



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

IDENTIFIKACE ZDROJŮ RIZIK PRŮMYSLOVÝCH PECÍ - ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECE

IDENTIFICATION OF RISKS RELATED TO INDUSTRIAL FURNACES - ELECTRIC ARC FURNACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Krejčí

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Lukáš Krejčí**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **Ing. Luboš Kotek, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Identifikace zdrojů rizik průmyslových pecí – elektrické obloukové pece

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Elektrické obloukové pece nacházejí uplatnění v mnoha technologických procesech tepelného a chemicko–tepelného zpracování. Provoz může představovat bezpečnostní riziko a to nejčastěji použitím vysokých teplot a možnosti uvolnění nebezpečných látek do okolí. Aby bylo možné předejít nebezpečným událostem, je především nutné identifikovat nebezpečí spojená s použitím průmyslových pecí.

Cíle bakalářské práce:

Popis funkce elektrické obloukové pece.
Rešerše havárií spojených s provozem elektrických obloukových pecí.
Rozbor metod použitelných pro identifikaci nebezpečí elektrické obloukové pece.
Identifikace nebezpečí spojených s provozem elektrických obloukových pecí.
Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika.

ČSN EN 14681+A1. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní požadavky na stroje a strojní zařízení na výrobu oceli elektrickými obloukovými pecemi.

PAVLÍK, Ivan, ed. Pravidla bezpečnosti provozu indukčních pecí kelímkových. Brno: ČVTS-Společnost slévárenská, 1974.

Bezpečnost práce u tavicích pecí: Plzeň 1983, Dům techniky CSVTS 1983. Plzeň: Dům techniky ČSVTS, 1983.

TRINKS, W. Industrial furnaces. 6th ed. Hoboken, N.J.: J. Wiley, 2004.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce je identifikace nebezpečí spojených s provozem elektrických obloukových pecí. Před tím je však nutné dobře se seznámit se zařízením a pochopit jeho funkci. Popis konstrukce pece s důrazem na elektrický obvod, přehled vybraných havárií obloukových pecí a legislativní požadavky na bezpečný provoz pecí tak tvoří výchozí pozici pro samotnou identifikaci nebezpečí, která je provedena dle postupu normy ČSN EN ISO 12100 v závěrečné kapitole práce.

ABSTRACT

Main goal of presented bachelors thesis is identification of hazards associated with operation of electric arc furnaces. But at first it is necessary to become acquainted with the device and to understand its function. Therefore description of construction with emphasis on electrical circuit, overview of few selected industrial disasters and legislative requirements for safe operation of the furnaces form starting position for hazard identification which is carried out according to the procedure of the standard ISO 12100 in the last chapter of this thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrická oblouková pec, průmyslová havárie, ČSN EN ISO 12100, identifikace nebezpečí

KEYWORDS

Electric arc furnace, industrial disaster, ISO 12100, hazard identification

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍ, Lukáš. *Identifikace zdrojů rizik průmyslových pecí - elektrické obloukové pece* [online]. Brno, 2021 [cit. 20. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131949>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Luboš Kotek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Luboši Kotkovi, Ph.D., za cenné rady, přínosné podněty a vstřícný přístup během vypracování práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Královopolská slévárna, s.r.o., za poskytnutí interní bezpečnostní dokumentace. V neposlední řadě patří obrovský dík mé rodině, která mě podporovala během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20. 5. 2021

.....
Lukáš Krejčí

OBSAH

ÚVOD	15
1 Elektrické obloukové pece.....	17
1.1 Konstrukce	17
1.2 Elektrický oblouk.....	19
1.2.1 Vznik oblouku	19
1.2.2 Typy oblouků.....	19
1.3 Elektrický obvod pece	19
1.3.1 Pecní transformátor.....	20
1.3.2 Krátká cesta	20
1.3.3 Elektrody	20
1.4 Druhy EOP.....	21
1.4.1 Pece s přímým obloukem	21
1.4.2 Pece s nepřímým obloukem.....	22
1.4.3 Pece se zakrytým obloukem	23
1.5 Další typy elektrických pecí	23
1.5.1 Odporové	23
1.5.2 Indukční	23
1.5.3 Elektronové.....	24
1.5.4 Plazmové	24
2 HAVÁRIE EOP.....	25
2.1 Feurs, Francie, 2000.....	25
2.2 Plzeň, 2006.....	26
2.3 Coatesville, Pennsylvania, 2007	26
2.4 Ostrava, 2010	26
2.5 Portage, Indiana, 2010	27
2.6 Louisville, Kentucky, 2011.....	27
2.7 Coatesville, Pennsylvania, 2013	27
2.8 Knoxville, Tennessee, 2014.....	28
3 LEGISLATIVA A NORMY VZTAHUJÍCÍ SE K BEZPEČNOSTI EOP.....	31
3.1 Legislativní požadavky	31
3.1.1 Zákon č. 262/2006 Sb.	31
3.1.2 Zákon č. 309/2006 Sb.	31
3.1.3 Vyhláška 48/1982 Sb.	32
3.1.4 Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2006/42/ES.....	33
3.1.5 Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2014/34/EU	35
3.2 Technické normy	37
3.2.1 Harmonizované normy	37
3.2.2 ČSN EN ISO 12100.....	37
3.2.3 ČSN EN 14681+A1	42
3.2.4 ČSN EN 60812	43
3.2.5 ČSN EN 61882	43
3.3 Shrnutí.....	44
4 ELEKTRICKÁ OBLOUKOVÁ PEC OTO 5K	45
4.1 Popis zařízení a technické parametry.....	45
4.2 Mezní hodnoty	46
4.2.1 Limity použití	46

4.2.2	Limity prostorové.....	46
4.2.3	Časové limity.....	46
4.3	Blokový diagram EOP.....	46
4.4	Zdroje nebezpečí u jednotlivých součástí pece	48
4.5	Nebezpečí během životního cyklu stroje.....	49
4.6	Přehled identifikovaných nebezpečí a hodnocení rizik	53
5	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	59
	ZÁVĚR.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	67
	Seznam zkratk a symbolů.....	67
	Seznam tabulek	68
	Seznam obrázků.....	68

ÚVOD

Železo je dlouhodobě velmi důležitý prvek pro lidskou společnost. V přírodě se vyskytuje v železných rudách, ze kterých je možné hutnickými metodami získat surové železo. Použití surového železa v průmyslu či stavebnictví je však nevhodné, protože pro většinu aplikací nemá požadované vlastnosti. Z tohoto důvodu je již během hutního procesu nauhličeno koksem a jako výsledný produkt pak vzniká sloučenina železa a uhlíku, která může být podle potřeby doplněna i o další prvky – legury, které ovlivňují výsledné chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti sloučeniny. Podle obsahu uhlíku rozdělujeme sloučeniny železa a uhlíku na oceli (obsah uhlíku do 2 %) a litiny (obsah uhlíku nad 2 %) [1].

Oceli a litiny se vyrábějí v průmyslových pecích. Průmyslové pece mají mnoho kategorií, avšak pro potřebu této práce je důležité dělení podle zdroje tepla na pece plamenné, bez vnějšího zdroje a elektrické [2].

Popis využití pece, její konstrukce a principu fungování sice není hlavním cílem této práce, nicméně je nezbytný jako vstupní informace pro analýzu rizik spojených s používáním tohoto strojního zařízení.

Elektrická oblouková pec (EOP) je strojní zařízení, při jehož provozu vznikají nebezpečné situace způsobené zejména vysokou teplotou, vysokými hodnotami elektrického napětí a proudu a přítomností škodlivých látek vznikajících při tavení. Bezpečnost pracovníků musí být zajištěna na prvním místě, a proto je nutné identifikovat nebezpečné situace a následně odhadnout velikost rizika, které se k daným situacím váže, aby následně mohla být přijata opatření ke snížení rizik na přijatelnou úroveň.

V této práci tedy budou nejprve shrnuty poznatky o elektrických obloukových pecích, následovat bude přehled vybraných havárií obloukových pecí, dále bude popsána legislativa a normy vztahující se ke konstrukci, provozu a obsluze pecí. V poslední fázi budou na základě dokumentu poskytnutého společností Královopolská slévárna, s.r.o., a poznatků vyplývajících z předchozích částí této práce pomocí normy ČSN EN ISO 12100 posouzena rizika u identifikovaných nebezpečí konkrétní elektrické obloukové pece.

1 ELEKTRICKÉ OBLOUKOVÉ PECE

Průmyslová pec je strojní zařízení, které vytváří příhodné podmínky pro průběh daného technologického procesu. Tepelná energie, která je v peci předávána materiálu, se získává buď spalováním, nebo z elektrické energie [2].

Dělení pecí je následující:

- podle technologického určení
- podle zdroje tepla
- podle tvaru pracovního prostoru
- podle způsobu využití tepla odpadních spalin [2]

Jak již bylo zmíněno, stěžejní bod je dělení podle zdroje tepla. V této kategorii rozeznáváme tři podskupiny – pece plamenné, pece bez vnějšího zdroje a pece elektrické. Elektrická oblouková pec patří do kategorie pecí elektrických. V dalším výkladu bude popsána především EOP a dále i stručně další typy pecí, které patří do kategorie elektrických pecí [2].

1.1 Konstrukce

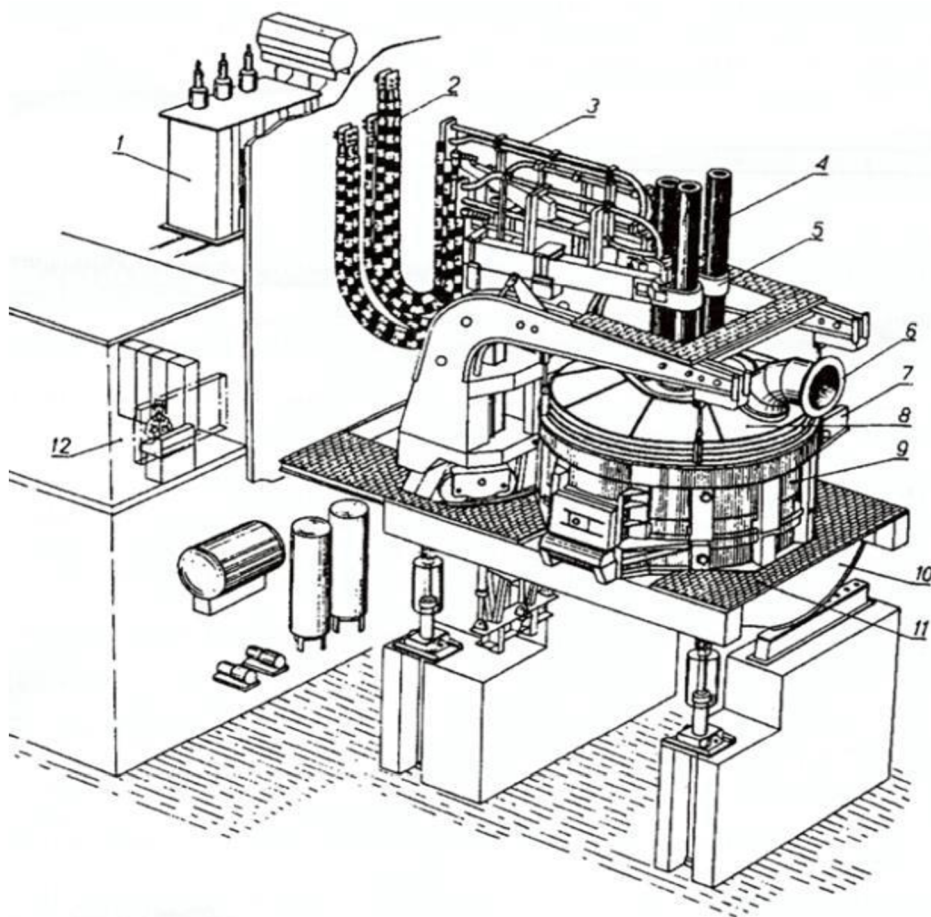
Oblouková pec se skládá z následujících částí (viz obr. 1):

- Vlastní pec s žáruvzdornou vyzdívkou (9) – pracovní prostor pece tvoří polokulovitá nádoba, stěny a pohyblivé víko (8), skrz které procházejí elektrody (4). Plyny jsou odváděny velkou rourou (6).
- Mechanismus naklápění (10) – pec stojí na naklápěcí plošině, aby bylo možné přelít roztavený obsah odpichovým otvorem (7) do jiné nádoby – tento proces se nazývá odpich (angl. *tapping*). Pec lze naklopit na stranu odpichového otvoru, ale i na stranu struskových dvířek – zde se také odebírají vzorky materiálu před odpichem.
- Horizontální trubkové vodiče (3) – chlazené vodou.
- Elektroda(y) s držáky – podle způsobu napájení může pec mít 1 či 2 elektrody (stejnoseměrný proud), nebo 3 elektrody (třífázový střídavý proud).
- Držáky elektrod (5) – slouží k manipulaci s elektrodami a pro přenos proudu mezi vodičem a elektrodou.
- Elektrické příslušenství – ovládání elektrod a pochopitelně i přívodní kabely (2) pro samotný proces tavení [3].

Žáruvzdornou vyzdívkou jsou chráněny nejvíce tepelně namáhané části pece – stěny a víko pece, strusková dvířka a odtokový žlab, který se využívá při odpichu. Velmi důležitý je také systém chlazení. Je nutné chladit víko a stěny pece a strusková dvířka, dále

transformátor, přívodní kabely, horizontální trubkové vodiče, držáky elektrod a elektrody samotné. Každá část musí mít vlastní chlazení nezávislé na ostatních [4].

Kromě výše uvedených bodů je okolo pece poměrně velký prostor pro pohyb obsluhy a v těsné blízkosti musí být umístěn transformátor (1) a ovládací stanoviště obsluhy (12). Aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení teploty, bývají pece ještě vybaveny na bocích hořáky, které zajišťují přívod kyslíku [2], [3].



Obr. 1) Schematické zobrazení třífázové EOP [3]

Hmotnost materiálu, který lze vložit do EOP, je závislá na účelu použití. V laboratorních podmínkách či pro použití u zubních lékařů to mohou být pouze desítky gramů. Naopak pro průmyslové účely může být hmotnost vsázky i několik set tun. Vsázka je do pece většinou dopravena pomocí zavázacích košů umístěných na jeřábech [4].

V současné době jsou v České republice používány hlavně menší EOP (obsah 4 až 18 tun), ale v hutních slévárnách můžeme najít i pece velké, které mohou mít kapacitu 150 tun i vyšší. Moderní pec dokáže provést jeden cyklus tavení do 70 minut a často využívá odpadního tepla pro předehřev vsázky v zavázacích koších [4].

1.2 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je výboj v plynu a má tvar válce. Může vzniknout za běžného atmosférického tlaku, ale i za tlaků vyšších. Nutnou podmínkou pro vznik je ionizace vzduchu. Každý oblouk se skládá z jádra a z obalu o teplotě až 7 000 K. Právě vysoké teploty oblouku využíváme k tavení materiálu. Charakteristickým rysem oblouku je kromě vysoké teploty také jasná záře a úbytek napětí na katodě i anodě [5], [9].

1.2.1 Vznik oblouku

Oblouk vzniká mezi dvěma elektrodami, kterými prochází proud. Elektrody jsou nejprve spojeny k sobě. Procházející proud je začne silně přehřívat. Následně od sebe pomalu elektrody oddálíme, přičemž prostor mezi nimi vyplní nevodivý vzduch. Zpočátku je vzdálenost mezi kontakty velmi malá, díky vysoké teplotě elektrod dojde k ionizaci vzduchu, a vzniká tak elektrický oblouk, který se chová jako vodič mezi elektrodami. Pokud se elektrody dále oddalují, roste elektrický odpor oblouku až do mezní hodnoty, kdy už není schopen protékající proud živit oblouk, a ten tak zaniká. Tímto způsobem vzniká stejnosměrný elektrický oblouk, který hoří lépe než střídavý [5].

1.2.2 Typy oblouků

Jak plyne z předešlého bodu, hlavním kritériem pro dělení oblouků je druh napájení. Oblouky tak můžeme rozdělit na stejnosměrné a střídavé. Další dělení je např. podle typu elektrod (kovové, uhlíkové), tvaru výboje (volně hořící, stabilizované) [5].

Stejnoscsměrný oblouk

Stejnoscsměrný oblouk vzniká, pokud zapojíme do obvodu dvě elektrody, rezistor a zdroj stejnosměrného napětí. Elektrody se v místě dotyku začnou přehřívat a při jejich oddálení vznikne oblouk [5].

