

Analýza chybování lidského činitele pomocí integrované metody HTA-PHEA

Metodická příručka

Autorský tým:

RNDr. Mgr. Petr Skřehot
Bc. Jakub Trpiš

Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i.

Praha 2009

Obsah

1. ÚVOD	3
2. ANALÝZA ÚKOLU POMOCÍ METODY HTA	4
2.1. POPIS METODY	4
2.2. VÝSTUPY Z HTA	7
3. POSOUZENÍ CHYBOVÁNÍ LIDSKÉHO ČINITELE POMOCÍ METODY PHEA	9
3.1. POPIS METODY	9
3.2. APLIKACE METODY	12
3.2.1. <i>Definování problému</i>	12
3.2.2. <i>Analýza úkolů</i>	12
3.2.3. <i>Analýza chyb LČ</i>	12
3.2.4. <i>Odhad pravděpodobnosti vzniku chyb</i>	15
3.2.5. <i>Analýza faktorů ovlivňujících výkon a spolehlivost</i>	16
3.2.6. <i>Redukce chyb</i>	17
3.3. VÝSTUPY Z PHEA	17
4. INTEGRACE HTA A PHEA	21
5. ZÁVĚR	24
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	25
PŘÍLOHA 1 – DATABÁZE CHYB A VYJÁDŘENÍ PRAVDĚPODOBNOTÍ JEJICH VÝSKYTU	28
PŘÍLOHA 2 – DATABÁZE FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍCH VÝKON A SPOLEHLIVOST ČLOVĚKA (PIF) POUŽITÝCH V HTA-PHEA	35

1. Úvod

Jednou z metod, která umožňuje provádět analýzy spolehlivosti lidského činitele v požadovaném rozsahu včetně integrace kvantitativních hodnot je metoda PHEA (anglicky Predictive Human Error Analysis) – do češtiny je název překládán jako „Analýza odhadu chybování lidského činitele“. Metoda byla vyvinuta v roce 1986 Davidem Embryem a původně byla určena pro využití v procesním průmyslu (konvenční i jaderné elektrárny, petrochemický průmysl, chemický průmysl a průmysl těžby ropy). Metoda je využívána zejména k predikci a redukci lidských chyb. Silnou stránkou metody je, že využívá výstupy získané analýzou úkolů získanou pomocí metody HTA (Hierarchical Task Analysis), které dále rozvíjí za účelem provedení odhadu specifických chyby lidského činitele, jež se mohou vyskytnout při plnění uvažovaného úkolu. V rámci tohoto procesu je také zvažováno, jak mohou být tyto odhadnuté chyby eliminovány a to ještě před tím, než se projeví jejich negativní následky. Vstupy pro analýzu tedy tvoří struktura úkolů a plánů, která je získávána z HTA, a výsledky analýzy faktorů ovlivňujících výkon člověka v pracovním systému (PIF).

Tato příručka poskytuje metodický návod pro zpracovávání zmíněné komplexní analýzy, která je nazývána „Analýza HTA-PHEA“.

2. Analýza úkolu pomocí metody HTA

2.1. Popis metody

HTA byla používána především v evropském chemickém procesním průmyslu v souvislosti s výcvikem. Většina přístupů na bázi analýz úkolů analyzuje lidské interakce se systémem na jediné úrovni, obvykle z hlediska pozorovatelných manipulací ovladačů jako jsou vypínače a ventily nebo pozorování sdělovačů. V nejjednodušším provedení je výstupem z HTA tabulka, kde jsou hodnoceny jednotlivé kroky prováděného úkolu, informační vstupy (jako například číselníky, apod.), kontrolní akce (zpětná vazba) a jsou stanoveny požadavky na zlepšení. Do analýzy je možné zahrnout i hodnocení faktorů ovlivňujících výkon (PIF), ale není to nutné.

HTA je systematická metoda pro identifikování různých cílů, kterých musí být dosaženo v rámci plnění určitého zadání úkolu, a způsobu, jakým jsou tyto cíle kombinovány v rámci úkolového schématu [7]. Na každé úrovni analýzy, počínaje nejvyšší úrovni cílů, jsou definovány podřízené subúkoly, které jsou požadovány pro splnění nadřazeného cíle (společně s plánem, kterým stanoveno jejich pořadí). Tento postup je postupně opakován s každou podřízenou operací z dané úrovně, kde jsou všechny operace (potřebné k dosažení cíle) cíli pro nižší úroveň analýzy. Pokud jsou popsány všechny subúkoly a operace, které je nutné vykonat pro jejich splnění, a to na každé podřízené úrovni, může být získán pečlivý popis úkolu.

Jedna z hlavních výhod metody HTA je, že jsou v ní explicitně identifikovány plány, podle kterých se obsluha zadaný úkol plní. Protože v HTA je zahrnuto i to, jakým způsobem vnímá daný pracovník strukturu cíle, může být tato struktura použita v postupech a výcvikových metodách čerpajících z této analýzy. U postupů, které jsou v souladu se způsobem, jakým obsluha uvažuje o úkolu, je více pravděpodobné, že budou vykonány správně.

Hlavními vstupy pro HTA jsou:

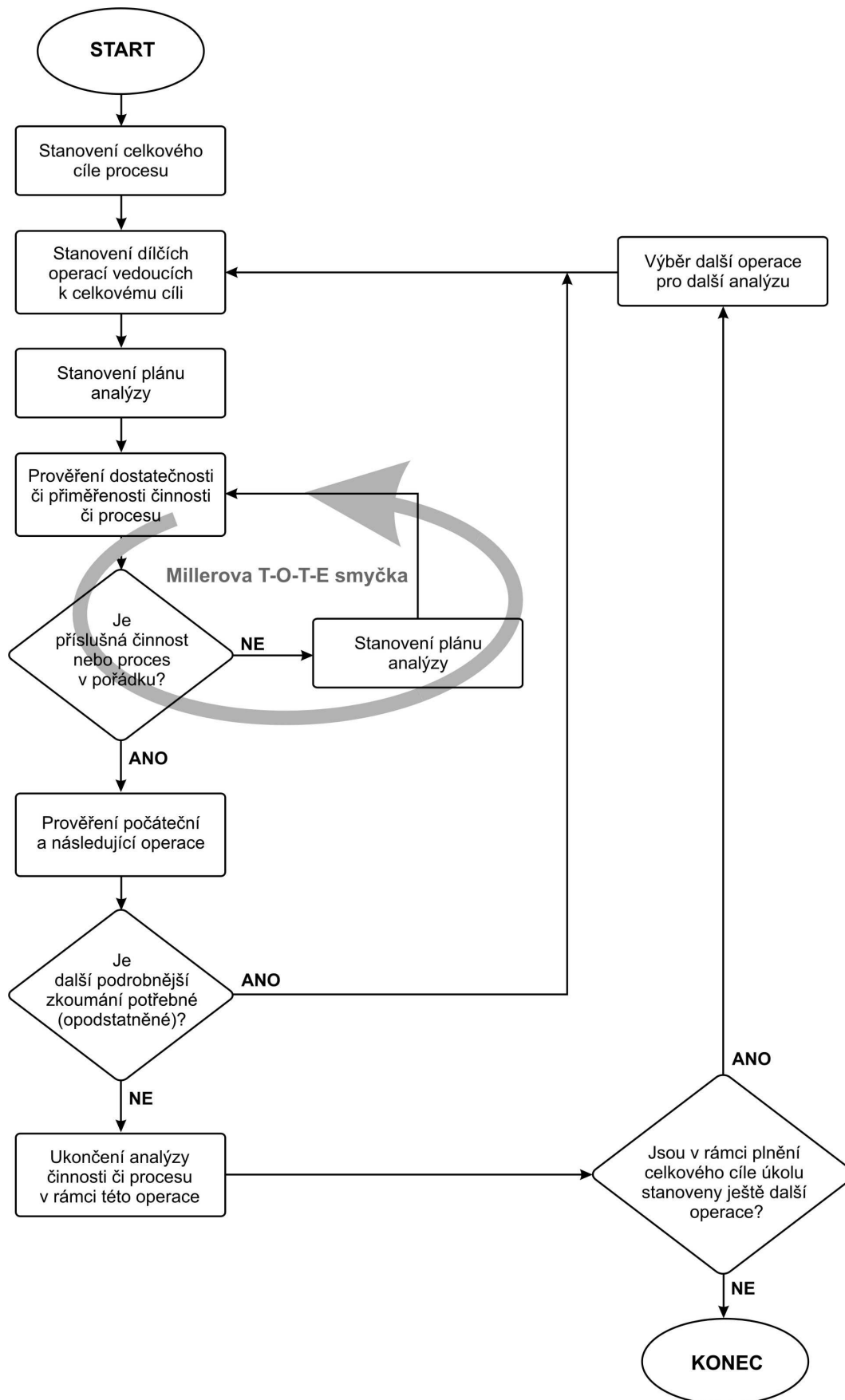
- seznam úkolů potřebných k dosažení systémové bezpečnosti a výrobních cílů (jsou získány z diskuzí se systémovými designéry a jsou obvykle na vysoké úrovni);
- existující pracovní postupy nebo operační pokyny (mohou být velice neformální, např.: hrubé zápisky využívané obsluhou);
- pozorování provedená analytikem (to může zahrnovat „procházení si“ úkolu);

- rozhovory s obsluhou a designéry (toto umožňuje zvážit potenciální operační podmínky, které mohou být mimo přímou zkušenost obsluhy).

Podrobně je metoda popsána Stantonem [22] a současnou podobu metody HTA, která byla vyvinuta postupným vylepšováním přístupů klasických úkolových analýz, navrhli Patrick, Spurgeon a Shepherd v roce 1986. Metoda vytváří prostřednictvím dělení analyzovaného úkolu hierarchii. Tato hierarchie zahrnuje [18]:

- CÍLE představují dále již nerozlišitelné úkolové cíle spojené s příslušnými operacemi na určitém zařízení;
- OPERACE jsou rozlišitelné způsoby chování nebo aktivity, které vedou ke splnění stanovených cílů;
- PLÁNY jsou nerozlišitelná rozhodnutí a plánování operátora.

