Identifikace zdrojů rizika metodou Dow Fire & Explosion Index

Stručný popis metody Dow F&E Index (modifikace Rapid Ranking)

F. Babinec
P. Dorazil

Řízení bezpečnosti procesu vyžaduje v první řadě identifikaci nebezpečí v procesu. Pro tento účel jsou k dispozici metody tzv. zkráceného posuzování bezpečnosti, známé také jako indexové taxativní metody. Typickým představitelem této třídy je metoda Dow Fire and Explosion Index.

PRINCIP METODY

Poslední modifikace metody umožňuje provádět klasifikaci procesu do 3 kategorií nebezpečí při současném uvážení obou základních indexů používaných pro posuzování bezpečnosti procesu. Jedná se o Fire and Explosion Index (F&EI) a Toxicity Index (TI). Toto je základní rys a významná přednost metody ve srovnání s ostatními metodami téže třídy. Indexy F&EI a TI byly odvozeny z původních indexů Dow F&EI a Mond Index.

Z názvů obou indexů je zřejmé, že procesy jsou posuzovány z hlediska nebezpečí požáru a výbuchu a z hlediska nebezpečí ohrožení toxickou látkou. To se odráží ve skladbě hodnocených faktorů, ktoré mohou ovlivnit výše uvedená nebezpečí. Index F&EI zahrnuje zejména termochemické vlastnosti látky, které určují tzv. energetický obsah látky, a základní procesní veličiny - teplotu a tlak. Uvedené faktory, spolu s množstvím látky v procesu, největší měrou rozhodují o rozsahu možné havárie. Jako hypotetická havárie je uvažován nejhorší myslitelný případ. Toxicitní index TI zohledňuje možnost intoxikace zasažení okolí místa havárie nebo nehody zdraví nebezpečnými látkami. Také index TI je významně závislý na celkovém množství nebezpečné látky.

Jsou-li známy všechny potřebné údaje, lze stanovit hodnoty obou indexů a posléze provést jejich vyhodnocení. Pro usnadnění klasifikace procesů podle nebezpečnosti byl sestaven etalon, který předepisuje mezní hodnoty indexů F&EI a TI pro tři kategorie nebezpečí. První kategorie, tj. kategorie I, představuje třídu procesů, resp. zařízení, která jsou z celého souboru klasifikovaných procesů relativně nejméně nebezpečná. Kategorie III je naopak kategorií relativně nejvíce nebezpečných procesů. Procesy se střední úrovní relativního nebezpečí patří do kategorie II. Každé kategorii nebezpečí tedy odpovídá jeden interval hodnot F&EI a jeden interval hodnot TI. Každý proces je tedy klasifikován dvakrát, pro každý index zvlášť. Ten z obou indexů, který udává vyšší kategorii, zároveň udává výslednou klasifikaci procesu.

POSTUP STUDIE

Bezpečnostní studie se skládá z několika kroků:
1. krok - dekompozice systému na subsystémy
2. krok - klasifikace subsystémů
3. krok - klasifikace systému.

Dekompozice systému

Před zahájením vlastního hodnocení bezpečnosti procesu je nezbytné provést rozdělení posuzovaného zařízení (podniku, provozu) na logické samostatné jednotky, subsystémy. Za relativně samostatnou jednotku se obvykle považuje:
- zařízení s charakteristickou funkcí
- zařízení prostorově oddělené (stěnou, mezerou)
- zařízení pracující s typickou chemickou látkou.

Samostatná jednotka může být obecně každé zařízení (aparát, sekce, systém), které může být samo o sobě zdrojem nějakého specifického nebezpečí. Samostatnou oblast představuje skladování. Zde se v případě velkokapacitního skladování považuje za samostatnou jednotku každá nádrž, silo nebo zásobník. Naopak pro látky balené do barelů, beden, láhví, pytlů apod. se za jednotku bere celé skladiště včetně uložených zásob. Je zřejmé, že tento krok studie je do jisté míry intuitivní. Závisí na zkuše-nostech odborníků provádějících studii a je ovlivněn také dispozičním uspořádáním posuzovaného provozu.

Klasifikace subsystémů

Po rozdělení systému na menší celky lze přistoupit k jejich posouzení. Každá jednotka se posuzuje jednou nebo vícekrát podle toho, je-li uvnitř jednotky jenom jedna látka nebo více látek oddělených resp. ve formě směsi.