Střídavý oblouk

Princip vzniku je stejný jako v případě stejnosměrného oblouku, avšak vlivem střídavého proudu se střídá i polarita napětí, a tím pádem se periodicky mění katoda na anodu (v případě EOP se střídá elektroda a vsázka) a obráceně. Kvůli tomuto jevu oblouk může zhasnout zejména na začátku tavení, kdy je vsázka ještě relativně studená. Studený materiál má horší schopnost emitovat elektrony a vyžaduje větší napětí. Nerovnoměrné emitování elektronů způsobuje kolísání oblouku, což může vést až k jeho přerušení. Pokud se však udrží elektrody žhavé, může oblouk hořet při obou periodách napětí. Pro eliminaci zhasínání oblouku je nutné do obvodu vhodně zařadit indukční prvek [3].

1.3 Elektrický obvod pece

EOP mají velkou teoretickou spotřebu elektrické energie – na natavení jedné tuny oceli přibližně 380 kWh. Avšak skutečná spotřeba je 460 až 800 kWh/t, protože elektrický obvod má ztráty a je potřeba udržovat teplotu roztavené lázně okolo 1 600 °C. U moderních pecí se daří spotřebu stlačit až na 400 kWh/t. Nepříjemností je, že při jejich provozu vznikají proměnlivé proudy, což je nežádoucí pro síť vysokého napětí. Elektrický obvod pece je poměrně složitý. V dalším výkladu budou popsány pouze části důležité pro samotný proces tavení. Patří mezi ně pecní transformátor, krátká cesta a elektrody [3], [4].

1.3.1 Pecní transformátor

Pecní transformátor je nejčastěji proveden jako třífázový a je připojen k síti vysokého napětí 22 kV. Pro malé pece lze použít i transformátor jednofázový, naopak u velkých pecí může být transformátor připojen i k síti velmi vysokého napětí [5].

Úkolem transformátoru je snížit vstupní napětí (22 kV) na napětí řádově stovek voltů (obvykle 600 až 900 V). Tím pádem je zřejmé, že proud v sekundárním obvodu bude velmi vysoký – tisíce až desetitisíce ampérů v jedné fázi (pece středního výkonu mají 10 až 60 kA). Z předešlého výkladu již víme, že oblouk kolísá a vyžaduje proměnné velikosti proudu. Navíc při procesu tavení se mění požadavky na velikost přiváděné energie. Sekundární vinutí transformátoru tak musí umožňovat plynulou regulaci napětí, čehož můžeme dosáhnout změnou počtu závitů v primárním vinutí – tzv. přepínání napěťových stupňů. Výkon transformátoru daný součinem proudu a napětí dosahuje MVA (obvykle okolo 80 u středních a velkých pecí). I přesto, že transformátory mají vysokou účinnost, při takto velkém výkonu vznikají značné tepelné ztráty, a proto je nutné transformátory chladit. Nejčastěji se používají olejové lázně, ale lze chladit i vodou nebo vzduchem [3], [4].

Z podstaty elektrického oblouku plyne, že při jeho vzniku, kolísání a zániku budou vznikat proměnlivé a zkratové proudy. Tomu musí být přizpůsobena konstrukce transformátoru. Často se mezi výkonový vypínač, který připojuje obvod pece k síti VN, a transformátor zařazuje tlumivka. Ta má za úkol snížit hodnotu zkratových proudů při dotyku elektrod s taveninou. Nevýhodou tlumivek je, že snižují účinnost pece. Proto se používají zejména na začátku tavení, kdy je oblouk nestabilní. Po zvýšení teploty a stabilizaci oblouku se tlumivka odpojuje [3].

1.3.2 Krátká cesta

Krátká cesta je část obvodu EOP, která spojuje sekundární vinutí transformátoru s elektrodami. Krátkou cestou prochází velký proud, proto musí mít každá fáze více vodičů zapojených paralelně. Aby byly ztráty co nejmenší, je vhodné dodržet následující body:

- co nejkratší délka vodičů v krátké cestě
- nízká indukčnost
- nízký odpor
- vhodná mechanická pevnost vodičů [3]

1.3.3 Elektrody

Elektrody můžeme označit za konec krátké cesty, ale protože jsou velmi důležitou součástí elektrického obvodu pece, bude jím věnován vlastní odstavec.

Přívod elektrické energie do pracovního prostoru pece je realizován právě elektrodami. Jsou upevněny do držáku, který má kromě pevné části i část pohyblivou, aby bylo možné regulovat výkon na oblouku, který je úměrný délce oblouku. Je žádoucí, aby spojení elektrod s držáky bylo co nejlepší, protože v těchto kontaktech může dojít ke značné ztrátě energie (až 10 %) [5], [6].

Základní požadavky na elektrody jsou: nízká tepelná vodivost, vysoká elektrická vodivost a dobrá mechanická pevnost. Tvar elektrody je většinou válec o průměru kolem 40 cm. Pokud je pec napájena třífázově a má 3 elektrody, jsou rozmístěny do rovnostranného

trojúhelníku. Při výměně elektrody se nový kus našroubuje na stávající, čímž jsou zajištěny kontinuita a minimální množství zbytků. Elektrody dělíme na uhlíkové, grafitové a samospékavé (násypné, též Söderbergovy) [5], [6].

Uhlíkové elektrody

Uhlíkové elektrody se vyrábějí ze směsi koksu, antracitu, pryskyřice a přírodního grafitu. Po upravení polotovaru se vypalují při teplotě 1 200 – 1 300 °C. Používají se pro výrobu feroslitin a běžných ocelí [6].

Grafitové elektrody

Grafitové elektrody vznikají stejně jako uhlíkové, avšak teplota vypalování je až 2 700 °C. Následkem je přeměna uhlíku v grafit. Mají větší dovolenou proudovou hustotu než uhlíkové, díky čemuž snesou vyšší hodnoty proudu, a proto jsou nejčastěji používaným typem. Životnost při standardním provozu jsou 3 až 4 dny. Nevýhodou je vyšší cena výroby [4], [6].

Samospékavé elektrody

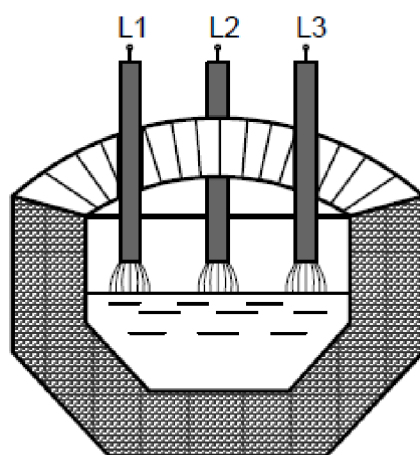
Samospékavé elektrody vznikají až při samotném provozu pece. Do ocelové trubky (slouží jako forma) nad pracující elektrodu se umístí materiál shodný jako u uhlíkové elektrody a udusá se. Pracující elektroda pak vypaluje nad sebou elektrodu novou. Tohoto způsobu lze využít pouze u velkých elektrod (průměr nad 50 cm). Výhodou je nízká cena, naopak nevýhodou je intenzivní vývoj sazí a dýmu při vypalování [6].

1.4 Druhy EOP

Základní dělení EOP je na pece s přímým obloukem, pece s nepřímým obloukem a pece se zakrytým obloukem – toto dělení vyplývá ze způsobu hoření oblouku [6].

1.4.1 Pece s přímým obloukem

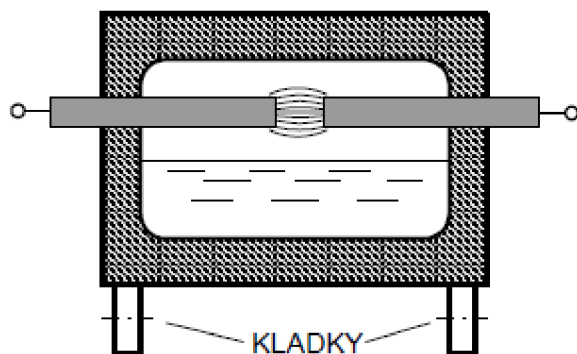
U těchto pecí oblouk hoří mezi elektrodou a vsázkou, přičemž obvod je uzavřen přes taveninu (obr. 2). Elektrody jsou zde uloženy svisle. Protože je přenos tepla do lázně přímý, tavení je urychlováno. Díky tomu, že je elektrický oblouk dostatečně vzdálen od stěn a klenby (víka), mají tyto pece delší životnost. Využití pecí s přímým obloukem je hlavně pro výrobu ocelí a litin. Pece s přímým obloukem se dále dělí na pece s vodivým dnem a pece s nevodivým dnem. Pece s vodivým dnem se používaly v době, kdy ještě nebylo možné tak efektivně regulovat energii dodávanou do pece. Jejich nevýhodou je nižší efektivita a nebezpečí protavení dna pece. Z těchto důvodů se dnes již nepoužívají a zcela dominantním typem jsou pece s nevodivým dnem [5].



Obr. 2) Pec s přímým obloukem [7]

1.4.2 Pece s nepřímým obloukem

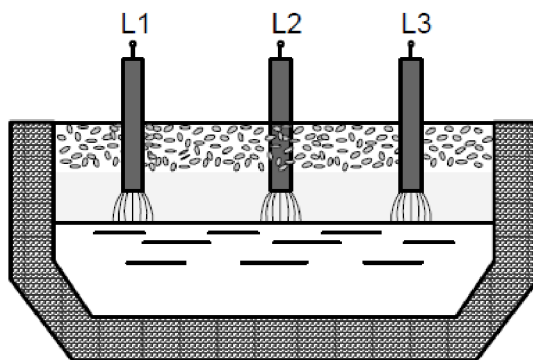
U tohoto typu hoří oblouk mezi dvěma elektrodami, což způsobuje, že vsázka je ohřívána pouze sáláním (zářením) a tavení trvá delší dobu. Není ale nutné, aby vsázka byla z vodivého materiálu. Elektrody jsou v tomto případě uloženy vodorovně (obr. 3), což je nepříznivé, protože často dochází k jejich zlomení. Další nevýhodou je větší opotřebení stěn pece. Naopak mezi výhody patří nižší pořizovací náklady, snadná obsluha a možnost tavby nevodivých materiálů. Maximální hmotnost vsázky jsou obvykle 3 tuny [5].



Obr. 3) Pec s nepřímým obloukem [7]

1.4.3 Pece se zakrytým obloukem

Zde oblouk hoří opět mezi elektrodami a vsázkou, avšak elektrody jsou ponořeny do roztavené strusky a jsou obsypány zavázkou rudy (obr. 4). Při průchodu oblouku struskou a zavázkou se uvolňuje vlivem odporu teplo, proto jsou tyto pece někdy nazývány oblouk-odporové. Elektrody jsou stejně jako u pecí s přímým obloukem uloženy svisle. Tento typ pecí pracuje většinou nepřetržitě a používá se pro výrobu surového železa [7].



Obr. 4) Pec se zakrytým obloukem [7]

Na závěr je potřebné zmínit, že všechny 3 výše uvedené typy mohou být rozšířeny o indukční míchání lázně. Tím je možné zrychlit proces tavení a docílit rovnoměrného rozložení teploty. Pro míchání se využívá účinků indukovaných proudů na stejném principu jako v indukčních pecích [4].

1.5 Další typy elektrických pecí

Jak již bylo uvedeno, elektrické pece využívají k získání tepelné energie energii elektrickou. Při provozu se dosahuje vysokých teplot, a proto je tento typ pecí používán převážně pro výrobu kovů. Kromě obloukových pecí do této kategorie patří i další, které budou nyní stručně popsány.

1.5.1 Odporové

Teplo vzniká v topných člancích. Topný článek je zhotoven z odporových drátů či pásků, které tvoří meandry se stanoveným stoupáním. Takto lze vytvořit mnoho konfigurací pro různé velikosti výrobků a různé teploty uvnitř pece [8].

1.5.2 Indukční

Teplo vzniká indukcí. Kolem pece jsou obmotány dráty napájené zdrojem střídavého proudu. Vzniká elektromagnetické vlnění, které prostoupí do kovového materiálu, ve kterém se začne vlivem Faradayova zákona indukovat napětí a proud. Proud poté prochází materiálem s odporem a vzniká teplo. Indukční pece mohou být s železným jádrem (kanálkové), ve kterých se magnetické siločáry uzavírají přes kanálek, nebo bez železného jádra (kelímkové), ve kterých se magnetické siločáry uzavírají vzduchem, a proto mají nižší účinnost [2].

1.5.3 Elektronové

Teplo vzniká z kinetické energie vystřelovaných elektronů při srážce s materiálem. Elektron je emitován katodou elektronového děla, následně urychlen elektrickým polem mezi katodou a anodou a usměrněn polem magnetickým na materiál v peci, poté již dochází ke srážce [2].

1.5.4 Plazmové

Teplo vzniká z plazmy. Plazma může být nízkoteplotní (1000 až 10 000 K), nebo vysokoteplotní (10^5 až 10^8 K). Zařízení pro ohřev se nazývají plazmové hořáky (plazmatrony), které mohou pracovat buď podobně jako elektrický oblouk, nebo elektronové dělo [2].

2 HAVÁRIE EOP

V této kapitole bude uveden přehled vybraných významných havárií EOP. Příčinou průmyslových havárií na EOP bývá nejčastěji nedodržení technologického postupu, opomenutí nějakého nebezpečí spojeného s provozem, nebo porucha technického zařízení. Havárie tak slouží jako zdroj informací pro zdokonalení pracovních postupů, předcházení podobným situacím a pro rozvoj bezpečnosti.

2.1 Feurs, Francie, 2000

V únoru roku 2000 došlo k havárii EOP ve městě Feurs. Příčinou havárie byl nevhodný postup navážení materiálu do pece. K havárii došlo přibližně v 15:15 hodin. Dopoledne onoho dne proběhl předchozí proces tavení zcela bez problémů, prostor pece byl navíc zkontrolován obsluhou a nebylo nalezeno žádné poškození chladicího systému ani žáruvzdorné vyzdívky [10].

Zhruba v 13:20 tak začala navážka nového materiálu pro další cyklus. Nejprve se do pece nasypalo asi 836 kg písku složeného převážně z oxidu nikelnatého NiO, oxidu křemičitého SiO₂ a oxidu hlinitého Al₂O₃. Vznikla tak souvislá vrstva na dně pece vysoká 20 – 25 cm. Následovalo vložení 6 900 kg kovových slitin (Fe – Mo – Co – Ni), 540 kg železného šrotu a 240 kg uhličitanu vápenatého CaCO₃ [10].

Po naplnění pece začal proces tavení vyvoláním oblouku. Po překonání hranice spotřeby energie 1 000 kWh se k oblouku připojily trysky, které do pece vhánějí kyslík. Při dosažení 1 552 kWh (asi v 14:40) došlo k zhášení oblouku a pokračovalo pouze vhánění kyslíku. Zhruba v 15:15 došlo k výbuchu, kdy roztavený kov a struska vylétly výpustí pro strusku. Prakticky ihned došlo ke zhroucení zděné horní klenby dovnitř pece a kusy rozžhaveného kovu a velké množství prachu se rozprostřely po celém pracovišti okolo pece [10].

Následkem havárie byl převoz 6 lidí do nemocnice. 3 byli propuštěni ten samý den, 1 byl lehce zraněn a 2 těžce zraněni. Vyšetřováním havárie se došlo k závěru, že příčinou výbuchu byla přítomnost NiO v peci. Oxid nikelnatý se totiž zcela neroztavil a vlivem vháněného kyslíku se jeho část dostala ze dna až na povrch roztaveného kovu. Zde došlo k deoxidaci oxidu nikelnatého, vzniklý kyslík se začal slučovat s uhlíkem přítomným v tavenině a vznikaly plyny CO a CO₂ – až 73 m³ CO během krátké doby. Navíc oxid nikelnatý obsahoval určité množství vody. Po vyplavání na hladinu došlo k odpaření a výraznému zvětšení objemu vodní páry – až na 8 m³. Havárii tak způsobil prudký nárůst objemu plynu, který v horní části pece vyvolal vysoký tlak [10].

Provozovatelem pece byla přijata následující opatření:

- Modifikace prostoru okolo pece – ochranné panely, regulování přístupu k peci
- Revize výrobních a bezpečnostních postupů
- Zaměstnání bezpečnostního technika pro dané pracoviště [10].

Tento typ havárie není tak častý, jako vniknutí vody do pracovního prostoru pece. V posledních letech však stoupal počet havárií způsobených výbuchem oxidu uhelnatého CO, a proto Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (OSHA) vydala doporučení, jak předcházet podobným událostem [11].