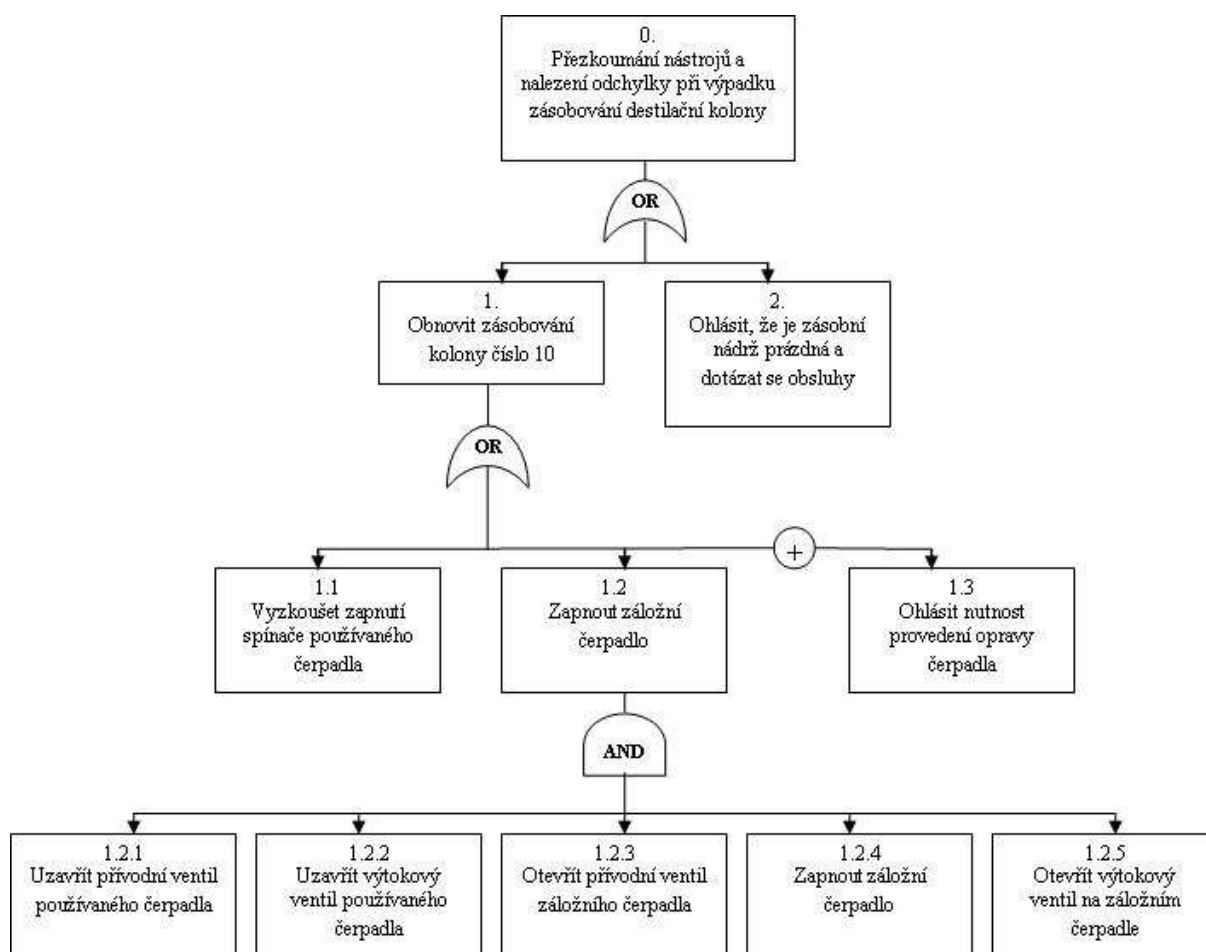
Pro potřeby zpracování analýzy spolehlivosti LČ podle požadavků zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, vyvinul VÚBP modifikovanou verzi této metody [16]. Jelikož ta již byla publikována v samostatné práci [19], nebude v tomto dokumentu blíže popsána. Na obrázku 1 je uveden průběhový harmonogram, který shrnuje, jakým způsobem je HTA aplikována.



Obrázek 1: Průběhový diagram metody [18].

2.2. Výstupy z HTA

Jak již bylo uvedeno výše, výstupem z HTA je úkolový diagram a tabulka „Popis návrhů“, ve které jsou blíže rozvedeny jak skutečnosti týkající se provádění analyzovaných úkolů, tak i konkrétní zjištěné nedostatky. Diagram slouží k vizualizaci struktury prováděného úkolů, a proto v něm mají být přehledným způsobem a co možná nejdětalněji všechny prováděné úkoly a subúkoly popsány včetně příslušných hradel (funkčních podmínek). Jednoduchý diagram je zobrazen na Obrázku 2. Konstrukce diagramu je jednoduchá, avšak je vyžadována dokonalou znalost všech úkolů a subúkolů, jejich pořadí i postavení v úkolové hierarchii. Zakreslení jejich vzájemných vazeb není bezprostředně nutné – pozornost je jim věnována až v tabulkovém výstupu, který je doplněn o další rozšiřující informace. Zejména u složitějších diagramů může použití hradel konstrukci spíše komplikovat [18].



Obrázek 2: Ukázka výstupu metody HTA [18] (grafický výstup)

Přepisem informací obsažených v úkolovém diagramu a jejich detailnějším rozvedením je získán výstup, který je pro přehlednost zpracován do podoby strukturované tabulky nazývané „Popis návrhů“. Výše uvedený příklad (viz Obrázek 2) byl převeden do Tabulky 1.

Tabulka 1: Ukázka výstupu metody HTA [18] (textový výstup).

Úroveň úkolu	Operace	Problémy a doporučení
0	<p>Přezkoumání nástrojů a nalezení odchylky při výpadku zásobování destilační kolony.</p> <p>Zápis akcí: 1/2</p>	<p>Vstup: Potřeba nalézt umístění a rozpoznat funkci až 50 ovládačů na kontrolním panelu a 128 ručně ovládaných ventilů v celé technologii závodu a zjistit přítomnost obvyklé chyby (např. podle pracovních reglementů).</p> <p>Zpětná vazba: K dispozici pouze tehdy, když jsou ukazatele indikující vznik odchylky, navráceny do normální polohy.</p> <p>Akce: Diagnóza odchylky proběhne během 3 minut.</p> <p>Plán: Obnovit zásobování kolony číslo 10 nebo ohlásit, že je zásobní nádrž prázdná.</p> <p>Doporučení:</p> <p>Zlepšit značení ovládacích ventilů.</p> <p>Přijmout příslušná organizační rozhodnutí optimalizující postup při vzniku analyzované odchylky.</p> <p>Simulovat možnou odchylku pro účely výcviku.</p>
1	<p>Obnovit zásobování destilační kolony</p> <p>Zápis: 1/2+3</p>	<p>Plán: Vyzkoušet zapnutí spínače používaného čerpadla anebo zapnout záložní čerpadlo a ohlásit nutnost provedení opravy čerpadla.</p>
1.2	<p>Zapnutí záložního čerpadla</p> <p>Zápis: 1>2>3>4>5</p>	<p>Akce: Bezprostředně následuje aktivace nezbytných ochranných prvků zabraňujících rozlití kyseliny.</p> <p>Plán: Následují nezbytné úkony uvedené v bodech 1 až 5 ve stanoveném pořadí (viz úkolový diagram).</p> <p>Doporučení: Správný postup řešení odchylky musí být obsluhou dokonale nacvičen a zapamatován.</p>

3. Posouzení chybování lidského činitele pomocí metody PHEA

3.1. Popis metody

PHEA (anglicky Predictive Human Error Analysis) je do češtiny překládána jako Analýza odhadu chybování lidského činitele. Metoda je součástí komplexního metodického přístupu SHERPA, ale lze ji využít i samostatně nebo právě ve spojení s metodou HTA. PHEA umožňuje realizovat proces, prostřednictvím kterého jsou predikovány konkrétní chyby LČ. Modelování typů chyb, které mohou nastat v systému člověk-stroj, je pravděpodobně nejdůležitějším aspektem hodnocení a redukce podílu LČ na riziku vzniku nehody [14]. V rámci tohoto procesu je také zvažováno, jak mohou být tyto odhadnuté chyby eliminovány ještě před tím, než se projeví jejich negativní následky. Tento přístup je založen na kognitivní psychologii [7]. Vstupy pro analýzu tvoří informace o struktuře úkolů a plánů, která je získávána z HTA, a dále hodnocení vlivu faktorů ovlivňujících výkon a spolehlivost člověka (Performance Influencing Factors – PIF) [2]. Tyto údaje lze z části získat z HTA, z části je nutné provést další sběr potřebných informací.