Dílčí studie se tedy provádí pro každou látku a má opět několik kroků. Jsou to:
a) stanovení materiálového faktoru chemické látky MF
b) stanovení míry obecných nebezpečí GPH
c) stanovení míry specifických nebezpečí SPH
d) stanovení toxicitního faktoru T
e) výpočet indexů F&EI a TI
f) klasifikace jednotky pro danou chemickou látku.

a) Stanovení materiálového faktoru MF

Materiálový faktor představuje energetický potenciál chemické látky. Je definován jako funkce dvou látkových vlastností, hořlavosti a reaktivity, které jsou charakterizovány nestabilitou látky a reaktivitou látky s vodou. Není-li hořlavost a reaktivita látky známa, lze MF stanovit na základě teploty adiabatického rozkladu a bodu vzplanutí látky. Výsledná hodnota MF je celočíselná, z intervalu 0 až 40. Pro vybranou skupinu látek je hodnota MF vyhodnocena tabelárně.

b) Stanovení míry obecných nebezpečí GPH

Míra obecných nebezpečí je aditivní veličina, pro jejíž stanovení se berou v úvahu charakteristické rysy procesu. Jedná se především o takové zdroje obecných nebezpečí jako jsou endotermické a exotermické reakce, manipulace s látkami, jejich přeprava a skladování, umístění procesních jednotek v krytých halách a budovách, operace balení, plnění nebo stáčení nebezpečných látek a některé další. Všechny uvedené faktory jsou taxativně ohodnoceny tzv. přirážkou. Míra obecných nebezpečí GPH se rovná celkovému součtu všech udělených přirážek.

b1) Exotermické reakce

b1α) Reakce s přirážkou 0.20:

spalování (hoření) = spalování pevných, kapalných nebo plynných paliv v peci za přístupu vzduchu.

b1β) Reakce s přirážkou 0.30:

alkylace = adice alkylových skupin do sloučenin za vzniku různých organických látek;

hydrolýza = reakce sloučeniny s vodou, například výroba kyseliny sírové nebo fosforečné z oxidů;

neutralizace = reakce mezi kyselinou a zásadou za vzniku soli a vody.

b1γ) Reakce s přirážkou 0.50:

esterifikace = reakce kyseliny s alkoholem nebo nenasyceným uhlovodíkem; větší nebezpečí představují případy, kde kyselina je vysoce reaktivní nebo kde reakční produkty jsou nestabilní, tyto mohou mít přirážku 0.75 nebo 1.25;

oxidace = řízené slučování kyslíku s některými látkami, které nevede na CO_2 a H_2O jako při spalování; tam kde jsou používána silná oxidační činidla jako jsou chlorečnany, kyselina dusičná, chlorné kyseliny a soli, vzrůstá hodnota přirážky na 1.00;

kondenzace = spojování dvou nebo více organických molekul s odštěpením H_2O, HCl nebo jiných sloučenin.

b1δ) Reakce s přirážkou 1.00:

halogenace = zavádění atomů halových prvků (fluór, chlór, bróm nebo jód) do organické molekuly; tyto reakce jsou nejen silně exotermické, ale také korozivní.

b1ε) Reakce s přirážkou 1.25:

nitrace = náhrada vodíkového atomu ve sloučenině nitro skupinou; je to silně exotermická reakce s možností vzniku výbušných vedlejších produktů.

b2) Endotermické reakce

Endotermické reakce mají přirážku 0.20.

kalcinace = zahřívání látky za účelem odstranění vlhkosti nebo jiné těkavé složky;

elektrolýza = separace iontů pomocí elektrického proudu; tato reakce je nebezpečná, protože může vést ke vzniku hořlavých nebo silně reaktivních produktů;

pyrolýza nebo krakování = tepelný rozklad velkých molekul za vysokých teplot, tlaků a přítomnosti katalyzátoru; nebezpečná může být regenerace katalyzátoru procesem separátního spalování.

Je-li zdrojem energie pro tyto reakce spalovací proces, přirážka se zdvojnásobuje.

b3) Manipulace, přeprava a skladování látek

Plnění, resp. nakládání, a vyprazdňování nebezpečných látek, zejména s ohledem na nebezpečí související se spojováním a rozpojováním přepravního potrubí silničních cisteren, cisternových vozů a lodí: přirážka 0,50.

Skladiště a nádvorní skládky (s výjimkou skladovacích nádrží) nebezpečných látek v sudech, ocelových láhvích, přepravních cisternách apod.:

a) látky se skladovací teplotou pod normálním bodem varu: přirážka 0.30;
b) látky se skladovací teplotou nad normálním bodem varu: přirážka 0.60;

b4) Procesní jednotky uvnitř budov

Procesní jednotky umístěné uvnitř budov představují zvýšené nebezpečí z důvodu omezené možnosti přirozeného odvětrávání.