OSHA popisuje, proč je CO tak nebezpečný při provozu. Elektrické obloukové pece jsou hojně používány pro recyklaci železného šrotu a často je nutné snížit obsah uhlíku ve šrotu, aby vznikly sloučeniny požadovaných vlastností – tomuto procesu se říká dekarbonizace. Hořáky vhánějí do pece kyslík, který přemění uhlík z materiálu na oxid uhelnatý, a ten se dále slučuje s kyslíkem a vzniká oxid uhličitý, který je odváděn sáním pryč z pece. Když je však kyslík do pece vháněn příliš rychle a ve velkém množství, dochází k rychlému vznikání oxidu uhelnatého, který pohlcuje téměř veškerý přicházející kyslík, a není umožněn vznik oxidu uhličitého. Oxid uhelnatý začne vyplňovat horní část pece. Pokud jeho koncentrace dosáhne 12,5 až 74,2 procent, i malé množství kyslíku s ním pak může zreagovat a vytvořit výbušnou směs, kterou snadno zapálí roztavený kov [11].

2.2 Plzeň, 2006

V Plzni došlo k úniku roztavené oceli ven z 50tunové obloukové pece. V důsledku úniku vypukl požár, který poškodil přívodní kabely k elektrodám, plášť pece, hydrauliku a částečně i víko (střešní konstrukci). Škoda byla vyčíslena na 700 000 Kč. Naštěstí nikdo nebyl zraněn. Příčinou havárie byla pravděpodobně netěsnost v žáruvzdorné šamotové vyzdívce pece [12].

2.3 Coatesville, Pennsylvania, 2007

Podle vyšetřování zbloudilý elektrický oblouk vytvořil díru v chladicím potrubí a voda začala vtékat do pracující pece, kde se měnila v páru, což ještě samo o sobě nepředstavuje velký problém. Pro vylití materiálu z pece je však zapotřebí pec naklopit. V momentě naklopení roztavený kov obklopil přitékající vodu, což ji okamžitě proměnilo na páru. Tento jev je doprovázen velmi rychlým nárůstem objemu páry až na 1 700 násobek původní hodnoty. Právě tento rychlý nárůst objemu způsobí výbuch pece – může utrhnout víko a vymrští kousky roztaveného kovu po okolí. Následkem havárie byl 1 mrtvý a 2 zranění zaměstnanci. Ačkoliv společnost podnikla kroky ke zvýšení bezpečnosti (systém měření objemu vody), došlo v Coatesville k další havárii v roce 2013. Tehdy byli zraněni 3 lidé, z toho 2 těžce. Havárie z roku 2013 je popsána v samostatné podkapitole 2.7 [13].

2.4 Ostrava, 2010

V létě roku 2010 došlo k požáru ve výrobní hale elektrické obloukové pece společnosti Vítkovice Heavy Machinery, a. s. Příčinnou požáru bylo prasknutí hydraulické hadice na zvedacím hydraulickém válci speciálního manipulátoru, který v té chvíli převážel v kolibě tekutou strusku o teplotě asi 1 500 °C. Koliba se naklonila a došlo k vylití strusky na přední část manipulátoru, podlahu haly a částečně i na pracovní plošinu EOP. Vzniklý požár poškodil manipulátor (obr. 5), silové kabely pece a optické kabely sloužící k ovládání pecního agregátu. Vzniklá škoda byla 6 milionů Kč [14].



Obr. 5) Poškozený manipulátor [14]

2.5 Portage, Indiana, 2010

V Portage došlo také k výbuchu pece vlivem úniku vody a následnému kontaktu s roztaveným kovem. 5 zaměstnanců právě zkoumalo pec, protože kontrolním systémem byl hlášen únik vody. Během inspekce však pec explodovala, což mělo za následek 1 mrtvého a 4 zaměstnanci museli být hospitalizováni. Stejně jako v Coatesville, i zde to byla již druhá havárie tohoto typu. K předešlé došlo v listopadu 2009 a následkem bylo 8 zraněných [13].

2.6 Louisville, Kentucky, 2011

I v tomto případě byl hlavní příčinou exploze únik chladicí vody. Pec ve městě Louisville nesloužila k výrobě oceli, ale karbidu vápenatého CaC_2 , který se vyrábí ze směsi koksu, uhlí a oxidu vápenatého právě v obloukových pecích při teplotách kolem $2\ 000^\circ\text{C}$. Během provozu v Louisville docházelo několikrát do roka k menším výbuchům, kdy bylo z pece vymrštěno malé množství roztaveného materiálu. K tomuto jevu docházelo pravděpodobně kvůli vytvoření výbušné směsi plynů v horní části pece. Směs plynů byla tvořena především oxidem uhelnatým CO a vodíkem H_2 , které se uvolňovaly ze vsázky během procesu tavení. I tato kombinace plynů může sama o sobě způsobit závažnou havárii (viz podkapitulu 2.1). Menším výbuchům však nebyla věnována pozornost, a navíc docházelo k oddalování naplánovaných údržeb pece. Příčinou havárie v roce 2011 však byla reakce vody unikající z chladicího systému s karbidem vápenatým. Při této reakci vzniká velmi hořlavý acetylen, který se v rozehráté peci snadno zapálí a dojde ke skokovému zvětšení objemu plynu, což má za následek vymrštění roztavených kousků otvory v peci. I přesto, že sklo ovládací místnosti pece bylo tlusté a vyztužené drátem, vymrštěné kousky ho prorazily a usmrtily dva pracovníky. Další dva pracovníci byli zraněni [13].

2.7 Coatesville, Pennsylvania, 2013

Havárii v Coatesville v roce 2013 se zabývá doporučení organizace OSHA zmíněné v podkapitole 2.1. Ve studii havárie je popsáno, jak důležitá je prevence a bezpečnostní školení zaměstnanců. Obsluha pece totiž považovala menší výbuchy oxidu uhelnatého za

běžnou věc během provozu EOP. V peci nebyl umístěn žádný snímač, který by měřil koncentraci CO, a nebylo zkoumáno, proč k výbuchům dochází. Zaměstnavatel navíc povolil obsluhu peci naklápět tak, aby byl vylétávající roztavený kov směřován do místa, kam se bude odlévat. Obsluha měla vyhodnotit menší exploze jako skoronehody a podniknout kroky ke zjištění jejich příčiny [11].

Příčina menších výbuchů nebyla nikdy zkoumána, a nemohlo tedy dojít k jejímu odstranění. Proto došlo jednoho dne k závažné havárii. Stošedesátipětiletá EOP explodovala a mezerami mezi víkem a tělesem pece vyšlehly plameny a vytryskly kusy roztaveného kovu. 3 zaměstnanci byli těžce popáleni, i když měli ochranné pomůcky. Výbuch byl tak silný, že rozbil výbuchuodolné sklo ovládací místnosti pece [11].

Sled událostí předcházejících nehodě byl následující:

- Ze vzorku kovu byl zjištěn příliš vysoký obsah uhlíku, proto obsluha pece zvýšila přívod kyslíku prostřednictvím hořáků.
- Nad taveninou začala rychle stoupat koncentrace CO, což znemožnilo vznik CO₂. Navíc přetlak způsobený CO bránil vstupu vzduchu skrz mezery mezi víkem a prostorem pece.
- V peci začalo docházet k malým výbuchům CO, což se projevovalo vyšlehnutím plamenů otvory mezi víkem a pecí.
- Když obsluha upozorovala tento jev, podle klasického rutinního postupu naklopila pec. Část CO tak odešla skrz výpust a v peci vznikl prostor, který zaplnil vzduch. Reakce zbytku CO a vzduchu způsobila silný výbuch, jehož následkem byli 3 zranění pracovníci [11].

V důsledku (nejen této) havárie OSHA doporučuje:

- školit zaměstnance tak, aby byli schopni rozpoznat zvýšenou koncentraci CO v peci.
- používat čidla, která měří koncentraci plynů v prostoru pece a množství přiváděného kyslíku.
- nepovažovat menší výbuchy za součást provozu a zjišťovat jejich příčiny
- opatrně manipulovat s pecí při naklápění, aby nevznikaly potenciálně nebezpečné sloučeniny plynů [11].

2.8 Knoxville, Tennessee, 2014

Další případ, kdy došlo k úniku vody a následně explozi, se stal v Knoxville. Bezpečnostní systém zaznamenal, že až 750 litrů vody za minutu uniká do prostoru pece. V takovém případě měli podle předpisů společnosti zaměstnanci vypnout přívod vody a ihned opustit pracoviště. Obsluha však zůstala na místě a přívod vody byl vyřazen až po sedmi minutách od nahlášeného úniku. Následkem havárie byl 1 mrtvý a 5 zraněných [13].

K mnoha podobným haváriím došlo v různých státech (např. Německo, Austrálie, Kanada, Mexiko, Japonsko a další) a v různých letech. Společným faktorem všech těchto havárií je vnik chladicí kapaliny (vody) do prostoru pece, ta se následně vypařuje, a když dojde k náklonu pece, ať už za účelem vylití materiálu či nečistot, může dojít k havárii. Někdy ani nemusí být pec naklopena a stejně exploduje, což je způsobeno reakcí vodíku a kyslíku z rozkládající se vody a zapálením této výbušné směsi od nataveného kovu. Elektrických obloukových pecí se po celém světě používají tisíce a zdaleka ne všechny havárie jsou

hlášeny. Zejména pokud nedojde ke zranění osob, ale „pouze“ ke škodě na majetku, společnosti tyto havárie často nehlásí. To je však velký problém, protože ignorováním méně závažných nehod či skoronehod nelze odstranit jejich příčinu. Při souhře několika kritických faktorů poté může dojít k havárii závažné, které by se dalo předejít [13].

Starší typy pecí nebyly chlazené vodou, ale měly pouze žáruvzdornou vyzdívkou klenby (víka) a pracovního prostoru. Ta se sice netavila, ale v důsledku zvyšování teploty uvnitř pecí za účelem zrychlení procesu tavení se rozpadala. Z toho důvodu se přešlo na systém trubek umístěných na vnitřní straně víka a v horních částech pece, ve kterých proudila voda pod tlakem (60 psi \doteq 4,14 atm). Trubky jsou seskládány do víkových (střešních) a bočních panelů [13].

Způsob chlazení vysokotlakou vodou (obr. 6) je sice efektivní, ale konstrukce trubek je na mnoha místech svařená, což může vést ke vzniku malých trhlinek. Když se pec zahřívá, trubky se roztahují, což způsobí, že stěny trhliny na sebe tlačí a nedochází k velkému úniku vody. Naopak při ochlazování se trhlinka zvětší a voda pod vysokým tlakem proudí dovnitř pece. Trhlinky mohou vzniknout jako důsledek svařené konstrukce, zbloudilým elektrickým obloukem, nebo vlivem mechanického poškození (např. od železného šrotu při zavážení). Pro použití tohoto systému chlazení je nutný kontrolní systém, který porovnává množství vody na vstupu a výstupu [13].



Obr. 6) Chlazení pomocí vysokotlakých trubek uspořádaných do panelů [15]

V 80. letech 20. století byl představen chladicí systém, který nepoužívá tlakovou vodu (obr. 7). Víko má dvě části – vnitřní, která tvoří hranici s pracovním prostorem pece, a vnější, která slouží jako ochrana vody před prachem a nečistotami vznikajícími během provozu. Prostor mezi nimi je vyplněn systémem trysek, které stříkají vodu na vnitřní část. Množstvím rozstříkované vody tak lze regulovat teplotu na jednotlivých místech spodního víka. Pokud dojde k vytvoření praskliny, množství vody, které vteče do pece, není tak velké jako v předchozím případě. Navíc systém trysek je spojen pouze s vnější stranou víka, což jednak usnadňuje údržbu, a navíc zmenšuje riziko vzniku trhliny v důsledku svařování, protože vnitřní část pak může být z jednoho kusu. I když je tento systém bezpečnější a levnější na udržování, převažujícím typem chlazení je stále pomocí vysokotlaké vody [13].



Obr. 7) Systém chlazení pomocí trysek [16]

3 LEGISLATIVA A NORMY VZTAHUJÍCÍ SE K BEZPEČNOSTI EOP

Aby byla elektrická oblouková pec bezpečná, je nutné splnit bezpečnostní požadavky na její konstrukci, a také zajistit bezpečnost obsluhy pece. Tyto dva základní aspekty ošetřuje několik zákonů České republiky stejně jako několik legislativních dokumentů EU. Plnění požadavků zákonů a směrnic je často umožněno s použitím norem, které jsou na legislativu přímo navázané. V případě, kdy nechceme použít postup doporučený v normách, je nutné vypracovat vlastní postup k dosažení požadavků daných legislativou a prokázat, že tímto postupem jsme schopni dosáhnout jejich požadavků. Tento způsob je však obvykle časově náročnější a dražší než použití příslušných norem.

3.1 Legislativní požadavky

Nejprve bude uveden výběr nejdůležitějších českých předpisů, které ošetřují problematiku bezpečnosti a ochranu zdraví při práci (BOZP). Následovat bude přehled směrnic Evropské unie, které řeší bezpečnostní požadavky na konstrukci elektrických obloukových pecí. Tyto směrnice jsou také součástí českých zákonů.

3.1.1 Zákon č. 262/2006 Sb.

Zákon č. 262/2006 Sb. je zákoník práce. Upravuje pracovněprávní vztahy mezi zaměstnavatelem a zaměstnancem a dále zpracovává příslušné předpisy Evropské unie. Jednou ze základních zásad pracovněprávních vztahů jsou uspokojivé a bezpečné podmínky pro výkon práce. Zákon je poměrně obsáhlý, skládá se z 14 částí a příloh. Pro potřeby předkládané práce je klíčová pátá část – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci - paragrafy 101 až 108 [17].

Pátá část zákoníku práce má celkem tři hlavy. **První hlava** pojednává o předcházení ohrožení života a zdraví při práci. Stanovuje především povinnosti zaměstnavatele [17].

Druhá hlava vymezuje povinnosti zaměstnavatele ve vztahu k právům a povinnostem zaměstnance [17].

Poslední **třetí hlava** se týká společných ustanovení. Řeší další požadavky BOZP a zajištění BOZP při práci mimo pracovněprávní vztahy. Tyto další požadavky jsou řešeny v samostatném zákonu, který bude rozebrán v následujícím bodě. Jedná se o zákon 309/2006 Sb. [17].

V závěru zákona je popsána účast zaměstnanců na řešení otázek BOZP. Zaměstnavatel je například povinen umožnit účast zaměstnanců nebo jejich zástupců z řad odborů na jednáních týkajících se BOZP, nebo alespoň poskytnout informace o takovém jednání. Dále alespoň jednou za rok musí provést prověrku BOZP na všech pracovištích a odstranit zjištěné nedostatky [17].

3.1.2 Zákon č. 309/2006 Sb.

Zákon č. 309/2006 Sb. upravuje další požadavky BOZP v pracovněprávních vztazích a dále pojednává o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy. Lze jej tak považovat za doplnění a rozšíření zákoníku práce.

Jsou v něm pochopitelně zapracovány i příslušné evropské směrnice týkající se dané problematiky. Zákon se skládá ze čtyř částí [18].

První část zákona definuje požadavky na pracoviště a pracovní prostředí, výrobní a pracovní prostředky a zařízení, organizaci práce a pracovní postupy a bezpečnostní označení. Ukládá zaměstnavateli přesně vymezené povinnosti. Mezi důležité patří například poskytnutí prostředků a času odborně způsobilé osobě k zajišťování úkolů v prevenci rizik [18].

Technická zařízení, která vytvářejí zvýšenou míru ohrožení života a zdraví zaměstnanců, smí samostatně obsluhovat (obsluha, montáž, údržba, kontrola) pouze zvlášť odborně kvalifikovaní zaměstnanci. Takoví zaměstnanci musejí být zdravotně způsobilí, dosáhnout určitého věku, který je stanoven zvláštním právním předpisem, mít odborné vzdělání a praxi. Nutností je též osvědčení o úspěšně vykonané zkoušce ze zvláštní odborné způsobilosti, kterou je nutné každých pět let opakovat [18].

Druhá část zákona se týká zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy. Tuto část řeší zákoník práce a navíc není pro potřeby předkládané práce příliš důležitá [18].

Třetí část je věnována dalším úkolům zadavatele stavby, jejího zhotovitele, popřípadě fyzické osoby, která se podílí na zhotovení stavby, a koordinátora BOZP na staveništi. Opět platí, že pro potřeby této práce je třetí část nedůležitá [18].

