

# Analýza HAZOP: výběr opatření pro snížení rizik

Metoda HAZOP (*Hazard and Operability Study*) se stala standardem pro validaci provozuschopnosti a bezpečnosti projektů složitých technologických zařízení. Při studii realizované touto metodou je obvykle vygenerováno množství opatření pro snížení rizik. Jednotlivá opatření nemají z hlediska bezpečnosti zařízení stejný význam, někdy také není možné z finančních důvodů všechna opatření realizovat. Tento článek porovnává přístupy ke stanovení jejich priorit.

Metoda HAZOP vychází z týmového přístupu k analýze rizika, tedy z teze, že tým expertů bude schopen identifikovat větší počet rizik a správněji určit jejich význam než soubor osob vykonávajících analýzu bezpečnosti samostatně. Pro správné použití metody HAZOP je obvykle nezbytné sestavit tým z několika odborníků s odlišným odborným zázemím a schopnostmi (technici provozující zařízení, inženýři výroby, technologové, odborníci v oblasti bezpečnostního inženýrství apod.).

## Analýza HAZOP

Metoda HAZOP byla vyvinuta v 60. letech minulého století ve společnosti ICI (*Imperial Chemical Industries*) ve Velké Británii. Za jejího duchovního otce bývá považován Trevor Kletz, který byl ve společnosti ICI v té době bezpečnostním poradcem. Analýza s použitím metody HAZOP (analýza HAZOP) se obvykle provádí při několika sezeních řešitelského týmu, během nichž jsou systematicky procházeny všechny části zařízení v dané úrovni detailu.

Vlastní analýza HAZOP začíná rozčleněním technologického zařízení na uzly, u nichž lze stanovit soubor parametrů nezbytných pro správný průběh příslušného technologického procesu.

V dalším kroku analýzy HAZOP jsou při použití tzv. klíčových slov generovány možné odchylky od bezpečného stavu zařízení, popř. procesu.

Seznam typických klíčových slov k analýze HAZOP je uveden v tab. 1. Klíčová slova jsou kombinována s parametry charakterizujícími uzly tak, aby bylo možné určit odchylky od správné činnosti (selhání) technologického zařízení, jejich příčiny a následky. Velmi důležitou částí analýzy HAZOP je také návrh možných preventivních opatření, která zabrání výskytu, popř. rozvoji možného havarijního stavu.

V praxi jsou u provozních jednotek s nezbytnou větší mírou práce obsluhy identifikovány možné chyby obsluhy a jejich potenciální příčiny, které jsou důležitou součástí identifikace vzniku možných havárií. Často je pro ni používána metoda Human HAZOP [1], která je modifikací metody HAZOP.

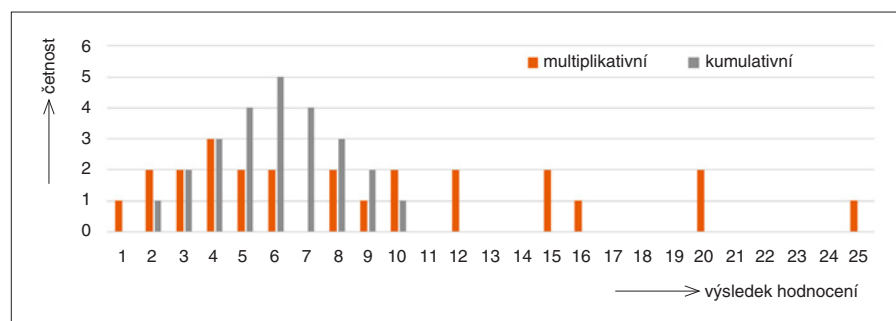
Samotný postup analýzy metodou Human HAZOP je obdobný jako při použití základní metody HAZOP, pouze jsou využívána další

klíčová/vodící slova, která jsou interpretována z hlediska člověka (viz tab. 2).

Ze zkušenosti lze říci, že hlavními přednostmi použití metody HAZOP je dosažení systematické identifikace nebezpečných událostí a lepší pochopení chování daného technologického zařízení, a to i pracovníky, kteří je obsluhují.

často specifikuje vlastní formální i obsahové požadavky na analýzu. V praxi se s tímto požadavkem setkáváme především v petrochemii, podnicích se spojitými technologickými procesy či ve farmacii (např. firmy Saudi Aramco, Shell, Total, BASF, Bayer).

Protože však analýza HAZOP složitějšího technologického celku obvykle představuje několik stovek postupů, a tudíž také velké množství preventivních opatření, není možné realizovat všechna z nich. Je tedy třeba k realizaci vybrat jen ta, která budou nejefektivnější, tj. která budou nejpřínosnější z hlediska bezpečnosti.



