



Spolehlivost a ekonomika

Materiály z 61. semináře odborné skupiny pro spolehlivost
konaného dne 8. 12. 2015 v Praze

Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1, www.csq.cz

© ČSJ 2015

Obsah

Ing. Michal VINTR, Ph.D. <i>Analýza nákladů životního cyklu</i>	3
Ing. Michal VINTR, Ph.D. <i>Využití analýzy LCC pro hodnocení ekonomické výhodnosti produktů</i>	14
Ing. Jan Kamenický, Ph.D. <i>Ekonomická náročnost provozování vybraných plynárenských zařízení</i>	21
Ing. Luboš KOTEK, Ph.D. <i>Predikce ekonomických následků závažných průmyslových havárií</i>	34

Analýza nákladů životního cyklu

Ing. Michal VINTR, Ph.D.

Expert na spolehlivost a bezpečnost produktů – www.mvintr.cz

mvintr@mvintr.cz

1 Úvod

Cílem příspěvku je seznámit čtenáře se základy analýzy nákladů životního cyklu produktu. V příspěvku jsou prezentovány základní ekonomické aspekty spolehlivosti produktů, základní principy analýzy nákladů životního cyklu (LCC), náklady související se spolehlivostí a nejčastější modely používané při analýze LCC.

Na příspěvek je třeba nahlížet jako na elementární úvod do problematiky LCC.

Příspěvek byl zpracován s využitím návrhu připravované 3. revize normy pro analýzu nákladů životního cyklu – IEC 60300-3-3/Ed3 [8].

2 Základní pojmy

Pro správné pochopení tématu je nezbytné definovat a vysvětlit základní pojmy. Ty jsou převzaty z platných [7] nebo připravovaných [5], [8] norem z oblasti spolehlivosti.

Objekt (anglicky: *item*): uvažovaný předmět.

Spolehlivost (*dependability*): schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno.

Životní cyklus (*life cycle*): řada identifikovatelných etap, kterými objekt prochází od etapy koncepce a stanovení požadavků po vypořádání (likvidaci).

Náklady životního cyklu (*life cycle cost – LCC*): celkové náklady vynaložené během životního cyklu.

Analýza nákladů životního cyklu (nebo také stanovení nákladů životního cyklu) (*life cycle costing*): proces ekonomické analýzy s cílem posoudit náklady na objekt v celém jeho životním cyklu nebo v jeho části.

3 Náklady životního cyklu

Náklady životního cyklu jsou definovány jako celkové náklady vynaložené během životního cyklu [5].

3.1 Životní cyklus

Z hlediska spolehlivosti (dle nově platných norem) rozlišujeme následujících šest etap obecného životního cyklu [6]:

- koncepce;
- vývoj;

- realizace;
- používání;
- zdokonalování;
- vyřazení.

Etapa koncepce je počáteční vizionářská etapa pro určitý objekt. Zahrnuje činnosti, jako je identifikace potřeb trhu nebo jiných potřeb, stanovení/identifikace obecného provozního prostředí používání a časového přehledu, lidská hlediska, požadavky předpisů a nařízení (jako je sledovatelnost, bezpečnost, životní prostředí, udržitelnost, vyřazení a likvidace odpadu) a další omezení. Z toho je možné určit a analyzovat funkční a mimofunkční požadavky a předběžné požadavky na spolehlivost a na základě širokých technických specifikací může být identifikován proveditelný návrh nebo nákupní řešení. V této etapě má být identifikována potenciální potřeba optimalizace nákladů a přínosů mezi bezpečností a spolehlivostí. K dosažení vysokého stupně předvídaní spolehlivosti může být použito modelování a pravděpodobnostní přístupy s cílem zvolit předběžnou architekturu a politiky údržby a podporovatelnosti, které pravděpodobně splní požadavky předpisů a nařízení a požadavky na spolehlivost. Posuzování rizik během etapy koncepce se má zaměřit na proveditelnost návrhu koncepce a volbu technologie pro implementaci projektu. Volba z volitelných možností návrhů je založena na nejlepších praktických inženýrských přístupech s cílem dosáhnout splnění požadavků a řídit rizika s uloženými omezeními [6].

Etapa vývoje následuje po počáteční etapě koncepce, jakmile byla ověřena proveditelnost. Středem pozornosti je naplánovat a provést zvolená inženýrská řešení návrhu pro realizaci funkcí objektu. To se promítne do příslušného úsilí spojeného s návrhem a vývojem zahrnujícím návrhovou architekturu systému, inženýrské modelování a výrobu a zkoušení prototypu. Jsou identifikována rozhraní mezi prvky systému a subsystému a je vykonáváno systematické hodnocení integrovaných funkcí objektu a jeho interakcí s vnějšími prostředími, aby mohla být validována závěrečné konfigurace. Jsou podrobněji posuzována rizika spojená se zvoleným návrhem a je specifikováno ošetřování rizik. Před realizací objektu má být patřičně zavedeno plánování pro přístup při údržbě podporovatelnosti, pro provozní postupy a prokazování, jakož i pro procesy podpory. V této etapě může být použito příslušné modelování a pravděpodobnostní přístupy k získání podrobných předpovědí o spolehlivosti, jejichž cílem je sjednotit architekturu s politikami údržby a podporovatelnosti zvolenými v etapě koncepce a ověřit, zda mohou být splněny požadavky předpisů a nařízení a požadavky na spolehlivost [6].

V **etapě realizace** jsou implementována rozhodnutí vyrobit/nakoupit pro akvizici a/nebo výrobu konečného objektu a jeho součástí. Do realizačního úsilí se zahrnují takové činnosti, jako je vývoj technologie, vybavení nářadím, výroba, balení a dodávky materiálů s cílem zajistit úplnou transformaci od návrhu ke specifikovanému objektu nebo součástí subsystému. Realizované objekty nebo součásti mohou obsahovat kombinací hardwarových a softwarových funkcí. Realizace zahrnuje simulace součástí a modulů, analýzy a zkoušky včetně zkoušek integrace a také činnosti, jako je montáž součástí, integrace funkcí objektu, verifikace subsystémů a instalace objektu. Se zákazníkem mají být ustanoveny převjímací postupy s možným vyzkoušením ve skutečném provozním prostředí před oficiálním uvedením do provozu. Validace má být součástí vyzkoušení, aby mohl být poskytnut objektivní důkaz shody se specifikacemi [6].

Etapa používání následuje tehdy, když je objekt umístěn pro poskytování funkčnosti nebo služby s podporou pro jeho provozní způsobilost prostřednictvím údržby. Činnosti spojené

s tímto procesem zahrnují provozování a udržování objektu v souladu s požadavky na funkčnost, výcvik obsluhy a údržbářů s cílem udržet si kvalifikační kompetenci, styčné body se zákazníkem s cílem stanovit služební vztahy, provádění záznamů o stavu funkčnosti objektu a podávání hlášení o poruchových nehodách s cílem zahájit včasné preventivní zásahy a zásahy po poruše. Funkčnost objektu má být pravidelně monitorována a kontrolována, aby se zajistilo, že jsou cíle spolehlivosti, předpisů a nařízení a kvality služby splněny. K odhadu spolehlivosti služby může být použit sběr dat a vzorkování. Při posuzování rizika během provozu a údržby je možné se zabývat problémy, které vyvstanou následkem měnících se podmínek [6].

Etapa zdokonalování může být potřebná ke zlepšení funkčnosti objektu pomocí přídavných vlastností s cílem vyhovět rostoucím požadavkům uživatele, prodloužit provozní dobu života nebo zaměřit se na zastarávání. Činnosti tohoto procesu mohou zahrnovat vylepšení nebo doplňky hardwaru nebo softwaru, zlepšení údržby, zjednodušení postupů ke zlepšení provozní účinnosti nebo managementu zastarávání. V této etapě mohou být použity příslušné postupy modelování nebo pravděpodobnostní postupy s cílem posoudit dopad možného zdokonalování a zvolit nejlepší řešení. Při posuzování rizik během etapy zdokonalování se často hledí na náklady oproti přínosům a na návratnost investic [6].

Etapa vyřazení nastává na konci života objektu. Po ukončení používání objektu může být objekt rozebrán, přemístěn pro další použití, dán k dispozici pro opakované použití materiálu a součástí nebo v některých případech zanechán na místě (jako je potrubí). To vše má být zohledněno od etapy koncepce. U složitých objektů může být zřízena strategie oficiálního vyřazení z provozu s cílem formalizovat plánování a implementaci procesu vyřazení z provozu, aby byly splněny požadavky předpisů a nařízení. U jiných objektů mohou existovat pravidla týkající se navrácení a opakovaného používání nebo likvidace [6].

V konkrétních případech se můžeme setkat se specifickěji definovanými etapami životního cyklu, jako například [6]:

- koncepce a stanovení požadavků;
- návrh a vývoj;
- výroba a instalace;
- provoz a údržba;
- vylepšení uprostřed technického života nebo prodloužení života;
- vyřazení z provozu a likvidace.

3.2 Struktura nákladů životního cyklu

V každé etapě životního cyklu se realizují činnosti, které přispívají k nákladům vynaloženým v dané etapě. Dále jsou uvedeny typické činnosti (resp. náklady), které ovlivňují LCC v jednotlivých etapách životního cyklu.

Etapa koncepce:

- průzkum trhu;
- management projektu;
- analýza koncepce a předběžného návrhu systému;
- ověření proveditelnosti;
- příprava specifikace požadavků na systém.

Etapu vývoje:

- management projektu;
- inženýrské práce na návrhu systému včetně činností týkajících se zajištění bezporuchovosti, udržitelnosti a podporovatelnosti;
- projektová dokumentace;
- zhotovení prototypu;
- vývoj software a hardware;
- zkoušení a hodnocení;
- inženýrství a plánování vyrobitelnosti;
- volba prodejce;
- prokazování a validace prototypů;
- management rizik;
- management kvality;
- management konfigurace.

Etapu realizace:

Jednorázové činnosti/náklady:

- průmyslové inženýrství a analýza provozních operací;
- konstrukce vybavení;
- vybavení výrobními nástroji a zkušebními zařízeními;
- speciální podpůrné a zkušební zařízení;
- počáteční náhradní díly a soupravy pro opravy;
- počáteční zácvik;
- dokumentace;
- software;
- schvalovací typové zkoušky (kvalifikační zkoušky).

Opakované činnosti/náklady:

- management a inženýrství výroby;
- údržba vybavení;
- zhotovení (pracovní síly, materiál atd.);
- řízení a kontrola jakosti;
- montáž, instalace a výstupní kontrola;
- balení, skladování, expedice a přeprava;
- průběžné školení a výcvik;
- pojištění.

Etapu používání:

Provoz:

- personál a jeho výcvik;
- materiály a spotřební materiály pro provoz;
- energie (např. elektrická energie nebo palivo);

- zařízení a vybavení pro podporu (např. simulátory);
- změny konfigurace.

Údržba:

- personál a jeho výcvik;
- zařízení, vybavení a provozy pro podporu;
- smluvní služby.

Celkové zajišťování zdrojů:

- IT podpora a související informační management;
- náhradní díly a materiál;
- skladovací prostory;
- balení, manipulace, skladování, a přeprava (logistika).

Podpůrné služby:

- podnikové služby;
- administrativní podpora;
- pojištění a certifikace.

Etapa zdokonalování:

- upgrade hardware a software;
- sběr a analýza dat pro verifikaci schopností stávajícího systému a jeho režimů podpory;
- posuzování výkonnosti procesu a systému;
- vývoj plánů údržby a provozu;
- modifikace systémů pro splnění měnících se požadavků a dosažení věrohodnějších dat.

Etapa vyřazení:

- management izolace a skladování;
- demontáž a příprava na přepravu;
- recyklace a/nebo stabilizace;
- deaktivace a trvalé uložení/rozptýlení.

Případné negativní náklady (příjmy) plynoucí z:

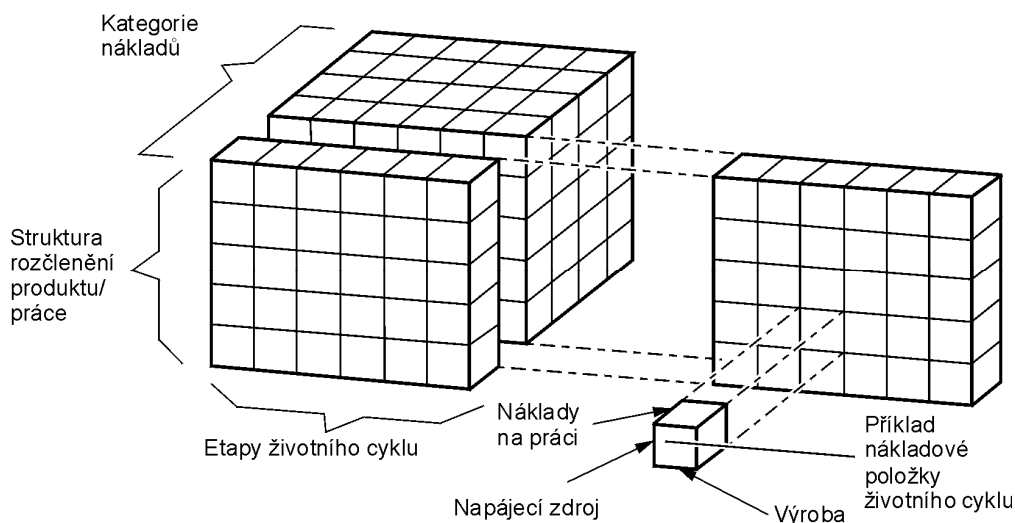
- rekultivace / recyklace;
- prodeje;
- nového využití.