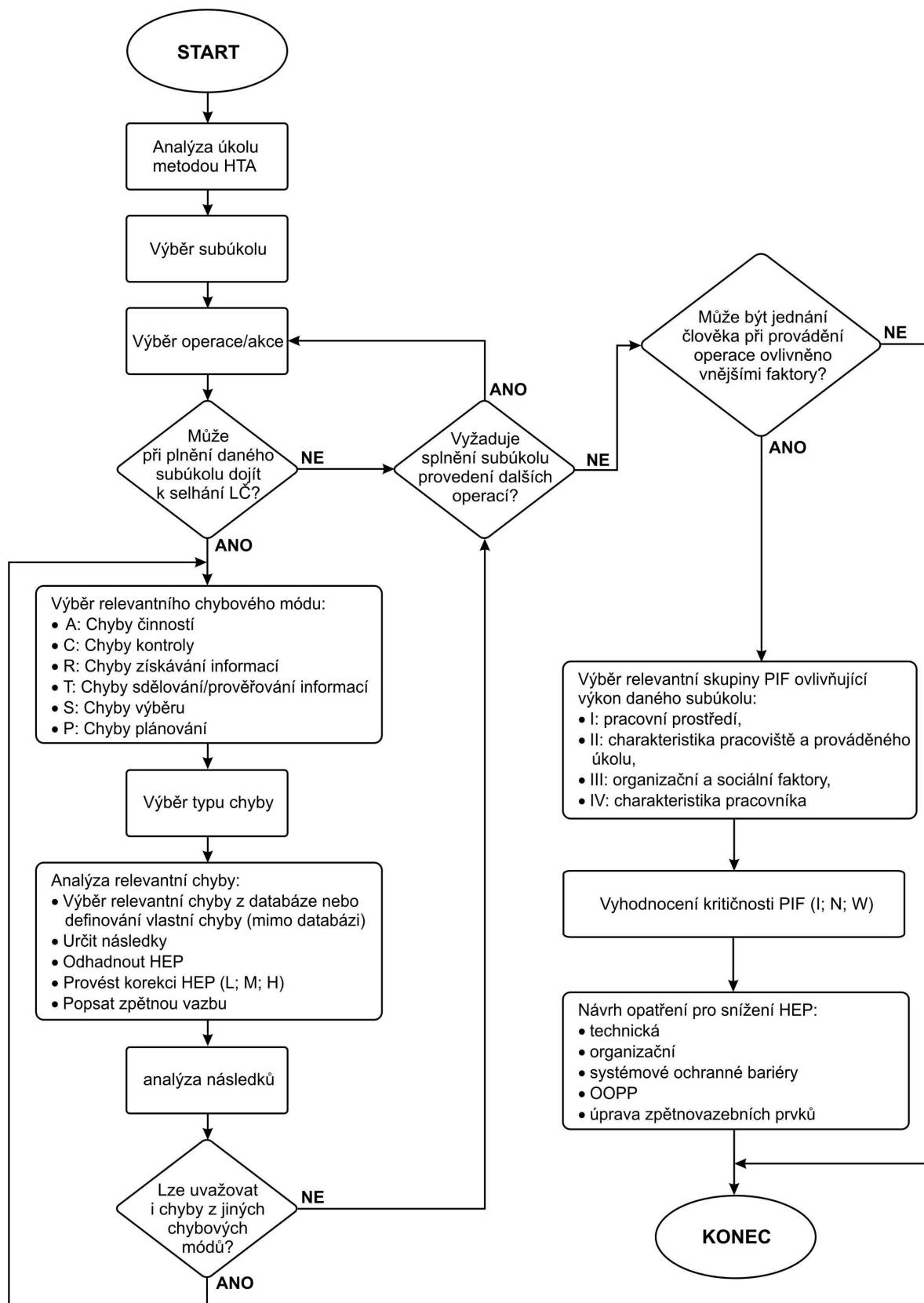
Principem analýzy chyb je pak založen na tom, že k jakémukoliv subúkolu (nemusí se nutně jednat o nejnižší úroveň) jsou identifikovány relevantní chyby LČ, k čemuž slouží předem stanovená taxonomie, v níž jsou chyby klasifikovány do 6 chybových módů (chyby činnosti, chyby kontroly, chyby získávání informací, chyby přenosu informací, chyby výběru, chyby plánování). Analytikem jsou pro každý subúkol pak z této taxonomie vybírány věrohodné typy chyb [21] a z nich pak dále konkrétní relevantní chyby, tj. chyby, jejichž vznik lze s ohledem na reálný stav pracovního systému očekávat. Jelikož modifikovaná PHEA, (na rozdíl od originální metody), již obsahuje předdefinovanou databázi chyb, je možné za jejího využití postupovat při analýze systematicky, což umožňuje identifikovat i takové chyby, které by bez použití této „databáze chyb“ nebyly vzaty v úvahu.

Pro každou potencionální chybu jsou následně vyhodnoceny její možné následky, pravděpodobnost vzniku (HEP), případně korekce HEP na stávající úroveň bezpečnosti provozu, a dále vliv faktorů ovlivňujících výkon a spolehlivost (PIF). Podle subjektivního úsudku analytika jsou pak navržena nápravná opatření, popřípadě opatření k eliminaci rizika. Spojením HTA a PHEA je tedy vytvořen nástroj ke komplexnímu hodnocení spolehlivosti LČ.

Aplikace metody PHEA zahrnuje provedení pěti základních systémových kroků [1], které jsou podrobně popsány dále. Jedná se o:

1. definování problému;
2. analýzu subúkolů;
3. analýzu chyb LČ;
4. analýzu následků;
5. návrh opatření pro redukci chyb.

Na Obrázku 3 je uveden průběhový diagram metody PHEA.



Obrázek 3: Průběhový diagram PHEA.

3.2. Aplikace metody

3.2.1. Definování problému

V této první fázi aplikace PHEA je po analytikovi vyžadováno, aby byly identifikovány aspekty činností, kde interakce mezi člověkem a strojem (zařízením, hardwarem, ovládacím systémem apod.) mají významný dopad na bezpečnost provozu daného systému a jeho potencionální selhání. V tomto směru je proto nutné uvažovat i chyby, které se při této interakci mohou vyskytnout, neboť ty nám determinují i možnosti nápravy či definování preventivních opatření. Existuje 5 typů chyb mezi člověkem a strojem, které by měly být zváženy:

- chyby při údržbě/testování systému, kterými je ovlivněna provozuschopnost systému;
- chyby obsluhy způsobující nehodu;
- činnosti obnovení, kdy může být zásahem obsluhy průběh nehody ukončen;
- chyby obsluhy, kterými může být nehoda prodloužena nebo zhoršena;
- činnosti obsluhy, kterými může být neprovozuschopný systém znovu uveden do provozu.

Ve fázi definice problému by měly být identifikovány ty oblasti, kde je potenciál pro aktivní či latentní (skryté) selhání a měly by být objasněny cíle systému a zvážena role lidských chyb ve vztahu k systému [1].

3.2.2. Analýza úkolů

Viz kapitola 2, resp. metodiky k aplikaci Hierarchické analýzy úkolů [19].

3.2.3. Analýza chyb LČ

Třetím krokem aplikace PHEA je provedení analýzy chyb. V Tabulce 2 je obsaženo základní know-how metody PHEA – její taxonomie, resp. „databáze chyb“. Ta je postavena na rozčlenění chyb do šesti chybových módů, což jsou skupiny takových chyb, které vznikají při různých aktivitách, které vykonávají lidé při plnění zadaných úkolů. Každý chybový mód se pak dále člení na několik typů chyb, které představují skupiny konkrétních chyb LČ, které již vznikají při určitých specifických pracovních operacích/činnostech. Jednotlivé chybové módy a jejich označení jsou následující:

- A: Chyby činností
- C: Chyby kontroly
- R: Chyby získávání informací
- T: Chyby sdělování/přenosu informací

- S: Chyby výběru
- P: Chyby plánování

Při plnění zadaných úkolů se nejčastěji setkáváme s „Chybami činností“, které nastávají při vlastním provádění dílčích pracovních operací, při nichž je měněn stav systému [21] (např. pracovník špatně nastavil hodnotu řízené veličiny na výrobním zařízení). U chybového módu „Chyby kontroly“ (např. špatně provedená kontrola podřízeného pracovníka) je většinou zahrnut proces získávání dat, jako je například ověřování úrovně nebo stavu prostřednictvím vizuální kontroly. Chybový mód „Chyby získávání informací“ jsou vztaženy k získávání informací ať už z vnějšího zdroje (např. sdělovače) anebo z paměti. V chybovém módu „Chyby sdělování/přenosu informací“ je obsažena jak přímá komunikace mezi dvěma jedinci, tak nepřímá (přes počítač, psaní, atd.). Tyto chyby jsou obzvláště relevantní tam, kde je zapotřebí, aby byly koordinovány aktivity v týmu několika lidí. Chybový mód „Chyby výběru“ jsou vztaženy k provádění nesprávných výběrů mezi alternativními operacemi, kde je nutnost provést explicitní volbu mezi dvěma alternativami, například manuální namísto automatické (nebo naopak). Mohou to být fyzické objekty či součásti technického vybavení (např. ventily, tlačítka, atd.) anebo postupy činností.

Jednotlivé typy chyb a jejich zařazení uvnitř taxonomie PHEA uvádí tabulka 2.

Tabulka 2: Taxonomie metody PHEA.

Chyby činností	
A1	Příliš krátká/dlouhá akce
A2	Špatně načasovaná akce
A3	Akce v opačném směru
A4	Příliš málo/mnoho akce
A5	Špatně uspořádaná akce (ve smyslu prostorového uspořádání)
A6	Správná akce na špatném objektu
A7	Špatná akce na správném objektu
A8	Akce opomenuta
A9	Akce nedokončena
A 10	Špatná akce na špatném objektu
Chyby kontroly	
C1	Kontrola opomenuta
C2	Nekompletní kontrola
C3	Správná kontrola na špatném objektu
C4	Špatná kontrola na správném objektu
C5	Kontrola špatně načasována

C6	Špatná kontrola na špatném objektu
Chyby získávání informací	
R1	Informace není obdržena
R2	Je získána špatná informace
R3	Nekompletní získání informace
Chyby sdělování/přenosu informací	
T1	Informace není předána dále
T2	Je předána špatná informace
T3	Nekompletní přenos informace
Chyby výběru	
S1	Opomenutí výběru
S2	Provedení špatného výběru
Chyby plánování	
P1	Vykonán špatný plán v důsledku špatné diagnózy
P2	Diagnóza je správná, zvolen špatný postup k vykonání plánu

Identifikaci konkrétních relevantních chyb LČ je pak nutné provést pro každý subúkol (tj. operaci), který se v hierarchii vyjádřeném v úkolovém diagramu HTA nalézá na obvykle nejnižší pozici a dále se již nevětví do dalších subúkolů (obvykle se jedná o 2. až 4 úroveň v HTA) [21]. K tomuto subúkolu je přiřazen minimálně jeden ze šesti chybových módů (viz tabulka 2), a z těchto chybových módů dále ty typy chyb, kterých se může člověk při provádění daného subúkolu dopustit. Po té je již možné definovat konkrétní relevantní chyby – např. výběrem z databáze chyb PHEA anebo uvedením zcela specifických chyb v databázi neuvedených, které však ale přicházejí v úvahu při konkrétních podmínkách analyzovaného úkolu.

