrukce pece, zasažení obsluhy	– tlakové čidlo, průtokoměr; – čidlo teploty límce dveří; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – přivolání hasičů a lékařů. <b>Opatření:</b> – automatické blokování pece (podle signálu z průtokoměru); – automatické odstavení pece v případě vyšší teploty límce dveří.
3.1 Zapnutí topení kalici olejové lázně	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C19	– hlášení chyby v systému; – zastavení procesu.	– čidlo teploty spirál; – čidlo teploty v olejové lázni; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – zapnout topení olejové lázně.
3.2 Zapnutí topení retorty	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C19	– pokud teplota v retortě bude nižší než 750°C, řídicí systém nepovolí vstup plynů; cementace nebude zahájena, ekonomické ztráty; – hlášení chyby v systému.	– čidlo teploty spirál; – čidlo teploty v retortě.	<b>Akce:</b> – zapnout topení retorty.
3.3 Čekání na předehřátí oleje na teplotu 95– 100°C po dobu 4 hod.	neprovedeno	I1 – chybná diagnostika I2 – chyba v rozhodování	C26	– teplota oleje je nižší, ovlivní to kvalitu kalení; – pokud předehřátí oleje bude trvat kratší dobu, existuje riziko obsahu	– čidlo teploty spirál; – čidlo teploty v olejové lázni.	<b>Akce:</b> – nechat předehřátí oleje do dosažení teploty 95– 100°C po dobu 4 hod. <b>Opatření:</b>

				vody v oleji, co může vést k následnému požáru a výbuchu v předkomoře.		– automatické blokování dalších kroků, pokud teplota oleje je nižší; – automatické blokování dalších kroků, pokud předehřátí oleje bude trvat kratší dobu.
3.4 Čekání na předehřátí retorty na 750°C	neprovedeno	I1 – chybná diagnostika I2 – chyba v rozhodování	C19	– pokud teplota v retortě bude nižší než 750°C, řídicí systém nepovolí vstup plynů;	– čidlo teploty spirál; – čidlo teploty v retortě; – řídicí systém.	<b>Akce:</b> – nechat předehřátí retorty do dosažení teploty 750°C.
4.1 Stisknutí tlačítka „Dveře předkomory – Dolů“	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C4	– pokud obsluha nestiskne tlačítko „Dveře předkomory – Dolů“ nebude aktivováno tlačítko pro zapnutí pece, pec nezapne, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko „Dveře předkomory – Dolů“
	a také přivření ruky do pece	E2 – akce v nevhodný čas	C4	– zranění osoby.	– není.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko „Dveře otevřít“; – poskytnout první pomoc, přivolat lékaře. <b>Opatření:</b> – zvážit instalaci optické závor.
4.2 Stisknutí tlačítka pro povolení pohybu mechanických částí	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C6	– pokud obsluha nestiskne tlačítko, pec se nezapne, cementace neproběhne, ekonomické	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko pro povolení pohybu mechanických částí.

				ztráty.		
4.3 Spuštění programu pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C6	– pokud obsluha nespustí program, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – spustit program pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“.
5.1 Umístění vsázky ve vaničce na rošt před dveřmi předkomory	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C8	– pokud obsluha neumístí vsázku, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– není.	<b>Akce:</b> – umístit vsázku ve vaničce na rošt před dveřmi předkomory.
5.2 Stisknutí tlačítka pro otevření dveří	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C9	– pokud obsluha nestiskne tlačítko pro otevření dveří, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko pro otevření dveří.
	a také přítomnost obsluhy nebo jiné osoby v blízkosti lišty.	E2 – akce v nevhodný čas	C9	– popálení obsluhy plameny z lišty.	– není.	<b>Akce:</b> – poskytnout první pomoc, přivolat lékaře. <b>Opatření:</b> – zvažít instalaci zábran.
5.3 Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátoru do předkomory	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C10	– pokud obsluha nevloží vsázku do předkomory, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– není.	<b>Akce:</b> – vložit vsázku do předkomory.
5.4 Vracení manipulátoru do výchozí polohy, automatické zavření dveří předkomory	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C11	– pokud manipulátor nebude vrácen do výchozí polohy, dveře předkomory se nezavřou, cementace neproběhne,	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – vrátit manipulátor do výchozí polohy pro automatické zavření dveří předkomory.