3.3 Nákladové položky

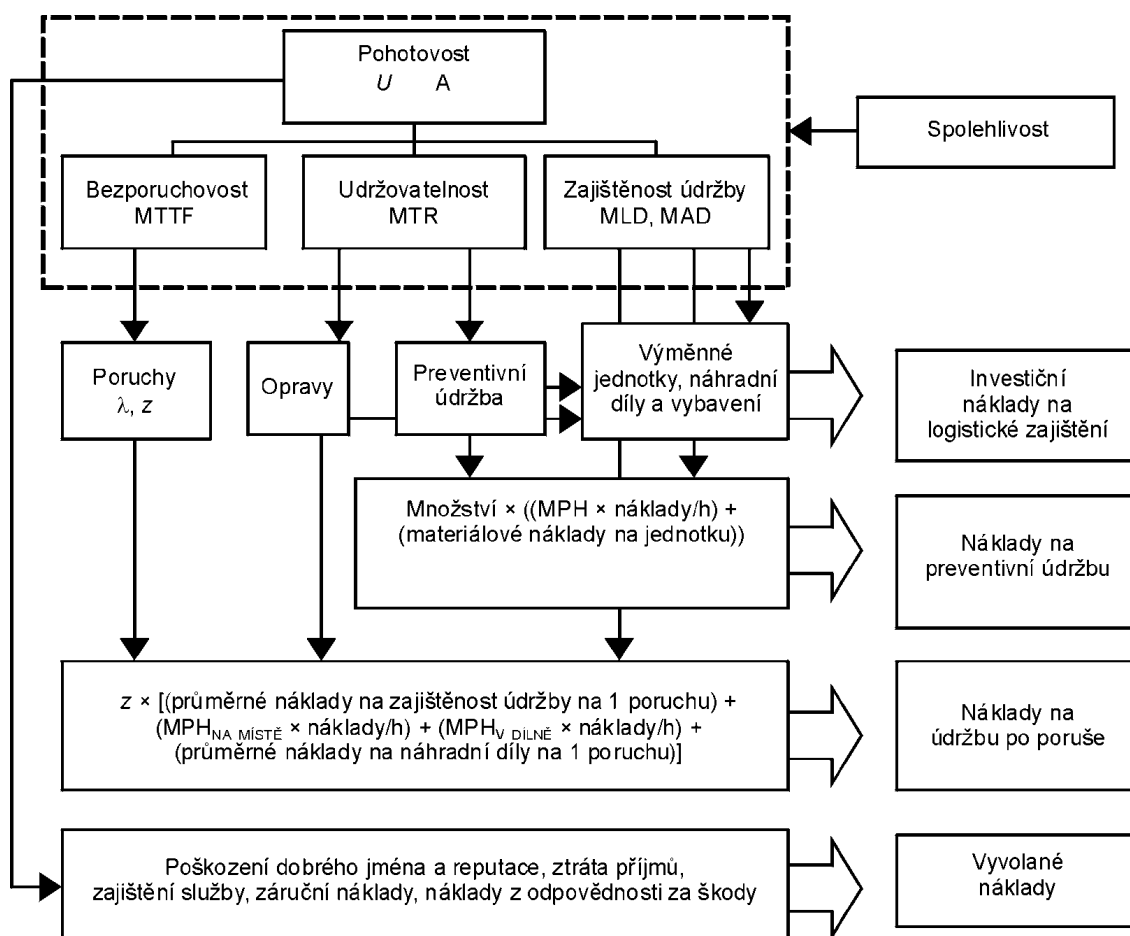
Pro potřeby analýzy LCC je vhodné rozčlenit celkové LCC na jednotlivé nákladové položky, které jsou spojnicemi mezi kategoriemi nákladů a strukturou rozčlenění produktu a práce.

Často používaným přístupem k určení nákladových položek je použití trojrozměrné matice (viz Obr. 1), do které se zahrnují následující hlediska [7]:

- rozčlenění produktu na nižší stupně rozčlenění;
- doby v životním cyklu, kdy se má práce/činnost vykonat;
- kategorie nákladů na použitelné zdroje, jako jsou pracovní síly, materiály, palivo/energie, režie, přeprava/cestovné atd.



Obr. 1: Matice rozčlenění LCC na nákladové položky [7]



Obr. 2: Vztah spolehlivosti a LCC [7]

3.4 Náklady životního cyklu související se spolehlivostí

Spolehlivost je nově definována jako schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tedy, když je to požadováno [5]. Přičemž do spolehlivosti se zahrnuje pohotovost, bezporuchovost, zotavitelnost, udržitelnost a zajištěnost údržby a v některých případech i jiné charakteristiky, jako je životnost, bezpečnost a zabezpečení.

Uvedené atributy spolehlivosti mají významný vliv na LCC, přičemž jejich vliv se v jednotlivých etapách životního cyklu liší.

Náklady související s jednotlivými atributy spolehlivosti zahrnují především [7]:

- náklady na obnovu systému, včetně nákladů na údržbu po poruše;
- náklady na preventivní údržbu;
- vyvolané náklady.

Vztah mezi spolehlivostí a LCC je znázorněn na Obr. 2.

4 Analýza nákladů životního cyklu

Analýza nákladů životního cyklu je proces ekonomické analýzy s cílem posoudit náklady na objekt v celém jeho životním cyklu nebo v jeho části [5].

Analýzu LCC lze používat v celém životním cyklu objektu nebo v některých částech nebo kombinacích různých etap životního cyklu. Základním cílem analýzy LCC je poskytovat vstupní údaje pro rozhodnutí činěná v jakékoliv etapě nebo ve všech etapách životního cyklu. Je vhodné, aby činnosti související s analýzou LCC byly součástí programu spolehlivosti.

Analýza LCC je především inženýrský a ekonomický nástroj umožňující činit manažerská rozhodnutí. Analýza LCC může být použita během životního cyklu pro podporu rozhodování o kompromisech mezi výkoností, náklady a časovým harmonogramem zejména při:

- plánování projektů;
- sestavování rozpočtu a financování;
- procesech nákupu;
- studiích proveditelnosti;
- plánování koncepce;
- výběru alternativních konstrukčních řešení;
- hodnocení zbývajících doby života objektu;
- srovnání mezi nákupem nového a renovací stávajícího objektu.

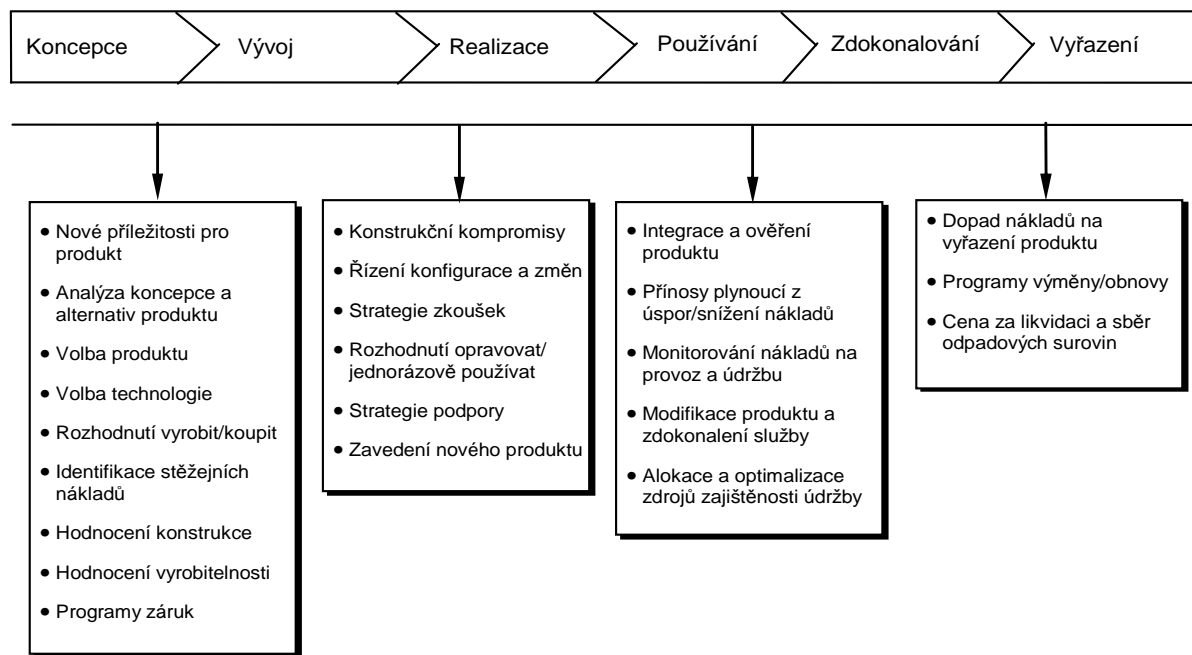
Dodavatelé používají analýzu LCC nejčastěji pro:

- optimalizaci konstrukce;
- porovnání odlišných konstrukčních řešení.

Zákazníci používají analýzu LCC nejčastěji pro:

- hodnocení a porovnávání různých (konkurenčních) variant produktů;
- hodnocení realizovatelnosti projektů.

Na Obr. 3 jsou uvedeny příklady činností, úkolů a témat, které mohou být řešeny s využitím analýzy LCC v jednotlivých etapách životního cyklu.



Obr. 3: Typické analýzy během životního cyklu [8]

Analýza nákladů životního cyklu má i jisté nevýhody:

- je časově náročná;
- je nákladná;
- má diskutabilní přesnost dat;
- získání dat pro analýzu je náročný úkol.

Proces analýzy LCC lze rozdělit do následujících hlavních kroků [8]:

- stanovení organizačních souvislostí;
- plánování analýzy;
- definování přístupu k analýze;
- provedení analýzy;
- dokončení analýzy.

Stanovení organizačních souvislostí zahrnuje zejména:

- vyjádření souvislostí;
- identifikaci alternativ.

Plánování analýzy zahrnuje:

- definování účelu a cílů analýzy;
- definování úkolů a přispívajících osob;
- identifikování omezení;
- identifikování relevantních finančních parametrů.

Definování přístupu k analýze spočívá zejména ve:

- stanovení pravidel a metod;

- volbě nebo vytvoření modelu LCC;
- definování rozčlenění LCC na nákladové položky;
- identifikování oblastí nejistot.

Provedení analýzy zahrnuje:

- stanovení metod pro odhad nákladových položek;
- sběr dat;
- agregaci nákladů na položky pro každou etapu nebo časové období;
- analýzu LCC a analýzu citlivosti;
- přezkoumání analýzy;
- vyhodnocení splnění cílů analýzy.

Dokončení analýzy zahrnuje zejména:

- identifikování navazujících činností;
- zdokumentování analýzy.

5 Modely nákladů životního cyklu

Jedním z nejdůležitějších kroků analýzy LCC je volba nebo vytvoření vhodného modelu LCC. Model má být zvolen nebo vytvořen tak, aby byly splněny cíle analýzy LCC. V dostupných normách a odborné literatuře je popsáno mnoho různých modelů LCC. Dále jsou v příspěvku popsány nejčastěji používané modely a zajímavé modely.

5.1 Model LCC založený na etapách životního cyklu

Dále popsaný model je založen na nákladech vynaložených v jednotlivých etapách životního cyklu.

Na první úrovni rozčlenění jsou náklady životního cyklu dány následujícími položkami:

$$LCC = C_C + C_D + C_R + C_U + C_E + C_{Re} \quad (1)$$

kde:

- LCC – náklady životního cyklu,
- C_C – náklady na etapu koncepce,
- C_D – náklady na etapu vývoje,
- C_R – náklady na etapu realizace,
- C_U – náklady na etapu používání,
- C_E – náklady na etapu zdokonalování,
- C_{Re} – náklady na etapu vyřazení.

Náklady na jednotlivé etapy životního cyklu jsou podrobně rozepsány v kapitole 3.2 tohoto příspěvku. Další informace o modelu lze nalézt v [7].

5.2 Model LCC založený na pořizovacích a vlastnických nákladech

Model LCC, který je založen na pořizovacích a vlastnických nákladech je jedním z nejčastěji používaných modelů LCC. Model se používá zejména pro potřeby zhodnocení ekonomické náročnosti vlastnictví produktu během jeho akvizice.

Na první úrovni jsou náklady životního cyklu dány následujícími položkami:

$$LCC = C_A + C_O \quad (2)$$

kde:

- LCC – náklady životního cyklu,
- C_A – pořizovací náklady,
- C_O – vlastnické náklady.

Pořizovací náklady zahrnují náklady z následujících etap životního cyklu:

- koncepce;
- vývoj;
- realizace.

Vlastnické náklady zahrnují náklady z následujících etap životního cyklu:

- používání;
- zdokonalování;
- vyřazení.

Lze se setkat s podrobnější variantou modelu, která je následující:

$$LCC = C_A + C_O^* + C_{Re} \quad (3)$$

kde:

- C_A – pořizovací náklady,
- C_O^* – vlastnické náklady (vyjma nákladů na vyřazení),
- C_{Re} – náklady na vyřazení.

5.3 Model LCC pro software

Model LCC pro software lze vyjádřit následujícím způsobem [3]:

$$LCC = C_{AS} + C_{SS} \quad (4)$$

kde:

- C_{AS} – pořizovací náklady na software,
- C_{SS} – náklady na podporu software.

Příčemž náklady na podporu zahrnují náklady na pracovní síly a další náklady.

5.4 Specifický model LCC souvisejících se spolehlivostí

Dosud uvedené základní modely zahrnují veškeré náklady na produkt v celém životním cyklu. V praxi se lze setkat i s modely, které zahrnují jen vybranou část životního cyklu nebo jen vybrané nákladové položky.

Při akvizicích se pro porovnávání srovnatelných produktů používají modely LCC zahrnující pouze vlastnické náklady, které jsou přímo nebo nepřímo ovlivněny spolehlivostí produktu. Cílem uvedených modelů je prostřednictvím ekonomického ukazatele – nákladů životního cyklu – umožnit „porovnání“ spolehlivosti srovnatelných produktů.

Na základní úrovni lze model vyjádřit následovně:

$$C_{OD} = C_{CM} + C_{PM} + C_{ID} \quad (5)$$

kde:

- C_{OD} – vlastnické náklady související se spolehlivostí,
- C_{CM} – náklady na údržbu po poruše,
- C_{PM} – náklady na preventivní údržbu,
- C_{ID} – vyvolané náklady související se spolehlivostí.

Podrobnější informace o uvedených nákladových položkách jsou zřejmé z Obr. 2.