Z dobře vypracované HTA by již de facto mělo být zřejmé, jaký typ chyby se může při plnění daného subúkolu, resp. provádění požadovaných operací, vyskytnout. Naopak pokud je HTA nekvalitně provedena, tak je negativně ovlivněn výsledek analýzy PHEA a je třeba zvážit, zda by nebylo vhodné HTA provést znovu, či ji upravit, i za cenu větší časové náročnosti.

Po výběru nebo definování relevantních chyb je dále potřeba provést odhad pravděpodobnosti jejich výskytu (tj. určit HEP) a dále analýzu PIF¹, o kterých je pojednáno níže.

¹ Je třeba, aby bylo analytikem provedeno hodnocení všech podmínek, kterými by mohla být způsobena chyba díky negativnímu vlivu PIF.

3.2.4. Odhad pravděpodobnosti vzniku chyb

Cílem této části analýzy je ohodnocení pravděpodobnosti výskytu relevantních lidských chyb, které mohou při prováděných činnostech nastat. Tato fáze analýzy PHEA není vůbec jednoduchá a je nutné zdůraznit, že ačkoli vede k získání konkrétních numerických hodnot pravděpodobnosti, že danou chybu pracovník udělá, je tato hodnota zatížena velkou nejistotou. Databáze HEP, kterou využívá Q-PHEA (kvantitativní část PHEA), byla totiž vytvořena sběrem dat z různých odborných zdrojů, které však uvádějí generická či statistická data z různých typů odvětví procesního průmyslu a získaných za různých časových období. Jedná se tak o určité střední hodnoty, které je však nutné pro analýzu v konkrétním pracovním systému korigovat podle místních podmínek, například na základě existence ochranných bariér, podle úrovně materiálně-technického zabezpečení, personálního zajištění, kvality výcviku obsluhy, kontrolní činnosti apod. Důležitou roli v této korekci hraje také možnost, že dojde k nápravě provedené chyby ještě před tím, než se projeví její nežádoucí následky (např. chyba je zaznamenána samotnou obsluhou nebo jiným pracovníkem, případně hardwarem). Oproti statisticky „průměrné“ pravděpodobnosti vzniku dané chyby (HEP), která je střední hodnotou získanou z různých odborných zdrojů, tak je možné, že bude tato uvažovaná pravděpodobnost vzniku chyby vyšší, nebo naopak nižší. V Q-PHEA se tato korekce hodnoty HEP provádí výběrem z jednotlivých kategorií závažností:

- nízká (low – L) – vznik dané chyby se při současné úrovni zabezpečení téměř nepředpokládá;
- střední (medium – M) – daná chyba byla již v minulosti zaznamenána, ale současná úroveň zabezpečení dosti limituje její opakování;
- vysoká (high – H) – daná chyba se již vyskytla několikrát (a to u různých členů pracovního kolektivu), popř. opakovaně u téhož zaměstnance, a při současné úrovni zabezpečení systému se s jejím výskytem musí počítat.

Hodnoty HEP na úrovni M odpovídají středním hodnotám získaným z odborné literatury [4,15,27,29,30] a byly odvozeny z pozorování a analýz mimořádných stavů, přičemž HEP je definována jako poměr počtu sledovaných chybných úkonů n k celkovému počtu N provedených úkonů:

$$HEP_{(M)} = \frac{n}{N}$$

Hodnoty pro úroveň L a H pak byly pečlivě odvozeny za pomoci expertních odhadů a jsou uvedeny v Příloze 1 (při jejich odhadu nebyla provedena korekce numerickým přepočtem za použití jednotného koeficientu).

3.2.5. Analýza faktorů ovlivňujících výkon a spolehlivost

Jelikož je jednání člověka a tedy i jeho sklon k chybám výrazně ovlivňováno působením vnějších faktorů, je nutné do analýzy chybování lidského činitele zakomponovat i zhodnocení jejich vlivu na člověka. Jedná se především o posouzení vlivu organizace práce, diferenciací úkolů, interakci člověk-stroj, člověk-prostředí a také interakci mezi lidmi samými, tj. interakci člověk-člověk uvnitř pracovního systému (sociální faktory). Souhrnně jsou všechny tyto faktory nazývány faktory ovlivňující výkon a spolehlivost (PIF).

Má-li být prostřednictvím PIF provedena charakterizace úrovně pracovního systému, je zapotřebí zavést jednotný systém hodnocení jejich významnosti [18]. V praxi to znamená provedení jejich relativního ocenění. Pro uskutečnění tohoto cíle bývá využíváno kategorizační hodnocení pomocí několikabodové škály. Příkladem může být tato škála charakterizující vliv daného PIF na výkonnost, pohodu a spolehlivost člověka [18]:

- zanedbatelný;
- významný;
- klíčový.

Jelikož informace o PIF a jejich vlivu na spolehlivost lidského operátora je pro analýzu LČ významná, je jejich stručné hodnocení zařazeno do PHEA, zejména pak v souvislosti s prováděním odhadu pravděpodobnosti výskytu chyb. Je velmi složité vyjádřit hodnotu pravděpodobnosti vzniku lidské chyby (HEP), nicméně je realizovatelné identifikovat, kterými PIF může být vznik určitého typu chyb ovlivněn nejvýrazněji [3].

Databáze PIF, tak jak je uvádí řada odborných prací, je uvedena v Příloze 2, kde jsou PIF rozděleny do 4 hlavních skupin označených římskými číslicemi:

- I: pracovní prostředí,
- II: charakteristika pracoviště a prováděného úkolu,
- III: organizační a sociální faktory a
- IV: charakteristika pracovníka.

Jak již bylo zmíněno výše, v analýze se uvažují také příčinné vztahy a vlivy, které determinují velikost potenciálu vzniku dané chyby. Jelikož ale stejné vlivy mohou v různých pracovních systémech či za různých situací vést k různě závažným následkům, je nutné tyto faktory pečlivě zhodnotit a ocenit jejich reálný vliv na bezpečnost provozu. V tomto ohledu se jedná o to, zda je pravděpodobnost výskytu nebezpečných situací vyvolaných „akutním“ i „chronickým“

působením jednotlivých PIF v analyzovaném systému zvýšená, nebo snižená. Pro tento účel byla do modifikované metody PHEA zařazena také kvalitativní proměnná nazývaná „kritičnost PIF“. Ta má tři úrovně, které se vztahují ke skutečnosti, zda může být spolehlivost LČ:

- zvýšená – pak se jedná o kategorii I (Improve – zlepšit);
- neovlivněna – pak se jedná o kategorii N (Normal – normální stav);
- snižená – pak se jedná o kategorii W (Worse – zhoršit).

Jelikož se však jedná pouze o kvalitativní hodnocení, nemá tato skutečnost vliv na hodnotu HEP uvažovaných chyb LČ. Ve výstupu z PHEA tato skutečnost ale podává informaci o tom, zda je při návrhu preventivních opatření nutné brát v úvahu i vliv konkrétních PIF, jejichž kvalitu je v daném pracovním systému nutné zlepšit (v případě, že jejich vliv je negativní a je nutné je kvalitativně zlepšit, aby nebyl pracovník negativně ovlivňován – např. je nutné teplotu na pracovišti upravit na optimální hodnotu, aby pracoval při teplotním komfortu), anebo naopak udržet na stávající úrovni (v případě, že jejich vliv je pozitivní a napomáhá udržovat vysokou spolehlivost výkonu daného pracovníka – např. je nutné zachovat stávající organizaci práce, která zaručuje dostatečnou úroveň průběžné kontroly atd.).

3.2.6. Redukce chyb

Poslední fází PHEA je vytvoření možných strategií na redukci chyb, případně jejich předcházení. Může zde být také použito metod pro zvýšení pravděpodobnosti nápravy/zotavení [14]. Je velice důležité správně identifikovat ty PIF, které mají na vznik příslušných chyb největší vliv. V této fázi je po analytikovi (respektive týmu analytiků) vyžadováno provedení brainstormingu, jehož cílem by mělo být nalezení mechanismu, kterým může být účelně zabráněn vznik chyby, respektive minimalizovány její následky. Redukční strategie je většinou připojena do jedné z následujících tří oblastí:

- design, kde se navrhne nový systém anebo je modifikován systém stávající;
- trénink, kde je obsluha daného hardware vycvičena;
- postupy, kdy jsou obsluze poskytnuty postupy, jak správně činnost provádět.

Jaká strategie bude nakonec použita, závisí na tom, co bude výstupem Cost–benefit analýzy.

