

METODICKÝ POKYN

k identifikaci a vyhodnocení domino efektů podle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií

Čl. 1 Úvod

Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií (PZH) způsobených vybranými nebezpečnými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích ve znění pozdějších předpisů, stanoví ohledně domino efektů několik požadavků:

- Na základě § 7 „Zařazení objektu do příslušné skupiny pro případ domino efektu“, odst. 1:

Krajský úřad určí objekty, u kterých může dojít k domino efektu, a rozhodne o zařazení těchto objektů do skupiny A nebo do skupiny B. Toto určení:

- vychází z informací obsažených v návrzích na zařazení předložených podle § 5 odst. 3 (návrh na zařazení) a informací obsažených v protokolech o nezařazení předložených podle § 4 odst. 3 (protokol o nezařazení nebo jeho aktualizace),
- vychází z dodatečných informací vyžádaných od provozovatelů a uživatelů objektu, nebo
- vychází z informací získaných při kontrolách prováděných podle § 39 („Orgány kontroly a předmět kontroly“).

- V části Bezpečnostní program v § 10, odst. 4:

Provozovatel na základě rozhodnutí krajského úřadu zahrne do bezpečnostního programu preventivní bezpečnostní opatření vztahující se k možnému vzniku domino efektu.

- V § 12, Bezpečnostní zpráva, odst. 3, písm. b):

V bezpečnostní zprávě provozovatel vypracuje zásady vnitřního havarijního plánu a poskytne informace umožňující vypracování vnějšího havarijního plánu, ve kterých zahrne bezpečnostní opatření vztahující se k možnému vzniku domino efektu, aby bylo možno provést opatření nezbytná v případě vzniku závažné havárie.

- V části Vnitřní havarijní plán v § 23, odst. 3:

Provozovatel na základě rozhodnutí krajského úřadu zahrne do vnitřního havarijního plánu preventivní bezpečnostní opatření vztahující se k možnému vzniku domino efektu.

- V části Přístup veřejnosti k informacím v § 35, odst. 1:

Krajský úřad ve spolupráci s hasičským záchranným sborem kraje a provozovatelem zpracuje pro objekty zařazené do skupiny A nebo do skupiny B jasně a srozumitelně formulovanou informaci o nebezpečí závažné havárie, včetně možného domino efektu, o

preventivních bezpečnostních opatřeních a o žádoucím chování obyvatel v případě vzniku závažné havárie podle zákona o právu na informace o životním prostředí¹. Tuto informaci krajský úřad vždy zpřístupní způsobem umožňujícím dálkový přístup.

- V části Přístup veřejnosti k informacím v § 35, odst. 4:

V případech, kdy by následky závažné havárie v okolí objektu zařazeného do skupiny B nebo v důsledku domino efektu mohly přesáhnout hranice státu, krajský úřad poskytne ministerstvu dostatečné informace, aby sousední státy mohly případně uplatnit připomínky při zpracování změn bezpečnostní zprávy, havarijních plánů nebo informace zpracovávané podle § 35 odstavce 1.

Čl. 2

Postup identifikace a vyhodnocení domino efektů

1. Základní pojmy

Níže uvedené základní pojmy vycházejí ze zákona o prevenci závažných havárií [2], případně navazují na původní práci [1].

Objekt

Zákon o prevenci závažných havárií [2] rozumí objektem (dle § 2 Základní pojmy, písm. a)): „*celý prostor, popřípadě soubor prostorů, ve kterém je umístěna jedna nebo více nebezpečných látek v jednom nebo více zařízeních užívaných právnickou nebo podnikající fyzickou osobou, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur a činností*“.

Zařízení

Zákon o prevenci závažných havárií [2] rozumí zařízením (§ 2 Základní pojmy, písm. b)): „*technickou nebo technologickou jednotku, ve které je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována a která zahrnuje rovněž všechny části nezbytné pro provoz zařízení, zejména stavební objekty, potrubí, skladovací tankoviště, stroje, průmyslové dráhy a nákladové prostory*“.