6 Závěr

Příspěvek je stručným úvodem do problematiky nákladů životního cyklu (LCC). V příspěvku byly prezentovány zejména principy analýzy LCC, náklady související se spolehlivostí a nejčastější modely používané při analýze LCC.

Podrobnější informace o LCC a jejich analýze lze nalézt zejména v dostupných normách [7], [9], [10], [11] a odborné literatuře [2], [3].

7 Použité zdroje

- [1] BARRINGER, H.P. A Life Cycle Cost Summary. In *Proceedings of the International Conference of Maintenance Societies (ICOMS[®]-2003)*. Barton: Maintenance Engineering Society of Australia, 2003.
- [2] BOUSSABAIN, H.A. – KIRKHAM, R.J. *Whole Life Cycle Costing – Risk and Risk Responses*. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
- [3] DHILLON, B.S. *Life Cycle Costing for Engineers*. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [4] HOLUB, R. – VINTR, Z. *Aplikované techniky spolehlivosti – Část I: Specifikace požadavků na spolehlivost*. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2001.
- [5] ČSN IEC 60050-192. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost (Konečný návrh)*. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [6] ČSN EN 60300-1 ed 2. *Management spolehlivosti – Část 1: Návod pro management a použití*. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [7] ČSN EN 60300-3-3. *Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] IEC 60300-3-3/Ed3. *Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing (Committee draft – 56/1601/CD)*. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.
- [9] MIL-HDBK-259 (Navy). *Life Cycle Cost in Navy Acquisitions*. Washington: Department of Defense, 1983.
- [10] MIL-HDBK-276-1 (MC). *Life Cycle Cost Model for Defense Material Systems Data Collection Workbook*. Washington: Department of Defense, 1984.
- [11] TR-SAS-054. *Methods and Models for Life Cycle Costing*. Neuilly-sur-Seine: RTO/NATO, 2007.

Využití analýzy LCC pro hodnocení ekonomické výhodnosti produktů

Ing. Michal Vintr, Ph.D.

Expert na spolehlivost a bezpečnost produktů – www.mvintr.cz

mvintr@mvintr.cz

1 Úvod

Cílem příspěvku je prezentovat možnosti využití analýzy LCC při výběru ekonomicky nejvýhodnějšího produktu. Analýza LCC je použita za účelem zjištění, který produkt je výhodnější z hlediska nákladů životního cyklu. V příspěvku je podrobně popsán model LCC, který je určen pro použití odběratelem (zákazníkem) v okamžiku, kdy rozhoduje o nákupu produktu a má na výběr dvě nebo více variant srovnatelného produktu.

V příspěvku popsáný model LCC nezahrnuje celkové náklady životního cyklu, ale jen jejich účelově zvolenou část, kterou pro potřeby příspěvku nazveme srovnávací náklady životního cyklu. Model LCC zahrnuje pouze nákladové položky, jejichž výše se pro jednotlivé varianty produktu může lišit.

Cílem modelu není určit celkové LCC, ale prostřednictvím srovnávacích nákladů porovnat ekonomickou výhodnost jednotlivých (konkurenčních) variant produktu. Na prezentovaný model je třeba nahlížet jako na ukázkový, nikoliv jako na univerzálně použitelný.

Použití modelu LCC je demonstrováno na příkladu hodnocení osobního automobilu před jeho pořízením.

2 Účelový model LCC pro hodnocení ekonomické výhodnosti produktů

Na úvod je třeba zdůraznit, že dále popsáný model pro hodnocení ekonomické výhodnosti produktů neslouží k určení celkových LCC, ale k účelovému porovnání srovnatelných produktů. Některé části modelu byly převzaty z platné ČSN EN 60300-3-3 [3], případně z odborné literatury [2].

Model pro hodnocení ekonomické výhodnosti produktů vychází z obecného modelu LCC založeného na pořizovacích a vlastnických nákladech:

$$LCC = C_A + C_O \quad (1)$$

kde:

- LCC – náklady životního cyklu,
- C_A – pořizovací náklady,
- C_O – vlastnické náklady.

V okamžiku pořízení jsou **pořizovací náklady** (C_A) reprezentovány prodejní cenou, proto se jimi netřeba podrobněji zabývat. Předmětem podrobnějšího rozboru budou vlastnické náklady.

Vlastnické náklady (C_O) zahrnují náklady na etapy používání, zdokonalování a vyřazení a lze je definovat následovně:

$$C_O = C_U + C_E + C_{Re} \quad (2)$$

kde:

- C_U – náklady na etapu používání,
- C_E – náklady na etapu zdokonalování,
- C_{Re} – náklady na etapu vyřazení.

Náklady na etapu používání (C_U) lze definovat následovně:

$$C_U = C_{UO} + C_{UC} + C_{UP} + C_{UI} \quad (3)$$

kde:

- C_{UO} – náklady na provoz,
- C_{UC} – náklady na údržbu po poruše,
- C_{UP} – náklady na preventivní údržbu,
- C_{UI} – vyvolané náklady.

Vzhledem k účelu modelu nebudou dále děleny **náklady na etapu zdokonalování** (C_E) a **náklady na etapu vypořádání** (C_{Re}). Je třeba zmínit, že náklady v etapě vypořádání mohou mít charakter příjmu v případě recyklace, prodeje nebo nového využití produktu.

Obecný model LCC (1) lze poté vyjádřit pomocí následujícího účelového modelu:

$$LCC = C_A + C_{UO} + C_{UC} + C_{UP} + C_{UI} + C_E + C_{Re} \quad (4)$$

Pro potřeby hodnocení ekonomické výhodnosti produktů není bezpodmínečně nutné pracovat se všemi uvedenými kategoriemi nákladů. Dále postačuje do modelu zahrnout jen ty kategorie nákladů, jejichž výše je bezprostředně ovlivňována technickou vyspělostí produktu a úrovní jeho spolehlivosti. Výše ostatních kategorií nákladů není případnými rozdíly ve vyspělosti a spolehlivosti produktu ovlivňována. Určení kategorií nákladů, které jsou ovlivňovány a které ne, nelze provést obecně a paušálně, ale je nezbytné je v každém případě přizpůsobit charakteru konkrétního produktu.

Výsledný model poté nereprezentuje celkové LCC, ale pouze účelově vybrané části LCC, které jsou použity pro porovnání. Z uvedeného hlediska model reprezentuje srovnávací náklady životního cyklu.

Popsaný účelový model LCC lze použít pro porovnání ekonomické výhodnosti různých variant produktů. Avšak racionální je porovnávání produktů, které jsou srovnatelné. To znamená produktů stejné kategorie určených pro provoz ve stejných podmínkách.

V další kapitole je uveden příklad aplikace popsaného účelového modelu LCC při výběru osobního automobilu.

3 Příklad aplikace modelu LCC pro hodnocení osobního automobilu

3.1 Úvodní poznámky

V případě hodnocení (srovnání) osobního automobilu lze použít model popsaný v předchozí kapitole a vyjádřený vztahem (4).

Dále jsou podrobně rozebrány jednotlivé kategorie nákladů z hlediska jejich aplikovatelnosti pro osobní automobil. Jsou také definovány kategorie nákladů (tzv. „srovnávacích nákladů“), jejichž výše je bezprostředně ovlivňována technickou vyspělostí a úrovní spolehlivosti osobního automobilu.

Je nezbytné zdůraznit, že výsledný model je použitelný pro hodnocení srovnatelných automobilů. To především znamená automobilů stejné kategorie určených pro provoz ve stejných podmínkách.

3.2 Kategorie nákladů

3.2.1 Pořizovací náklady (C_A)

Pořizovací náklady jsou reprezentovány prodejní cenou automobilu, která je v okamžiku hodnocení známa.

3.2.2 Náklady na provoz (C_{VO})

Náklady na provoz zahrnují zejména náklady na:

- pohonné hmoty, energie, maziva, různé pracovní náplně, filtry, čističe apod.;
- pojištění automobilu (povinné ručení a havarijní pojištění);
- dálniční známky;
- zákonné technické kontroly a měření emisí;
- přípravu a školení obsluhy.

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů postačuje do modelu zahrnout pouze náklady na pohonné hmoty (PHM), které jsou ovlivňovány průměrnou spotřebou. Poté lze srovnávací náklady na provoz vyjádřit následovně:

$$C_{VO}^* = C_{PHM} = \frac{Q_{100}}{100} c_p t_v \quad (5)$$

kde:

- C_{VO}^* – srovnávací náklady na provoz [Kč],
- C_{PHM} – celkové náklady na PHM [Kč],
- Q_{100} – měrná spotřeba PHM [l/100 km],
- c_p – cena PHM [Kč/l],
- t_v – doba provozu do vyřazení automobilu [km].

3.2.3 Náklady na údržbu po poruše (C_{VC})

Náklady na údržbu po poruše zahrnují veškeré náklady, které souvisí se zjišťováním příčin vzniku poruch a odstraňováním jejich následků.

Zahrnujeme sem především náklady na:

- materiály spotřebované během údržby a použité náhradní díly;
- práci vynaloženou na provedení údržby;
- zařízení a vybavení dílen a školení specialistů údržby (pokud údržba po poruše není řešena outsourcingem).

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů postačuje uvažovat jen určité náklady, které jsou patrné ze vztahu pro srovnávací náklady na údržbu po poruše:

$$C_{UC}^* = \frac{t_v}{MTBF} (\bar{C}_{MCM} + \bar{t}_{CM} C_{PCM}) \quad (6)$$

kde:

- C_{UC}^* – srovnávací náklady na údržbu po poruše [Kč],
- $MTBF$ – střední doba provozu mezi poruchami [km],
- \bar{C}_{MCM} – střední náklady na materiál při údržbě po poruše [Kč],
- \bar{t}_{CM} – střední pracnost údržby po poruše [Nh],
- C_{PCM} – měrné náklady na práci při údržbě po poruše [Kč/Nh].

V dnešní době je samozřejmé, že automobily jsou prodávány i se zárukou za jakost. Zjednodušeně lze tvrdit, že během záruční doby se prodejce zavazuje bezplatně provádět údržbu po poruše. Bezplatnost je samozřejmě zdánlivá, protože racionální prodejce zahrne záruční náklady do prodejní ceny.

V případě automobilu s poskytnutou zárukou za jakost lze srovnávací náklady na údržbu po poruše vyjádřit následovně:

$$C_{UC}^{**} = \frac{t_v - t_z}{MTBF} (\bar{C}_{MCM} + \bar{t}_{CM} C_{PCM}) \quad (7)$$

kde:

- C_{UC}^{**} – srovnávací náklady na údržbu po poruše (automobil se zárukou) [Kč],
- t_z – záruční doba [km].

3.2.4 Náklady na preventivní údržbu (C_{UP})

Náklady na preventivní údržbu zahrnují veškeré náklady spojené s údržbou prováděnou ke zmírnění degradace a snížení pravděpodobnosti poruchy. Údržba se provádí v předem stanovených intervalech nebo podle předepsaných kritérií.

Zahrnujeme sem především náklady na:

- materiály spotřebované během údržby a použité náhradní díly;
- práci vynaloženou na provedení údržby;
- zařízení a vybavení dílen a školení specialistů údržby (pokud preventivní údržba není řešena outsourcingem).

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů postačuje uvažovat jen určité náklady, které jsou patrné ze vztahu pro srovnávací náklady na preventivní údržbu:

$$C_{UP}^* = \frac{t_v}{MTBM_p} (\bar{C}_{MPM} + \bar{t}_{PM} C_{PPM}) \quad (8)$$

kde:

- C_{UP}^* – srovnávací náklady na preventivní údržbu [Kč],
- $MTBM_p$ – střední doba provozu mezi preventivními údržbami [km],
- \bar{C}_{MPM} – střední náklady na materiál při preventivní údržbě [Kč],

- \bar{t}_{PM} – střední pracnost preventivní údržby [Nh],
- C_{PM} – měrné náklady na práci při preventivní údržbě [Kč/Nh].

3.2.5 Vyvolané náklady (C_{VI})

Vyvolané náklady jsou zejména náklady způsobené „nepohotovostí“ automobilu (jeho neschopností plnit požadované funkce z důvodu poruchy). Zahrnujeme sem především náklady (ztráty) související se ztrátami příjmů a dodatečnými výdaji z důvodu nemožnosti používat automobil.

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů lze tyto náklady zanedbat.

3.2.6 Náklady na etapu zdokonalování (C_E)

Náklady na etapu zdokonalování zahrnují náklady na provedení upgradů a modifikací automobilu.

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů lze tyto náklady zanedbat.

3.2.7 Náklady na etapu vyřazení (C_{Re})

Náklady na etapu vyřazení zahrnují náklady na vyřazení a likvidaci automobilu. V případě prodeje automobilu před ukončením jeho životnosti může mít tato položka charakter příjmu.

Pro potřeby hodnocení srovnatelných automobilů lze tyto náklady zanedbat.

3.3 Výsledný model LCC

Výsledný model je založen na účelovém modelu popsaném vztahem (4), avšak bere v úvahu pouze srovnávací náklady popsané v kapitole 3.2. Model srovnávacích nákladů lze vyjádřit následujícím způsobem:

$$LCC^* = C_A + C_{VO}^* + C_{UC}^* + C_{UP}^* \quad (9)$$

kde:

- LCC^* – srovnávací náklady životního cyklu [Kč],

Do vztahu (9) lze dosadit vztahy (5), (7) a (8) a získat následující podobu modelu srovnávacích nákladů:

$$LCC^* = C_A + \frac{Q_{100}}{100} c_p t_v + \frac{t_v - t_z}{MTBF} (\bar{C}_{MCM} + \bar{t}_{CM} C_{PCM}) + \frac{t_v}{MTBM_p} (\bar{C}_{MPM} + \bar{t}_{PM} C_{PPM}) \quad (10)$$

Uvedeným způsobem vyjádřené srovnávací náklady, však ještě nejsou vhodným ukazatelem pro hodnocení jednotlivých variant automobilů. U jednotlivých variant automobilů se může lišit doba provozu do vyřazení. Proto je nezbytné převést model do vhodnější podoby a vyjádřit měrné srovnávací náklady, které jsou vztaženy na jednotku provozu. Uvedený postup umožní hodnotit a porovnávat automobily s rozdílnou životností. Měrné srovnávací náklady lze stanovit dle následujícího vztahu:

$$LCC_m^* = \frac{LCC^*}{t_v} \quad (11)$$

kde:

- LCC_m^* – měrné srovnávací náklady životního cyklu [Kč/km],

Po dosažení lze výsledný model měrných srovnávacích nákladů vyjádřit následovně:

$$LCC_m^* = \frac{C_A}{t_v} + \frac{Q_{100}}{100} c_p + \left(1 - \frac{t_z}{t_v}\right) \frac{\bar{C}_{MCM} + \bar{t}_{CM} C_{PCM}}{MTBF} + \frac{\bar{C}_{MPM} + \bar{t}_{PM} C_{PPM}}{MTBM_p} \quad (12)$$

Uvedený účelový model LCC reprezentuje měrné srovnávací LCC a je použitelný pro hodnocení (srovnávání) srovnatelných osobních automobilů.