Čtvrtá část řeší společná, přechodná a závěrečná ustanovení. Zdůrazňuje, že tento zákon neřeší obecné technické požadavky na výstavbu, zvláštní požadavky na pracoviště, na požární ochranu a na činnosti související s prevencí závažných havárií, neboť tyto stanovuje zvláštní právní předpis. Je zde rovněž řečeno, že vláda stanoví předpisem, která technická zařízení představují zvýšenou míru ohrožení života a zdraví zaměstnanců a dále, že vymezí podobu, zkušební okruhy, obsah a způsob provedení zkoušek z odborné způsobilosti. Zařízení se zvýšenou mírou ohrožení života a zdraví označujeme jako vyhrazená technická zařízení a patří mezi ně zařízení tlaková, zdvihací, elektrická a plynová. Je tedy zřejmé, že některé části EOP patří mezi vyhrazená zařízení [18], [19].

3.1.3 Vyhláška 48/1982 Sb.

Vyhláška 48/1982 Sb. stanovuje základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a technických zařízení. Byla vydána Českým úřadem bezpečnosti práce. Původně měla patnáct částí, ale v současném platném znění je jich deset. Pořád je však zachováno původní číslování. V dalším výkladu budou vybrány části týkající se EOP [20].

Devátá část vyhlášky se týká plynových zařízení. Obecně pro plynová zařízení platí:

- Materiály plynových zařízení musejí odpovídat vlastnostem plynů a provozním podmínkám a nikdy nesmějí vytvářet s plynem nebezpečné sloučeniny.
- Konstrukce zařízení musí zajistit těsnost a pevnost.
- Pokud se pracuje s nebezpečnými plyny, musí být pro pracovníky zajištěna dýchací a oživovací technika [20].

Dále jsou stanoveny požadavky na zařízení pro spalování plynů:

- Zařízení musí mít hlavní uzávěr.
- Přívod plynu musí být vybaven regulačním, měřicím a zabezpečovacím zařízením.

- Před zapálením plynu musí být ze spalovacího prostoru odvětrána výbušná směs.
- Zařízení musí být umístěno pouze na místech, kde lze zajistit dokonalou výměnu vzduchu.
- Zplodiny ze spalování se musejí odvádět, aby nedocházelo k ohrožení bezpečnosti pracovníků [20].

Desátá část je věnována přímo průmyslovým pecím. Ve společné části je uvedeno, že do pece nesmí být sázen mokrý materiál, odpich pece musí být signalizován pomocí zvuku a že pomocná zařízení a nářadí používaná při práci s tekutým kovem nebo struskou nesmějí být vlhká ani studená. Konkrétně k EOP je uvedeno:

- Práce na klenbě EOP se smí provádět až po vypnutí elektrického proudu.
- Při práci na klenbě musí zaměstnanci stát na kovové konstrukci nebo speciální pracovní plošině.
- Při nasazení pevné vsázky se smí s pecí otáčet jen při zvednutých elektrodách a vypnutém elektrickém proudu [20].

Jedenáctá část je zaměřena na elektrická zařízení. Stanovuje:

- Elektrická zařízení musejí být před uvedením do provozu odborně prověřena a vyzkoušena a smějí se používat jen za takových podmínek, pro které byla konstruována a vyrobena.
- Všechny části el. zařízení musejí být mechanicky pevné, nesmějí ovlivňovat nepříznivě jiná zařízení, musejí být dostatečně dimenzovány a chráněny proti přetížení a zkratu.
- Části el. zařízení musejí být provedeny tak, aby při průtoku proudu nedošlo k nebezpečnému ohřátí vodičů.
- Elektrická zařízení musejí umožňovat svoje vypnutí, pokud je to nutné [20].

3.1.4 Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2006/42/ES

Strojní zařízení jsou nezbytnou součástí strojírenského průmyslu, avšak jejich používáním dochází k pracovním úrazům, a tím pádem i k finančním ztrátám. Návrhem bezpečné konstrukce, správnou instalací a údržbou lze tyto ztráty snížit. Navíc členské státy ES (Evropského společenství) jsou na svých územích odpovědné za zajištění bezpečnosti a zdraví osob před nebezpečím plynoucím z užívání strojních zařízení. Požadavky na bezpečnost strojních zařízení by se měly uplatňovat s ohledem na stav techniky v době konstrukce a na technické a ekonomické požadavky. Směrnice definuje obecné a základní požadavky na bezpečnost strojních zařízení. Aby výrobci mohli tyto požadavky splnit a prokázat shodu se směrnici, je vhodné mít na evropské úrovni harmonizované normy. Tyto normy řeší prevenci rizik, která vycházejí z návrhu a konstrukce strojních zařízení. V dalším bodě této kapitoly o nich bude blíže pojednáno. Pokud výrobce splní požadavky směrnice, vypracuje ES prohlášení o shodě a na výrobek umístí označení CE (*Conformité Européenne* – Evropská shoda). Takto označený výrobek je považován za splňující požadavky směrnice a tím pádem bezpečný [21].

Pro všechny důvody uvedené v předchozím odstavci byla směrnice 2006/42/ES vydána. Je vymezeno, na které výrobky se směrnice vztahuje (např. strojní zařízení,

bezpečnostní součásti) a na které ne (např. zbraně, zařízení na výstavištích a zábavních parcích). Aby nedošlo k nedorozumění, jsou definovány klíčové pojmy:

- Strojním zařízením rozumíme zařízení, jehož alespoň jedna část je pohyblivá, je poháněno jinak než zvířecí či lidskou silou a je sestavenou takovým způsobem, aby plnilo požadovanou funkci.
- Harmonizovaná norma je nezávazná technická specifikace přijatá evropským normalizačním orgánem [21].

Směrnice 2006/42/ES je součástí české legislativy jako nařízení vlády č. 176/2008 Sb.

Před uvedením strojního zařízení na trh nebo do provozu musí výrobce kromě vypracování ES prohlášení o shodě a připojení označení CE také poskytnout technickou dokumentaci a potřebné informace – návod k použití. Při posuzování shody se užívá, podle typu zařízení, těchto postupů:

- Posuzování shody interním řízením výroby.
- ES přezkoušení typu.
- Komplexní zabezpečování jakosti [21].

Příloha I strojní směrnice se zabývá základními požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost vztahující se na návrh a konstrukci strojních zařízení. Výrobce strojního zařízení musí zajistit posouzení rizika s cílem určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost. K výsledkům posouzení se pak přihlíží při návrhu a konstrukci zařízení. Postup posuzování a snižování rizika je následující:

- Určí se meze zařízení. Uvažuje se předpokládané používání, ale také důvodně předvídatelné nesprávné použití.
- Určí se nebezpečí, která vyplývají ze strojního zařízení.
- U identifikovaných nebezpečí se odhadne velikost rizika s ohledem na závažnost možného poranění a pravděpodobnost výskytu.
- Rizika se vyhodnotí a určí se, zda je nutné jejich snížení.
- Vyloučí se nebezpečí nebo sníží rizika s nimi spojená užitím ochranných opatření [21].

Směrnice dále definuje některé užití pojmy:

- Nebezpečím rozumíme potenciální zdroj poranění nebo poškození zdraví.
- Rizikem rozumíme kombinaci pravděpodobnosti výskytu a závažnosti poranění nebo poškození zdraví, ke které může dojít v nebezpečné situaci.
- Důvodně předvídatelným nesprávným použitím rozumíme použití zařízení způsobem, který není uveden v návodu k používání, ale lze jej odhadnout z předvídatelného lidského chování [21].

Následuje poměrně dlouhá pasáž, ve které jsou uvedeny požadavky na bezpečnost strojních zařízení z hlediska používaných materiálů, osvětlení, manipulace se zařízením, ergonomie, bezpečnostní požadavky na stanoviště obsluhy a mnohé další [21].

Pro EOP a její příslušenství jmenujme např.:

- Systém dálkového ovládání musí ovládat pouze dotyčné strojní zařízení nebo dotyčné funkce a musí reagovat pouze na signály z určeného ovladače.

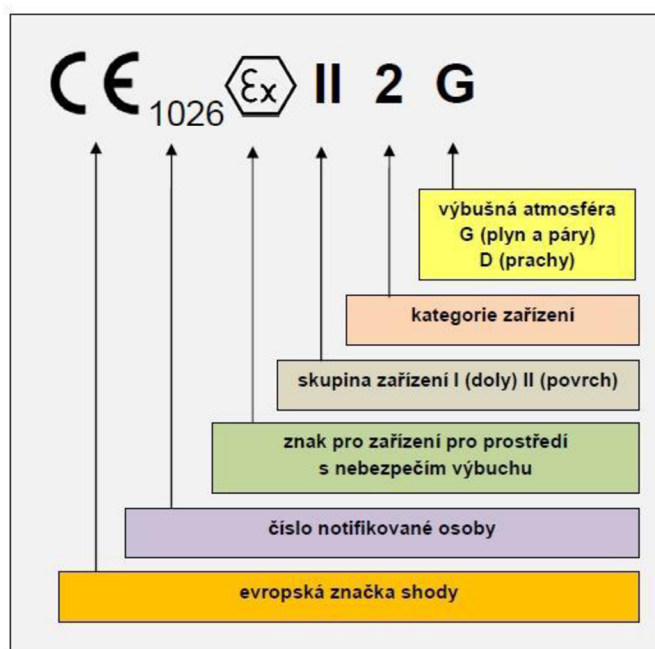
- Konstrukce musí umožnit montáž hasicích přístrojů nebo musí být zabudován hasicí systém přímo do konstrukce.
- Zařízení musí být vybaveno značkami nebo štítky s pokyny pro používání, seřizování a údržbu. Značky nebo štítky musejí být čitelné a nesmazatelné [21].

3.1.5 Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2014/34/EU

Směrnice 2014/34/EU hovoří o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředích s nebezpečím výbuchu. Je součástí české legislativy jako nařízení vlády č. 116/2016 Sb. Byla vydána, protože předchozí směrnice z roku 1993 byla zásadně změněna. Opět platí, že členské státy musejí na svém území zajišťovat bezpečnost osob, domácích zvířat a majetku před nebezpečími spojenými s užíváním zařízení a systémů, které poskytují ochranu v prostředí s nebezpečím výbuchu. I další důvody pro vydání směrnice jsou podobné jako v případě směrnice 2006/42/ES [22].

Dle směrnice rozumíme „výbušným prostředím“ směs hořlavých látek a vzduchu při atmosférických podmínkách, ve které se po vznícení rozšíří hoření do celé nespálené směsi, a „prostředím s nebezpečím výbuchu“ prostředí, které se může stát výbušným s ohledem na místní podmínky [22].

Povinnosti pro výrobce před uvedením výrobku na trh jsou velmi podobné směrnici 2006/42/ES. Pokud je to vhodné, provedou se zkoušky výrobků dodávaných na trh. Kromě označení CE se připojuje i označení Ex – zvláštní označení ochrany proti výbuchu (viz obr. 8) [22].



Obr. 8) Příklad označení výrobku splňujícího požadavky směrnice 2014/34/EU [25]

Podle přílohy I této směrnice můžeme zařadit EOP do skupiny zařízení II, kategorie 2. Zařízení musí být navrženo tak, aby byla při provozu zajištěna vysoká úroveň ochrany proti výbuchu, přičemž se předpokládá občasný vznik výbušného prostředí [22].

Následují základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost týkající se návrhu a konstrukce zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu. Uvedme např.:

- Navrhovat a vyrábět zařízení a ochranné systémy po náležité analýze možných provozních poruch – v úvahu se musí vzít i důvodně předvídatelné nesprávné použití.
- Při návrhu a konstrukci uvažovat předvídatelné podmínky okolního prostředí.
- Přiložit návod k použití.
- Zajistit, aby bezpečnostní přístroje fungovaly nezávisle na jiných zařízeních, a pokud dojde k jejich poruše, aby byla snadno a rychle detekovatelná – tedy uplatňovat zásadu „bezpečný při poruše“.
- Zajistit bezpečný provozní stav bezpečnostních zařízení i při výpadku napájení [22].

Směrnice 2014/34/EU se také označuje jako ATEX 95, což je zkratka z francouzského *Atmospheres Explosibles*. Jak vyplývá z předchozího výkladu, tato směrnice řeší požadavky na výrobce zařízení. Je ale nutné řešit i požadavky na provozovatele zařízení. Pro tyto účely slouží ATEX 137, což je označení pro směrnici Evropského Parlamentu a Rady 1999/92/ES [23], [24].

Dle směrnice 1999/92/ES lze roztrždit pracoviště do zón podle četnosti a délky trvání výskytu výbušného prostředí dle následující tabulky 1:

Tab 1) Třídění nebezpečných míst do zón

Výskyt výbušného prostředí	Zóna	Zóna
Stále, po dlouhé období, často	0	20
Příležitostně	1	21
Za běžného provozu se nevyskytuje, a pokud ano, trvá krátké období	2	22

Označení 0, 1, 2 platí pro výbušná prostředí skládající se ze směsi vzduchu a hořlavých látek ve formě plynů, par nebo mlhy [24].

Označení 20, 21, 22 platí pro výbušná prostředí ve formě mraku hořlavého prachu ve vzduchu [24].

Podle zóny se poté stanoví, které kategorie zařízení a ochranných systémů mohou být v dané zóně použity (kategorie podle směrnice 2014/34/EU):

- Zóna 0 nebo 20 – kategorie 1
- Zóna 1 nebo 21 – kategorie 1 nebo 2
- Zóna 2 nebo 22 – kategorie 1 nebo 2 nebo 3 [24].

3.2 Technické normy

V úvodu této kapitoly bylo zmíněno, že normy napomáhají ke splnění požadavků, které na výrobce i provozovatele kladou legislativní požadavky. Česká technická norma (ČSN) je odborný předpis, který stanovuje požadavky nebo parametry vlastností materiálů, výrobků nebo pracovních postupů. Podle obsahu norem rozlišujeme mnoho tříd – např. terminologické, základní, zkušební normy, normy postupů a služeb, normy řízení jakosti, bezpečnostní předpisy apod. [26].

V České republice vydává normy Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). V současné době je podíl původních českých norem velmi nízký a až 95 % norem vzniká převzetím evropských (EN) nebo mezinárodních (ISO, IEC, ETSI) norem [26].

Z předcházejícího výkladu plyne, že při návrhu, konstrukci a používání EOP musíme pamatovat hlavně na bezpečnostní požadavky na technická zařízení a na identifikaci nebezpečí a analýzu rizik. Bezpečnostní normy rozdělujeme do tří kategorií – normy A, B a C.

Bezpečnostní normy typu A stanovují základní pravidla, konstrukční principy, terminologii a faktory, které se vztahují k bezpečnosti všech strojních zařízení. Patří sem norma ČSN EN ISO 12100 [27].

Obecné bezpečnostní normy typu B rozdělujeme na dvě podskupiny B1 a B2. Normy typu B1 ošetřují konkrétní bezpečnostní faktory – např. bezpečné vzdálenosti, bezpečné umístění ochranných prvků. Normy typu B2 jsou zaměřené na konkrétní bezpečnostní prvky a zařízení – např. požadavky na konstrukci ochranných krytů, tlačítek nouzového zastavení, apod. [27].

Normy typu C určují konkrétní požadavky pro jednotlivé stroje nebo skupiny strojů. Obvykle se vydávají pro ta zařízení, která pracují za náročných podmínek (výbušné prostředí, požadovaná vysoká čistota pracoviště) nebo pro speciální stroje. Při uplatňování požadavků mají přednost před obecnějšími normami A a B. Do této kategorie patří např. norma ČSN EN 14681+A1 [27].

3.2.1 Harmonizované normy

Harmonizované normy jsou nezávazné technické specifikace, které jsou vydávány evropskými normalizačními organizacemi CEN (Evropský výbor pro normalizaci), CENELEC (Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice) a ETSI (Evropský úřad pro telekomunikační normy) na základě požadavku Evropské komise. Norma se stává harmonizovanou v okamžiku, kdy je na ni uveden odkaz v Úředním věstníku EU. Harmonizované normy slouží ke zjednodušení plnění požadavků evropských směrnic. Pokud výrobce postupuje podle harmonizované normy a prokáže shodu se specifikací, je jeho výrobek považován za bezpečný. Cílem norem je tak harmonizovat (sladit) postupy členských států EU, aby byl umožněn volný pohyb zboží a zajištěna ekvivalentní jakost výrobku bez ohledu na místo výroby v Unii. Obě dvě výše zmíněné normy (ČSN EN ISO 12100 a ČSN EN 14681+A1) patří mezi harmonizované normy a bude o nich dále podrobněji pojednáno [28].