				ekonomické ztráty.		
	a také přivření ruky do pece	viz bod 4.1				
5.5 Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C14	– pokud operátor nepočká na ukončení proplachu a pokusí se vykonat další krok, systém mu to nedovolí, tlačítko „Vsázka do pece“ je aktivní po proplachu.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – počkat na ukončení proplachu až se nerozsvítí tlačítko „Vsázka do pece“.
5.6 Stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C15	– pokud operátor nestiskne tlačítko „Vsázka do pece“, vsázka zůstane v předkomoře, cementace neproběhne, ekonomické ztráty.	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty.
6.1 Sledování průběhu cementace na základě informace na panelu operátora, případně odstranění chyb	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C19– C21	– při vzniku poruchy se na panelu operátora objeví okno hlášení o typu poruchy, které částečně překrývá aktuálně zobrazovanou obrazovku;	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> – v případě poruchy ji odstranit; – v případě havárie jednat v souladu se scénáři, popsány ve studii HAZOP.

				<ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě závažné poruchy pec se bezpečnostně vypne;</li> <li>– v případě nebezpečného chodu procesu kalení a nepřítomnosti operátora může dojít k havárii a závažným následkům.</li> </ul>		
6.2 Čekání na tlačítko Vsázka z pece	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C21	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud operátor nepočká na tlačítko Vsázka z pece a pokusí se vykonat další krok, systém mu to nedovolí, tlačítko Vsázka z pece je aktivováno pouze v případě ukončení procesu cementace.</li> </ul>	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– počkat až se rozsvítí tlačítko Vsázka z pece.</li> </ul>
6.3 Stisknutí tlačítka Vsázka z pece	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C21	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud operátor nestiskne tlačítko Vsázka z pece, vsázka zůstane v retortě, neproběhne kalení, znehodnocení vsázky.</li> </ul>	– není.	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– stisknout tlačítko Vsázka z pece.</li> </ul>
6.4 Sledování průběhu kalení, případně odstranění chyb	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C26	<ul style="list-style-type: none"> <li>– při vzniku poruchy se na panelu operátora objeví okno hlášení o typu poruchy, které částečně překrývá</li> </ul>	– řídicí systém.	<b>Akce:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě poruchy ji odstranit;</li> <li>– v případě havárii jednat v souladu se scénářů, popsanými ve studii HAZOP.</li> </ul>

				<p>aktuálně zobrazovanou obrazovku;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– v případě závažné poruchy pec se bezpečnostně vypne;</li> <li>– v případě nebezpečného chodu procesu kalení a nepřítomnosti operátora může dojít k havárii a závažným následkům.</li> </ul>		<p><b>Opatření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– školení obsluhy;</li> <li>– simulace poruch a havarijních stavů.</li> </ul>
6.5 Čekání na ukončení proplachu předkomory dusíkem 20 minut	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C31	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud operátor nepočká na ukončení proplachu a pokusí se vykonat další krok, systém mu to nedovolí, tlačítko „Dveře otevřít“ je aktivní po proplachu.</li> </ul>	– řídicí systém.	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– počkat na ukončení proplachu až se nerozsvítí tlačítko „Vsázka do pece“.</li> </ul>
7.1 Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C32	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pokud operátor nestiskne tlačítko „Dveře otevřít“, vsázka zůstane po kalení v předkomoře; může to mít vliv na kvalitu cementované vrstvy.</li> </ul>	– není.	<p><b>Akce:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– stisknout tlačítko „Dveře otevřít“.</li> </ul>
	a také přítomnost obsluhy nebo jiné osoby v	viz bod 5.2				