Uvedený model byl zpracován do elektronické podoby s využitím software MS Excel. Ukázka prostředí s dosaženými fiktivními hodnotami je uvedena na Obr. 1, který zobrazuje list se vstupními hodnotami a výsledky.

	A	B	C	D	E	F	G
2	VSTUPNÍ INFORMACE						
3	Předpokládaný rozsah provozu [km/rok]				20000		
4	Cena PHM [Kč/l]				33		
5							
6	Automobil 1						
7	Prodejní cena [Kč]			330 000			
8	Doba provozu do vyřazení [km]			250 000			
9	Preventivní údržba 1 [km]			25 000	Minimálně 1 x ročně	8 000	Kč
10	Preventivní údržba 2 [km]			50 000	Minimálně 1 x za 2 roky	12 000	Kč
11	Preventivní údržba 3 [km]			100 000	Minimálně 1 x za 4 roky	16 000	Kč
12	MTBF [km]			65 000	Průměrné náklady opravy	20 000	Kč
13	Měrná spotřeba PHM [l/100 km]			7,6			
14							
25	VÝSLEDKY POROVNÁNÍ						
26	Prodejní cena [Kč]			330 000			
27	PHM [Kč]			627 000			
28	Preventivní údržba 1 [Kč]			48 000			
29	Preventivní údržba 2 [Kč]			36 000			
30	Preventivní údržba 3 [Kč]			48 000			
31	Údržba po poruše (opravy) [Kč]			60 000			
32	Srovnávací náklady celkem [Kč]			1 149 000			
33							
34	Měrné srovnávací LCC [Kč/km]			4,596			
35							
36	Podíl pořizovací ceny na srovnávacích LCC			29%			

Obr. 1: Ukázka zpracování modelu v software MS Excel

4 Závěr

Příspěvek prezentoval možnosti využití analýzy LCC při výběru ekonomicky nejvýhodnějšího produktu.

V příspěvku popsany účelový model LCC je určen pro použití odběratelem (zákazníkem) v okamžiku, kdy rozhoduje o nákupu produktu a má na výběr dvě nebo více variant srovnatelného produktu.

Při tvorbě modelu LCC byla použita mnohá zjednodušení a byly přijaty předpoklady týkající se srovnávacích nákladů. Zejména z uvedených důvodů je třeba na prezentovaný model nahlížet jako na ukázkový, nikoliv jako na univerzálně použitelný.

Použití modelu LCC bylo demonstrováno na příkladu hodnocení osobního automobilu před jeho pořízením.

5 Použité zdroje

- [1] DHILLON, B.S. *Life Cycle Costing for Engineers*. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- [2] HOLUB, R. – VINTR, Z. *Aplikované techniky spolehlivosti – Část I: Specifikace požadavků na spolehlivost*. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2001
- [3] ČSN IEC 60050-192. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost (Konečný návrh)*. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [4] ČSN EN 60300-3-3. *Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

Ekonomická náročnost provozování vybraných plynárenských zařízení

Ing. Jan Kamenický, Ph.D.

Technická univerzita v Liberci

jan.kamenicky@tul.cz

1 Úvod

Moderním trendem v provozování průmyslových podniků je optimalizace zajišťování provozu a údržby provozovaných zařízení zaváděním moderních přístupů s cílem snižování nákladů. Tyto náklady je možné dělit na náklady provozní a údržbové. Provozní náklady jsou dány cenami energií a surovin, jejichž výše je předmětem obchodních jednání a není v moci technika je ovlivnit. Na druhou stranu náklady na údržbu provozovaných zařízení je možné efektivně řídit na základě detailní znalosti historie provozu a poruch jednotlivých provozovaných komponent. Přibližně od poloviny minulého století probíhá plánovaná optimalizace provozů, kde je vyžadována vysoká úroveň spolehlivosti, jako je letecký průmysl, kosmonautika nebo oblast jaderné energetiky. Techniky, vyvinuté pro sestavení plánů provozu a údržby v těchto odvětvích je možné po drobných úpravách použít i v dalších oblastech lidské činnosti. Vysoký důraz je přitom kladen na zachování stávající úrovně bezpečnosti. Problémem je často fakt, že právě stávající úroveň bezpečnosti není nikde kvantifikována, což vedlo k zavedení principů ALARA nebo ALARP.

Představovaný příspěvek se bude zabývat možnostmi kvantifikovat riziko, plynoucí z provozování plynárenských zařízení v prostředí ČR a možnostmi jeho snížení pomocí změn v údržbě. Navržené změny údržby budou analyzovány pomocí metodiky údržby zaměřené na bezporuchovost (RCM), popsané např. v [1]. V rámci příspěvku nebudou představeny pouze možnosti dosažení úspor v provozu a údržbě plynárenských zařízení, ale bude také předvedena obhajoba nemožnosti snížit stávající úroveň údržby pod určitou mez.

2 Výběr zařízení, vhodných pro zavedení prediktivní údržby

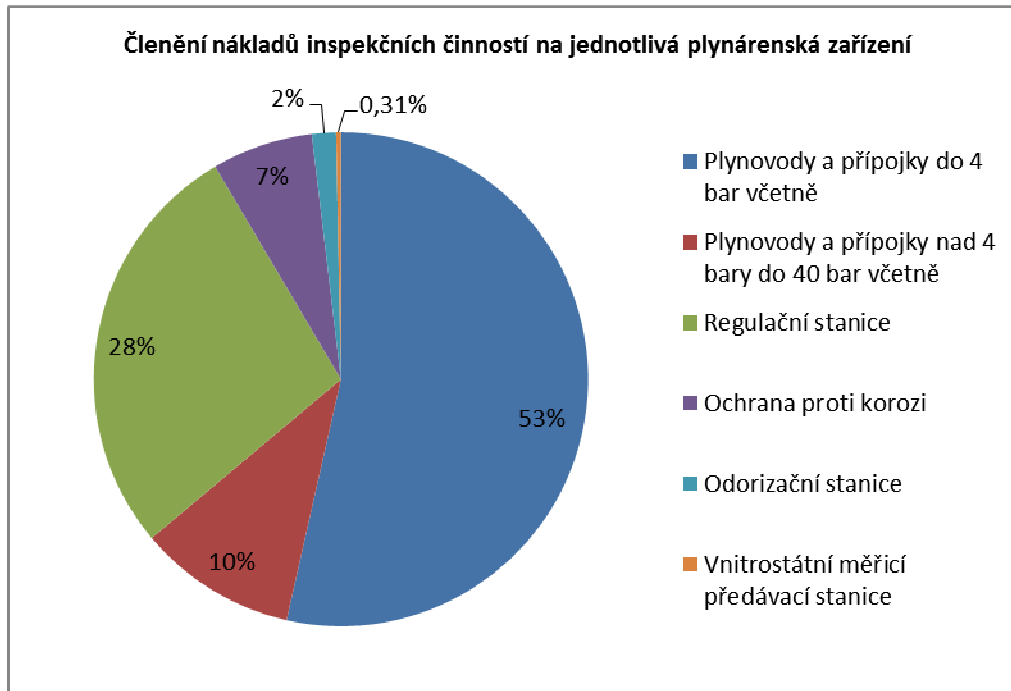
Jedním z moderních přístupů k zajištění údržby zařízení je prediktivní údržba, tj. údržba podle stavu prováděná na základě předpovědi odvozené z opakované analýzy nebo ze známých charakteristik a vyhodnocení významných parametrů degradace objektu.

Většinou není ekonomicky efektivní provádět prediktivní údržbu na kompletním provozovaném zařízení. Pro zjištění, kde se vyplatí investovat čas a peníze do optimalizace údržby, může posloužit analýza současných nákladů na provoz a údržbu zařízení podle typů. Pochopitelně tyto náklady jsou unikátní v rámci každého provozovatele. V případě velkého množství provozovaných zařízení je možné rozčlenit tato zařízení podle určitých typů, jako např.:

- rotační stroje,
- zařízení měření a regulace,
- statická zařízení,

- elektrozařízení.

Jako příklad rozdělení nákladů mohou posloužit data o rozdělení nákladů na inspekční činnosti plynárenských zařízení distribuční soustavy podle jednotlivých typů zařízení, která jsou graficky znázorněna na obrázku 1.

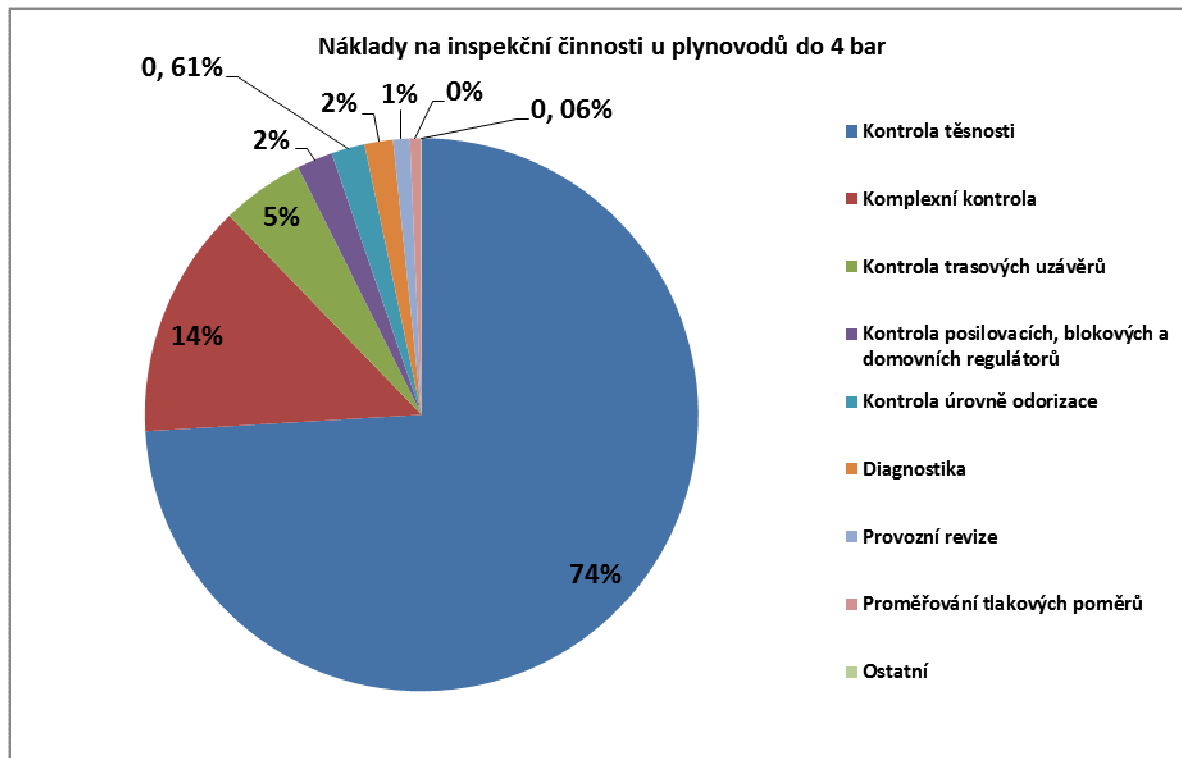


Obr. 1: Procentuální rozdělení nákladů údržby podle typů plynárenských zařízení

Jak vyplývá z uvedeného grafu, nejvyšší náklady na inspekční činnosti jsou alokovány v místních sítích. Proto se budeme ve článku věnovat zejména plynovodům a přípojkám do 4 bar. Nyní zbývá zjistit, jaké je rozložení nákladů na jednotlivé úkony údržby, prováděné v rámci inspekční činnosti. Tím analytik zjistí, kde jsou nejvyšší potenciální přínosy při změně systému preventivní údržby. Jednotlivé činnosti, prováděné na plynovodech do 4 bar, jsou dány platnou legislativou, konkrétně TPG 905 01. Pro plynovody do 4 bar, bez rozlišení, zda se jedná o PE nebo ocelové provedení, jsou zde vypsány následující činnosti:

- Kontrola těsnosti - v sídlech **1x/rok**, mimo sídla **1x/3roky**
- Kontrola nárazovou odorizací - **1x/rok**
- Kontrola úrovně odorizace, kontrola koncentrace odorantu - v místě vstupu odorantu **1x týdně**, v kontrolních bodech **1x/6měsíců**
- Komplexní kontrola – **1x/6let**
- Proměrování tlakových poměrů - podle potřeb provozovatele u vybraných plynovodů **1x/rok**
- Kontrola posilovacích, blokových a domovních regulačních zařízení **1x/rok**
- Kontrola nastavení výstupního tlaku a pojistných zařízení u posilovacích, blokových a domovních regulačních zařízení - **1x/5 let**
- Diagnostika
- Kontrola ochrany proti korozi

Pokud se budeme zabývat procentuální rozložením nákladů na jednotlivé činnosti, zjistíme, že téměř ¾ nákladů činí náklady na kontrolu těsnosti. To je očekávané zjištění, protože případný únik způsobí nejvyšší následky. Detailní pohled na rozložení nákladů na inspekce u plynovodů do 4 bar viz obrázek 2.