3.3. Výstupy z PHEA

Je žádoucí, aby byl rozsah každé analýzy stanoven předem. Základem je hierarchická struktura, která je převzata z HTA [18]. Pomocí ní je možno odhadnout chyby v obměnách na různých úrovních a různém rozsahu (detailu). To je demonstrováno na následujícím případě (viz Tabulka 3). Sekce 2 byla analyzována metodou HTA, kde je pro splnění subúkolů

„Příprava cisterny pro plnění“ požadováno splnit subúkoly 2.1 až 2.5. Při těchto činnostech obvykle může dojít k několika různým druhům selhání obsluhy a tak je zapotřebí, aby byl každý dílčí úkol analyzován zvlášť a to dostatečně pečlivě. Mezi základní pochybení může v případě provádění subúkolu 2.3 až 2.5 být jejich provedení ve špatném pořadí. Kdyby zde bylo více cisteren, pak subúkoly 2.1: „Ověření, zda je cisterna prázdná“ by mohlo být provedeno na špatné cisterně. Mělo by být tedy pamatováno, že tato analýza může být nezávislou na analýze prováděné na nižším úkolovém stupni, kde jsou již podrobně posuzovány individuální pracovní operace (akce) [18].

Máme-li jistotu, že je HTA provedena správně, teprve po té je aplikována PHEA a to na každý úkol na nejnižší úrovni v rámci úkolového diagramu HTA. Ve většině případů je analýza vykonána ve stadiu kroku, např. „3.1.1: Otevření přečerpávacího kohoutu“. Pro každou operaci je analytikem zvážena možnost výskytu jednoho nebo více typů chyb předloženého v klasifikaci (viz Tabulka 2). Rozhodnutí je provedeno mimojiné také na základě informací dodaných z analýzy PIF a vědomostí analytika vztahujících se k typům chyb, které mohou vzniknout. Chyby jsou dány mentálními a fyzikálními požadavky úkolu a specifickou konfigurací PIF v dané situaci [18].

Tabulka 3: Ukázka úkolových kroků dle HTA [18].

0: Plnění cisterny chlórem
Plán: Splň postupně subcíle 1 až 5
1: Přistavení cisterny a převzetí dokumentace
2: Příprava cisterny pro plnění
Plán: Proveď úkolové operace 2.1 nebo 2.2 a následně 2.3 až 2.5
2.1: Ověření, zda je cisterna prázdná
2.1.1: Otevření kontrolního ventilu
2.1.2: Provedení kontrolního měření přítomnosti chlóru
2.1.3: Uzavření kontrolního ventilu
2.2: Zvážení cisterny
2.3: Kontrola průvodní dokumentace cisterny
2.4: Příprava přečerpávacího potrubí
2.5: Připojení přečerpávacího potrubí
3. Zahájení a sledování plnění cisterny
3.1: Zahájení operace plnění
3.1.1: Otevření přečerpávacího kohoutu
3.1.2: Zahájení plnění chlóru
3.2: Sledování průběhu plnění
Plán: Udělej úkol 3.2.1 a úkol 3.2.2 pak až za 20 minut po té. Ozve-li se alarm pro měření váhy, pak udělej úkoly

3.2.3 a 3.2.4. Při ohlášení alarmu pro ukončení plnění, proved' úkoly 3.2.5 a 3.2.6.
3.2.1: Postav se na určené místo, kde je možno sledovat průběh plnění i veškeré zvukové alarmy
3.2.2: Provedení vizuální kontroly cisterny
3.2.3: Pozorné sledování první fáze plnění (do cca 2 až 3 tun chloru)
3.2.4: Stisknutí kvitačního tlačítka na alarmu pro sledování přečerpaného množství
3.2.5: Stisknutí tlačítka pro ukončení plnění, jakmile zazní alarm oznamující naplnění cisterny
3.2.6: Uzavření přečerpávacího kohoutu
4: Ukončení plnění a odjezd cisterny
4.1: Ukončení plnění cisterny
4.2: Odpojení přečerpávacího potrubí
4.3: Uložení přečerpávací hadice na místo
4.4: Odjistit (odbrzdit) cisternu
4.5: Odjezd cisterny ze stáčiště

Dalším krokem po identifikaci relevantních chyb je rozhodnutí, zda je vhodné přijmout nějaká opatření směřující ke snížení četnosti jejich výskytu (redukci) nebo minimalizaci potenciálních nežádoucích následků. Při tom je nutné zvážit uspořádání úkolu (např. zda-li existuje nebo neexistuje bezprostřední zpětná vazba, která dokáže indikovat vznik chyby (provedení chybné operace)), výsledky analýzy PIF, atd. Není nutné, aby vždy byla přijata příslušná preventivní opatření. Výstupem tohoto kroku může být tabulka (viz Tabulka 4).

Kromě výsledků analýzy, které jsou uvedeny v Tabulce 4, je možné výsledky hodnocení metodou PHEA doplnit o další systematické údaje. Jednou z možných verzí je ta, která je uvedena v literatuře [21], a v níž je obsažen:

- popis konkrétního subúkolu;
- typ možné chyby (dle Tabulky 2);
- popis chyby;
- možnosti nápravy;
- možné následky.

Použitím této tabulky mohou být snadno porovnány konkrétní aktivity nebo skupina aktivit. (například, která z nich je více nebezpečná), případně může být stanovena jejich priorita.

Tabulka 4: Ukázka výstupu metody PHEA [18].

Analyzovaný úkol: Obdržení informací k čerpání a komunikace s laboratoří				
POPIS SUBÚKOLU	ODHADOVANÉ CHYBY	DOTČENÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝKON (PIF)	NÁSLEDKY	NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ
1.1. Přijmout datovou kartu, dokumenty a ostatní instrukce k čerpání	R2 Byla získána špatná informace T2 Byla předána špatná informace	Vysoké stupně hluku. Neshody. Neznalost instrukcí. Získávání z paměti než z užívaných pracovních instrukcí.	Rozpouštědlo je čerpáno do špatného ventilu – kontaminace dávky.	Redukovat úroveň hluku. Změnit úkoly operátora za účelem snížení jeho přetížení. Začlenění používání procedur do schématu výcviku.
1.2 Zapsat informace do záznamové knihy	T1 Informace nebyla předána dále T2 Byla předána špatná informace	Nedostatek času. Nedostatečné uvědomování si důležitosti. Neshody.	Laboratoře nemusí mít potřebné podklady pro provedení testů.	Zajistit, aby operátoři trávili více času v laboratořích, tak aby pochopili důsledky špatně vyplněné záznamové karty nebo záznamové knihy.
1.3 Nahrát informace na elektronickou kartu	T1 Informace nebyla předána dále T2 Byla předána špatná informace			

4. Integrace HTA a PHEA

Silnou stránkou HTA je, že může být použita pro analýzu jakéhokoliv úkolu [11]. Základní struktura úkolu dle metody HTA je stromového charakteru, podobně jako například u THERP [24] včetně použitých operací a zpětné vazby. Na rozdíl od metody THERP v sobě ale HTA nenese prvky kvantitativní analýzy, ovšem modifikací a spojením metod HTA a PHEA je možné tento nedostatek odstranit. Klíčové pro dosažení tohoto cíle je, aby u HTA bylo v poslední fázi analýzy určeno, jaké konkrétní chyby mohou nastat a tyto dále analyzovány. Aby však mohla být kvantifikace provedena, je nutné použít takové chyby, pro něž existují generická či statistická data o pravděpodobnosti jejich výskytu (Human Error Probability – HEP), anebo které lze expertně odhadnout. Důležité také je začlenit tyto chyby do systému chybových módů podle požadavků metody PHEA.

V rámci PHEA mohou být analyzovány tři základní aspekty:

- analýza předpokládaného plánu (vztahuje se k chybám v plánování úkolu nebo ujištění, zda jsou použity správné předpoklady);
- analýza vloženého plánu (zvažují se chyby plynoucí z plánu specifikovaného v HTA, např. ignorování podmínek v plánu, kterým je určeno, jak by měly být jednotlivé subúkoly vykonány);
- analýza prvků úkolu (tímto aspektem postupu je systematicky identifikován rozsah chyb (např. selhání zavření ventilu, zavření špatného ventilu), které mohou nastat při plnění příslušného subúkolu).

Vstupem do PHEA jsou výsledky z HTA, přičemž na jakýkoliv subúkol (nemusí se nutně jednat o nejnižší úroveň) je použita předem stanovená taxonomie, podle které jsou chyby klasifikovány do 6 základních chybových módů (činnosti/akce, kontrola, získávání informací, přenos informací, výběr, plánování). Analytikem jsou pak z této taxonomie pro každý subúkol vybírány věrohodné typy chyb, čímž je možné podchytit široké spektrum relevantních chyb již na nejnižší úrovni úkolového řešení. Ačkoli analýza úkolů postupuje směrem shora dolů (cíl úkolu je dekomponován na dílčí subcíle a tyto dále na jednotlivé subúkoly, jež je možné dále rozčlenit na další pracovní operace, ze kterých se tento úkol skládá), analýza PHEA naopak postupuje zespoda nahoru, tj. chyby se nejprve přiřazují nejnižším úkolovým jednotkám a postupně se pomocí následné integrace získaných informací analyzuje celý pracovní proces. Pro každou potencionální chybu jsou analytikem vyhodnoceny i její následky a pravděpodobnost, resp. korekce střední hodnoty HEP podle reálné situace v pracovním systému (tj. zda je zvýšená, nebo snižená pravděpodobnost výskytu uvažované

chyby). Podle subjektivního úsudku analytika jsou pak navržena nápravná opatření, popřípadě opatření k eliminaci rizika. Spojením HTA a PHEA je tedy vytvořen nástroj ke komplexnímu hodnocení spolehlivosti LČ, jehož výstup je možné koncipovat do strukturované tabulky (viz Tabulka 5).

Tabulka 5: Ukázka struktury jednotlivých kroků integrované metody HTA-PHEA a výstupu z provedené analýzy.