	blízkosti lišty.					
8.1 Vyvezení vsázky pomocí zasouvacího mechanismu na základací pozici	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C34	– pokud operátor nevyveze vsázku z předkomory, vsázka zůstane po kalení v předkomoře; může to mít vliv na kvalitu cementované vrstvy.	– není.	<b>Akce:</b> – vyvézt vsázku pomocí zasouvacího mechanismu na základací pozici.
	a také dotknutí se horkého povrchu vsázky	E1 – akce špatného typu	C34	– popálení obsluhy.	– použití ochranných rukavic.	<b>Akce:</b> – poskytnout první pomoc, přivolat lékaře.
8.2 Vrácení manipulátoru do výchozí polohy a automatické zavření dveří (nebo stisknutí tlačítka pro zavření dveří)	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C35	– pokud operátor nevrátí manipulátor do výchozí polohy, dveře předkomory se nezavřou, hořáková lišta bude stále zapnuta; může dojít k popálení obsluhy.	– není.	<b>Akce:</b> – vrátit manipulátor do výchozí polohy.
	a také přivření ruky do pece	viz bod 4.1				
8.3 Odložení vsázky pomocí vysokozdvížného vozíku	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C35	– pokud operátor neodloží vsázku, zůstane vsázka ve vaničce, nemá to žádný vliv na bezpečnost nebo kvalitu.	– není.	<b>Akce:</b> – odložit vsázku.

	a také pád vsázky na nohu	E1 – akce špatného typu	C35	– stlačení dolní končetiny obsluhy.	– není.	<b>Akce:</b> – poskytnout první pomoc, přivolat lékaře. <b>Opatření:</b> – práce v bezpečnostní pracovní obuvi.
	a také ruční odložení vsázky	E1 – akce špatného typu	C35	– lumbago (ústřel) v oblasti bederní části zad.	– není.	<b>Akce:</b> – poskytnout první pomoc, přivolat lékaře.
9.1 Stisknutí tlačítka pro vypnutí pece	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C36	– pokud operátor nestiskne tlačítko, proces cementace zůstane v běhu.	– není.	<b>Akce:</b> – stisknout tlačítko pro vypnutí pece.
9.2 Čekání na ukončení vypínací sekvenci, kdy se pec ochlazuje do 100°C	neprovedeno	E4 – akce ve špatné sekvenci	C37	– pokud operátor neprovede test programu a vypne pec, vypnou se i ventilátory, které chladí elektro prostor pece; – může dojít k poškození těsnicího límce, který zabraňuje úniku atmosféry z pece; – při dalším použití pece může dojít k úniku obsahu pece ven a následnému výbuchu.	– není.	<b>Akce:</b> – zapnutí pece. <b>Opatření:</b> – autonomní práce ventilátoru elektro prostoru a čerpadla vodního oběhu chladicího systému nějakou dobu po vypnutí hlavního vypínače.
9.3 Uzavření hlavních kulových kohoutů na vstupu médií do	neprovedeno	E5 – neprovedená akce	C44	– pokud operátor neuzavře přívod plynů, v případě netěsnosti	– není.	<b>Akce:</b> – uzavřít hlavní kulové kohouty na vstupu médií do rozváděče.

rozdávěče				může dojít k průniku nebezpečných plynů do zařízení		
9.4 Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	dříve	E2 – akce v nevhodný čas	C38	– viz 9.2	– viz 9.2	– viz 9.2

## PŘÍLOHA E

### CREAM – COGNITIVE RELIABILITY AND ERROR ANALYSIS METHOD

Tab. E- 1 – Kognitivní činnosti při obsluze cementační pece

#	Úkol	Činnost	Kognitivní činnost
1.1	Zapnutí napájení linky	Stisknutí hlavního vypínače	Vykonat
1.2		Kontrola tlačítka CENTRAL STOP	Vyhodnocovat
1.3		Vytažení tlačítka pokud je aretované	Vykonat
1.4		Stisknutí tlačítka „START“	Vykonat
2.1	Příprava zařízení  * <sup>1</sup> – nikdy nekontrolovat hladinu oleje za chodu pece (v předkomoře je udržován přetlak, a ten by způsobil únik oleje přes olejoznak) * <sup>2</sup> – (je nutné zapnout přívod vody do chlazení ještě před zapnutím topení – jinak dojde k nevratnému poškození těsnění a následné ztrátě tlaku	Kontrola dostatečného množství procesních plynů a metanolu	Diagnostikovat
2.2		Vizuální kontrola hadic na pokroucení nebo poškození	Vyhodnocovat
2.3		Vizuální kontrola elektrických připojení	Vyhodnocovat
2.4		Kontrola hladiny oleje v nádrži* <sup>1</sup> /	Diagnostikovat
2.5		Doplnění nebo výměna oleje v závislosti na situaci	Identifikovat Vykonat
2.6		Měření obsahu vody v oleji	Diagnostikovat
2.7		Zavření ventilu po kontrole olejové lázně	Vykonat
2.8		Kontrola/nastavení příslušných tlaků na redukčních ventilech jednotlivých tlakových láhví	Porovnávat Vykonat
2.9		Otevření kulových ventilů na přívodu do rozváděče médií	Vykonat
2.10		Kontrola funkčnosti hořáku přes ovládací panel: – na stropě předkomory;	Diagnostikovat