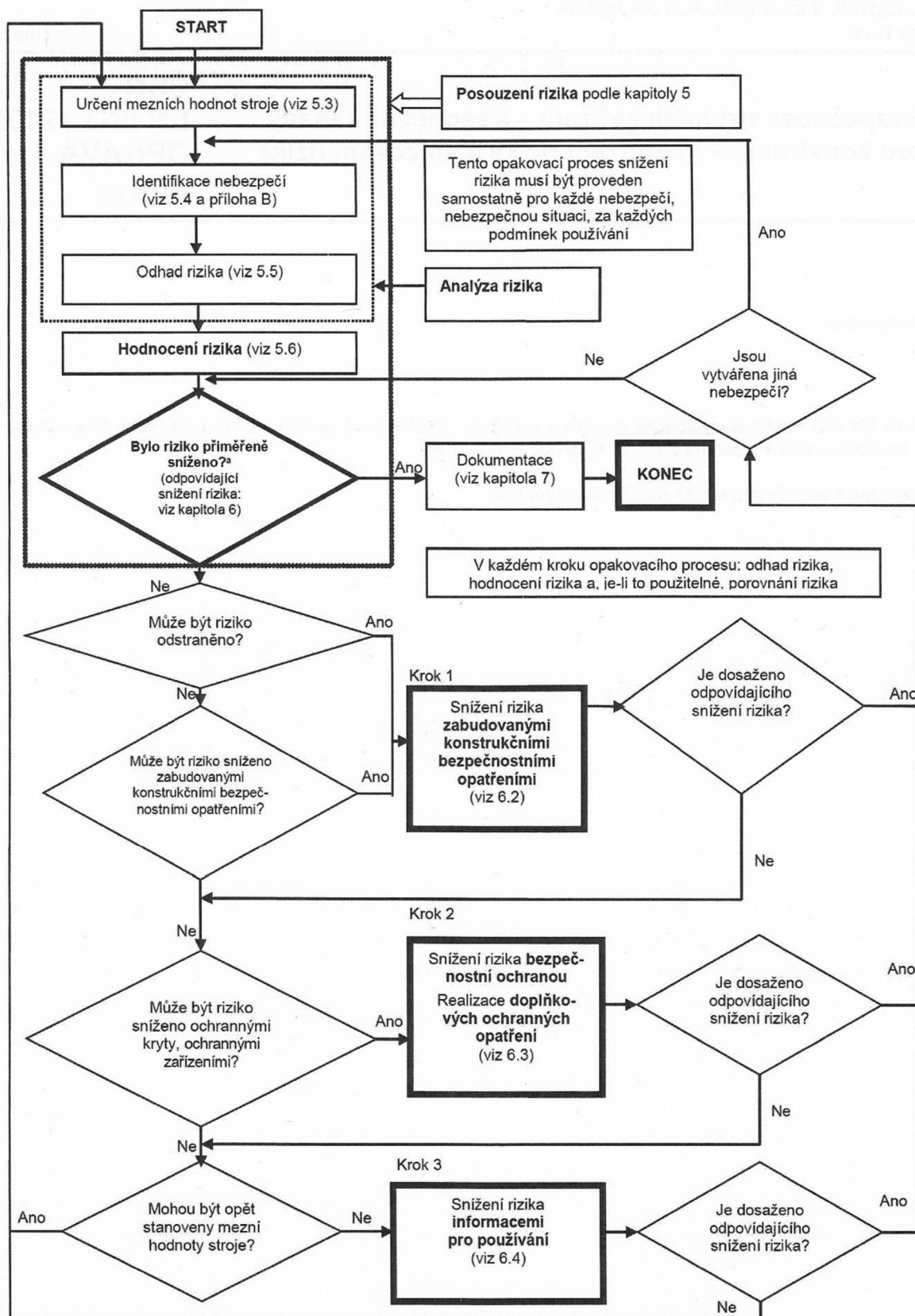
3.2.2 ČSN EN ISO 12100

ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika pomáhá plnit požadavky směrnice 2006/42/ES. Tato

norma je naprosto klíčovým dokumentem v oblasti bezpečnosti strojních zařízení. Specifikuje terminologii, zásady a postupy pro dosažení bezpečnosti při konstrukci strojního zařízení. Je tak návodem pro konstruktéry, a současně pomáhá při vypracování norem typu B a C. Dále specifikuje zásady posouzení a snižování rizika, přičemž tyto zásady vycházejí ze znalostí a zkušeností z konstrukce, používání, nehod, úrazů a rizik u strojních zařízení. V neposlední řadě též popisuje postup identifikace nebezpečí a odhad a hodnocení rizika včetně návodu na dokumentaci a ověřování procesu posouzení rizika a jejich snížení [29].

Proces snižování rizika je realizován iterační metodou tří kroků – snížení rizika zabudovanými konstrukčními bezpečnostními opatřeními; snížení rizika bezpečnostní ochranou a realizací doplňkových ochranných opatření; snížení rizika informacemi pro používání. Po provedení každého kroku snížíme velikost rizika, avšak někdy jej nelze odstranit zcela a i po přijetí všech opatření zůstává zbytkové riziko, na které musí být upozorněno v návodu k používání. Detailní znázornění metody tří kroků je na obrázku 9 [29].

Abychom mohli riziko snižovat, musíme ho nejprve poznat. K tomu slouží analýza rizika. Výstupem analýzy jsou informace pro zhodnocení rizika – tedy pro rozhodnutí, zda je nebo není nutné riziko snižovat. Spojení analýzy rizika a zhodnocení rizika se nazývá posouzení rizika [29].



^a Poprvé je položena otázka, jaký je výsledek pošatečného posouzení rizika.

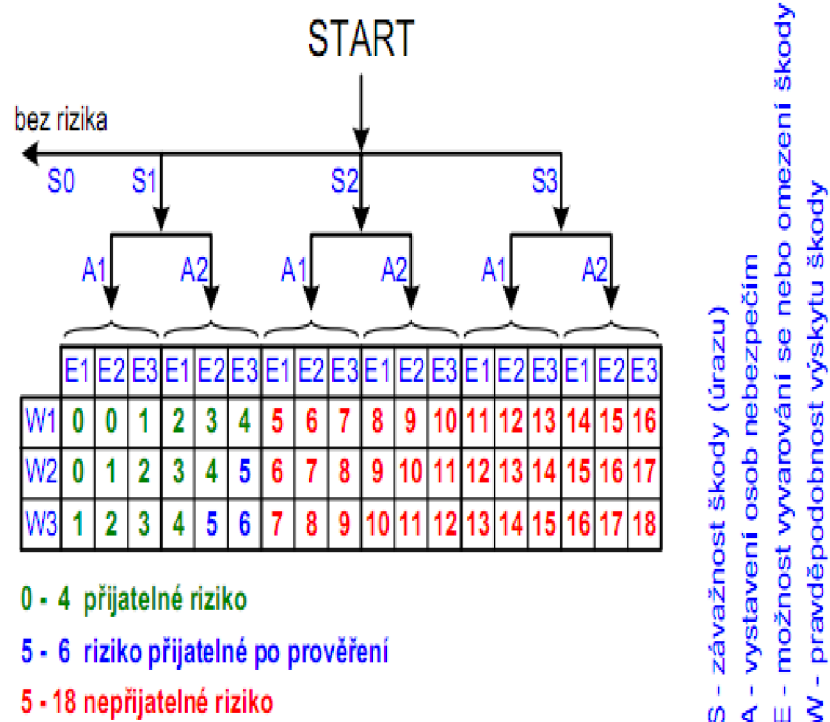
Obr. 9) Proces snižování rizika metodou tří kroků [29]

Prvky analýzy rizika jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab 2) Prvky analýzy rizika

Prvek analýzy	Popis
Určení mezních hodnot strojního zařízení	Mezní hodnoty je třeba určit pro všechny fáze života strojního zařízení. Je nutné vymezit používání zařízení (včetně předvídatelného nesprávného použití), prostor (např. rozsah pohybu), dobu (životnost zařízení, intervaly údržby).
Identifikace nebezpečí	Nebezpečí je třeba identifikovat rovněž pro celý životní cyklus stroje, a to s přihlédnutím k vzájemnému působení člověka a stroje, možným stavům stroje a k nepředpokládanému chování obsluhy nebo předvídatelnému selhání stroje. Identifikovaná nebezpečí poté rozřadíme do 10 kategorií.
Odhad rizika	Pro každé identifikované nebezpečí musíme následně odhadnout velikost rizika. K tomu slouží tabulky, kdy postupně hodnotíme závažnost úrazu , který může být vyvolán uvažovaným nebezpečím a pravděpodobnost výskytu tohoto úrazu, která zahrnuje četnost vystavení se nebezpečí, výskyt nebezpečné události, možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu. Postup je znázorněn na obrázku 10.

Po provedení těchto kroků následuje zhodnocení rizika (podle obrázku 10). Každé riziko vyhodnocené jako nepřijatelné musí být sníženo iterační metodou tří kroků. Protože jedním z cílů této práce je popsání možnosti identifikace nebezpečí, bude dále věnována pozornost hlavně této problematice [29].



Kategorie významu škody na zdraví		
škoda na zdraví	kategorie	popis kategorie
smrt	S3	smrtelné zranění
trvalé zranění	S2	zranění s trvalými následky (ztráta zraku, sluchu, prstů...)
lehké poškození	S1	zranění s pracovní neschopností delší 3 dnů
zanedbatelné poškození	S0	zranění bez nebo s pracovní neschopností do 3 dnů

Kategorie četnosti a doby vystavení se nebezpečí		
četnost / doba	kategorie	popis kategorie
často až trvale	A2	vystavení se nebezpečí několikrát za den
zřídka až častěji	A1	vystavení se nebezpečí maximálně jedenkrát za den

Kategorie možností odvrácení nebo snížení škody		
snížení škody	kategorie	popis kategorie
sotva možné	E3	neočekávaný a rychlý výskyt nebezpečné situace
možné za určitých okolností	E2	jsou k dispozici funkční ochranná opatření
možné	E1	výskyt nebezpečné události je očekávaný a povolný

Kategorie pravděpodobnosti výskytu nebezpečné události		
pravděpodobnost	kategorie	popis kategorie
velká	W3	výskyt události častější než jednou za směnu
střední	W2	výskyt události častější než jednou za den
malá	W1	událost se může vyskytnout maximálně jednou za den

Obr. 10) Příklad postupu při odhadu velikosti rizika, kategorie rizik pro zhodnocení a tabulky s kategoriemi [30]

Norma 12100 uvádí 10 kategorií nebezpečí:

- Mechanická
- Elektrická
- Tepelná
- Hluku

- Vibrací
- Záření
- Materiálů/ látek
- Ergonomická
- Spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán
- Kombinace nebezpečí [29]

Ke každému nebezpečí je v normě uveden možný zdroj daného nebezpečí a možné následky. Při identifikaci nebezpečí je vhodné postupovat následujícím způsobem:

- Zhotovíme blokové schéma stroje a vyznačíme vazby mezi prvky a mezi prvky a okolím (rotační pohyb, odvod tepelné energie apod.).
- Každý prvek blokového schématu (komponenta stroje) představuje zdroj nebezpečí a může vyvolat nebezpečnou událost. Pro přehlednost vytvoříme tabulku a zaznamenáváme možná nebezpečí, která by mohla být způsobena jednotlivými součástmi.
- Dále vytvoříme další tabulku, do které zaznamenáváme příklady nebezpečných situací, které mohou nastat během celého životního cyklu stroje. Uvedeme typ nebezpečí a popis nebezpečné události.
- Nakonec vytvoříme poslední tabulku, do které uvedeme v obecném případě všech 10 kategorií nebezpečí. U každé kategorie stanovíme možné následky (např. mechanická nebezpečí – vymrštění, naražení, navinutí apod.) nebezpečí – popisy nebezpečí. Každý následek opatříme vlastním číslem a provedeme u něj odhad velikosti rizika pomocí postupu, který je znázorněn na obrázku 10. Poté ještě musíme čísla následků uvést v předchozích dvou tabulkách (v každé tabulce všechna čísla) [29].

Časový postup tvorby tabulek je libovolný. Prvním krokem ale musí být vytvoření blokového schématu. Příklady nebezpečí, nebezpečných situací a nebezpečných událostí v normě nejsou univerzální a kompletní. Konstruktor má povinnost zdokumentovat i jakékoliv jiné nebezpečí vyskytující se u stroje. Pro potřeby této práce však norma zcela dostačuje [29].

3.2.3 ČSN EN 14681+A1

Norma Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní požadavky na stroje a strojní zařízení na výrobu oceli elektrickými obloukovými pecemi se zabývá všemi významnými nebezpečími, nebezpečnými situacemi a událostmi, které se vztahují k EOP. Norma stanovuje kritéria na zařízení a vybavení zahrnutá do výrobního procesu a stanovuje požadavky na zajištění bezpečnosti osob. Příklady požadavků na zařízení a na bezpečnost znázorňuje následující tabulka 3 [31].

Tab 3) Příklady požadavků na části EOP

Požadavek na	Příklad požadavků
Konstrukci	Ochranné kryty, únikové cesty, nouzová jáma pro vypuštěnou ocel – musí zachytit celý objem pece.
Přívod elektrické energie	Uzemnění, splnění požadavků EN 60204.
Fluidní systémy	Instrukce pro malé a velké netěsnosti uvnitř pece, žádný pohyb pece nesmí nastat dříve,

	než je všechna voda odpařena.
Připojená zařízení (dávkovací systémy, měření teploty, odběr vzorků)	Řádná dokumentace.
Ergonomické zásady	Nekluzké povrchy, ochrana proti vibracím, hluku a teple, řádné osvětlení.
Případ ztráty energie	Zejména plášť pece, klenba a elektrody musejí přejít do stabilní polohy bez přívodu energie.
Velín	Přímá viditelnost na pec, klimatizace, tepelná izolace, ochrana proti nárazu strusky a rozstříkující oceli.
Speciální požadavky na zamezení výbuchu a na ochranu proti výbuchu	Zamezit vytváření zdrojů vznícení, zamezit šíření plamene.

V normě je dále uveden vzorový přehled identifikovaných nebezpečí, nebezpečných situací a bezpečnostních požadavků a/nebo opatření. Také je uvedeno, co všechno musejí obsahovat informace pro používání – návod k používání, výstražná zařízení a bezpečnostní značky, deklarace stroje, informace o uvedení do provozu a o demontáži, provozní instrukce, návod na údržbu, minimální značení a zácvek obsluhy [31].

3.2.4 ČSN EN 60812

Norma Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) slouží ke zjištění potenciálních způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na technické parametry systému. Je vhodné ji provádět v raných fázích vývoje určitého projektu, protože případné nedostatky zjištěné analýzou FMEA pak lze včas odstranit [32].

FMEA se zahajuje, když dokážeme systém vyobrazit jako blokový diagram. Analýzu pak provádíme od prvků na nejnižším stupni a postupujeme diagramem vzhůru. Tento postup volíme, protože důsledek způsobu poruchy prvku na nižším stupni se může stát příčinou poruchy na stupni vyšším. Zajímá nás, jaký konečný důsledek na celý systém bude mít daný způsob poruchy nejnižšího stupně systému [32].

Analýza FMEA je tedy velmi důležitým nástrojem v oblasti bezpečnosti, protože je považována za metodu pro zjištění závažnosti potenciálních způsobů poruch a poskytuje vstupy pro opatření k zmírnění následků poruch a tím pádem snížení rizika [32].

3.2.5 ČSN EN 61882

Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) je dalším nástrojem pro identifikaci nebezpečí. Používá se spíše pro větší celky a jejím účelem je identifikovat možné odchylky od cíle projektu, prozkoumat jejich možné příčiny a zhodnotit následky. Pro dosažení těchto cílů je nutná spolupráce v týmu na pracovních poradách HAZOP [33].

Je tedy patrné, že studie HAZOP je v mnoha ohledech podobná analýze FMEA. Oba způsoby se mohou kombinovat a vzájemně doplňovat. Pokud například při studii HAZOP odhalíme, že určitá součást systému je kritická, je vhodné ji detailně prozkoumat analýzou FMEA. Omezení HAZOP (a současně i FMEA) spočívá ve faktu, že součásti systému (případně jednotlivé prvky součástí v případě FMEA) jsou chápány samostatně. Někdy se však stává, že nebezpečí je způsobeno několika částmi systému najednou. Pro tyto případy je

vhodné použít další techniky pro identifikaci nebezpečí, jako například analýza stromu událostí (ETA) či analýza stromu poruchových stavů (FTA) [33].