Používané přirážky:

hořlavé kapaliny s teplotou nad bodem vzplanutí, ale pod normálním bodem varu: přirážka 0.30;

hořlavé kapaliny nebo zkapalněné plynné uhlovodíky (LPG) s teplotou nad normálním bodem varu: přirážka 0.60.

b5) Ostatní

Do této skupiny je zahrnuto balení, plnění sudů, pytlů nebo kontejnerů nebezpečnými látkami. Dále se uvažují vysokootáčkové rotační stroje (čerpadla, odstředivky, apod.) a otevřené míchané nádoby. Uvažovány jsou také aparáty, v nichž probíhá více než jedna reakce. Každá zde uvedená položka znamená zvýšení GPH o přirážku 0.50.

c) Stanovení míry specifických nebezpečí SPH

Rovněž míra specifických nebezpečí má aditivní charakter. Je dána například procesními podmínkami, velikostí provozu a pod. Postup stanovení hodnoty SPH je analogický s GPH. Do SPH je zahrnuto ocenění procesní teploty a tlaku, množství skladované a množství rozpracované látky, dále ohodnocení korozivních účinků látky, netěsnosti systému a pod.

Nasledují jednotlivé faktory a jejich ocenění.

c1) Procesní teplota

Jestliže je teplota, daná procesními nebo manipulačními podmínkami, nad teplotou bodu vzplanutí látky, aplikuje se přirážka 0.25.

Jestliže je teplota, daná procesními nebo manipulačními podmínkami, nad normálním bodem varu látky, použije se přirážka 0.60.

Látky, které mají nízkou teplotu samovznícení, jako například hexan nebo sirouhlík, a mohou se vznítit při styku s potrubím přehřáté páry: přirážka 0.75.

c2) Nízký tlak

Procesy probíhající za atmosférického tlaku nebo podtlaku nejsou penalizovány tehdy, když průnik vzduchu do

systému není nebezpečný. Příkladem může být vakuová destilace glykolů.
Je-li průnik vzduchu do systému nebezpečný, použije se přirážka 0.50. Příklady: manipulace s pyroforickými, tj. na vzduchu za normální teploty samozápalnými látkami nebo manipulace s diolefiny s nebezpečím tvorby peroxidů a katalyzovaná polymerace.
Systémy pro jímání vodíku mají přirážku také 0.50.
Každá vakuová destilace, která probíhá při absolutním tlaku nižším než 0.67 bar, vyžaduje přirážku 0.75 je-li průnik vzduchu nebo nečistot do systému nebezpečný.

c3) Provoz uvnitř nebo blízko pásma hořlavosti
Skladování hořlavých látek ve venkovních nádržích je oceněno přirážkou 0.50 tehdy, je-li směs par se vzduchem v parním prostoru nádrže uvnitř nebo blízko pásma hořlavosti. Přirážka 0.75 je aplikována na tyto případy:
a) procesy běžící v těsné blízkosti mezí hořlavosti;
b) zařízení udržovaná mimo meze výbušnosti pomocí technického vybavení, např. dusíkem.

Procesy probíhající běžne uvnitř pásma hořlavosti jsou oceněny přirážkou 1.00.

c4) Provozní tlak
Procesy s provozním tlakem vyšším než atmosférický tlak jsou penalizovány přirážkou, stanovenou podle vztahu:

$$Y = 0.435 * \log P$$

kde **P** = absolutní tlak, na který je nastaven pojistný ventil, vyjádřený v barech.
Tato přirážka platí pro hořlavé a spalitelné kapaliny. Pro jiné látky musí být korigována. Přirážka není použitelná pro operace vytlačování a lisování.

c5) Nízká teplota
Pro procesy probíhající při teplotách (0 až −30)°C se přidává přirážka 0.30.
Pro procesy probíhající při teplotách pod −30°C rovna 0.50.
Účelem těchto přirážek je zohlednění předpokládané křehkosti konstrukčního materiálu zařízení. Navíc existuje možnost úniku chladné kapaliny, která se v relativně horkém okolním prostředí může intenzivně odpařovat.

c6) Množství hořlavé látky
Množství hořlavé látky použité v procesu nebo množství skladované látky významně ovlivňuje nebezpečí požáru, výbuchu a ohrožení okolí toxickými látkami. Tato nebezpečí jsou logicky vyšší s rostoucím množstvím látky.