		– u dveří předkomory.	
2.11		Zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří pece* <sup>2</sup>	Vykonat
2.12		Zapnutí cirkulačního ventilátoru	Vykonat
3.1	Vytápění olejové lázně a retorty	Zapnutí topení kalici olejové lázně	Vykonat
3.2		Zapnutí topení retorty	Vykonat
3.3		Čekání na přehřátí oleje na teplotu 95– 100°C	Monitorovat
3.4		Čekání na přehřátí retorty na 750°C	Monitorovat
4.1	Povolení cementace	Stisknutí tlačítka „Dveře předkomory – Dolů“	Vykonat
4.2		Stisknutí tlačítka „AUFK zapnout“ pro povolení pohybu mechanických částí	Vykonat
4.3		Spuštění programu pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“	Vykonat
5.1	Založení vsázky	Umístění vsázky ve vaničce na roštu před dveřmi předkomory	Vykonat
5.2		Stisknutí tlačítka pro otevření dveří	Vykonat
5.3		Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátora do předkomory	Vykonat
5.4		Vrácení manipulátoru do výchozí polohy, automatické zavření dveří předkomory	Vykonat
5.5		Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	Pozorovat
5.6		Stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty	Vykonat
6.1	Cementace	Sledování průběhu cementace	Monitorovat
6.2		Případné odstranění chyb	Vyhodnocovat
			Plánovat
6.3		Stisknutí tlačítka „Vsázka z pece“ po ukončení cementace (tlačítko bude aktivní)	Vykonat
7.1	Kalení	Sledování průběhu kalení	Monitorovat

7.2		Případné odstranění chyb	Vyhodnocovat Plánovat Vykonat
7.3		Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	Prohledávat
8.1	Vytažení vsázky po ukončení programu	Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“	Vykonat
8.2		Vyvezení vsázky pomocí zasouvacího mechanismu na zakládací pozici	Vykonat
8.3	otevrou se dveře předkomory, obsluha vyveze vsázku pomocí zasouvacího mechanismu a vrátí zasouvací mechanismus do výchozí pozice (sepne koncový spínač výchozí polohy), dveře předkomory se zavřou.	Vrácení manipulátoru do výchozí polohy a automatické zavření dveří (nebo stisknutí tlačítka pro zavření dveří)	Vykonat
8.4		Odložení vsázky	Vykonat
9.1	Vypnutí zařízení	Stisknutí tlačítka „AUFK – Vypnutí“ na ovládacím panelu	Vykonat
9.2		Čekání na Test programu zda je pec vypnutá	Prohledávat
9.3		Čekání na proplach dusíkem 20 minut	Prohledávat
9.4		Čekání na zapálení hořáku dveří předkomory, lišty dveří a otevření dveří předkomory	Prohledávat
9.5		Vypnutí plynů pomocí uzavření hlavních koulových kohoutů na vstupu médií do rozváděče	Vykonat
9.6		Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	Vykonat

Tab. E- 2 – Kognitivní profil obsluhy cementační pece

#	Úkol	Činnost	Kognitivní činnost	Pozorování	Interpretace	Plánování	Provedení
1.1	Zapnutí napájení linky	Stisknutí hlavního vypínače	Vykonat				•
1.2		Kontrola tlačítka CENTRAL STOP	Vyhodnocovat		•	•	
1.3		Vytažení tlačítka pokud je aretované	Vykonat				•
1.4		Stisknutí tlačítka „START“	Vykonat				•
2.1	Příprava zařízení	Kontrola dostatečného množství procesních plynů a metanolu	Diagnostikovat		•	•	
2.2		Vizuální kontrola hadic na pokroucení nebo poškození	Vyhodnocovat		•	•	
2.3		Vizuální kontrola elektrických připojení	Vyhodnocovat		•	•	
2.4		Kontrola hladiny oleje v nádrži* <sup>1/</sup>	Diagnostikovat		•	•	
2.5		Doplnění nebo výměna oleje v závislosti na situaci	Identifikovat		•		
			Vykonat				•
2.6		Měření obsahu vody v oleji	Diagnostikovat		•	•	
2.7		Zavření ventilu po kontrole olejové lázně	Vykonat				•
2.8		Kontrola/nastavení příslušných tlaků na redukčních ventilech jednotlivých tlakových láhví	Porovnávat		•		
			Vykonat				•
2.9	Otevření kulových ventilů na přívodu do rozváděče médií	Vykonat				•	
2.10	Kontrola funkčnosti hořáku přes ovládací panel: – na stropě předkomory; – u dveří předkomory.	Diagnostikovat		•	•		