V souladu s původním textem [1] jsou definovány pojmy „*sekce*“, „*položka zařízení*“ a „*zóna zařízení*“. V rámci zařízení lze specifikovat některé speciální případy, např.:

- „*štíhlé*“ zařízení: položka zařízení (definice „*položky zařízení*“ níže), která je vyšší než 20 m a u které je poměr výška / průměr větší než hodnota 4;
- přechodné skladovací zařízení: nádoba používaná ve výrobě za účelem dočasného skladování látek. Tato nádoba je umístěna v odpovídající výrobní sekci.

Sekce (subsystém)

Původní text [1] definuje sekci takto:

„*sekce je část zařízení tvořící logický soubor, prostorově oddělený od ostatních částí zařízení (např. stěnou nebo volným prostorem). Uvažují se následující sekce:*

- Sekce skladování: *sekce sloužící ke skladování surovin, meziproduktů, výrobků a*

¹ § 10a zákona č. 123/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů (Aktivní zpřístupňování informací).

odpadů. Tyto sekce se užívají pouze pro skladování (ne pro přeměny látek).

- Sekce čerpání / stáčení: sekce používaná pro vstup a výstup látek v objektu včetně transportních zařízení (železniční nebo silniční cisternové vozy, říční loď ...).
- Výrobní sekce: sekce užívaná pro přeměnu látek nebo pro výrobu energie používané v objektu. Výrobní sekce může být „energetická“, „klasická“ nebo „různorodá“.
- „Energetická“ výrobní sekce – výrobní sekce navržená pro výrobu a dodávku energetických médií do objektu (např. sekce zahrnující pece, vařáky, ...).
- „Klasická“ výrobní sekce – výrobní sekce navržená pro přeměny nebo fyzikální nebo chemické dělení látek (např. reakční, destilační, čistící zóna, zóna vedlejších výrobků, zóna zpracování rozpouštědel, ...).
- „Různorodá“ výrobní sekce – výrobní sekce, která nezahrnuje žádný z výše uvedených prvků, ale ve které se manipuluje s nebezpečnými látkami (např. soubor čerpadel, kompresorů, zařízení pro expanzi plynů, ...).
- Sekce budov: sekce tvořená budovami (administrativní, technické, ...).

Položka zařízení

Původní text [1] definuje položku zařízení takto:

„položky zařízení jsou základní nebo podstatné části sekce, které lze vyčlenit do jedné ze sedmi následujících kategorií:

- zařízení pro skladování pevných látek,
- zařízení pro tlakové skladování,
- zařízení pro atmosférické nebo nízkoteplotní skladování,
- zařízení pro malotonážní skladování,
- stáčecí a čerpací zařízení,
- výrobní zařízení,
- potrubní systémy.“

Zóna zařízení

Původní text [1] definuje zónu zařízení jako:

„soubor položek zařízení, které náleží do stejné kategorie (mezi 7 výše uvedených kategorií položek zařízení), které jsou logicky seskupeny a které se chovají v případě nehody v principu podobně“.

Přeplněná zóna

Přeplněná zóna je definována jako zóna, kde je koncentrováno několik položek zařízení takovým způsobem, že vytváří mnohonásobné překážky (nádoby, potrubí, čerpadla, tepelné výměníky, ...), které následně způsobují urychlování čela plamene.

Nebezpečné látky

Zákon o prevenci závažných havárií [2] nebezpečnou látkou rozumí (§ 2 Základní pojmy, písm. e)):

„vybranou nebezpečnou chemickou látku nebo chemickou směs podle přímo použitelného předpisu Evropské unie upravujícího klasifikaci, označování a balení látek a směsí, splňující kritéria stanovená v příloze č. 1 k tomuto zákonu v tabulce I nebo uvedená v příloze č. 1 k tomuto zákonu v tabulce II a přítomná v objektu jako surovina, výrobek, vedlejší produkt, meziprodukt nebo zbytek, včetně těch látek, u kterých se dá důvodně předpokládat, že mohou vzniknout v případě závažné havárie“.