HTA		PHEA											
Analýza subúkolů		Analýza relevantních chyb						Analýza PIF			Analýza následků		Redukce chyb
		Kód	Typ chyby	Relevantní chyby	Střední hodnota HEP	Kategorie závažnosti HEP	Výsledná HEP	Kód	Dotčené PIF	Kritičnost	Následky	Zpětná vazba vykonání chyby	
Krok	Zpětná vazba splnění subúkolů												
1.1: Přijmout datovou kartu, dokumenty a ostatní instrukce k čerpání	Ano	R2	Byla získána špatná informace	Chyba při čtení textu a čísel	0,005	H	0,065	I.2.1	Hluk na pracovišti	W	Rozpouštědlo je čerpáno do špatného ventilu – kontaminace dávky	Ano	Snížit úroveň hluku. Změnit úkoly operátora za účelem snížení jeho přetížení. Začlenění používání procedur do schématu výcviku.
				Chyba při provedení jednoduchého výpočtu	0,03		0,05	II.3.1	Jednoznačnost a srozumitelnost předpisů	W			
				Obecná chyba provedení (např. chybné přečtení popisku a následné vybrání špatného ovládače)	0,003		0,007	III.1.3	Komunikace mezi pracovníky	W			
		T2	Byla předána špatná informace	Chybně napsaná informace nebo číslo, které jsou předávány dál	0,01		0,05	IV.1.1	Praktické schopnosti a dovednosti pracovníka	W			
1.2: Zapsat informace do záznamové knihy	Ne	T1	Informace nebyla předána dále	Špatné porozumění pokynu s následkem nepředání požadované informace	0,001	H	0,08	I.3.3	Časová náročnost pracovního úkolu	W	Laboratoře nemusí mít potřebné podklady pro provedení testů	Ne	Zajistit, aby operátoři trávili více času v laboratořích, aby pochopili důsledky špatně vyplněné záznamové karty nebo záznamové knihy.
				III.1.2	Jednoznačné zodpovědnosti			W					
	T2	Byla předána špatná informace	Chybně napsaná informace nebo číslo, které jsou předávány dál	0,01	0,05		IV.1.1	Praktické schopnosti a dovednosti pracovníka	I				

5. Závěr

V kapitole 2 byla stručně představena metoda HTA a v kapitole 3 byla představena metoda PHEA, včetně kvantitativního hodnocení pravděpodobnosti vzniku uvažovaných chyb (Q-PHEA), a uvedeno mnoho konkrétních případů jejího využití v praxi. Bylo zjištěno, že tato metoda je většinou expertů na problematiku LČ považována za užitečný nástroj pro hodnocení LČ. Vzhledem k tomu, že havárie a nehody jsou vždy způsobeny negativním vlivem několika PIF, je možné pomocí této metody identifikovat nejpravděpodobnější chyby a navrhnout opatření pro snížení pravděpodobnosti výskytu, anebo i k jejich eliminaci. Díky spojení Hierarchické analýzy úkolů a metody PHEA byl vyvinut komplexní nástroj umožňující hodnocení spolehlivosti i chybování LČ v rámci provádění konkrétních zadaných úkolů, což umožňuje provádět hodnocení spolehlivosti LČ v maximální šíři a v relativně krátkém čase.

6. Seznam použité literatury

- [1] BABER, C.; STANTON, N. A. Human error identification techniques applied to public technology: predictions compared with observed use. *Applied Ergonomics*, Volume 27, Issue 2, April 1996, Pages 119-131.
- [2] EMBREY, D. (2000). Performance Influencing Factors (PIFs) [online]. Human Reliability Associates Ltd., 2000 [cit. 2008-07-30]. Dostupný na [www: <http://www.humanreliability.com/articles/Introduction%20to%20Performance%20Influencing%20Factors.pdf>](http://www.humanreliability.com/articles/Introduction%20to%20Performance%20Influencing%20Factors.pdf).
- [3] EMBREY, D.; ZAED, S. *A set of computer based tools identifying and preventing human error in plant operations* [online] [2009-09-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.humanreliability.com/articles/Computer%20based%20tools%20website%20version.pdf>>.
- [4] GROZDANOVIĆ, M., STOJILJKOVIĆ, E. Framework for human error quantification : UDC 331.468. *Facta Universitatis : Philosophy, Sociology and Psychology*. 2006, vol. 5, no. 1, s. 131-144.
- [5] *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*. (1994). New York : Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.
- [6] HANÁKOVÁ, E. (2007). Základní pojmy užívané v hygieně práce, interní pracovní materiál VÚBP
- [7] HARRIS, D., STANTON N. A., MARSHALL, A., YOUNG, M. S., DEMAGALSKI J., SALMON P. Using SHERPA to predict design-induced error on the flight deck, *Aerospace Science and Technology*, Volume 9, Issue 6, September 2005, Pages 525-532.
- [8] HOLLNAGEL, E. Human Reliability Analysis. In KARWOWSKI, Waldemar. *International Encyclopedia of Ergonomics and human Factors*. 2nd edition. Boca Raton, FL : CRC Press, 2006. ISBN 0-415-30430-X. s. 753-757.
- [9] LANE, R.; STANTON, N. A.; HARRISON, D. Applying hierarchical task analysis to medication administration errors. *Applied Ergonomics*, Volume 37, Issue 5, September 2006, Pages 669-679.
- [10] LYONS, M... [et al.]. Human reliability analysis in healthcare : a review of techniques. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, 2004, no. 16, p. 223–237. Dostupný z WWW: <<http://www.class.uidaho.edu/psy562/Readings/Lyons,%20Adams,%20Woloshynowych%20&%20Vincent%202004.pdf>>.

- [11] Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí k rozsahu a způsobu zpracování dokumentu „Posouzení vlivu lidského činitele na objekt nebo zařízení v souvislosti s relevantními zdroji rizik“ podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. In *Věstník Ministerstva životního prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2007. S. 16-21
- [12] PHIPPS, D...[et al.]. Human factors in anaesthetic practice: insights from a task analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 2008, no. 100 (3), p. 333–43.
- [13] SALMON, P. Using Existing HEI Techniques to Predict Pilot Error : a Comparison of SHERPA, HAZOP and HEIST [online]. In *HCI-02 Proceedings*. AAAI, 2002 [cit. 2009-09-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.aaai.org/Papers/HCI/2002/HCI02-020.pdf>>.
- [14] SANDOM, C.; HARVEY, R. S. *Human factors for engineers* [online]. IET, 2004 [cit. 2009-09-24]. 361 s. ISBN 0863413293. Dostupný z WWW: <http://books.google.cz/books?id=F8JXo1n8FYQC&pg=PA162&lpg=PA162&dq=%22Predictive+Human+Error+Analysis%22&source=bl&ots=grBbg5X9IY&sig=-N1YHSSSV71WtXXt6OtWJBBO4Ak&hl=cs&ei=C067Sv6PI8j4_AbXtb2IDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2#v=onepage&q=%22Predictive%20Human%20Error%20Analysis%22&f=false>.
- [15] SHARIT, J. Human Error: chapter 27. In SALVENDY, Gavriel. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 3rd edition. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006. ISBN 0-471-44917-2. s. 708-760.
- [16] SKŘEHOT, P. (2008). Softwarový modul HTA, interní pracovní materiál VÚBP
- [17] SKŘEHOT, P... [et al.]. (2008). Terminologický výkladový slovník k problematice spolehlivosti lidského činitele, interní pracovní materiál VÚBP.
- [18] SKŘEHOT, P. et al. (2008). Analýza chybování lidského činitele pomocí faktorů ovlivňujících výkonnost, interní pracovní materiál VÚBP.
- [19] SKŘEHOT, P. Posuzování spolehlivosti člověka v pracovním systému pomocí analýz úkolů. Edice Bezpečný podnik, 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i, 2008. 28 s. ISBN 978-80-86973-22-7.
- [20] STANTON, A. N. Error Taxonomies. In KARWOWSKI, Waldemar. *International Encyclopedia of Ergonomics and human Factors*. 2nd edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. ISBN 0-415-30430-X. s. 706-709.
- [21] STANTON, A. N., YOUNG, M. *Guide to Methodology in Ergonomics: Designing for Human Use*. [s.l.] : [s.n.], 1999. ISBN 0-7484-0703-0. s. 29-39.
- [22] STANTON, N. A. *Hierarchical task analysis : developments, applications, and extensions* [online]. Uxbridge : Brunel University, School of Engineering [cit. 2009-09-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.hfidtc.com/pdf/reports/HTA%20Literature%20Review.pdf>>.

- [23] STANTON, N. A.; BABER, C. Error by design : methods for predicting device usability. *Design Studies*, Jul2002, Vol. 23 Issue 4, p363, 22p.
- [24] STANTON, N.; YOUNG, M. Is utility in the mind of the beholder? : a study of ergonomics methods. *Applied Ergonomics*, Volume 29, Issue 1, February 1998, Pages 41-54.
- [25] TRPIŠ, J. *Analýza přístupů a metod použitelných pro pravděpodobnostní hodnocení spolehlivosti lidského činitele v procesním průmyslu*. 2009. 69 s. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Vysoká škola báňská - TU Ostrava. Vedoucí bakalářské práce: Petr Skřehot.
- [26] WILSON, J. A.; STANTON, N. A. *Safety and performance enhancement in drilling operations by human factors intervention (SPEDOHFI) : research report 264* [online]. Wiltshire : Quest Evaluations & Databases, 2004 [cit. 2009-09-25]. ISBN 0-7176-2909-0. Dostupný z WWW: <<http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr264.pdf>>.
- [27] WINCEK, J. C.; HAIGHT, J. M.. Realistic human error rates for process hazard analyses. *Wiley InterScience*, Volume 26, Issue 2, June 2007, pp. 95-100.
- [28] YU, F.-J., HWANG, S.-L., HUANG, Y.-H. Human Factors: Reliability and Risk Assessment. In KARWOWSKI, Waldemar. *International Encyclopedia of Ergonomics and human Factors*. 2nd edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. ISBN 0-415-30430-X. s. 3207-3211.
- [29] KIRWAN, B. et al. The validation of three Human Reliability Quantification techniques - THERP, HEART and JHEDI: Part II - Results of validation exercise. *Applied Ergonomics*, Vol. 28. No.1, pp. 17-25, 1997.
- [30] KIRWAN, B. *A Guide Practical Human Reliability Assessment*, CRC Press. 1994. pp. 379-383. ISBN 978-0-7484-0052-2.