2.11		Zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří pece*2	Vykonat					•
2.12		Zapnutí cirkulačního ventilátoru	Vykonat					•
3.1	Vytápění olejové lázně a retorty	Zapnutí topení kalící olejové lázně	Vykonat					•
3.2		Zapnutí topení retorty	Vykonat					•
3.3		Čekání na předeřtátí oleje na teplotu 95–100°C	Monitorovat	•	•			
3.4		Čekání na předeřtátí retorty na 750°C	Monitorovat	•	•			
4.1	Povolení cementace	Stisknutí tlačítka „Dveře předkomory – Dolů“	Vykonat					•
4.2		Stisknutí tlačítka „AUFK zapnout“ pro povolení pohybu mechanických částí	Vykonat					•
4.3		Spuštění programu pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“	Vykonat					•
5.1	Založení vsázky	Umístění vsázky ve vaničce na roštu před dveřmi předkomory	Vykonat					•
5.2		Stisknutí tlačítka pro otevření dveří	Vykonat					•
5.3		Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátora do předkomory	Vykonat					•
5.4		Vrácení manipulátoru do výchozí polohy, automatické zavření dveří předkomory	Vykonat					•
5.5		Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	Pozorovat	•				
5.6		Stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty	Vykonat					•
6.1	Cementace	Sledování průběhu cementace	Monitorovat					
6.2		Případné odstranění chyb	Vyhodnocovat		•		•	
			Plánovat				•	
			Vykonat					•



6.3		Stisknutí tlačítka „Vsázka z pece“ po ukončení cementace (tlačítko bude aktivní)	Vykonat					•
7.1	Kalení	Sledování průběhu kalení	Monitorovat	•	•			
7.2		Případné odstranění chyb	Vyhodnocovat		•	•		
			Plánovat				•	
			Vykonat					•
7.3		Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	Prohledávat	•				
8.1	Vytažení vsázky po ukončení programu	Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“	Vykonat					•
8.2		Vyvezení vsázky pomocí zasouvacího mechanismu na základací pozici	Vykonat					•
8.3		Vrácení manipulátoru do výchozí polohy a automatické zavření dveří (nebo stisknutí tlačítka pro zavření dveří)	Vykonat					•
8.4		Odložení vsázky	Vykonat					•
9.1	Vypnutí zařízení	Stisknutí tlačítka „AUFK – Vypnutí“ na ovládacím panelu	Vykonat					•
9.2		Čekání na Test programu zda je pec vypnutá	Prohledávat	•				
9.3		Čekání na proplach dusíkem 20 minut	Prohledávat	•				
9.4		Čekání na zapálení hořáku dveří předkomory, lišty dveří a otevření dveří předkomory	Prohledávat	•				
9.5		Vypnutí plynů pomocí uzavření hlavních koulových kohoutů na vstupu médií do rozváděče	Vykonat					•
9.6		Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	Vykonat					•

Tab. E- 3 – Možné chybové režimy pro obsluhu cementační pece

#	Kognitivní činnost	Pozorování			Interpretace			Plánování		Provedení				
		O1	O2	O3	I1	I2	I3	P1	P2	E1	E2	E3	E4	E5
1.1	Vykonat													•
1.2	Vyhodnocovat				•									
1.3	Vykonat													•
1.4	Vykonat													•
2.1	Diagnostikovat				•									
2.2	Vyhodnocovat				•									
2.3	Vyhodnocovat				•									
2.4	Diagnostikovat				•									
2.5	Identifikovat				•									
	Vykonat									•				
2.6	Diagnostikovat				•									
2.7	Vykonat													•
2.8	Porovnávat				•									
	Vykonat									•				
2.9	Vykonat													•
2.10	Diagnostikovat					•								
2.11	Vykonat													•
2.12	Vykonat													•
3.1	Vykonat													•
3.2	Vykonat													•
3.3	Monitorovat					•								
3.4	Monitorovat					•								
4.1	Vykonat													•