3.3 Shrnutí

Ze dvou předešlých podkapitol vyplývá, že konstrukce a provoz EOP, ale obecně i jakéhokoliv strojního zařízení, jsou ošetřeny řadou legislativních požadavků. Zajištění bezpečnosti zařízení musí mít přednost před ekonomickými aspekty. Jedním z cílů této práce je identifikace nebezpečí spojených s provozem EOP. V následující kapitole bude tato problematika řešena pomocí postupů uváděných v normě ČSN EN ISO 12100. Autor si je vědom faktu, že použití pouze této normy nemusí plně pokrýt všechna možná nebezpečí EOP a možná vhodnějším postupem by byla analýza FMEA či studie HAZOP, případně kombinace 2 či všech 3 způsobů. Norma 12100 je výborný nástroj při identifikaci nebezpečí u zařízení, kde hlavním zdrojem nebezpečí je zařízení samotné (např. obráběcí či tvářecí stroje). U elektrické obloukové pece však vyplývají mnohá nebezpečí z výrobního procesu, a ten se lépe zkoumá pomocí FMEA či HAZOP. Důvodem nepoužití těchto dvou postupů je nutnost velmi dobré znalosti zařízení a výrobního procesu včetně vazeb na okolní prostředí. Autor však těmito znalostmi bohužel zatím nedisponuje.

4 ELEKTRICKÁ OBLOUKOVÁ PEC OTO 5K

Pro vlastní identifikaci nebezpečí byla vybrána elektrická oblouková pec OTO 5K, která je majetkem společnosti Královopolská slévárna, s.r.o. V této kapitole bude nejprve uveden přehled základních informací o peci OTO 5K, poté budou vymezeny mezní hodnoty a nakonec bude provedena analýza rizika dle postupu normy ČSN EN ISO 12100.

4.1 Popis zařízení a technické parametry

Pecní transformátor transformuje připojené síťové napětí 22 kV na napětí 100 až 220 V, které je dále usměrněno. Instalovaný příkon transformátoru je 2,25 MVA. Pro natavení jedné tuny oceli se udává teoretická spotřeba 380 kWh, avšak v dokumentaci je zdůrazněno, že skutečná spotřeba bude vyšší s ohledem na momentální kapacitu pece, ohřátí lázně na 1 600 °C, teplotu odpichu apod. Čas tavení se pohybuje od 2,5 do 4 hodin. Maximální hmotnost vsázky je 5 tun. Pec byla vyrobena v ČKD Praha [34].

Z výše uvedených parametrů vyplývá, že se jedná o malou EOP. I z tohoto důvodu je možné použít stejnosměrné napětí. Mezi sekundárním vinutím transformátoru a elektrodami je zařazen vícepulzní usměrňovač napětí. Pec pracuje se dvěma elektrodami, které tvoří kladný a záporný pól. Obvod se uzavírá skrze oblouky mezi jednotlivými elektrodami a vsázkou. Je tedy nutné, aby byla vsázka z vodivého materiálu. Nejčastější využití pece je pro recyklaci kovového šrotu, který je do zařízení zavážen pomocí jeřábu. Na obrázku 11 je zachycena pec ve výrobní hale Královopolské slévárny.



Obr. 11) EOP v Královopolské slévárně [35]

4.2 Mezní hodnoty

Mezní hodnoty představují limitní možnosti stroje nebo obsluhy. Překročením těchto hodnot mohou vznikat nebezpečné a nepředvídatelné situace. Rozlišujeme limity použití, prostorové limity a časové limity. Pro přesné stanovení mezních hodnot je nutné vycházet z informací od výrobce – zejména návodu k obsluze a pokynů pro údržbu. Vzhledem k absenci těchto dokumentů budou mezní hodnoty pro tuto konkrétní pec určeny jen částečně.

4.2.1 Limity použití

Mezi limity použití řadíme předpokládané použití v různých provozních stavech a důvodně předvídatelné nesprávné použití. Jedná se například o následující případy:

- Během provozu se smí v okolí pece vyskytovat pouze proškolení pracovníci s příslušnými osobními ochrannými pracovními prostředky.
- Všechny prostory, kde pracují údržbáři, musejí být snadno dosažitelné a musí z nich být umožněn rychlý únik.
- Při otevření pece musejí být elektrody v horní poloze, musí být vypnut přívod elektrické energie a naklápěcí rovina musí být ve vodorovné poloze.
- V prostoru odpichu se nesmí vyskytovat žádná voda.
- Při odstraňování strusky, přihazování přísad či odběru vzorků musí být bezprostřední okolí čisté, aby nedošlo k zakopnutí či uklouznutí.
- Během provozu se nesmí vstupovat do prostoru transformátorové kobky.
- Během zavážení se pracovníci nesmějí pohybovat pod zavážkovým košem [34].

4.2.2 Limity prostorové

Prostorové limity vymezují rozsah pohybů jednotlivých částí strojního zařízení, a také prostorové požadavky na instalaci a údržbu. Řada z těchto limitů vychází z technické dokumentace pece. Pro provoz a údržbu pak platí ergonomické zásady – nemělo by se manipulovat s předměty, které jsou těžko dosažitelné či příliš těžké pro člověka.

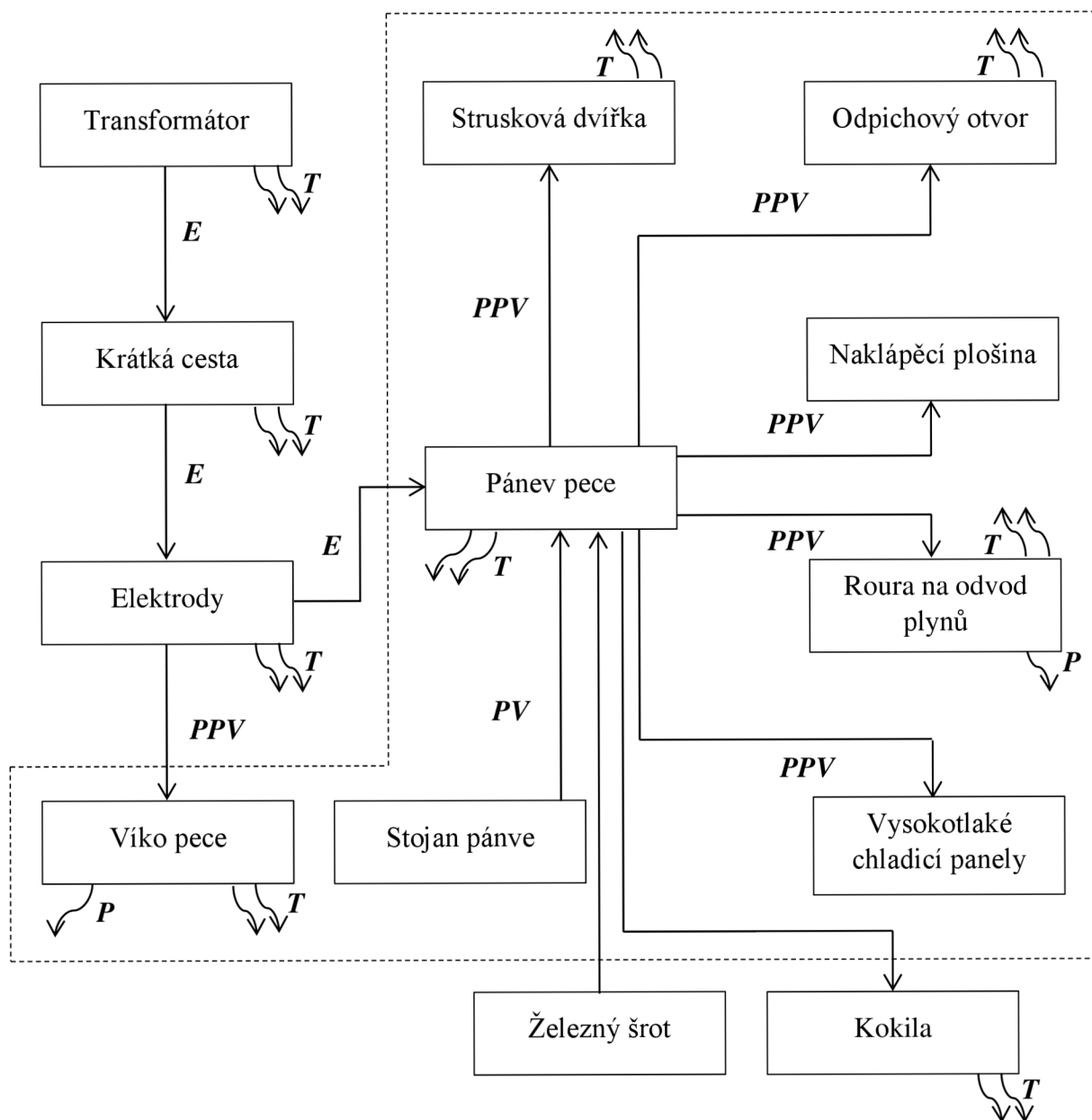
4.2.3 Časové limity

Hodnoty časových limit se určují z předvídatelné životnosti stroje jako celku a jeho jednotlivých komponent. U EOP se bude jednat zejména o tyto komponenty:

- vysokotlaký chladicí systém
- elektrody (obvyklá životnost při běžném provozu cca. 4 dny)
- žáruvzdorná vyzdívka pánve a víka
- bezpečnostní a měřicí prvky – např. měření průtočného množství vody v různých místech chladicího okruhu, měření chemického složení plynů v peci
- transformátor, krátká cesta a další části elektrického obvodu [34].

4.3 Blokový diagram EOP

Na následujícím obrázku 12 je blokový diagram EOP. Šipky mezi jednotlivými bloky vyjadřují funkční vazby. V diagramu nejsou pouze součásti pece samotné, ale i určité okolní komponenty, které ovlivňují funkci a bezpečnost pece.



Obr. 12) Blokový diagram elektrické obloukové pece

- E – elektrická energie
- PPV – pasivní polohová vazba
- PV – polohová vazba
- T – odvod tepelné energie
- P – odvod plynů

4.4 Zdroje nebezpečí u jednotlivých součástí pece

Tab 4) Zdroje nebezpečí u součástí stroje

Název součásti v blokovém diagramu	Poloha součásti v systému	Typ a číslo nebezpečí (Tab 6)
Transformátor	Okolí – připojené zařízení	Nedostatečná vzdálenost od živých částí pod vysokým napětím (2.2-1); zasažení elektrickým proudem (2.2-2); požár (2.4-1); účinky na lékařské implantáty (2.3-1); výbuch (6.2-2); únik média (1.3-3, 8.1-2)
Krátká cesta	Okolí – připojené zařízení	Zasažení elektrickým proudem (2.2-2); požár (2.4-2)
Elektrody	Okolí – připojené zařízení	Zasažení elektrickým proudem (2.2-2); vystříknutí roztavených částic (1.2-1, 3.1-3, 6.3-1); silný hluk (4.1-1); pád (1.3-8); stlačení (1.1-1); popálení (2.1-1, 5.1-1); neočekávaný chod (2.5-1); poškození zraku (5.2-1); kouř (6.5-1)
Víko pece	Tělo stroje	Vyzařování tepla (3.4-1); pád (1.3-7); popálení (3.1-1, 5.1-1); poškození zraku (5.2-1); zasažení elektrickým proudem (2.2-3)
Strusková dvířka	Tělo stroje	Vyzařování tepla (3.4-1); poškození zraku (3.4-2); uklouznutí (1.3-1, 8.1-1); nepohodlí (3.3-1); zakopnutí (1.3-4); popálení (3.1-2, 5.1-1); dehydratace (3.2-1); poškození zraku (5.2-1, 5.2-2); nevhodné pomůcky (7.2-1)
Pánev pece	Tělo stroje	Vyzařování tepla (3.4-1); pád (1.3-7); stlačení (1.1-2); vystříknutí roztavených částí (1.2-1, 3.1-3, 6.3-1); popálení (2.1-2, 3.1-1, 5.1-1); dehydratace (3.2-1); výbuch (3.5-1, 6.2-1); poškození zraku (5.2-1, 5.2-2); únava (7.1-1)

Stojan pánve	Tělo stroje	Pád (1.3-7)
Železný šrot	Okolí	Pád (1.3-8); vlhkost (3.5-2, 6.2-3, 8.2-1)
Odpichový otvor	Tělo stroje	Vyzařování tepla (3.4-1); poškození zraku (3.4-2); uklouznutí (1.3-1, 8.1-1); nepohodlí (3.3-1), zakopnutí (1.3-4), pád (1.3-6), popálení (5.1-1); poškození zraku (5.2-1, 5.2-2); nevhodné pomůcky (7.2-1)
Naklápečí plošina	Tělo stroje	Pád (1.3-5); uklouznutí (1.3-2)
Roura na odvod plynů	Tělo stroje	Vyzařování tepla (3.4-1); otrava plynem (6.1-1); hluk (4.1-2)
Vysokotlaké chladicí panely	Tělo stroje	Poškození zraku či kůže (1.2-2); prasklina v potrubí (6.2-4, 9.1); popálení (2.1-2); zasažení elektrickým proudem (2.2-3)
Kokíla	Okolí stroje	Pád (1.3-9); popálení (3.1-1)
-	Tělo stroje i okolí	Dýchací potíže (6.4-1); únava (7.1-2); pád (1.3-9); kombinace nebezpečí (9.2 až 9.5)

4.5 Nebezpečí během životního cyklu stroje

Nebezpečí spojená s provozem EOP (a obecně i jakéhokoliv strojního zařízení) je nutné vyhodnotit pro celý životní cyklus stroje, nejen pro koncové předpokládané použití uživatelem. Jednotlivé etapy životního cyklu budou popsány v následující tabulce 5 včetně popisu možných nebezpečných událostí.

Tab 5) Možné nebezpečné situace během životního cyklu

Fáze životního cyklu	Typ a číslo nebezpečí (Tab 6)	Popis nebezpečné události
Konstrukční činnosti (pouze tělo stroje)	Pád (1.3-9); poškození zraku (5.2-1); popálení (2.1-2); špatná poloha těla při práci (7.2-1)	<p>*Při manipulaci s těžkými a velkými kusy hrozí jejich pád na osoby pod nimi.</p> <p>*Konstrukce pece je tvořena z mnoha dílů, které se svařují – při nenošení ochranných pomůcek hrozí poškození zraku a popálení.</p> <p>*Při práci je nutné zohlednit dosah končetin a vyvarovat se příliš dlouhému setrvání v nepřírozené poloze.</p>
Transportní činnosti	Pád a stlačení (1.1-1, 1.3-7)	<p>*Špatně uchycené součásti mohou během přepravy spadnout.</p>
Montáž, instalace, uvedení do provozu	Únik kapaliny (8.1-2); pád (1.3-7); lidský faktor (2.4-2)	<p>*Při prvních zkouškách provozu se mohou projevit netěsnosti v chladicím systému, případně může dojít k úniku chladicího oleje v transformátoru.</p> <p>*Jednotlivé části pece a elektrody mohou při sestavování konstrukce vypadnout z jeřábu.</p> <p>*Lidé, kteří provádějí instalaci stroje, mohou špatně provést například uzemnění elektrických zařízení, vyhotovit nevhodně žáruvzdornou vyzdívku apod.</p>
Seřízení, školení, změna procesu	Lidský faktor (2.2-1, 9.3)	<p>*Nevěnování dostatečné pozornosti pokynům v návodu k obsluze či jejich špatná interpretace může vést k vážným nehodám. Rovněž při změně procesu výroby například z recyklace kovového šrotu na výrobu karbidů je nutné brát zřetel na jiný typ vsázky a fakt, že tato vsázka se může chovat jinak a mohou vznikat odlišné nebezpečné situace při provozu.</p>