Obr. 2: Procentuální rozložení nákladů na inspekční činnosti u plynovodů do 4 bar

Nyní máme přehled o rozložení nákladů v provozovaném zařízení a můžeme přistoupit k vlastní analýze údržby. Prvním krokem je stanovení přijatelné míry rizika, což je manažerské rozhodnutí. Další kroky jsou již technického rázu, jedná se o stanovení současné úrovně rizika z provozování zařízení a posledním krokem bude nalezení opatření k snížení úrovně rizika.

3 Prediktivní údržba

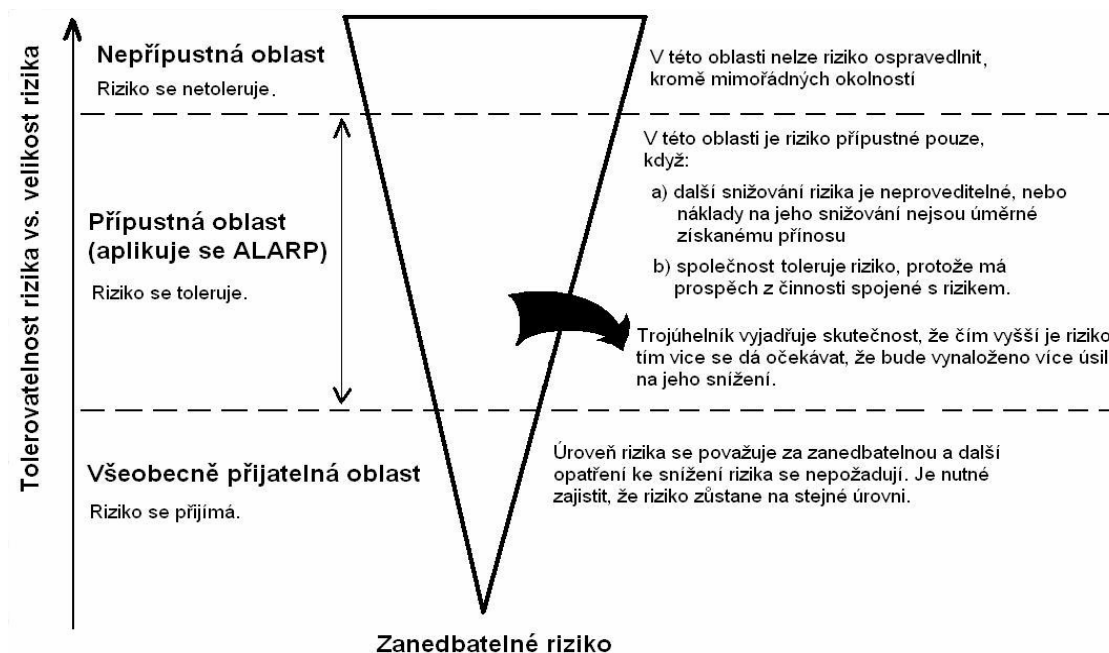
Prediktivní údržbou rozumíme takový systém údržby, kdy aktivně využíváme znalosti o podmínkách provozování a historii poruch udržovaných zařízení. Pro její zavedení do praxe je třeba dodržet dva základní aspekty - přijatelnou úroveň rizika a ekonomickou efektivitu nového systému údržby.

3.1 Stanovení přijatelnosti rizika

Ve světě je riziko a jeho přijatelnost hodnoceno rozdílně. V této kapitole bude podán stručný přehled o metodách, používaných v průmyslové praxi.

Zásada ALARP (Velká Británie, Nizozemí, ...)

ALARP - As Low As Reasonably Practicable: Riziko musí být tak nízké jak je rozumně proveditelné. Princip této zásady je uveden na obrázku 3.

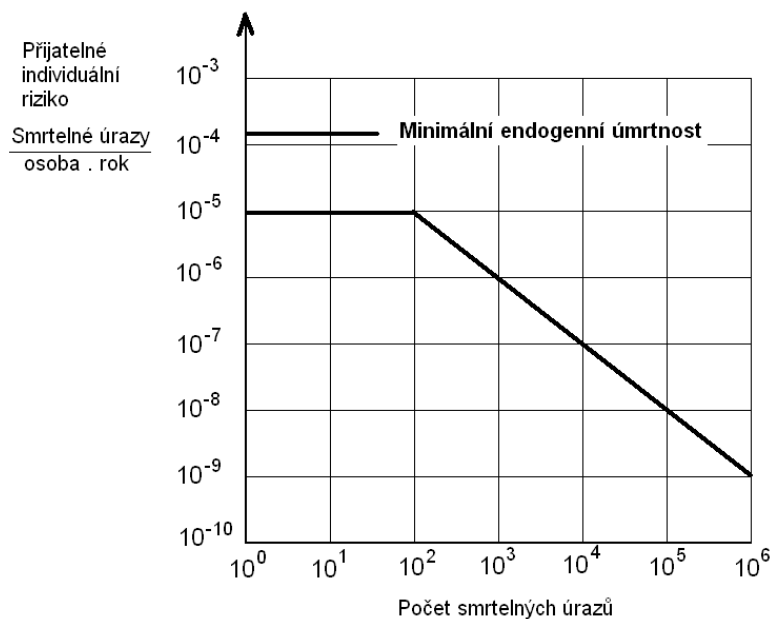


Obr. 3: Zásady metody ALARP

Princip je přejet do řady technických norem. Je popsán např. v ČSN EN 61508-5. **Neuvádí se však žádná hodnota přípustného rizika.** V praxi se horní mez rizika stanovuje pod hranicí nejnižší endogenní (přirozené) úmrtnosti a dolní mez rizika na úrovni úmrtnosti z přírodních jevů. Riziko je v tomto případě vyjadřováno jako roční četnost úmrtí vztážené na 1 osobu.

Zásada MEM (Německo)

Zásada MEM (Minimum Endogenous Mortality) vychází z přístupu, že nové zařízení nesmí výrazně zvýšit endogenní úmrtnost (tj. úmrtnost z přirozených příčin). Tento přístup je popsán např. v ČSN EN 50126, příloha D. 3 a CLC/TR 50126-2. Nejnižší endogenní úmrtnost vykazují děti ve věku 5 – 15 let a má hodnotu $2 \cdot 10^{-4}$ osoba⁻¹.rok⁻¹. Úmrtnost ze selhání technických zařízení by měla být pod touto hodnotou. A protože se předpokládá, že každý jedinec je ohrožen paralelně 20 různými technickými systémy, je na technický systém kladen požadavek, že pravděpodobnost úmrtí jednotlivce (individuální riziko) by mělo být menší než $1 \cdot 10^{-5}$ osoba⁻¹.rok⁻¹. Zásada MEM též zohledňuje hledisko přijatelnost rizika většího počtu usmrcených a zraněných, viz obrázek 4.



Obr. 4: Přípustnost rizika dle MEM

Při výpočtu rizika se uvažují kromě usmrcených i těžce a lehce zranění. K dispozici je přečítávací koeficient podle vztahu: 1 úmrtí = 10 těžkých zranění = 100 lehkých zranění.

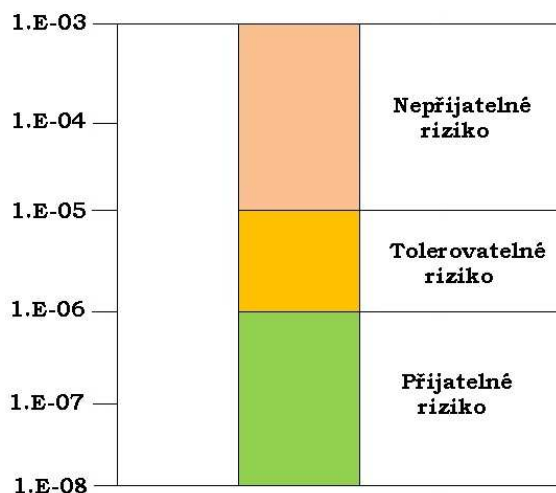
Metodický pokyn MŽP ČR

V podmínkách České republiky existuje metodický pokyn, zabývající se přijatelností rizik. Je třeba si uvědomit, že uvedené přístupy jsou zaměřeny pouze na riziko spojené s poškozením zdraví a života osob a nepokrývají ekonomické aspekty přijatelnosti rizika. Pro tuto oblast existují 2 kritéria přijatelnosti rizika:

- hodnota individuálního rizika,
- hodnota společenského rizika.

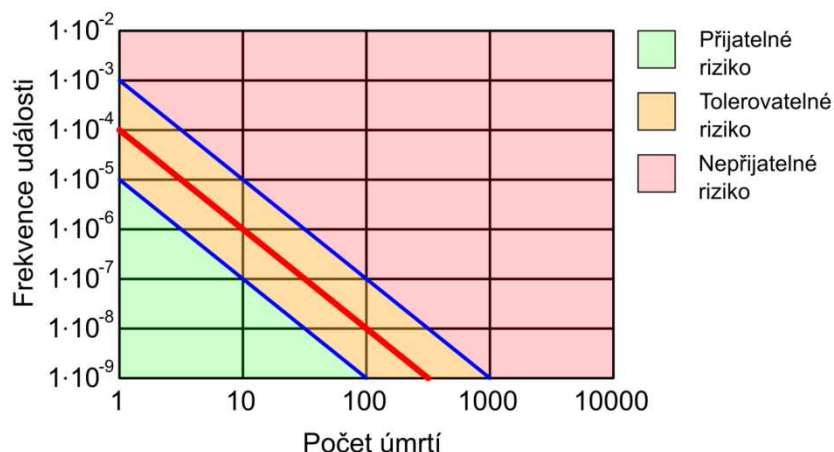
Individuální riziko je riziko pro osobu v určitém místě v blízkosti zdroje rizika (individuální fatalita, individuální riziko zranění, individuální riziko obdržení nebezpečné toxické dávky). Mělo by být doplněno časovým úsekem, ke kterému se tato míra vztahuje. Individuální riziko nezávisí na hustotě populace v okolí zdroje rizika.

Společenské (skupinové) riziko je riziko, kterému je vystavena skupina lidí ovlivněných událostí (postižených následky havárie). Je vyjádřeno jako vztah mezi frekvencí události a počtem lidí, kteří budou určitým způsobem poškozeni. Společenské riziko závisí na rozdělení populace v okolí zdroje rizika.



Obr. 5: Přijatelnost individuálního rizika podle metodického pokynu MŽP ČR

Základní přístup k hodnocení přijatelnosti rizika v ČR vychází metodického pokynu Ministerstva životního prostředí (MŽP) [2]. Riziko je zde děleno na individuální a společenské a jeho přijatelnost je zobrazena na obrázku 5 a 6.



Obr. 6: Přijatelnost společenského rizika podle metodického pokynu MŽP ČR

Společenské riziko se hodnotí jako funkce dvou proměnných – frekvence a následků vyjádřených druhou mocninou úmrtí. Kritérium přijatelnosti lze pak přijmout např. jako hodnotu uprostřed intervalu tolerance, která je vyznačena červenou linií.

Metodický pokyn MŽP však tato kritéria uvádí jako teoretické příklady a nelze je tedy považovat za závazná. Navíc může při aplikaci kritéria společenského rizika pro krajní případ, kdy se jedná o úmrtí jedné osoby, dojít k rozporu s kritériem individuálního rizika.

Kritéria přijatelnosti rizika je proto třeba aplikovat pro údržbu PZ s porozuměním principům hodnocení rizika, kdy je třeba brát ohled i na rozsah (velikost) a strukturální složitost PZ a dobu vystavení riziku. Tyto aspekty výše uvedená kritéria rizika implicitně zahrnují. Při

kvantifikaci rizika v podobě potřebné pro optimalizaci údržby PZ však je tyto aspekty explicitně vyjádřit. Jejich explicitnímu vyjádření se pak věnují příslušné postupy RCM.

3.2 Určení stávající úrovně rizika

V rámci provádění metodiky RCM je jedním z prvních kroků stanovení současné úrovně rizika provozování analyzovaného zařízení. Tímto rizikem jsou myšleny celkové náklady na provoz a údržbu zařízení za jednotku času, typicky za jeden rok. Za výchozí úroveň ekonomičnosti provozu je pokládán ustálený provozní stav zařízení, proto se do analýzy RCM neuvádějí náklady na standardní provozní události, jako např. spotřeba energie, náklady na obsluhu atp. Předmětem optimalizace prediktivní údržby jsou poruchy zařízení. U nich se analyzují rozdíly nákladů oproti nákladům na ustálený provoz. Do těchto nákladů poruchy vstupuje:

- ušlý zisk - ztráta z prodeje výrobků, nevyrobených v čase poruchy,
- náklady na energie, spotřebované nad rámec běžného provozu,
- materiálové náklady na odstranění poruchy,
- náklady na práci pracovníků údržby, odstraňujících poruchu,
- ocenění poškození zdraví a života osob, vzniklého v důsledku poruchy,
- ocenění poškození životního prostředí,
- ostatní náklady, vzniklé v souvislosti s poruchou.

Všechny tyto náklady musí být převedeny na jednotnou stupnici, nejčastěji se jedná o peněžní vyjádření. Obtížné je vyjádření poškození zdraví a života osob a environmentu ve finančním měřítku.

Riziko je obecně funkcí dvou faktorů - následků nežádoucí události a četnosti jejího nastoupení. Složka následků byla popsána výše; četnost nastoupení poruchy je možné odhadnout z historie provozování nebo na základě zkušeností s provozováním podobných typů zařízení.