Obr. 1. Četnost možných výsledků hodnocení rizika multiplikativním a kumulativním způsobem

## Realizace preventivních opatření

Metoda HAZOP se nejčastěji používá ve fázi projektování nového technologického zařízení, dále při jeho provozování (např. analýza rizik podle zákona o prevenci závažných havárií nebo podle zákona o ekologické újmě) a také v případě nehody (k nalezení jejích příčin). Zatímco v prvním případě lze velmi jednoduše realizovat preventivní opatření, v tom druhém je jejich provedení spojeno s finančními náklady na modifikaci jednotky. Ve třetím případě, po nehodě, je realizace nápravných opatření většinou nezbytná pro další bezpečný provoz jednotky.

Mnohdy je analýza HAZOP také vyžadována zákazníkem, který tím podmiňuje podepsání kontraktu. V tom případě zákazník

Ačkoliv standardní metoda HAZOP tento aspekt neřeší, některé proprietární příručky (určené ke specifikaci požadavků konkrétní organizace) již tuto oblast definují přesněji.

## Stanovení priorit preventivních opatření ve vztahu k rizikům

Nejčastěji používané přístupy ke stanovení priorit preventivních opatření jsou založeny na doplnění standardní analýzy HAZOP semikvantitativním hodnocením rizik.

Obvykle je využíváno dvouparametrické hodnocení uvažující četnost výskytu události a závažnost jejích následků. Při použití této metody je tedy vyhodnocováno riziko R ve dvou položkách, a to s ohledem na:

Tab. 1. Slovník klíčových slov k analýze metodou HAZOP

Klíčové slovo	Význam
NENÍ	úplná negace původní funkce
VĚTŠÍ	kvantitativní nárůst
MENŠÍ	kvantitativní pokles
A TAKÉ, JAKOŽ I	kvalitativní nárůst (výskyt ještě jiného případu)
A ROVNĚŽ	kvalitativní nárůst
ČÁSTEČNĚ	kvalitativní pokles
REVERZE	opačná funkce (činnost)
JINÝ	úplná náhrada
PŘEDČASNÝ	předčasná funkce (činnost)
ZPOŽDĚNÝ	opožděná funkce (činnost)

- pravděpodobnost  $P$  výskytu události,
  - závažnost  $S$  důsledků události.
- Příklad přiřazení hodnot jednotlivých parametrů je uveden v dále komentovaných tabulkách.

Četnost výskytu události  $P$  (tab. 3) je parametr vyjadřující poměrný výskyt selhání v řadě příležitostí, který vychází z příčiny události a detekce poruchového stavu (bez-

pečnostní zařízení a prostředky, které upozorňují na nebezpečný stav nebo ho automaticky překonávají). V úvahu by měl být vzat také způsob řízení pracovního systému a schopnosti a zkušenosti obsluhy.

Závažnost důsledků/ztráty  $S$  (tab. 4) vyjadřuje významnost důsledku poruchy při

bem jsou rozloženy rovnoměrněji a že tzv. pole přijatelnosti opatření není pro tyto dva případy shodné. V hodnocení vznikne rozdíl v krajních hodnotách rizika (velmi závažná, málo pravděpodobná událost a málo závažná, velmi pravděpodobná událost). Z tohoto hlediska se jeví jako vhodnější použít k hodnocení rizika kumulativním přístupem.

Tab. 2. Slovník klíčových slov k analýze metodou Human HAZOP

Klíčové slovo	Význam
NEPŘEVEDENO	akce neprovedena
OPAKOVÁNO	akce provedena vícekrát
MÉNĚ	akce byla provedena s menším účinkem
VÍCE	akce byla provedena s větším účinkem
DŘÍVE	akce byla provedena dříve
POZDĚJI	akce byla provedena později
A TAKÉ	byla provedena ještě jiná akce
OBRÁCENĚ	posloupnost akcí byla porušena
JINÝ NEŽ	byla provedena jiná akce
ČÁST	byla provedena jen část akce

pečnostní zařízení a prostředky, které upozorňují na nebezpečný stav nebo ho automaticky překonávají). V úvahu by měl být vzat také způsob řízení pracovního systému a schopnosti a zkušenosti obsluhy.

Závažnost důsledků/ztráty  $S$  (tab. 4) vyjadřuje významnost důsledku poruchy při

Tab. 3. Parametr  $P$  – četnost výskytu

$P$	Četnost výskytu (-)	Význam
1	<0,000 1	velmi malá
2	0,001 až 0,000 1	malá
3	0,01 až 0,001	střední
4	0,1 až 0,01	velká
5	>0,1	velmi velká

Tab. 4. Parametr  $S$  – závažnost důsledků

$S$	Ztráta (Eur)	Škody
1	<1 000	bez zranění
2	1 000 až 10 000	drobná zranění
3	10 000 až 100 000	vážná zranění
4	100 000 až 1 000 000	1 smrtelný úraz
5	>1 000 000	> 1 smrtelný úraz

plném rozvinutí scénáře havárie. Při posuzování závažnosti by měly být vzaty v úvahu případné přímé finanční škody (ať již např. na znehodnoceném produktu, tedy nedodržení požadavků zákazníka, nebo na poškozeném zařízení) i škody na zdraví zaměstnanců.