2.10	Kontrola funkčnosti hořáku přes ovládací panel: – na stropě předkomory; – u dveří předkomory.	I2. Chyba v rozhodování	1.0E– 2
2.11	Zapnutí přívodu vody pro chlazení límce dveří pece	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
2.12	Zapnutí cirkulačního ventilátoru	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
3.1	Zapnutí topení kalicí olejové lázně	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
3.2	Zapnutí topení retorty	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
3.3	Čekání na přehřátí oleje na teplotu 95– 100°C	I2. Chyba v rozhodování	1.0E– 2
3.4	Čekání na přehřátí retorty na 750°C	I2. Chyba v rozhodování	1.0E– 2
4.1	Stisknutí tlačítka „Dveře předkomory – Dolů“	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
4.2	Stisknutí tlačítka „AUFK zapnout“ pro povolení pohybu mechanických částí	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
4.3	Spuštění programu pro cementaci pomocí obrazovky „START PROGRAMU“	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
5.1	Umístění vsázky ve vaničce na roštu před dveřmi předkomory	E2. Akce v nevhodný čas	3.0E– 3
5.2	Stisknutí tlačítka pro otevření dveří	E2. Akce v nevhodný čas	3.0E– 3
5.3	Zatlačení vaničky se vsázkou pomocí manipulátora do předkomory	E2. Akce v nevhodný čas	3.0E– 3
5.4	Vrácení manipulátoru do výchozí polohy, automatické zavření dveří předkomory	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
5.5	Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	O2. Chybné rozpoznání objektu	7.0E– 2
5.6	Stisknutí tlačítka „Vsázka do pece“ pro založení vsázky do retorty	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
6.1	Sledování průběhu cementace	O3. Pozorování nebylo provedeno	7.0E– 2
6.2	Případné odstranění chyb	I1. Chybná diagnostika	2.0E– 1
		P2. Chybný plán	1.0E– 2
		E1. Akce špatného typu	3.0E– 3
6.3	Stisknutí tlačítka „Vsázka z pece“ po ukončení cementace (tlačítko bude aktivní)	E5. Neprovedená akce	3.0E– 2
7.1	Sledování průběhu kalení	O3. Pozorování nebylo provedeno	7.0E– 2
7.2	Případné odstranění chyb	I2. Chyba v rozhodování	1.0E– 2
		P1. Chyba priorit	1.0E– 2
		E1. Akce špatného typu	3.0E– 3
7.3	Čekání na ukončení proplachu dusíkem 20 minut	O3. Pozorování nebylo	7.0E– 2

		provedeno	
8.1	Stisknutí tlačítka „Dveře otevřít“	E1. Akce špatného typu	3.0E- 3
8.2	Vyvezení vsázky pomocí zasouvacího mechanismu na základací pozici	E1. Akce špatného typu	3.0E- 3
8.3	Vrácení manipulátoru do výchozí polohy a automatické zavření dveří (nebo stisknutí tlačítka pro zavření dveří)	E5. Neprovedená akce	3.0E- 2
8.4	Odložení vsázky	E1. Akce špatného typu	3.0E- 3
9.1	Stisknutí tlačítka „AUFK – Vypnutí“ na ovládacím panelu	E5. Neprovedená akce	3.0E- 2
9.2	Čekání na Test programu zda je pec vypnutá	O3. Pozorování nebylo provedeno	7.0E- 2
9.3	Čekání na proplach dusíkem 20 minut	O3. Pozorování nebylo provedeno	7.0E- 2
9.4	Čekání na zapálení hořáku dveří předkomory, lišty dveří a otevření dveří předkomory	O2. Chybné rozpoznání objektu	7.0E- 2
9.5	Vypnutí plynů pomocí uzavření hlavních koulových kohoutů na vstupu médií do rozváděče	E5. Neprovedená akce	3.0E- 2
9.6	Vypnutí HLAVNÍHO VYPÍNAČE	E5. Neprovedená akce	3.0E- 2