3.3 Snížení rizika

Po detailním nadefinování nákladů na současný stav provozu a údržby jednotlivého konkrétního zařízení je možné přistoupit k optimalizaci těchto nákladů. Matematické vyjádření optimalizačního procesu lze shrnout do vztahu

$$MEI = \frac{R_{NO} - R_{UO}}{N_{PU}} = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} > 1 \quad (1)$$

$$MEI = \frac{R_{NO} - R_{UO}}{N_{PU}} = \frac{\frac{N_F}{MTBF_{NO}} - \frac{N_F}{MTBF_{UO}}}{N_{PU}} > 1 \quad (1)$$

kde je:

MEI index efektivnosti údržby [1]

R_{NO} riziko neudržovaného objektu (bez preventivní údržby) [Kč.rok⁻¹]

R_{UO} riziko udržovaného objektu (s preventivní údržbou) [Kč.rok⁻¹]

N_F	následky poruchy ve finančním ocenění [Kč]
N_{PU}	náklady na preventivní údržbu [Kč.rok ⁻¹]
$MTBF_{NO}$	střední doba mezi poruchami neudržovaného objektu [rok]
$MTBF_{UO}$	střední doba mezi poruchami udržovaného objektu [rok]

Celý proces optimalizace spočívá ve snaze navrhnout takovou údržbu, při které by index efektivity údržby přesáhl hodnotu 1. V takovém případě je totiž rozdíl rizika z provozování zařízení před optimalizací a po optimalizaci vyšší, než jsou náklady na preventivní údržbu, kterou je tohoto snížení rizika dosaženo. Jinými slovy, prostředky vynaložené na údržbu zařízení se investorovi vrátí. Je třeba mít na paměti, že provádíme optimalizaci celého procesu provozu a údržby, a proto je možné, že v jednotlivých oblastech péče o zařízení budou náklady po optimalizaci vyšší, ovšem toto bude vyváženo razantnějším snížením nákladů v jiné oblasti. Pro snazší pochopení celého postupu optimalizace poslouží případové studie RCM, provedené na plynárenských zařízeních v ČR v rámci Studie posouzení pracovního provozování plynárenských zařízeních v letech 2011 a 2012.

4 Výsledky RCM

V rámci optimalizace údržby byly vypracovány vzorové analýzy na tato plynárenská zařízení:

- Regulační stanice Dolní Chabry I (PPD),
- Plynovod a přípojky do 4 bar z PE a oceli (RWE DSO),
- Plynovod a přípojky od 4 do 40bar od trasového uzávěru Obora – Vimperk (E. ON),
- Turbosoustrojí kompresní stanice Kouřim (Net4Gas).

Všechny uvedené analýzy vycházely ze společného nastavení parametrů ekonomického modelu, a to z důvodu ochrany citlivých dat jednotlivých plynárenských společností. Proto byla hodinová sazba všech pracovníků uvažována ve výši 650 Kč/h, poškození zdraví a života osob i poškození životního prostředí bylo ohodnoceno logaritmickou stupnicí, kdy následující stupeň poškození je 10x horší, než předchozí. Rovnice výrobních ztrát, tedy ohodnocení finančních ztrát provozovatele z neprovozování zařízení v důsledku poruchy, byla nastavena jako nulová. Přehled nastavení ekonomického modelu je uveden na obrázku 7.

Parametry ekonomického modelu

Mzdy:

	Název profese	Sazba (CZK/h)
1.	Pochuzkar	650
2.	Udrzbar	650
3.	Specialista	650
4.		0
5.		0
6.		0

Potvrdit

Zrušit

Vliv na bezpečnost práce:

Stupeň	Škody (CZK)
0 žádná zranění	0
1 lehká disfunkce	1000
2 střední disfunkce	10000
3 těžká disfunkce	100000
4 úmrtí jedince	1000000
5 četná úmrtí	10000000

Vliv na životní prostředí:

Stupeň	Škody (CZK)
0 žádné následky	0
1 lehké postižení ŽP	1000
2 střední postižení ŽP	10000
3 těžké postižení ŽP	100000
4 lokální následky	1000000
5 globální následky	10000000

Obr. 7: Ekonomický model vzorových analýz RCM

Následující tabulka udává počet položek a počet módů poruch, které byly v rámci analýz RCM na jednotlivých typech zařízení analyzovány.

Tab. 1: Počet analyzovaných položek a módů poruch dle typu plynárenského zařízení

Položka		Počet komponent	Počet módů poruch
Registr - položky pro RCM celkem		8	33
Typ zařízení	Kompresní stanice	4	17
	Plynovod do 4 bar ocel	1	2
	Plynovod do 4 bar PE	1	3
	Plynovod 4-40 bar	1	5
	Regulační stanice	1	6

U plynovodu do 4 bar v provedení ocel byl předmětem analýzy 2 km dlouhý průměrný úsek potrubí. U plynovodu do 4 bar v provedení PE byl předmětem analýzy 2 km dlouhý průměrný úsek potrubí. U plynovodu 4-40 bar byl předmětem analýzy 50 km dlouhý konkrétní úsek potrubí DN150 mezi obcemi Obora a Vimperk.

Dále bude uveden seznam módů poruch pro jednotlivé typy zařízení, včetně uvedení stávající a optimalizované preventivní a havarijní údržby.

Kompresní stanice

Vzhledem k rozsáhlosti kompresní stanice Kouřim bylo pro vzorovou analýzu RCM vybráno pouze jedno turbosoustrojí, které bylo dále rozděleno na 4 technická místa. Seznam módů poruch a jim příslušejících úkonů údržby je uveden v tabulce 2.



Tab. 2: Seznam stávajících a doporučených úkonů údržby podle módů poruch pro kompresní stanici

Technické místo	Mód poruchy	Stávající údržba		Optimalizovaná údržba	
		Typ údržby	Interval údržby	Typ údržby	Interval údržby
Topný plyn	Koroze na ovládacím vzduchu	Kontrola	10 let	Kontrola	10 let
				Pravidelné čištění	1 rok
	Koroze na plynové straně	Kontrola	10 let	Kontrola	10 let
				Pravidelné čištění	1 rok
	Porucha MaR	Metrologie, kalibrace	1 rok	Metrologie, kalibrace	1 rok
Výměna na základě stavu		5 let	Výměna na základě stavu	5 let	
Selhání zapalovače	RTF ¹		Preventivní výměna	1 rok	
Spalovací turbína	Porucha hlídače plamene	Kontrola	6 měsíců	Kontrola	6 měsíců
	Poškození lopatek	RTF		RTF	
	Únik z ucpávky	RTF		RTF	
	Vibrace	Vibrodiagnostika	1 rok	Vibrodiagnostika	1 týden
		Oprava na základě stavu	20 let	Oprava na základě stavu	20 let
Zanesení lopatek	Čištění ²	1 rok	Čištění	1 rok	
Sání, výfuk, chladič oleje	Netěsnost	RTF		RTF	
	Porucha komínové klapky	Pravidelná pochůzka	1 měsíc	Pravidelná pochůzka	1 měsíc
		Oprava na základě stavu	5 let	Oprava na základě stavu	5 let
Porucha ventilátoru	Domazávání ložiska	1 měsíc	Domazávání ložiska	1 měsíc	
Turbodmychadlo	Porucha čidla	Metrologie, kalibrace	2 roky	Metrologie, kalibrace	2 roky
	Porucha MaR	RTF		RTF	
	Únik oleje	Pravidelná pochůzka	1 směna	Pravidelná pochůzka	1 směna
		Oprava na základě stavu	10 let	Oprava na základě stavu	10 let
	Únik z ucpávky	RTF		RTF	
Vnější netěsnost	RTF		RTF		

¹ RTF - z angl. Run To Failure - tzv. systém údržby po poruše

² Jedná se o čištění tzv. „skořápkováním“, které se provádí za provozu turbosoustrojí a bez nutnosti jeho rozebírání. Čištění se provádí v závislosti na provozních hodinách stroje.

Z tabulky je vidět, že změna v systému údržby nastala pouze ve čtyřech případech. Těm se budeme věnovat podrobněji, protože právě na těchto případech je možné demonstrovat optimalizační proces.

Na systému topného plynu byla proti módu poruchy „Koroze na ovládacím vzduchu“ navržena údržba „Pravidelné čištění“. Četnost provádění této údržby byla stanovena na 1x za rok. Provádění pravidelného čištění potrubí a armatur ovládacího vzduchu bude mít podle týmu odborníků na údržbu turbosoustrojí kompresní stanice za následek zvýšení střední doby mezi jednotlivými výskyty koroze z 1 roku na 3 roky. Protože stouply náklady na pravidelnou údržbu z 360 Kč/rok na 3.960 Kč/rok, ale zároveň klesly náklady na havarijní údržbu z 15.250 Kč/rok na 5.083 Kč/rok, celkové náklady na preventivní a havarijní údržbu (tedy náklady provozovatele na provoz a údržbu zařízení) klesly o 6.567 Kč ročně.

De facto stejná situace jako v případě koroze na ovládacím vzduchu nastala v případě módu poruchy „Koroze na plynové straně“. Finanční částky, vynakládané na údržbu byly sice rozdílné, ale mechanismus snížení celkových nákladů byl shodný, nebudeme se tedy tímto případem dále zabývat.

Dalším místem, kde došlo k úsporám na údržbě, je mód poruchy „Selhání zapalovače“, opět na subsystému „Topný plyn“. V současnosti se proti této poruše neprovádí žádná preventivní údržba, což má za následek selhání zapalovače a nezapálení hořáku spalovací komory v průměru jednou za 2 roky. Náklady na odstranění poruchy a opakované zapálení hořáku činí 12.800 Kč, celkem se tedy dopočítáme ke stávající úrovni rizika módu poruchy „Selhání zapalovače“ ve výši 6.400 Kč/rok. V rámci diskuze týmu RCM byla namodelována myšlenka provádět preventivní výměnu zapalovače každý rok, což by podle vyjádření týmu mělo vést k poruše a tedy nezapálení hořáku v požadovaném okamžiku s nižší frekvencí, než je tomu v současnosti. Střední doba mezi těmito poruchami byla odhadnuta na 10 let, oproti stávajícím dvěma letům. Náklady na výměnu hořáku jsou 1.150 Kč, výměna se provádí každý rok a vede ke snížení rizika z poruchy zapalovače ze stávajících 6.400 Kč/rok na 1.280 Kč/rok. Celkové náklady na preventivní a havarijní údržbu pro mód poruchy „Selhání zapalovače“ tedy klesly ze současných 6.400 Kč/rok na 2.430 Kč/rok, což představuje úsporu ve výši 3.970 Kč.

Poslední modifikací, navrženou v rámci vzorové analýzy turbosoustrojí kompresní stanice Kouřim, byla změna intervalu vibrodiagnostiky spalovací turbíny z 1x ročně na 1x týdně. Tento krok sice vede k navýšení nákladů na vibrodiagnostiku z 10.400 Kč/rok na 101.400 Kč/rok, ovšem je převážen snížením četnosti nastoupení poruchy spalovací turbíny z 1x za 50 let na předpokládaných 1x za 100 let. Tato úspora činí pro provozovatele cca 300.000 Kč/rok, celkové úspory po zavedení čtenějších vibrodiagnostických měření by tedy dosáhly cca 200.000 Kč/rok.

Plynovod do 4 bar v provedení PE

V případě analyzovaného úseku plynovodu se nepředpokládají tak výrazné úspory, jako v případě kompresní stanice, což je dáno nižšími celkovými náklady na analyzovaný úsek. Je třeba si uvědomit, že RCM bylo v tomto případě prováděno na průměrný, 2 km dlouhý úsek plynovodu.

V rámci analýz byly vyspecifikovány 3 dominantní módy poruch, které na PE plynovodech a přípojkách do 4 bar nastávají. Jedná se o:

- nadzemní poruchu typu neúnik,
- únik plynu v zemi na potrubí,

- únik pod HUP.

Na plynovodech a přípojkách v provedení PE samozřejmě mohou nastat i jiné způsoby poruch, ovšem v první fázi tvorby dynamického plánu údržby pomocí RCM není ekonomicky efektivní se jimi zabývat, protože znalosti o těchto výjimečných poruchách jsou nízké a jak následky, tak četnost jejich nastoupení je značně individuální.

Analýza úkonů údržby začíná specifikací stávajících údržbových úkonů. Jejich přehled podává tabulka 3.

Tab. 3: Seznam stávajících úkonů údržby podle módů poruch pro PE plynovod do 4 bar

Mód poruchy	Stávající údržba	
	Typ údržby	Interval údržby
Nadzemní porucha typu neúnik	Kontrola těsnosti ³	1 rok
	Komplexní kontrola	6 let
Únik plynu v zemi na potrubí	Kontrola těsnosti	1 rok
	Komplexní kontrola	6 let
Únik pod HUP	Kontrola těsnosti	1 rok

Na příkladu plynovodu a přípojek v provedení PE do 4 bar budeme demonstrovat problém, jak rozdělit údržbový úkon, který je vykonáván souběžně za účelem prevence více módů poruch. V uvedeném případě se jedná o údržbový úkon „kontrola těsnosti“. V průběhu této činnosti se provádí úkony, které předcházejí všem třem výše uvedeným módům poruch. Rychlost kontroly těsnosti je cca 4,5h/km, uvažovaný úsek má délku 2km, tzn. čas, strávený prací na kontrole těsnosti celkem je uvažován v délce trvání 9 hodin.

Rozdělení úkonu údržby „kontrola těsnosti“ bylo provedeno na základě znalostí pracovníků údržby následovně:

- 60% času je zaměřeno proti únikům v zemi - 6 hodin,
- 30% času je zaměřeno proti únikům nad zemí - 2 hodiny,
- 10% času je zaměřeno proti poruchám nadzemních částí - 1 hodina.

Nyní je možné přikročit k optimalizaci intervalů činností podle jednotlivých módů poruch, ovšem je třeba mít stále na paměti, že pracovník údržby provádí všechny dílčí úkony v jeden čas, tedy že pokud bychom např. změnili interval údržby, zaměřené proti poruchám nadzemních částí na 1x za 2 roky, nebude výsledkem úspora jedné návštěvy pracovníka údržby, protože ten bude na místě přítomen kvůli údržbovému úkonu, zaměřenému proti únikům v zemi a nad zemí, pouze celková doba provádění údržby bude nižší.

Dalším problémem při volbě intervalu údržbových zásahů je možnost progresivního vývoje poruchy. To znamená, že pokud bude porucha odstraněna např. do jednoho roku, její následky budou zásadně nižší, než pokud bude doba do odstranění poruchy 2 roky. Jedná se zejména o poruchy typu únik, kdy lze s úspěchem předpokládat rozvoj poruchy a tím mimo jiné i vyšší hodinový únik plynu, což se promítne na následcích poruchy. Příkladem může být tabulka 4, která porovnává, jaké se předpokládají následky poruchy za předpokladu každoroční kontroly těsnosti a kontroly těsnosti v intervalu 1x za 3 roky. Při zavádění doporučených změn do praxe je třeba dbát platných legislativních omezení.