Příloha 1 – Databáze chyb a vyjádření pravděpodobností jejich výskytu

Kód	Typ chyby	Příklad chyby	HEP		
			L	M	H
Chyby činností					
A1	Příliš krátká/dlouhá akce	Chyba v přesnosti při nastavování ovládaných veličin	0,01	0,03	0,1
		Špatné manuální nastavení armatury, ventilu apod., které je prováděno v časové tísní.	0,0001	0,001	0,01
A2	Špatně načasovaná akce	Rozpohybování cisterny v okamžiku, kdy je ještě připojena k plnicímu zařízení	0,00001	0,0005	0,001
		Je zahájena manipulace se zařízením v okamžiku, kdy zařízení ještě není připraveno a uvolněno.	0,00001	0,0005	0,001
		Operátor začne přesouvat materiál dříve, než obdrží povolení k manipulaci	0,005	0,01	0,03
A3	Akce v opačném směru	Zařízení je zapnuto v opačném směru	0,00001	0,00002	0,00003
A4	Příliš málo/mnoho akce	Chyba při provádění složitých pracovních operací zahrnujících zpracovávání množství vstupů	0,01	0,03	0,05
		Nedostatečné dotáhnutí matek, šroubů či přírub při údržbě	0,0005	0,0048	0,1
		Operátor provede chybné nastavení regulované veličiny (popř. mimo škálu nastavitelnosti)	0,0003	0,003	0,007
		Přeplnění skladovacích kapacit	0,001	0,003	0,01
A5	Špatně uspořádaná akce (ve smyslu prostorového uspořádání)	Nesprávné nastavení přečerpávacích tras	0,001	0,0047	0,01
		Špatná montáž O-kroužku, objímky či ucpávky	0,007	0,0667	0,15
		Špatně provedené napojení jednotlivých ručně montovaných spojů	0,0001	0,005	0,0167
		Nesprávně provedená technická úprava zařízení, linky apod.	0,005	0,0167	0,167
		Překroucení či nesprávné smotání hadice určené k přečerpávání s následkem přerušení toku či poškození hadice	0,00005	0,0001	0,001
		Těsnění není umístěno správně	0,01	0,05	0,1

		Špatně provedená instalace/údržba kritických zařízení, spojů a ložisek	0,01	0,03	0,1
		Ventil klíčový z hlediska funkce bezpečnostního systému nebyl správně instalován	0,0003	0,0006	0,002
A6	Správná akce na špatném objektu	Provedení sváru na nesprávném místě	0,01	0,04	0,08
		Operátor ovládá jiné zařízení nebo pracuje na špatném stanovišti	0,01	0,03	0,05
		Manipulace se špatným kontejnerem či zařízením	0,0001	0,0007	0,002
		Vypuštění provozní kapaliny z nesprávného zařízení	0,01	0,021	0,06
		Obecná chyba provedení (např. chybné přečtení instrukce nebo popisu a následné vybrání špatného ovládače)	0,001	0,003	0,01
		Výběr špatného ovládače/vypínače na základě nedostatečných znalostí	0,00001	0,0001	0,0005
		Stisknutí tlačítka s podobnou funkcí (na základě přehmátnutí)	0,0015	0,0002	0,004
		Údržba provedena na jiném zařízení	0,001	0,003	0,05
		Obsluha otevře vypouštěcí ventily na špatné nádrži	0,0005	0,0007	0,002
		Operátor provede vložení nebezpečného odpadu do špatného boxu/nádoby	0,0004	0,0005	0,005
		Operátor uskladní nebezpečné látky na místě, které není vyhrazeno pro skladování	0,02	0,03	0,06
		Je svařována špatná potrubní větev	0,02	0,042	0,09
		Operátor provedl nastavení na jiném (paralelním) čerpadle	0,003	0,006	0,01
A7	Špatná akce na správném objektu	Špatně zadaná data do počítače (hodnoty, adresa, pokyn apod.)	0,005	0,007	0,015
		Přehmátnutí, či přehlédnutí při provádění rutinních a jednoduchých pracovních operací prováděných řádně podle předepsaného postupu	0,00001	0,00005	0,0001
		Vytočení špatného telefonního čísla	0,001	0,01	0,03
		Nesprávně provedená montáž drobných součástí	0,03	0,067	0,09

		Nedostatečně provedené technické nastavení zařízení (s následkem nedostatečného napájení, nižšího průtoku apod.)	0,002	0,0065	0,065
		Chybné provedení ovládání pomocí dotykové obrazovky (minutí ovládacího prvku)	0,15	0,27	0,35
		Do aktivní zóny je chybně vložen palivový článek (platí pro JE)	0,0003	0,0007	0,015
		Operátor otočí vypínač do špatné polohy	0,008	0,016	0,05
		Chybně/nekvalitně provedené pájení při opravě elektrického rozvodu	0,006	0,011	0,025
		Provedení zakázané operace pomocí ovládacích prvků na řídicím panelu	0,001	0,0042	0,01
		Provedení neplatné operace pomocí řídicího počítače	0,001	0,0023	0,005
		Chybné zadání symbolu při použití klávesnice počítače	0,01	0,03	0,1
		Chyba při zadávání hodnot pomocí digitální dotykové klávesnice	0,03	0,1	0,2
A8	Akce opomenuta	Opomenutí provést požadovanou akci	0,001	0,01	0,05
		Opomenutí vyjmout všechny součástky a nářadí z opravovaného zařízení nebo spojení	0,0001	0,001	0,005
		Opomenutí provedení dílčího procedurálního kroku	0,003	0,0645	0,03
		Opomenutí zajistit dodání potřebných součástek (např. chybějící šrouby, matky, dotahovací klíče apod.)	0,0001	0,0006	0,006
		Opomenutí provést všechny procedurální kroky (např. provedení všech kroků v potřebném pořadí, či provedení potvrzení po vykonání celé akce)	0,0002	0,001	0,008
		Je opomenuto provedení opravy dílčí části elektrozařízení a to i při dodržení všech postupů	0,0001	0,001	0,005
		Operátor zapomene uzavřít ventil po dokončení úkolu	0,005	0,01	0,03

		Vynechání procedurálního kroku při řízení rizikové technologie (v jaderné elektrárně, chemickém závodě)	0,03	0,07	0,15
		Nedokonale provedené uzavření/utěsnění subsystému před zahájením opravy/údržby	0,01	0,02	0,07
		Ručně uzavíratelné ventily nejsou po ukončení pracovního úkonu řádně uzavřeny	0,01	0,04	0,1
A9	Akce nedokončena	Špatné uzavření ventilů či armatur	0,00018	0,0018	0,018
		Nedokončení provedení akce z důvodu chybějících součástek (např. šroubů, matek, dotahovacích klíčů apod.)	0,0004	0,0006	0,002
A 10	Špatná akce na špatném objektu	Vypuštění nebezpečného odpadu mimo určené zařízení (např. do životního prostředí, kanalizace, vodoteče apod.)	0,0001	0,0007	0,005
		Signalizační zařízení informující o úniku nebezpečné látky nebo záření je záměrně vyřazeno z provozu	0,0002	0,0005	0,005
		Nebezpečné látky jsou nedopatřením vypuštěny do okolního prostředí během prováděné operace	0,0005	0,001	0,01
Chyby kontroly					
C1	Kontrola opomenuta/nedostatečná kontrola	Neodhalení chyby v provedení složitého výpočtu	0,1	0,27	0,4
		Neodhalení chybného zásahu obsluhy	0,01	0,1	0,2
		Neodhalení chybné instalace součástky nebo dílu	0,002	0,005	0,05
		Neodhalení napojení špatného ventilu, armatury či trubky o jiné velikosti	0,001	0,0021	0,021
		Neodhalení chybně napojených elektrospojů	0,002	0,0065	0,012
C2	Nekompletní kontrola	Nedostatečná a nekompletní kontrola vedoucího pracovníka při zjišťování chyb a neshod v komplexním systému	0,1	0,2	0,5
		Revizní technik neodhalí několik zásadních závad či poruch v elektrické jednotce (systému) – nedůsledně provedená kontrola	0,1	0,2	0,3
		Chyba při kontrole provedených svárů a připojení zařízení u složitých technických systémů	0,2	0,3	0,4
C3	Správná kontrola na špatném objektu	Kontrola řízení procesu je prováděna, ale nejsou do ní zahrnuty kontroly manuálních činností obsluhy nebo operátorů	0,005	0,05	0,01