Riziko  $R$  je kombinace četnosti výskytu určité nežádoucí situace (události) a stupně závažnosti jejích následků (závažnosti škody, ztrát). Nejčastěji je využíván přístup kumulativní a přístup multiplikativní (tab. 5).

V tab. 6 a na jí odpovídajícím obr. 1 jsou přehledně uvedeny rozdíly v hodnocení rizika, které oba přístupy, multiplikativní a kumulativní, poskytují. Z grafického vyjádření na obr. 1 je na první pohled patrné, že výsledky hodnocení rizika kumulativním způso-

V praxi je nutné přijatelnost rizik stanovit v závislosti na okolnostech tak, aby bylo možné rozhodnout o nejvýznamnějších možných průbězích a určit priority opatření k minimalizaci rizika. V případě, že riziko průběhu bylo hodnoceno jako významné, je nutné navržené opatření co nejdříve zavést. Je-li riziko možného průběhu hodnoceno jako málo významné, není nezbytné opatření zavádět neprodleně, v případě výskytu tohoto průběhu by měl však provozovatel analýzu rizik přehodnotit a přijetí příslušného opatření uvážit.

### Závěr

Článek shrnuje základní přístupy k výběru doporučených opatření, která vyplynula z analýzy nebezpečí a provozuschopnosti HAZOP. Tyto přístupy vzájemně porovnává z hlediska poskytovaných výsledků. V praxi je dalším významným kritériem pro výběr investic do bezpečnosti technologického zařízení objem dostupných finančních

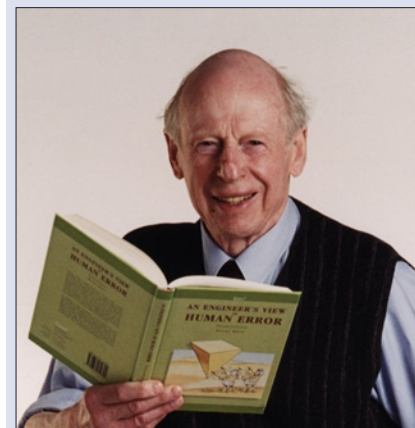
Tab. 5. Parametr  $R$  – příklad vyhodnocení rizika (vlevo způsob multiplikativní, vpravo kumulativní)

$R = P \times S$	$R = P + S$	Riziko
1 až 3	1 až 2	nevýznamné
3 až 7	3 až 5	málo významné
8 až 5	6 až 10	významné

Tab. 6. Rozdíly mezi multiplikativním a kumulativním způsobem vyhodnocení rizika

$S$	$P$				
	1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	0	1	2	3
3	-1	1	3	5	7
4	-1	2	5	8	11
5	-1	3	7	11	15

Trevor Kletz (1922–2013) byl významným britským vědcem a jedním ze zakladatelů bezpečnostního inženýrství. V letech 1944 až 1982 pracoval jako bezpeč-



nostní poradce ve společnosti ICI (Imperial Chemical Industries). V roce 1978 se stal prezidentem společnosti iChemE. Po roce 1982 pracoval jako univerzitní profesor a bezpečnostní konzultant. Byl také aktivní jako spisovatel, za svůj život napsal čtrnáct knih zaměřených především na využití zkušeností z nehod a zvyšování bezpečnostní kultury. Úspěšně rozvíjel i koncept tzv. inherentní bezpečnosti. Trevor Kletz zemřel 31. 10. 2013.

prostředků. Proto bývá někdy rozhodnuto o dílčí realizaci doporučených opatření nebo bývá v případě větších investic využita zpracovanější metoda, např. metoda diskontovaného peněžního toku – výdaje na realizaci opatření lze pak považovat za investiční náklady (výdaje tzv. CAPEX).

### Poděkování

Poznámky uvedené v článku byly získány za finančního příspěví VUT v Brně v rámci programu specifického výzkumu č. FSI-S-11-5 *Enviromentální a bezpečnostní aspekty vývoje, výroby a provozu strojů* a v rámci vědeckovýzkumné činnosti divize mechatroniky střediska NETME centre, jehož budování je finančně podporováno z Evropského fondu regionálního rozvoje prostřednictvím *Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace* v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002 *NETME centre – nové technologie pro strojírenství*.

### Literatura:

- [1] KOTEK, L. – BABINEC, F.: *Použití metody Human HAZOP při redukcii chyb operátorů*. Automa, 2009, roč. 15, č. 11, s. 58–59.

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.,  
Odbor kvality, spolehlivosti a bezpečnosti  
Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky,  
Fakulta strojírenského inženýrství VUT v Brně  
(kotek.l@fme.vutbr.cz)