³ Termínem „kontrola těsnosti“ je zde chápán soubor údržbových úkonů, které se provádějí souběžně a jejichž dominantní náplní je kontrola těsnosti plynárenských zařízení, ale jejich detailní rozdělení je uvedeno pomocí odrážek v této kapitole.

Tab. 4: Přehled změn v nákladech na poruchu za předpokladu změny intervalu údržby

Náklady poruchy při intervalu údržby 1 rok	Náklady poruchy při intervalu údržby 3 roky
únik plynu 100 m ³ = 1.500 Kč	únik plynu 300 m ³ = 4.500 Kč
zemní práce 50.000 Kč	zemní práce 60.000 Kč
následky na BOZP = 1.000 Kč	následky na BOZP = 10.000 Kč
následky na životní prostředí = 1.000 Kč	následky na životní prostředí = 10.000 Kč
práce specialisty 10 hodin = 6.500 Kč	práce specialisty 12 hodin = 7.800 Kč
celkem rozdíl ve zbytkovém riziku = 32.300 Kč	

Progresivní vývoj poruchy je vyjádřen nejen vyššími náklady na zemní práce a ztrátu z uniklého plynu do atmosféry, za zmínku určitě stojí vyšší ohodnocení potenciálního vlivu úniku plynu na zdraví a bezpečnost osob a na životní prostředí.

Pro vyhodnocení efektivnosti změny intervalu údržby by bylo potřeba znát ještě cenu provádění údržby a četnost nastoupení poruchy typu únik, resp. změnu četnosti nastoupení poruch při změně intervalu provádění údržby.

5 Shrnutí

Rozhodnutí o změně systému údržby je závažným manažerským úkolem, pro který je nezbytné mít připravené podklady. Možným pohledem na řízení údržby je metodika údržby zaměřené na bezporuchovost (RCM), která je jednou z možností zavádění prediktivní údržby. Tato metodika pracuje na principu ekonomicky orientovaného rozhodování o provedení změn v údržbě a vyhodnocení jejích dopadů na provoz zařízení, včetně vlivu údržby na bezpečnost osob a životní prostředí.

Představený text poskytl pohled na problematiku údržby plynárenských zařízení z ekonomického hlediska, ovšem s akceptováním názorů odborníků na provoz a údržbu plynárenských zařízení. Optimalizace údržby je vlastně úlohou řízení rizika a jak je zřejmé i z představených problémů, nejedná se o snadný úkol. Problémem je zejména množství navzájem se ovlivňujících vstupů do analýzy, proto je vhodné pro úspěšné zvládnutí návrhu systému údržby použít vhodný SW nástroj.

6 Literatura

- [1] ČSN EN 60300-3-11: Management spolehlivosti - Část 3-11: Pokyn k použití - Údržba zaměřená na bezporuchovost.
- [2] Metodický pokyn odboru environmentálních rizik Ministerstva životního prostředí pro postup při zpracování dokumentu „Analýza a hodnocení rizik závažné havárie“ podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií. Věstník MŽP, ročník XVII., částka 3, březen 2007.
- [3] KAMENICKÝ, Jan. Prediktivní údržba vybraných plynárenských zařízení. Plyn: Odborný měsíčník pro plynárenství. Praha: A.L.L. Production. ISSN 0032-1761, 2013, č. 6.

Predikce ekonomických následků závažných průmyslových havárií

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Technická 2896/2, 616 69 Brno
kotek.l@fme.vutbr.cz

1 Úvod

Prevence závažných havárií je významným tématem bezpečnostního inženýrství již více než čtyřicet let. Po sérii významných haváriích, ke kterým došlo v 70. letech 20. století, se pozornost směřuje zejména na snížení následků na život a zdraví zaměstnanců a obyvatel v okolí průmyslových podniků a na ochranu životního prostředí (zejména na povrchové a podzemní vody a půdy).

Přesto asi nejvýznamnějším motivačním faktorem, který soustředí pozornost vrcholového vedení na prevenci havárií, jsou významné ekonomické následky, které mohou zcela ochromit fungování společnosti, v níž k nehodě došlo; případně může dojít i k ukončení její činnosti. Legislativa, která řeší problematiku prevence závažných havárií, se proto zaměřuje i na prevenci materiálních škod a omezeních ekonomických následků.

Tento článek představuje některé základní principy predikce ekonomických následků závažných průmyslových havárií.

2 Přehled ekonomických důsledků závažných průmyslových havárií

Nejvýznamnější závažné havárie, ke kterým došlo v průmyslových podnicích, nejen způsobily významné škody na zdraví a životech zaměstnanců a okolních obyvatel a životním prostředí, ale také představovaly významné ekonomické následky. Ty lze definovat jako celkové ekonomické náklady spojené s likvidací následků průmyslové havárie, které nejsou spojeny s kompenzací za ztráty na životech, poškození zdraví a ekologickou újmou.

Ve zprávách z vyšetřování průmyslových havárií, případně v databázích havárií (např. eMARS – Major Accident Reporting System, ARIA – Retour d'expérience sur accidents technologiques, MHIDAS – Major Hazard Incident Data Service), lze dohledat informace o finančních nákladech havárií.

V následující tabulce je umístěn přehled několika významných havárií, u kterých jsou vyhodnoceny finanční náklady. Pro potřeby tohoto článku byly nominální náklady přepočítány na reálné náklady 2015 (s využitím veličiny HDP deflátor (GDP deflator), která bere v úvahu růst hrubého domácího produktu).

Tabulka 1: Přehled finančních následků vybraných závažných havárií

Místo	Datum havárie	Počet fatálně zraněných / zraněných	Náklady ₂₀₁₅ [mil USD]	Zahrnuty ztráty z přerušení výroby
Pampa, USA	14. 11. 1987	4/34	600	Ano
Norco, USA	7. 3. 1989	7/48	440	Ne
Pasadena, USA	23. 10. 1989	23/314	2 207	Ano
La Mede, Francie	11. 9. 1992	6/38	694	Ano
Sodegaura, Japonsko	16. 10. 1992	10/7	260	Ne
Bintulu, Malajsie	25. 12. 1997	0/12	492	Ano
Mína Al-Ahmadi, Kuvajt	25. 6. 2000	5/50	837	Ne
Toulouse, Francie	21. 9. 2001	29/2530	694	Ano
Siakda, Alžírsko	19. 1. 2004	27/74	960	Ne
Sendai, Japonsko	11. 3. 2011	0/0	613	Ne
La Plata, Argentina	2. 4. 2013	0/0	510	Ne

K tabulce 1 je nutno poznamenat, že informace o finančních nákladech jsou převzaty ze zpráv z vyšetřování a nemusí být vzájemně konzistentní. Jsou obvykle zaměřeny pouze na finanční náklady, které vznikly provozovateli objektu, v němž došlo k nehodě (náklady na rekonstrukci výrobního objektu, ztráty z přerušení výroby). Nicméně některé náklady (na léčbu osob, na rekonstrukci budov mimo objekt, na pokuty nebo na obnovu životního prostředí) nejsou do této částky zahrnuty.

Další problém spojený s analýzou nákladů u havárií, ke kterým již došlo, je spojen s postupným nárůstem těchto nákladů v čase (a to i po dokončení zprávy z vyšetřování havárie). Takže publikované částky obvykle nejsou konečné a mnohdy lze u stejné havárie dohledat několik rozdílných odhadů výše finančních následků havárií.

V některých případech také samotní provozovatelé mají zájem na „účetní“ minimalizaci finančních nákladů (zejména společnosti obchodované na burze).

3 Přehled legislativy v oblasti prevence závažných havárií

Prevence průmyslových havárií je systematicky legislativně řešena již od roku 1982, kdy byla (v reakci na havárii v italském městě Seveso v roce 1976) přijata v rámci Evropského hospodářského společenství (EHS) směrnice 82/501/EHS (takzvaná směrnice SEVESO), která začala rozvíjet oblast omezování rizik průmyslových havárií. Tato směrnice byla zaměřena pouze na ochranu okolního obyvatelstva a životního prostředí.

Dne 9. prosince 1996 byla směrnice SEVESO nahrazena směrnicí Rady 96/82/ES, která již ve článku 11 zmiňuje také omezování následků na majetkové hodnoty. Když vláda České republiky v roce 1996 podala žádost o vstup do Evropské unie, byly zahájeny i práce na

přípravě české verze této směrnice. Ta pak byla v ČR přijata v roce 1999, a to jako zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií (s účinností od 29. ledna 2000).

V prosinci 2003 byla přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/105/ES, která aktualizovala směrnici Rady 96/82/ES (směrnice SEVESO II), jejíž požadavky následně v ČR implementoval zákon č. 59/2006 Sb.

V červenci 2012 byla v úředním věstníku Evropské unie vyhlášena směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/18/EU, o kontrole nebezpečí závažných havárií s přítomností nebezpečných látek a o změně a následném zrušení směrnice Rady 96/82/ES (označovaná jako SEVESO III). Zákon č. 224/2015 Sb., který od října v ČR zavádí požadavky stanovené zmíněnou směrnicí, tedy kopíruje evropské právo a znamená třetí velkou změnu v oblasti prevence závažných havárií.

Pokud se soustředíme na zákon č. 224/2015 Sb. pouze z pohledu omezování ekonomických ztrát a minimalizace škod na majetku, je patrné následující:

1. Cílem zákona (§1) je snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a **majetek** v objektech, ve kterých je umístěna nebezpečná látka.
2. Zákon ukládá (§22) povinnost provozovatele přijmout a zajistit bezpečnostní opatření pro fyzickou ochranu objektu uvedenou v plánu fyzické ochrany za účelem zabránění vzniku závažné havárie a omezení jejích následků na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a **majetek**.
3. Zákon zakládá povinnost (§23) zpracovat vnitřní havarijný plán, ve kterém se stanoví opatření přijímaná uvnitř objektu při vzniku závažné havárie za účelem zmírnění jejích následků na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a **majetek**.
4. Součástí bezpečnostní dokumentace (§27) musí být také přehled možných následků závažné havárie na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a **majetek**, včetně způsobů účinné ochrany před těmito následky.
5. V případě, že opatření přijatá provozovatelem k prevenci závažných havárií a omezení jejích následků na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí nebo **majetek** mají vážné nedostatky, krajský úřad rozhodne o zákazu užívání objektu nebo jeho částí.
6. Vyhláška č. 227/2015 Sb. ukládá zpracování analýzy rizik (§2), jejíž součástí je také odhad následků scénářů závažných havárií na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a **majetek** (bod 2.2 osnovy posouzení rizik bezpečnostní zprávy).

Základním pilířem, na kterém je postaven celý princip prevence závažných havárií v EU, je teze: „Kdo poškodil, platí.“ Z tohoto důvodu musí mít každý provozovatel pojištění odpovědnost za škody vzniklé v důsledku závažných havárií (§33 zákona), přičemž výše limitu pojistného plnění musí odpovídat rozsahu možných následků závažné havárie stanovených na základě posouzení rizik závažné havárie.

Mimo EU je tato problematika řešena na národních úrovních, od roku 1993 platí mezinárodní úmluva Mezinárodní organizace práce č. 174, o prevenci závažných průmyslových havárií, kterou ratifikovalo 18 států (např. Albánie, Arménie, Brazílie, Indie, Rusko nebo Saudská Arábie).

4 Predikce ekonomických následků závažných havárií

Bezpečnostní inženýrství je tradičně zaměřeno na predikci následků průmyslových havárií na zaměstnance a osoby žijící v okolí zasaženého objektu a na životní prostředí. Pro hodnocení ekonomických následků lze využít metod, které jsou založeny na podobných principech. Existuje zde ovšem několik specifik, která si popíšeme.

4.1 Rozdělení ekonomických následků závažných průmyslových havárií

Základními typy ekonomických následků jsou:

- následky na zařízení a stavby provozovatele,
- následky na okolní stavby,
- ztráty způsobené přerušáním provozu,
- ztráty způsobené zničenými zásobami,
- pokuty a další finanční sankce státních úřadů,
- nepřímé náklady na soudní výlohy, ztráty obchodního postavení, poškození značky, kompenzace apod.

Mezi ekonomické náklady se nezařazují náklady na kompenzace za poškození života a zdraví a na poškození životního prostředí.

4.2 Typy uvažovaných havárií

Existuje celá škála scénářů, kterými může dojít ke vzniku a rozvoji závažné průmyslové havárie. V odborné literatuře (např. příručka BEVI) jsou obsaženy tzv. generické (typové, referenční) scénáře. I když neberou v potaz významné parametry havarijního děje (např. vlastnosti nebezpečné látky, její aktuální skupenství a jeho případné změny v průběhu havarijního děje; charakter zařízení, v nichž je nebezpečná látka obsažena; podmínky úniku látky ze zařízení; vliv atmosférických podmínek na šíření oblaku plynu/páry; časovou lokalizaci předpokládané iniciace požáru látky nebo jejího výbuchu ve směsi se vzduchem), přesto umožňují vybrat typy havárií.

Základním předpokladem pro výběr relevantních scénářů závažných havárií jsou materiální škody, které vzniknou v důsledku tepelného působení nebo vlivem tlakové vlny. Z tohoto důvodu uvažujeme uvnitř zařízení přítomnost látky hořlavé nebo výbušné, případně jiných látek, jež způsobí tzv. fyzikální explozi, tedy náhlé uvolnění energie, které je výsledkem čistě fyzikálních jevů, bez existence chemických reakcí látek, v důsledku např. přetlakování a roztržení nádoby.