C4	Špatná kontrola na správném objektu	Chybně či neodborně prováděná kontrola klíčových činností	0,0008	0,003	0,015
		Nepozornost kontrolující osoby (např. při obchůzce, sledování záznamů z videokamer apod.)	0,03	0,1	0,4
C5	Kontrola špatně načasována	Provedení kontroly v nevhodný okamžik či během činností, které nejsou z hlediska bezpečnosti klíčové	0,0001	0,001	0,003
C6	Špatná kontrola na špatném objektu	Provedení nedostatečné/neodborné kontroly na špatně zvoleném zařízení či při provádění jiných činností, než těch, které mají být kontrole podrobeny (např. údržby apod.)	0,00001	0,0001	0,0005
Chyby získávání informací					
R1	Informace není obdržena	Obsluha není schopna rozeznat správnou a špatnou pozici nastavení (např. ventilu)	0,001	0,05	0,5
		Obsluha nemá dostatek informací pro odhalení náhlého odstavení části systému nebo dílčích zařízení	0,0008	0,001	0,008
		Přehlédnutí ukazatele jednotlivcem (např. obsluhou)	0,00005	0,0001	0,001
		Přehlédnutí ukazatele více pracovníky - při kolektivním řízení (např. velíny)	0,000005	0,00001	0,0001
		Operátor si během kontrolní operace neuvědomí/nevšimne, že je ventil ve špatné poloze	0,001	0,003	0,01
R2	Získání chybné informace	Chyba při čtení textu a čísel	0,003	0,005	0,065
		Chyba při provedení jednoduchého výpočtu	0,01	0,03	0,05
		Obecná chyba provedení (např. chybné přečtení popisku a následné vybrání špatného ovládače)	0,0003	0,003	0,007
R3	Získání nekompletní informace	Chybná interpretace/přečtení číslíkových ukazatelů	0,008	0,03	0,09
		Chyba v diagnóze při výskytu doposud neznámé provozní situace	0,2	0,34	0,5
		Pozdní diagnostikování problému v propojených systémech	0,023	0,07	0,21
		Provedení procedurální chyby na základě rychlého čtení instrukcí, popř. instrukcí s nedostatečnými informacemi	0,01	0,065	0,3
		Chybné nastavení systému, v důsledku neodhalení existujících odchylek ze strany obsluhy	0,00003	0,0002	0,0014

Chyby sdělování/přenosu informací					
T1	Informace není předána dále	Špatné porozumění pokynu s následkem nepředání požadované informace	0,0001	0,001	0,007
T2	Je předána špatná informace	Chybně napsaná informace nebo číslo, které jsou předávány dál	0,005	0,01	0,05
		Nastavení zařízení je chybné, ale obsluha jej označí jako "správné" či "v toleranci"	0,005	0,01	0,1
		Zadání nesprávných dat do řídicího systému	0,003	0,006	0,012
T3	Nekompletní přenos informace	Informace předávaná ústní komunikací je zkomolena nebo špatně předána	0,01	0,03	0,08
Chyby výběru					
S1	Opomenutí výběru	Ve stejnou chvíli jsou vykonávány různé činnosti s různou prioritou	0,05	0,1	0,2
		Stisknutí ovládače, který však v danou chvíli neměl být aktivován	0,0008	0,0011	0,09
		Provedení akce striktně podle předepsaných postupů, které však pro danou situaci nebyly vhodně nastaveny	0,05	0,1	0,37
S2	Provedení špatného výběru	Chybná reakce operátorů při vzniku mimořádné události	0,02	0,05	0,1
		Špatné zkalibrování zařízení během jeho údržby	0,001	0,005	0,025
		Chyba při provádění komplikovaného nerutinního úkolu vykonávaného pod časovým stresem	0,03	0,06	0,12
		Chyby vzniklé při řešení neobvyklé provozní situace (pracovník má relativně dostatek času na řešení situace)	0,02	0,034	0,08
		Obsluha zařízení sleduje během procesu špatný ukazatel (veličinu)	0,001	0,003	0,01
		Obsluha pro manipulaci zvolí špatný ventil	0,0006	0,003	0,015
		Chybná manipulace s ventilem (obsluha chybně nastaví ventil do jedné z poloh - "otevřen" nebo "zavřen")	0,005	0,01	0,03
		Chybné nastavení průtoku vlivem špatné manipulace s ventilem	0,0001	0,0004	0,001
		Stisknutí špatného tlačítka, které není podobné ani tvarem ani pozicí tomu správnému	0,001	0,002	0,003
Stisknutí zajištěného ovládače, který je klíčový z hlediska bezpečnosti, namísto standardního ovládače	0,0001	0,0003	0,0009		

		Stisknutí špatného ovládače, která má podobnou funkci jako ten, který měl být aktivován	0,0002	0,0015	0,015
		Operátor nastaví nesprávnou hodnotu pro kalibrační tlak	0,01	0,03	0,08
		Operátor provede chybný krok při kalibraci zařízení	0,0005	0,001	0,01
		Pracovník vybere nevhodnou součástku při opravě elektrického rozvodu	0,002	0,0048	0,03
		Při provádění diagnózy problému jsou použita naučená avšak nesprávná pravidla	0,1	0,16	0,25
Chyby plánování					
P1	Vykonán špatný plán v důsledku špatné diagnózy	Nedodržení původního uspořádání zařízení v systému během údržby	0,001	0,01	0,07
		Bezpečnostní funkce systému byly během údržby chybně přenastaveny	0,0006	0,0018	0,005
		Přeplnění zásobníků nad jejich limit	0,001	0,003	0,009
P2	Diagnóza je správná, zvolen špatný postup k vykonání plánu	Nouzové manuální odstavení systému během havarijní situace je provedeno v rozporu se správným postupem	0,01	0,05	0,15
		Komplexní a jindy rutinní akce jsou během neobvyklých (havarijních) situacích provedeny podle nesprávného postupu	0,08	0,13	0,2

Poznámka: Byly prostudovány desítky zdrojů, z nichž bylo získáno původně celkem 66 hodnot HEP [25]. Získaná data jsou různého původu:

- experimenty;
- expertní odhady (bylo prokázáno, že expertní odhady provedené trénovanými odborníky na spolehlivost LČ jsou neuvěřitelně přesné [10]);
- simulace.

Později bylo získáno několik dalších hodnot HEP [4,27,29,30], které byly do vypracovaného projektu ještě zařazeny. Celkem bylo tedy k dispozici 113 hodnot HEP. Kvantifikace chyby je nejobtížnější částí analýzy LČ [10]. Přiřazení číselné hodnoty nejistým událostem, (jako je predikce pravděpodobnosti, že neznámým člověkem bude vykonána chyba), je velkou výzvou. Důvodem jsou hlavně různorodé okolnosti, nicméně kvantifikace i přesto může být do strukturovaných úkolů zařazena. Dokladem toho je vytvoření Q-PHEA, kde je kvantifikace obsažena.

Příloha 2 – Databáze faktorů ovlivňujících výkon a spolehlivost člověka (PIF) použitých v HTA-PHEA

Oblast klíčová z hlediska výkonu a spolehlivosti				
Skupina PIF	PIF	I	N	W
I. Pracovní prostředí				
I.1 Provádění procesů				
	I.1.1 Neshody uvnitř pracovního týmu			
	I.1.2 Náročnost vykonávaných úkolů			
	I.1.3 Uvědomování si nebezpečí			
	I.1.4 Pracovní vytížení			
	I.1.5 Náhlost výskytu problému			
I.2 Faktory pracovního prostředí				
	I.2.1 Hluk na pracovišti			
	I.2.2 Osvětlení			
	I.2.3 Teplota prostředí			
	I.2.4 Kvalita vzduchu			
I.3 Časové dispozice				
	I.3.1 Pracovní doba a pracovní přestávky			
	I.3.2 Pracovní směny a práce v noci			
	I.3.3 Časová náročnost pracovního úkolu			
II. Charakteristiky pracoviště a prováděného úkolu				
II.1 Vybavení a design				
	II.1.1 Umístění zařízení a přístup k němu			
	II.1.2 Značení a popisky			
	II.1.3 Používání ochranných pracovních pomůcek			
II.2 Design řídicího pultu				
	II.2.1 Kvalita předávaných informací			
	II.2.2 Rozlišení sdělovačů a ovládačů			
	II.2.3 Kompatibilita uživatelského interface			
	II.2.4 Seskupování informací			
	II.2.5 Přehlednost hlášení o kritických stavech			
II.3. Pracovní vybavení a předpisy				
	II.3.1 Jednoznačnost a srozumitelnost předpisů			
	II.3.2 Obsahová stránka předpisů			
	II.3.3 Specifikace vstupních a výstupních údajů			
	II.3.4 Kvalita kontrol a varování			
	II.3.5 Podpora pro diagnózu chyb			
	II.3.6 Kompatibilita předpisů s provozními zkušenostmi			

	II.3.7 Provádění aktualizace předpisů			
II.4 Výcvik				
	II.4.1 Různé požadavky na bezpečnost provozu vs. požadavky na objem výroby			
	II.4.2 Využití nových poznatků a znalostí ve výcviku			
	II.4.3 Návuk neznámých a mimořádných situací			
	II.4.4 Havarijní výcvik a připravenost			
	II.4.5 Výcvik ovládnání automatiky a systémů řízení			
III. Organizační a sociální faktory				
III.1 Týmová práce a komunikace				
	III.1.1 Vymezení pracovní náplně zaměstnanců			
	III.1.2 Jednoznačné zodpovědnosti			
	III.1.3 Komunikace mezi pracovníky			
	III.1.4 Role/autorita vedoucího			
	III.1.5 Skupinové plánování a orientace v problematice			
III.2 Politika managementu				
	III.2.1 Přístup managementu			
	III.2.2 Bezpečnostní požadavky a pravidla (příručky, nařízení apod.)			
	III.2.3 Využívání systémových zabezpečovacích prvků a bezpečnostních bariér			
IV. Charakteristika pracovníka				
IV.1 Zkušenosti a mentální dovednosti				
	IV.1.1 Praktické schopnosti a dovedností pracovníka			
	IV.1.2 Zkušenosti se zvládním stresových situací			
	IV.1.3 Schopnost logického uvažování			
IV.2 Osobnostní faktory				
	IV.2.1 Motivace			
	IV.2.2 Schopnost pracovat v riziku (zvládnání rizik)			
	IV.2.3 Sebekontrola			
	IV.2.4 Komunikativnost			
	IV.2.5 Odolnost proti stresu			
	IV.2.6 Sebeovládání emocí			
	IV.2.7 Duchapřítomnost			
IV.3 Fyzická kondice a věk				
	IV.3.1 Odpočinek po práci			
	IV.3.2 Zdravotní stav			
	IV.3.3 Stav pohybového aparátu			
	IV.3.4 Následky zranění			