Látka v procesu
Přirážka se stanoví pomocí vztahu:

$$\log Y = 0.305 * \log (e * Q) - 2.965$$

kde:
e = spalné teplo látky v kJ/kg;
Q = množství hořlavé látky v kg.

Skladovaná látka
Pro skladování hořlavých látek je používána přirážka vztažená k maximálnímu množství látky obsaženému v nádrži. Při výpočtu je směrodatné skupenství skladované látky za normálních podmínek.

Pro zkapalněný plyn se přirážka stanoví ze vztahu:

$$Y = (185 - \{ \log (\frac{e * Q * 10^{-9}}{700\,000})\}^2) - 11.45$$

Pro hořlavé kapaliny:

$$Y = (55 - \{ \log (\frac{e * Q * 10^{-9}}{270})\}^2) - 6.4$$

c7) Úbytek materiálu vlivem koroze a eroze
Nebezpečí představované korozí se posuzuje jak pro vnitřní, tak i pro vnější korozi. Používají se následující přirážky:
pro rychlost koroze (0.5–1) mm/rok: 0.20;
pro rychlost koroze nad 1 mm/rok: 0.50.

c8) Netěsnosti spojů a těsnění
Zdrojem netěsností mohou být plochá těsnění, ucpávky spojů nebo hřídelí a jiná těsnění zejména při cyklickém teplotním a tlakovém namáhání. Přirážka je udělována následovně:
čerpadla a ucpávky s nízkou provozní netěsností: 0.10;
procesy s obvyklou provozní netěsností čerpadel a přírubových spojů: 0.20;
procesy s trvalým únikem média např. vlivem abrazivních kalů: 0.40;
pozorovací otvory, kompenzátory a dilatační spoje: 1.50.

d) Stanovení toxicitního faktoru T
Toxicitní faktor T se stanoví jako součet hodnot dvou veličin. První, ozn. T_h je základním měřítkem toxicity látky. Hodnota T_h se stanovuje na základě Health faktoru pro klasifikaci toxických látek podle NFPA. Pro vybrané látky jsou hodnoty Health faktoru tabelovány v literatuře. Druhá veličina, ozn. T_s, provádí korekci toxicitního faktoru vzhledem k maximální přípustné koncentraci toxické látky ve vzduchu.

Převod NFPA Health faktoru na faktor toxicity T_h umožňuje následující tabulka:

faktor NFPA Health	faktor toxicity T_h
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

Toxicitní faktor T_h musí být ještě korigován přidáním doplňku T_s vzhledem k hodnotě MAC (Maximum Allowable Concetration) podle následující tabulky.

MAC [ppm]	doplněk T_s
≤ 5	125
5-50	75
> 50	50

e) Výpočet indexů F&EI a TI

Provede se na základě stanovených hodnot MF, GPH, SPH a T pomocí jednoduchých vztahů:

$$F\&EI = MF \times (1 + GPH) \times (1 + SPH), \qquad (1)$$

$$TI = \frac{T_h + T_s}{100} \times (1 + GPH + SPH). \qquad (2)$$

f) Klasifikace jednotky pro danou chemickou látku

Vypočteným hodnotám indexů F&EI a TI odpovídají určité kategorie nebezpečí, jak je uvedeno v další tabulce. Mohou být stejné, zpravidla však vycházejí rozdílné. Pro klasifikaci jednotky pro zvolenou chemikálii se vybere vyšší z obou kategorií.

Kategorie nebezpečí	F&E Index	TI - Toxicity Index
kategorie I	F&EI < 65	TI < 6
kategorie II	65 ≤ F&EI < 95	6 ≤ TI < 10
kategorie III	F&EI ≥ 95	TI ≥ 10

Uvedený postup se opakuje pro každou chemickou látku související s posuzovanou jednotkou. Pro konečnou klasifikaci jednotky je rozhodující klasifikace subsystému s nejvyšší kategorií nebezpečí.

Klasifikace systému

Pro každý subsystém a každou uvažovanou látku je klasifikováno nebezpečí. Pro výslednou klasifikaci systému vybereme opět nejvyšší kategorii nebezpečí.

Uvedeným způsobem jsou postupně klasifikovány všechny jednotky celého provozu a jednotka s nejméně příznivou klasifikací určuje zařazení celého provozu do stejné kategorie nebezpečí. ■

Doc. Ing. F. Babinec, CSc.
Fakulta strojní, VUT Brno

Ing. P. Dorazil
CEMC - České ekologické manažerské centrum, nevládní a nezisková organizace Praha