Při vzniku velkých požárů a výbuchů v průmyslových objektech je pravděpodobné, že budou zasaženy i jiné (např. sousední) provozy a havárie se následně rozšíří a vytvoří tzv. domino efekt. Rozhodujícími faktory projevu jsou především druh nebezpečné látky a množství a způsob umístění v objektu. Reálné projevy havárií v souvislosti s domino efektem mohou být povahy tepelné (radiace) a mechanické (tlaková vlna a rozlet fragmentů trosek). Mezi jevy, které mohou způsobit prvotní nehodu vedoucí k rozsáhlé havárii, patří Pool Fire, Jet Fire, Flash Fire, BLEVE a VCE.

5 Metody predikce ekonomických následků závažných havárií

V literatuře lze nalézt několik metod, které je možno použít pro predikci ekonomických následků závažných havárií. Tyto metody lze rozdělit na dvě základní kategorie, na metody indexové (Dow's Fire & Explosion Index nebo COCO-2) a na detailní kvantitativní hodnocení rizika.

5.1 Dow's Fire & Explosion Index

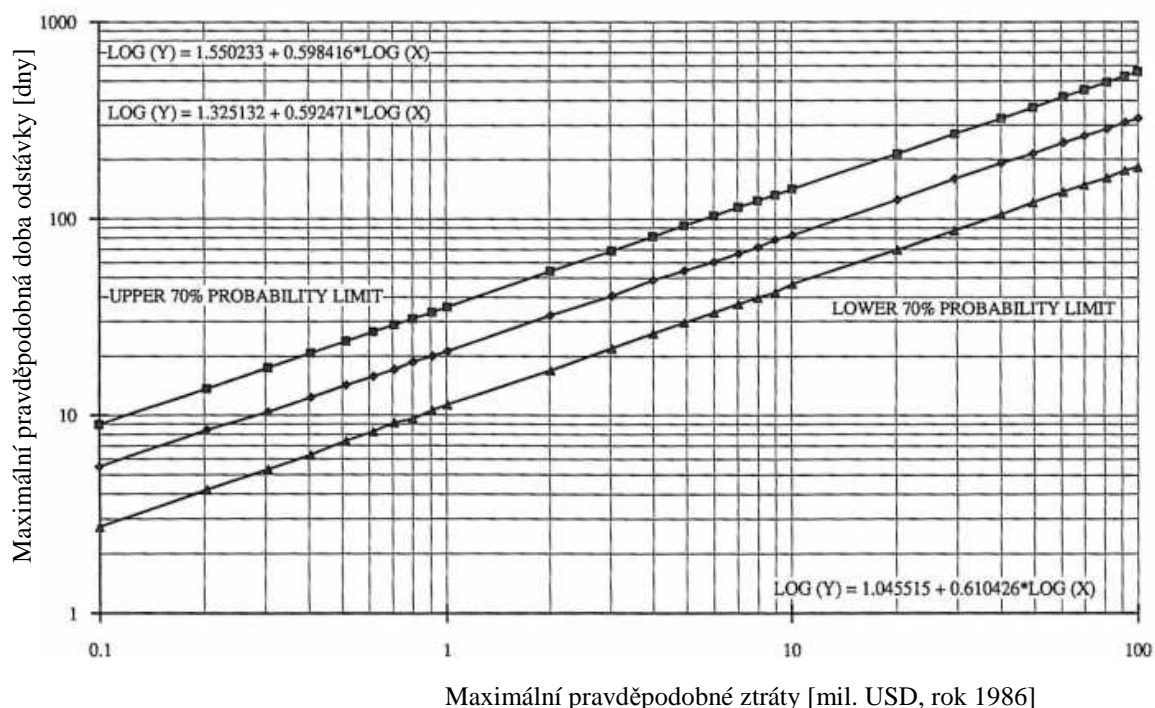
Index požáru a výbuchu (Dow's Fire & Explosion Index – FEI) je metoda, kterou v roce 1964 vyvinula společnost Dow's Chemical Company pro identifikaci nebezpečí požáru a výbuchu procesních zařízení. Tato metoda byla vyvíjena postupně, poslední verze (verze 7) byla vydána v roce 1994. Metoda FEI se využívá pro hodnocení rizik hořlavých a výbušných látek a jedním z jejích výstupů (mimo hodnocení zasažené plochy s uvážením všech bezpečnostních opatření, které mohou následky havárie snížit) je také hodnocení ekonomických následků havárií.

Proces hodnocení ekonomických následků havárie se skládá z následujících kroků:

- stanovení F&E Indexu – je odvislé od množství a vlastností látky, faktorů nebezpečí spojených s provozem a instalovaných bezpečnostních opatření,
- stanovení velikosti zasažené plochy – vypočítá se přímo z hodnoty F&E Indexu,
- stanovení nákladů na obnovu zařízení – lze vypočítat na základě investic v zasaženém prostoru,
- stanovení základní hodnoty MPPD (Maximum Probable Property Damage – maximální pravděpodobné poškození) – vypočítá se na základě nákladů na obnovu zařízení a faktoru poškození,
- stanovení aktuální hodnoty MPPD – bere v úvahu také další faktory (tzv. kreditní), které mohou snížit následky nebo pravděpodobnost havárie,
- stanovení doby výpadku – MPDO (Maximum Probable Days Outage – maximální pravděpodobná doba odstávky) – asi nejvýznamnější přínos metody FEI, doba odstávky je stanovena z hodnoty maximálního pravděpodobného poškození na základě analýzy historických havárií (viz obrázek 1),
- stanovení ztrát BI (Business Interruption – přerušení provozu) – vypočítá se z doby výpadku a hodnoty denní produkce.

Na základě již realizovaných analýz metodou FEI lze říci, že ztráty z přerušení provozu jsou téměř vždy řádově vyšší než náklady na obnovu zařízení, což odpovídá reálným poznatkům.

Nevýhodou indexové metody FEI je to, že je zaměřena pouze na predikci přímých ekonomických následků pro provozovatele (nebere v potaz následky na okolní zástavbu).



Obrázek 1: Stanovení pravděpodobné doby odstávky

5.2 COCO-2

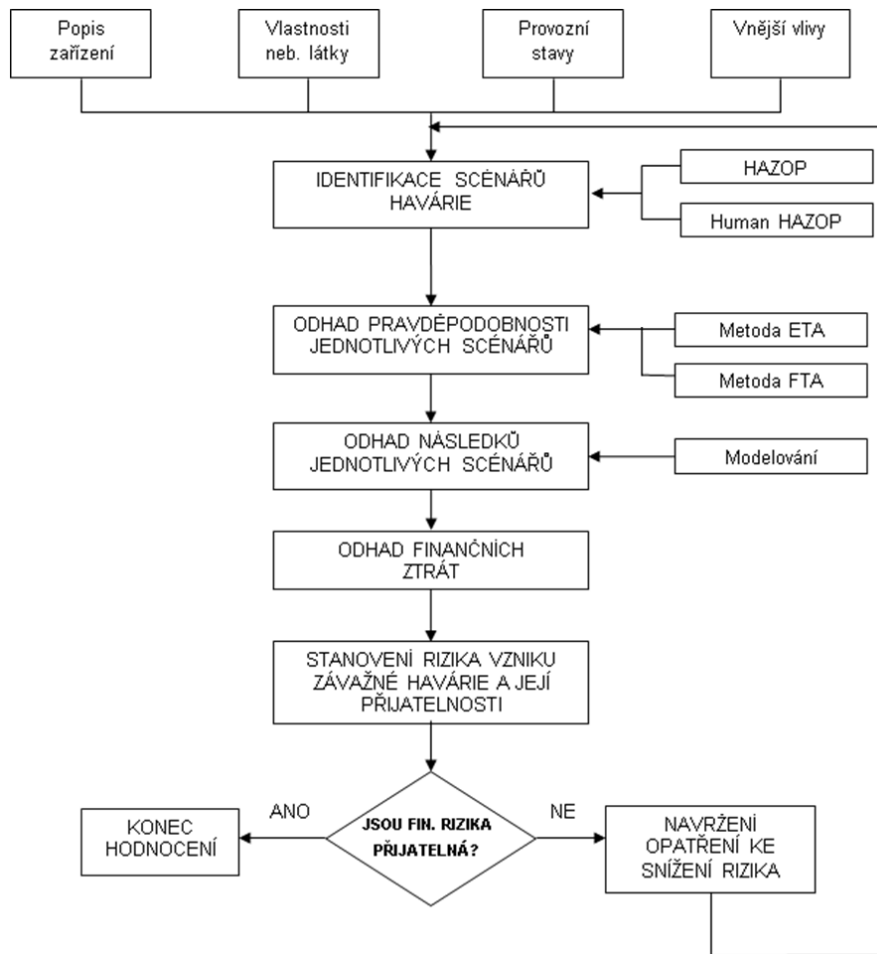
Metoda COCO-2 byla vyvinuta v roce 2008 pro odhad možných ekonomických důsledků, které vyplynuly z havárií jaderných reaktorů. Vychází z první verze metody (COCO-1), která byla publikována v roce 1991. Jedná se o velice podrobnou metodu, která bere v potaz vedle přímých nákladů i nepřímé následky (poškození turistického ruchu, poškození místní ekonomiky, následky na zdraví okolních obyvatel, náklady na léčbu, následky na zemědělskou produkci). Existují studie, které aplikují metodu COCO-2 také na jiné typy havárií. Dosud však tato metoda nenašla širší uplatnění.

5.3 Detailní kvantitativní hodnocení rizik

Detailní kvantitativní hodnocení rizik vychází z ustálené metodologie QRA, která se používá např. pro odhad rizik se zaměřením na následky na životy a zdraví zaměstnanců a obyvatel. Z modelovaných následků havarijních scénářů lze stanovit rozsah poškození zařízení, staveb a infrastruktury a následně tyto následky převést na finance potřebné k obnově stavu (viz obrázek 2).

Do analýzy je možné zahrnout tyto následky:

- náklady na likvidaci poškozeného zařízení a náklady na obnovu zařízení (výpočet založen na pořizovací ceně nového zařízení a ceně projektu obnovy),
- náklady na ztrátu zničených zásob (výpočet z aktuální obchodní ceny),
- náklady ze ztráty produkce a omezení vlivu ztráty zákazníků (mnohdy je nutné zajistit dodávku výrobku od konkurence se ztrátou),
- náklady na obnovu okolních staveb a infrastruktury.



Obrázek 2: Postup detailního kvantitativního řízení finančních rizik

Ostatní náklady, např. nepřímé, se obvykle do detailní kvantitativní analýzy rizik nezahrnují.

6 Softwarové řešení pro hodnocení ekonomických následků

Společnost DNV GL je tvůrcem softwarového balíku SAFETI, který se používá pro analýzu rizik v oblasti prevence závažných havárií. Tento program podporuje také tvorbu tzv. FRA (Financial Risk Analysis) modelů. Tento model bere v úvahu jak následky na populaci v okolí jednotky, tak škody na zařízení, stavbách a infrastruktuře.

7 Závěr

Odhad ekonomických následků závažných havárií poskytuje možnost rozšíření tradičních metod QRA pro zlepšení rozhodovacího procesu managementu o účelnosti plánovaných preventivních opatření. Popsané metody představují možnost, jak přistoupit k hodnocení ekonomických následků závažných průmyslových havárií.

8 Poděkování

Příprava tohoto článku byla podpořena v rámci programu specifického výzkumu č. FSI-S-14-2401 „Green production – Production machines and equipment“.

9 Použitá literatura

- [1] AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. *DOW'S fire and explosion index: hazard classification guide*. 7. ed. New York: AIChE, 1994.
- [2] *CPR 14E, Methods for Calculation of Physical Effects*. 3rd edition. Der Haag, Netherlands: TNO, 1997.
- [3] CHIPPINDAL, L., BUTTS, D. *Managing the Financial risks of major Accidents*. Annual Conference of Centre for Chemical process Safety, emergency planning: preparedness, prevention and response. Orlando, USA: 2004, s 321–326.
- [4] FEWTRELL, P. A review of high-cost chemical/petrochemical accidents since Flixborough 1974. *IchemE Loss Prevention Bulletin*. 1998, **1998**(140): 1-12.
- [5] LEES, F.P. *Lee's Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control*. 3rd edition. London, UK: ElsevierButterworth – Heinemann, 2005.
- [6] LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. *Safety Science*. 2004, vol. 42, is. 4, s. 237–270.
- [7] NOON, Randall. *Engineering analysis of fires and explosions*. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- [8] NUCLEAR ENERGY AGENCY, Organisation for Economic Co-operation and Development. *Methodologies for assessing the economic consequences of nuclear reactor accidents*. Paris: OECD, 2000.
- [9] PULA, R., et al. A Grid Based Approach for Fire and Explosion Consequence Analysis. *Process Safety and Environmental Protection: Official Journal of the European Federation of Chemical Engineering: Part B*. 2006, vol. 84, no. B2, s. 79–92.
- [10] *Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2, 01.07.09*. Dostupné z WWW: <http://infonorma.gencat.cat/pdf/AG_AQR_2_Bevi_V3_2_01-07-2009.pdf>.
- [11] SILVA, K., et al. Cost per severe accident as an index for severe accident consequence assessment and its applications. *Reliability Engineering & System Safety* [online]. 2014, 123: 110-122.
- [12] SUARDIN, J. *The Integration of DOWS Fire and Explosion Index into Process Design and optimization to Achieve an Inherently Safer Design*. Texas, 2005. 179 s. Texas A&M University.
- [13] *The 100 Largest Losses 1974-2013: Large property damage losses in the hydrocarbon industry*. 23rd edition. New York, USA: Marsh, 2014.



- [14] Directive 2012/18/EU of the European parliament and of the council of 4 July 2012 *on the control of major-accident hazards involving dangerous substances*, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC.
- [15] Vyhláška č. 227/2015 Sb., *o náležitostech bezpečnostní dokumentace a rozsahu informací poskytovaných zpracovateli posudku*. Sbírka zákonů ČR.
- [16] Zákon č. 224/2015 Sb., *o prevenci závažných havárií*, v platném znění. Sbírka zákonů ČR.



Česká společnost pro jakost, Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1
Spolehlivost a ekonomika, 8. 12. 2015

ISBN 978-80-02-02633-4

Spolehlivost a ekonomika

Sborník přednášek

kolektiv autorů

1. vydání, rok vydání 2015, Česká společnost pro jakost

vazba brožovaná, 43 stran