Nebezpečnou látkou je látka, jejíž nebezpečná vlastnost (toxicita, hořlavost, nestabilita nebo výbušnost) může přivodit nebezpečí pro osoby nebo zařízení. Použití charakteristik nebezpečí je založeno na třídách nebezpečí.

Množství

Množství je hmotnost nebo objem přítomné nebezpečné látky. Toto množství může být statické (množství v nádobách) nebo dynamické (maximální průtočné množství násobeno časovou periodou danou v metodickém pokynu, například půl hodiny).

Závažná havárie

Zákon o prevenci závažných havárií [2] stanoví v § 2 Základní pojmy, písm. g):

„závažnou havárií se rozumí mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, zejména závažný únik nebezpečné látky, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu, vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážným následkům na životech a zdraví lidí a zvířat, životním prostředí nebo majetku a zahrnující jednu nebo více nebezpečných látek“.

Domino efekt

Zákon o prevenci závažných havárií [2] domino efektem rozumí podle § 2 Základní pojmy, písm. l):

„možnost zvýšení pravděpodobnosti vzniku nebo následků závažné havárie v důsledku vzájemné blízkosti zařízení, objektů nebo skupiny objektů a umístění nebezpečných látek“.

Prvotní nehoda (primární nehoda) nastane na prvotním zařízení nebo zóně zařízení. V úvahu se u těchto primárních nehod bere pouze tepelné a/nebo mechanické působení (tlak nebo letící trosky). U domino efektů vyvolávají primární projevy selhání (poruchy) sekundárního zařízení nebo zóny zařízení, na kterých dojde k sekundární nehodě. Sekundární projevy mohou být tepelné nebo mechanické (projevy tlakové nebo letících trosek) a/nebo projevy toxické.

Riziko

Zákon o prevenci závažných havárií [2] riziko definuje § 2 Základní pojmy, písm. i):

„riziko je pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností“.

2. Metoda pro identifikaci možných domino efektů

2.1 Aplikační oblast metody

Minimalistický přístup bere v úvahu jen případy, kdy primární a sekundární nehody jsou závažné nehody s potenciálem přímo ohrozit či poškodit okolní zařízení a infrastruktury v posuzovaném průmyslovém areálu. Z tohoto pohledu tedy metoda identifikuje možné domino efekty mezi dvěma položkami zařízení nebo zónami zařízení a zároveň splňuje následující požadavky:

1. primární položka zařízení nebo zóna zařízení a sekundární položka zařízení nebo zóna zařízení, náleží objektu zařazenému dle zákona č. 224/2015 Sb., o PZH.

2. závažné havárie mohou ovlivnit primární a sekundární položky zařízení nebo zóny zařízení;
3. primární položka zařízení nebo zóna zařízení a sekundární položka zařízení nebo zóna zařízení náleží různým objektům.

Tento přístup je však poněkud omezující. Je třeba mít na zřeteli, že:

1. nezávažná primární nehoda může vést k závažné sekundární nehodě (což je v rozporu s druhým požadavkem),
2. analýza historických zkušeností [7] ukázala řadu příkladů domino efektů, které započaly v objektu nespádajících pod zákon o PZH (to je v rozporu s prvním požadavkem),
3. většina pozorovaných domino efektů byla omezena na jeden objekt podle definice v zákoně (což je v rozporu s třetím požadavkem), přesto může být navrhovaná metoda snadno rozšířena nezávisle na výše zmíněných požadavcích [8].