<p style="text-align: center;">Provozní činnosti</p>	<p> Tepelná nebezpečí (3.1-1 a 2, 3.2-1, 3.3-1, 3.4-1, 5.1-1); nebezpečí stlačení (1.1-2); nebezpečí vystříknutí (1.2-1, 3.1-3); hluk (4.1-1 a 2); poškození zraku (3.4-2, 5.2-1 a 2); uklouznutí (1.3-1 a 2, 8.1-1); zakopnutí (1.3-4, 8.1-1); požár (2.4-1 a 2, 6.3-1); úraz elektrickým proudem (2.1-1, 2.2-2, 2.3-1); ergonomická nebezpečí (7.1-2, 7.2-1); pád (1.3-5 a 6 a 8 a 9); otrava zplodinami (6.1-1); výbuch (3.5-1 a 2, 6.2-1 až 4, 8.2-1, 9.1 a 5); kouř (6.5-1); stres (9.4) </p>	<p> *Elektrický oblouk je zdrojem vysokých teplot. V případě nevhodných pracovních pomůcek mohou vzniknout popáleniny a rovněž může dojít k rychlé dehydrataci a značnému nepohodlí. </p> <p> *Při odpichu je pec nutné naklopit. Na části stojanu pánve v tu chvíli působí značné zatížení – může dojít k poškození stojanu, který poté není schopen unést samotnou pánev. </p> <p> *Během tavení dochází k vystříknutí materiálu skrz otvory mezi pánví a víkem nebo skrz strusková dvířka či odpichový otvor. Tomu je nutné přizpůsobit pracovní oděv. </p> <p> *Provoz EOP je velmi hlučný, navíc při zavážení materiálu musí být v provozu hlasitý alarm – je vhodné nosit klapky na uši. </p> <p> *Přímý pohled na elektrický oblouk či na žhavý kov při odebírání vzorků či odpichu může způsobit poškození zraku. </p> <p> *Pokud není okolí pece – zejména oblast struskových dvířek, odpichového otvoru a naklápací plošiny udržováno v čistotě, snadno dojde k uklouznutí či zakopnutí - zbytky materiálu, okuje či jemný prach. </p> <p> *Během provozu může vzniknout požár z několika různých příčin. </p> <p> *Vzhledem k vysokým hodnotám napětí a proudů je nutné dbát zvýšené opatrnosti při pohybu v blízkosti elektrických vodičů. </p> <p> *Práce za vysokých teplot je namáhavá a je nutné pravidelně doplňovat tekutiny. Tyče, s pomocí kterých se odebírají vzorky, musejí být dostatečně dlouhé. </p> <p> *Při zavážení materiálu hrozí pád na osoby pod dráhou zavážení, to samé platí při výměně elektrod. Rovněž hrozí pád pracovníků z plošiny pece do místa, kam se odlévá. Roztavený materiál je nalit do kokily, se kterou se dále manipuluje, a např. při špatném uchycení může spadnout. </p> <p> *Při špatné funkci odvětrávacího systému hrozí otrava nebezpečnými plyny. </p> <p> *Nadměrné množství vlhkosti, únik chladicí vody do pece, požár transformátorového oleje či nebezpečná koncentrace určitých plynů může způsobit devastující výbuch. </p> <p> *Spotřebou elektrod vzniká kouř, který je potřeba odvětrávat. </p> <p> *Kombinací náročných pracovních podmínek a požadavku na co nejrychlejší návaznost jednotlivých taveb vzniká psychická zátěž pracovníků, což může vyvolávat zvýšenou chybovost. </p>
--	--	---

Čištění a údržbové procesy	Popálení (3.1-1); úraz elektrickým proudem (2.2-3); poškození zraků (1.2-2); zkrat (2.5-1); únava (7.1-1); uklouznutí (1.3-9)	<p>*V rámci úspory času se údržba často provádí v ještě velmi teplé peci, kde horké dno je zakryto pískem. Může dojít k propálení nevhodné obuvi.</p> <p>*Častým úkonem údržby je svařování poškozených částí chladicího systému. Jelikož je vnitřek pece vodivý, je třeba dbát zvýšené opatrnosti při svařování ve vodivé nádobě.</p> <p>*Systém chladicích trubek je někdy nutné propláchnout chemikálií. Může dojít k vystříknutí chemikálie a poškození zraku či kůže.</p> <p>*Vlivem zkratu v ovládacím zařízení dojde k neočekávanému chodu pece (např. pohybu elektrod). Pokud je současně prováděna údržba na víku pece, může hrozit smrtelné zranění.</p> <p>*Vlivem ještě stále vysoké teploty uvnitř pánve pece při údržbě dochází k rychlému vyčerpání sil.</p> <p>*Při výměně transformátorového oleje může dojít k jeho rozlítí na podlahu, která se tak stává nebezpečně kluzkou.</p>
Hledání závad	Lidský faktor (9.2)	*Při (ne)hledání závad může, vlivem neznalosti chování pece či opomenutí prostudovat důkladně návod k obsluze, dojít k vážnému ohrožení zdraví pracovníků a nevratnému poškození zařízení.
Vyřazení z provozu a demontáž	Pád (1.3-7); únik nebezpečných látek (6.4-1)	<p>*Opět podobně jako při montáži hrozí pád těžkých kusů zařízení.</p> <p>*V chladicím systému mohou zůstat zbytky čistících chemikálií, v peci bude nahromaděn jemný prach, který se při rozebírání konstrukce zvíří a lidé ho mohou vdechnout.</p>

4.6 Přehled identifikovaných nebezpečí a hodnocení rizik

Postupujeme v souladu s normou ČSN EN ISO 12100. U každého identifikovaného nebezpečí rozhodneme postupně o závažnosti škody (úrazu) = S prvek rizika, o četnosti vystavení osob nebezpečím = A prvek rizika, o možnosti vyvarování se nebezpečí nebo snížení škody (úrazu) = E prvek rizika, o pravděpodobnosti výskytu škody (úrazu) = W prvek rizika. Velikost rizika se pak určí podle obrázku 11. Tento postup aplikujeme na všechna identifikovaná nebezpečí v následující tabulce 6.

Tab 6) Identifikovaná nebezpečí u elektrické obloukové pece

Č.	Popis nebezpečí	Prvky rizika				Velikost rizika
		S	A	E	W	
1	Mechanická nebezpečí					
1.1	Nebezpečí stlačení					
1.1-1	Stlačení způsobené nedostatečnou stabilitou součástí pece při přepravě	3	1	3	1	13
1.1-2	Stlačení způsobené pádem pánve pece (nedostatečná stabilita a/nebo pevnost stojanu pánve)	3	1	3	1	13
1.2	Nebezpečí vystříknutí					
1.2-1	Vystříknutí žhavých kousků při provozu pece	2	2	3	3	12
1.2-2	Vystříknutí chemikálií při čištění chladicího systému	2	1	3	1	7
1.3	Nebezpečí uklouznutí, zakopnutí a pádu					
1.3-1	Uklouznutí na površích, které jsou pokryty jemným prachem – zejména v blízkosti struskových dvířek a odpichového otvoru	1	2	3	3	6
1.3-2	Uklouznutí na obslužné plošině pece	3	1	3	1	13
1.3-3	Uklouznutí na plochách, na kterých je rozlity transformátorový olej	1	1	3	1	1
1.3-4	Zakopnutí o zbytky materiálu – okuje, malé části vsázkového materiálu, rozsypané legující přísady při přihazování do pece	1	2	3	3	6
1.3-5	Pád osob z obslužné plošiny	3	1	3	1	13
1.3-6	Pád osob do prostoru pro odlévání	3	1	3	1	13
1.3-7	Pád součástí zařízení při přepravě a instalaci	3	1	3	1	13
1.3-8	Pád vsázkového materiálu či elektrod	3	2	3	1	16
1.3-9	Pád těžkých břemen	3	1	3	1	13
2	Elektrická nebezpečí					
2.1	Nebezpečí popálení					

2.1-1	Popálení v důsledku kontaktu s elektrickým obloukem pece	3	2	3	3	18
2.1-2	Popálení při svařování (údržbářské a konstrukční práce)	2	1	3	1	7
2.2	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem					
2.2-1	Zasažení elektrickým proudem v oblasti transformátorové kobky	3	1	3	1	13
2.2-2	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem v případě poruchy (neživá část → živá část)	3	1	2	1	12
2.2-3	Zasažení elektrickým proudem při svařování	3	1	3	1	13
2.3	Účinky na lékařské implantáty					
2.3-1	Střídavý proud vysokých hodnot vytváří silné magnetické pole, které může způsobit poruchu lékařských implantátů	3	1	1	1	11
2.4	Nebezpečí požáru					
2.4-1	Požár transformátoru vlivem přetížení a následného přehřátí	3	1	2	1	12
2.4-2	Požár kabeláže (špatná elektroinstalace)	1	1	1	1	0
2.5	Nebezpečí zkratu					
2.5-1	Zkrat v elektrickém obvodu může vést k nekontrolovanému chování pece či bezprostřednímu ohrožení obsluhy	3	1	2	1	12
3	Tepelná nebezpečí					
3.1	Nebezpečí popálení					
3.1-1	Popálení vlivem kontaktu s horkým povrchem	2	2	3	3	12
3.1-2	Popálení při odeírání vzorků či vypouštění strusky	2	2	3	3	12
3.1-3	Popálení způsobené vylétávajícími kusy materiálu z pece	3	2	3	2	17
3.2	Dehydratace					
3.2-1	Při práci v blízkosti pece hrozí rychlá dehydratace, což může způsobovat nevolnost a případně i ztrátu vědomí	2	1	1	2	6
3.3	Nepohodlí					
3.3-1	Vlivem vysokých teplot může při běžném provozu či údržbě vznikat značné nepohodlí, které ztěžuje práci	1	2	1	3	4
3.4	Vyzařování tepelné energie					
3.4-1	Pokud není nošen vhodný oděv, hrozí poškození pokožky	2	2	2	3	11
3.4-2	Přímý pohled do pece (např. skrz strusková dviřka) může v případě nenošení ochranných	2	1	2	1	6

	brylí způsobit poškození zraku					
3.5	Nebezpečí výbuchu					
3.5-1	V procesu tavení se uvolňují plyny, které mohou být za vysokých teplot extrémně hořlavé či výbušné	3	1	3	1	13
3.5-2	Voda ve vsázce či v prostoru pro odlévání se může při kontaktu s roztaveným materiálem prudce vypařit a způsobit výbuch	3	1	3	2	14
4	Nebezpečí hluku					
4.1	Nepohodlí					
4.1-1	Provoz EOP je hlučný (zejména, pokud je aktivní elektrický oblouk) a delší pobyt v hlučném prostředí způsobuje nepohodlí a ztrátu koncentrace	1	2	2	3	5
4.1-2	Systém odsávání zplodin je hlučný a jeho činnost působí rušivě	1	2	1	3	4
5	Nebezpečí záření					
5.1	Nebezpečí popálení					
5.1-1	Tepelné záření z pece může způsobit popálení kůže	2	2	2	3	11
5.2	Nebezpečí poškození zraku					
5.2-1	Přímý pohled na elektrický oblouk může trvale poškodit zrak	2	2	3	3	12
5.2-2	Teplo uvolňované materiálem může poškodit zrak osob stojících příliš blízko	2	2	2	2	10
6	Nebezpečí materiálů/látek					
6.1	Nebezpečí otravy/udušení					
6.1-1	Při provozu mohou vznikat jedovaté plyny, a pokud není zajištěno odvětrávání, hrozí otrava	3	1	2	1	12
6.2	Nebezpečí výbuchu					
6.2-1	Plyny vznikající při provozu (např. vodík, oxid uhelnatý) jsou vysoce výbušné a v přítomnosti značného zdroje tepla mohou snadno explodovat	3	2	3	2	17
6.2-2	Olejová lázeň transformátoru může při přetížení vzplanout a zařízení následně vybuchnout	3	1	2	1	12
6.2-3	Pokud je ve vsázkovém materiálu nebo v místě odlévání nadměrné množství vlhkosti, hrozí při kontaktu s roztaveným materiálem výbuch	3	2	3	2	17
6.2-4	Prasklina v chladicím systému a následná rychlá změna vody ve vodní páru je velmi nebezpečná a může způsobit devastující výbuch	3	2	3	1	16
6.3	Nebezpečí požáru					

6.3-1	Vylétávající kousky materiálu z pece mají vysokou teplotu a při kontaktu s hořlavým materiálem mohou způsobit vznik požáru	2	2	2	2	10
6.4	Dýchací potíže					
6.4-1	Při provozu pece se uvolňuje velké množství drobných prachových částic a jejich vdechnutí je dráždivé a zdraví škodlivé	2	2	3	3	12
6.5	Kouř					
6.5-1	Spotřebáváním elektrod vzniká kouř. Pokud není odvětráván, může způsobovat dechové potíže, a pokud je ho příliš mnoho, zhoršení viditelnosti	2	2	1	3	10
7	Ergonomická nebezpečí					
7.1	Únava					
7.1-1	Při provádění údržby uvnitř pece bývá v prostoru ještě stále vysoká teplota a pracovníci rychle ztrácejí sílu	1	1	2	1	0
7.1-2	Práce na slévárně je obecně namáhavá – téměř trvale vysoké teploty okolí, hluk, silné záření z roztaveného materiálu – je nutné dodržovat pitný režim a nepřecenit svoje síly	1	2	2	3	5
7.2	Svalově kosterní poškození					
7.2-1	Špatná poloha těla při práci či používání nevhodně tvarovaných a/nebo těžkých předmětů způsobuje za delší čas nevratné změny lidské anatomie	2	2	1	2	8
8	Nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán					
8.1	Nebezpečí znečištění					
8.1-1	Při provozu vzniká kolem pece velké množství odpadu – drobný prach, okuje, zbytky legur a hrozí uklouznutí, zakopnutí či pád	1	2	3	3	6
8.1-2	Vylití transformátorového oleje	0	1	2	1	0
8.2	Vlhkost					
8.2-1	Při nevhodném skladování železného šrotu (déšť, sníh) se v něm nahromadí voda, a poté může dojít k nečekaným situacím při kontaktu s horkou pecí	3	1	3	2	14
9	Kombinace nebezpečí					
9.1	Únik chladicí vody do pece a současně pomalá nebo špatná odezva z měřičů průtoku vody	3	2	3	1	16
9.2	Vyšlehující plameny či vylétávající kousky materiálu z pece a obsluha s tímto stavem nic nedělá	3	1	3	2	14

9.3	Změna výrobního procesu, avšak obsluha provádí úkony dle původního výrobního procesu, což v konečném důsledku může způsobit výbuch	3	2	3	1	16
9.4	Je kladen důraz, aby jednotlivé tavby navazovaly co nejrychleji – vyvolání stresu. V kombinaci s vysokou teplotou může vyvolat častější chyby obsluhy a ztrátu koncentrace. Ta může v krajních případech vyvolávat život ohrožující situace (pád materiálu, výbuch)	3	2	3	3	18
9.5	V peci dojde k výbuchu, vyletí kousky roztaveného materiálu a obsluha se v tu chvíli nachází v místech, která nejsou nijak chráněna proti tomuto případu	3	1	3	3	15

Při identifikaci nebezpečí v předchozí tabulce 6 byly použity poznatky z předchozích částí této práce, a také místní provozně bezpečnostní předpis. Vzhledem k tomu, že pec OTO 5K spolehlivě funguje, bylo by nalezení nepřijatelného rizika odhalením nedostatku v konstrukci, či opomenutí uvedení důležité informace v provozní dokumentaci. To je však velice nepravděpodobné. Prvky rizika a velikost rizika jsou tak vyčíslovány pro případ, že pec teprve navrhujeme, a zatím nebyly podniknuty žádné kroky ke snížení rizika ani nemáme v ruce žádný návod k obsluze. Z tohoto faktu opět vyplývá, že posuzování bezpečnosti by měla být (musí být) týmová činnost. Jsou nutné pohledy konstruktéra, technologa, elektrikáře a osoby, která má zkušenost s provozem na stejném či podobném typu zařízení.

5 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Analýza rizik provedená v předkládané práci je pouze částí z celkové bezpečnostní analýzy. Po analýze by mělo následovat hodnocení rizik, a také proces snižování velikosti nepřijatelných rizik metodou tří kroků dle normy ČSN EN ISO 12100. Práci proto nelze považovat za vzor pro vypracování úplné dokumentace sloužící pro splnění požadavků směrnice 2006/42/ES a pro vypracování ES prohlášení o shodě.

EOP je velice komplexní strojní zařízení, při jehož provozu může vzniknout mnoho nebezpečných situací vyvolaných zařízením samotným, výrobním procesem či lidským faktorem. Zajištění bezpečnosti osob a ochrany životního prostředí je nutnou podmínkou, aby mohla být EOP provozována.

Pro zajištění bezpečnosti je potřeba splnit řadu legislativních požadavků, které kladou nároky na bezpečnost práce a na bezpečnost zařízení samotného. O legislativních požadavcích a o technických normách, které pomáhají zmíněné požadavky plnit, je blíže pojednáno v rámci třetí kapitoly této práce. V závěru třetí kapitoly je rovněž uvedeno, že pro úplné zajištění bezpečnosti EOP nemusí norma 12100 stačit. Pro skutečný provoz EOP je totiž nutné velmi důkladně prověřit výrobní proces, porozumět mu a upozornit na možná nebezpečí, která nemusejí být na první pohled příliš patrná (např. rozdíl mezi vsázením do studené pece či do horké pece). Proto je vhodné normu 12100 doplnit ještě dalšími nástroji pro identifikaci nebezpečí, které jsou zaměřeny spíše na bezpečnost procesů, jež v zařízení probíhají, než na zařízení samotné.

Ať si vybereme pro identifikaci nebezpečí normu 12100 či jiné (analýza FMEA, studie HAZOP), je vždy přímo v normě zdůrazněno, že **proces identifikace je týmový**. Toto poselství je jedním z nejdůležitějších výstupů předkládané práce. Při posuzování bezpečnosti totiž musíme pamatovat na celou řadu věcí – předvídat poruchu zařízení, zohledňovat celý životní cyklus stroje, vědět o haváriích podobných zařízení a proč k nim došlo, mít velmi dobře nastudovanou konstrukci zařízení, pochopit jeho funkci a procesy v něm probíhající, a hlavně **předvídat nesprávné použití pece obsluhou**.

Pokud by měl dělat analýzu rizika pouze jeden člověk, snadno mu některý z bodů z předešlého odstavce unikne. Opomenutí libovolného nebezpečí při analýze je nepřijatelné, protože by mohlo vést k život ohrožujícím situacím či značným materiálovým škodám.

Klíčové je také **vhodné načasování analýzy**. S bezpečnostní analýzou je potřeba začít v raných fázích návrhu zařízení, aby mohla být navrhovaná opatření ke snížení rizika zabudována do konstrukce. V případě změny výrobního procesu musí být rovněž vypracována bezpečnostní analýza před touto změnou.

I když je analýza provedena korektně, může bohužel dojít k havárii. Pak už však hlavní příčinou často není chyba zařízení, ale chyba lidská. V řadě oceláren po celém světě je snaha o co nejrychlejší cykly jednotlivých taveb, a také o zkrácení doby mezi tavnými. Pec by nejlépe neměla příliš vychladnout. Pro údržbu pánve pece a chladicích panelů je však nutné pec odstavit a počkat, až teplota uvnitř klesne. Někteří provozovatelé záměrně údržbu odkládají či je nepravdivě vykazují. Pokud už k údržbě dojde, je tlak, aby byla provedena co nejrychleji, takže pracovníci údržby mohou přehlédnout určité nedostatky.

Druhý velký problém z hlediska lidského faktoru vychází z faktu, že obsluha pecí často není dostatečně proškolená a nezná nebezpečí vyplývající z určitých provozních stavů pece.

Výše zmíněné dva důvody jsou častou příčinou havárií elektrických obloukových pecí, jejichž vybraný přehled je v druhé kapitole této práce. Zřejmě nejčastějším důvodem havárií je vniknutí většího množství vody do prostoru pracující pece. Únik vody může být způsoben dírami v potrubí, a tedy nedokonalostí zařízení, avšak při údržbářských prohlídkách lze odhalit malé trhliny, vadné kusy potrubí vyměnit a předejít havárii. Rovněž pokud je pec vybavena zařízením pro měření průtoku, lze havárii předejít. Když dojde k úniku chladiva a pec je bezpečně odstavena a zafixována v pevné poloze, nemusí se nic závažného stát. Avšak tato relativně jednoduchá opatření nejsou v některých provozovnách brána v potaz, a proto se podobné havárie opakují (např. Coatesville v Pensylvánii).

Vedle požadavku na správné provedení bezpečnostní analýzy je stejně důležitý požadavek na provozovatele a obsluhu zařízení, aby **nepodceňovali údržbu zařízení a dobře se seznámili s různými výrobními procesy a provozními stavy pece.**

V neposlední řadě je také vhodné **průběžně kontrolovat doporučení mezinárodních bezpečnostních organizací (OSHA)**. Například ze zprávy OSHA zmíněné v rámci podkapitoly 2.7 sice nevyplývají závazná stanoviska pro české provozovatele EOP, avšak navrhovaná opatření jsou významná, protože mohou zachránit lidské životy a ušetřit finanční prostředky.

ZÁVĚR

Cíle této bakalářské práce byly popsat funkci elektrické obloukové pece, provést rešerši havárií spojených s provozem elektrických obloukových pecí, rozebrat metody použitelné pro identifikaci nebezpečí elektrické obloukové pece, identifikovat nebezpečí spojená s provozem pece a uvést doporučení pro praxi.

První kapitola pojednává o konstrukci a typech EOP. Největší pozornost je věnována elektrickému obvodu zařízení, protože právě ten zajišťuje vznik elektrického oblouku, který je nositelem funkce pece. Na závěr první kapitoly je ještě uveden stručný přehled dalších typů elektrických průmyslových pecí.

Ve druhé kapitole je uvedeno několik havárií spojených s provozem EOP. Za nejčastější příčinu havárií lze označit prasklinu v chladičím systému a následné vniknutí vody do pánve pece. Druhou nejčastější příčinou je pak vznik nebezpečné směsi plynů (oxid uhelnatý se vzduchem nebo s čistým vodíkem či kyslíkem) v horní části pece pod víkem, které mohou explodovat. Důležitou roli zde hraje lidský faktor. Často nejsou dodržovány termíny údržby a obsluha není seznámena s některými nebezpečnými provozními stavy. Příčina havárií tak často spočívá v lidské chybě, nikoliv v nedokonalosti zařízení.

Třetí kapitola uvádí české i evropské legislativní požadavky na bezpečnou konstrukci a bezpečný provoz elektrických obloukových pecí. Dále je uvedeno několik norem, které pomáhají tyto požadavky plnit – nejdůležitější z nich je norma ČSN EN ISO 12100, která detailně rozebírá postup identifikace nebezpečí a následné stanovení velikosti rizika spojeného s daným nebezpečím. Dalšími významnými nástroji pro identifikaci nebezpečí jsou normy ČSN EN 60812 (analýza FMEA) a ČSN EN 61882 (studie HAZOP), které jsou také stručně popsány ve třetí kapitole.

Jádrem čtvrté kapitoly je identifikace nebezpečí konkrétní elektrické obloukové pece OTO 5K dle postupu, který uvádí norma ČSN EN ISO 12100. Identifikovaná nebezpečí vycházejí z poznatků z předcházejících kapitol a z materiálu poskytnutého společností Královopolská slévárna, s.r.o.

V rámci páté kapitoly jsou shrnuty důležité poznatky vyplývající z řešené problematiky bezpečnosti EOP.

Elektrické obloukové pece v České republice, ale i v celém světě, mají mnoho provedení (typ napájení, typ žáruvzdorné vyzdívky, počet elektrod, hmotnost vsázky, typ chladičím systému apod.). Pokud bereme v úvahu průmyslové pece, mají však všechny typy tři společné prvky – pracují s vysokými hodnotami elektrického napětí a proudu, vykazují vysokou teplotu při tavení a při provozu často vznikají nebezpečné látky. Právě tyto tři prvky představují největší nebezpečí pro obsluhu.

Bezpečnost pracovníků musí být zajištěna na prvním místě, ale při navrhování pece je také nutné brát ohled na finanční a ekologické následky provozu či případné havárie. Aby byly všechny tyto aspekty řádně posouzeny, je nutné ve správný čas kvalitně vypracovat bezpečnostní a případně i jiné analýzy.

Žádné nebezpečí nesmí být při analýze opomenuto (i když by nemuselo mít nijak závažné následky). Také je potřeba pamatovat na fakt, že některá rizika nelze ani přes přijatá

opatření odstranit, ale pouze zmenšit. Na zbytková rizika pak musí být upozorněno v návodu k obsluze.

Z předešlého odstavce vyplývají určitá omezení této práce. Identifikaci nebezpečí neprováděl tým, ale jeden člověk. Navíc autor nedisponuje detailními znalostmi konstrukce EOP ani výrobních procesů v nich probíhajících. Přehled identifikovaných nebezpečí tak nemusí být úplný.

V praxi by také pravděpodobně nebyl pro identifikaci nebezpečí použit pouze postup dle normy ČSN EN ISO 12100, ale byl by doplněn či nahrazen analýzou FMEA či studií HAZOP, případně nějakou kombinací všech 3 způsobů. Důvod, proč byla pro tuto práci vybrána pouze norma ČSN EN ISO 12100, je uveden v závěru třetí kapitoly.

I přes výše uvedené nedostatky však předkládaná práce může posloužit jako východisko pro návrh opatření na snížení rizika spojeného s konkrétním nebezpečím při provozu EOP. Některé informace by také v zahuštěné formě mohly sloužit jako součást bezpečnostního školení pro slévače.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Oceli a litiny - podle skript ČVUT 2012. In: *users.fs.cvut.cz* [online]. Praha, 2012 [cit. 17. 10. 2020]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/Oceli%20a%20litiny%20-%20podle%20skript%20CVUT%202012%20++++.docx>
- [2] MACHÁČKOVÁ, Adéla a Lenka MRŇKOVÁ. PRŮMYSLOVÉ PECE. In: *fmmi.vsb.cz* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 17. 10. 2020]. Dostupné z: https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/prumyslove-pece/Machackova_Prumyslove-pece.pdf
- [3] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika* [online]. Praha, 2011 [cit. 26. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-3-elektrotepelná.pdf>
- [4] CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Brno: CERM, 2006.
- [5] DEJL, Jaromír a Edgar WÜNSCHE. *Elektrické obloukové pece*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [6] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektrické teplo*. Ostrava, 1989. ISBN 80-7078-006-1.
- [7] BAXANT, Petr a Jiří DRÁPELA. *Užití elektrické energie*. Elektronický učební text, Brno 2007
- [8] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektrotepelná zařízení*. Praha, 1997. ISBN 80-902333-2-5.
- [9] MORAVEC, Jan. Elektrický oblouk - jak vzniká a jak se zháší? In: *Oenergetice.cz* [online]. 8. 4. 2017 [cit. 23. 10. 2020]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/elektricky-oblouk>
- [10] Explosion in a furnace in a metal alloy production plant. In: *Aria.developpement-durable.gouv.fr* [online]. [cit. 8. 11. 2020]. Dostupné z: https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/files_mf/A17284_ips17284_002.pdf
- [11] Carbon Monoxide Explosion Hazards in Electric Arc Furnace Steelmaking Operations. In: *Osha.gov* [online]. [cit. 8. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.osha.gov/dts/shib/shib120415.pdf>
- [12] V areálu plzeňské Škody hořelo roztavené železo. In: *Novinky.cz* [online]. [cit. 25. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/krimi/clanek/v-arealu-plzenske-skody-horelo-roztavene-zelezo-40137623>
- [13] FERGUSON, Scott a Nick ZSAMBOKY. Electric Arc Furnace (EAF) Explosions: A Deadly but Preventable Problem. In: *Spraycooled.tsg.bz* [online]. [cit. 31. 10. 2020]. Dostupné z: <https://spraycooled.tsg.bz/wp-content/uploads/EAF-Explosions-A-Deadly-but-Preventable-Problem.pdf>
- [14] Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje. In: *Hasičský záchranný sbor* [online]. 2011 [cit. 31. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/soubor/historie-stat-2010-4q-pdf.aspx>
- [15] Upper Shell. In: *Madeinanatolia.com* [online]. [cit. 1. 11. 2020]. Dostupné z: <https://madeinanatolia.com/upper-shell.html>
- [16] A Better Alternative. In: *Spraycooled.tsg.bz* [online]. [cit. 1. 11. 2020]. Dostupné z: <https://spraycooled.tsg.bz/a-better-alternative/>

- [17] Zákon č. 262/2006 Sb. In: *Zakonyprolidi.cz* [online]. [cit. 15. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262/zneni-20200730>
- [18] Zákon č. 309/2006 Sb. *Zakonyprolidi.cz* [online]. [cit. 21. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309#f3063933>
- [19] Vyhrazená technická zařízení. In: *Zsbozp.vubp.cz* [online]. [cit. 21. 11. 2020]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/technicka-bezpecnost/vyhrazena-technicka-zarizeni/301-vyhrazena-technicka-zarizeni>
- [20] Vyhláška č. 48/1982 Sb. In: *Zakonyprolidi.cz* [online]. [cit. 22. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1982-48>
- [21] Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2006/42/ES. In: *Eur-lex.europa.eu* [online]. [cit. 22. 11. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:cs:PDF>
- [22] Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2014/34/EU. In: *Eur-lex.europa.eu* [online]. [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034&from=IT>
- [23] Co je ATEX? In: *Simona-cz.com* [online]. [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.simona-cz.com/sluzby/atex/definice/co-je-atex/?L=5>
- [24] Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 1999/92/ES. In: *Eur-lex.europa.eu* [online]. [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A01999L0092-20070627>
- [25] Analýza rizik elektrických zařízení. In: *Vvuu.cz* [online]. [cit. 29. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.vvuu.cz/nabizime/analiza-rizik/analiza-rizik-pozaru-a-vybuchu/analiza-rizik-elektricky-zarizeni/>
- [26] Technické normy ČSN. In: *Technor.cz* [online]. [cit. 18. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.technor.cz/technicke-normy-csn.html#normy-csn-pravni-uprava-zavaznost>
- [27] Použití a rozdělení bezpečnostních norem pro strojní zařízení. In: *Elektroprumysl.cz* [online]. [cit. 18. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/pouziti-a-rozdeleni-bezpecnostnich-norem-pro-strojni-zarizeni>
- [28] Co jsou harmonizované normy. In: *Nlfnorm.cz* [online]. [cit. 18. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.nlfnorm.cz/informacni-portal/146/co-jsou-harmonizovane-normy>
- [29] ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [30] DRLÍK, Michal. *Základy managementu rizik* [cvičení]. Brno: VUT FSI, 2020
- [31] ČSN EN 14681+A1. *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní požadavky na stroje a strojní zařízení na výrobu oceli elektrickými obloukovými pecemi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [32] ČSN EN 60812: *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [33] ČSN EN 61882: *Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) - Pokyn k použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [34] KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA. *Místní provozně bezpečnostní předpis – Elektrická oblouková pec*.

[35] Královopolská slévárna, electric arc furnace. In: *Viktormacha.com* [online]. [cit. 12. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.viktormacha.com/klicova-slova/kralovopolska-slevarna-electric-arc-38.html>

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam zkratk a symbolů

EOP	elektrická oblouková pec
ČR	Česká republika
kWh/t	kilowatthodina na tunu oceli (jednotka spotřeby elektrické energie)
MVA	megavoltampér (výkon zdroje)
OSHA	<i>European Agency for Safety and Health at Work</i> - Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci
EU	Evropská unie
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ES	Evropské společenství
CE	<i>Conformité Européenne</i> – evropská shoda
ATEX	<i>Atmospheres Explosibles</i> – výbušné prostředí
ČSN	česká technická norma
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
EN	evropská norma
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Mezinárodní organizace pro normalizaci
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> – Mezinárodní elektrotechnická komise
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> – Evropský ústav pro telekomunikační normy
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i> – Evropský výbor pro normalizaci
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Électrotechnique</i> - Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> - analýza způsobů a důsledků poruch
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies</i> – Studie nebezpečí a provozuschopnosti
ETA	<i>Event Tree Analysis</i> – Analýza stromu událostí
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> – Analýza stromu poruchových stavů
E	elektrická energie
PPV	pasivní polohová vazba
PV	polohová vazba
T	odvod tepelné energie
P	odvod plynů

Seznam tabulek

Tab 1)	Třídění nebezpečných míst do zón	36
Tab 2)	Prvky analýzy rizika	40
Tab 3)	Příklady požadavků na části EOP	42
Tab 4)	Zdroje nebezpečí u součástí stroje	48
Tab 5)	Možné nebezpečné situace během životního cyklu	50
Tab 6)	Identifikovaná nebezpečí u elektrické obloukové pece	53

Seznam obrázků

Obr. 1)	Schematické zobrazení třífázové EOP [3]	18
Obr. 2)	Pec s přímým obloukem [7]	22
Obr. 3)	Pec s nepřímým obloukem [7]	22
Obr. 4)	Pec se zakrytým obloukem [7]	23
Obr. 5)	Poškozený manipulátor [14]	27
Obr. 6)	Chlazení pomocí vysokotlakých trubek uspořádaných do panelů [15]	29
Obr. 7)	Sytém chlazení pomocí trysek [16]	30
Obr. 8)	Příklad označení výrobku splňujícího požadavky směrnice 2014/34/EU [26]	35
Obr. 9)	Proces snižování rizika metodou tří kroků [30]	39
Obr. 10)	Příklad postupu při odhadu velikosti rizika, kategorie rizik pro zhodnocení a tabulky s kategoriemi [31]	41
Obr. 11)	EOP v Královopolské slévárně [36]	45
Obr. 12)	Blokový diagram elektrické obloukové pece	47