2.2 Obecný popis metody

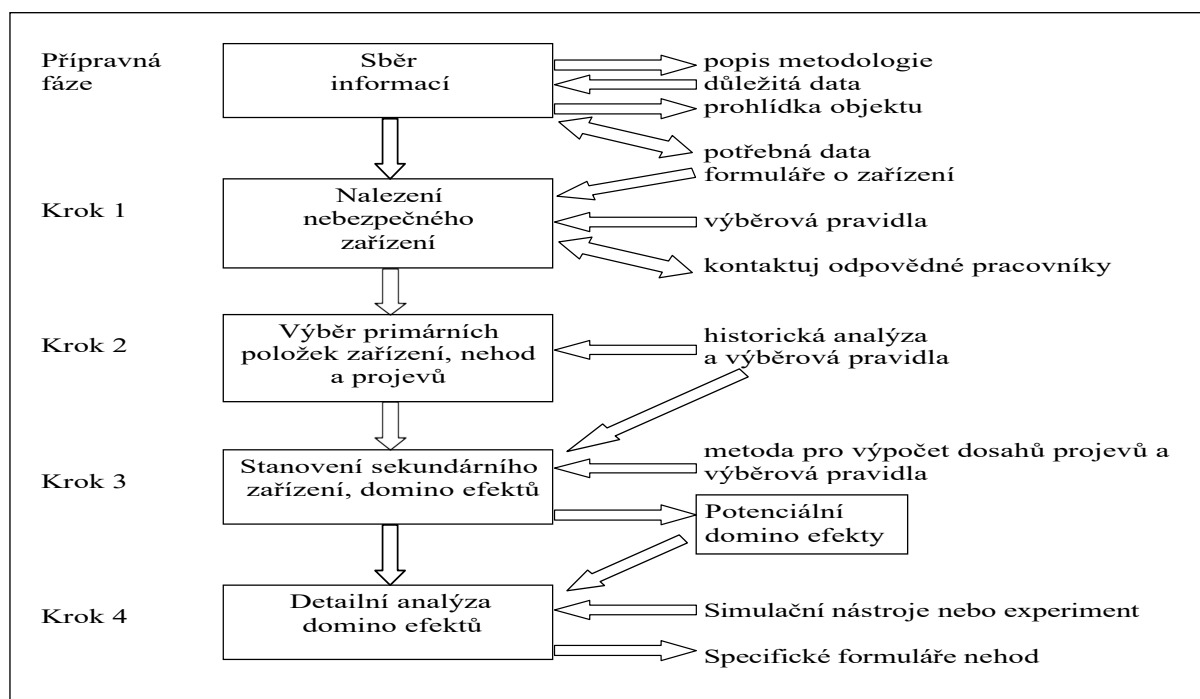
Navrhovaná metoda identifikace možných domino efektů zahrnuje přípravnou informační fázi a následné 4 kroky (viz Obrázek č. 1). Přípravná informační fáze je potřebná pro sběr nezbytných informací o studovaném objektu.

Během prvního kroku se provede katalogizace, kategorizace a zakreslení do plánu všech nebezpečných položek zařízení, které se mohou účastnit domino efektu. Položky zařízení jsou nakonec seskupeny do zón zařízení.

Ve druhém kroku se vyberou všechny položky zařízení nebo zóny zařízení, které by byly pravděpodobně zasaženy primární nehodou. Ke každé primární nehodě musí být přiřazeny výsledné projevy a stanoveno epicentrum.

Pomocí jednoduchých kritérií (dosah projevů a prahová úroveň) se ve třetím kroku stanoví zóny zařízení, které budou pravděpodobně poškozeny primární nehodou a které způsobí sekundární nehodu (domino efekt).

Ve čtvrtém kroku se nakonec analyzuje závažnost výsledků získaných ve druhém a třetím kroku.



Obrázek č. 1: Kroky pro studium domino efektů

2.3 Přípravná fáze: sběr informací pro identifikaci a vyhodnocení domino efektů

Před vlastním posouzením možností vzniku domino efektů je potřeba získat nejrůznější informace o studovaných objektech. Hlavní informace pro každý objekt jsou tyto:

1. **Obecné a stručné seznámení se s objektem** (geografická poloha, velikost, povaha zpracovávaných látek, ...). Povahou látky se v tomto případě rozumí její základní charakteristika v konkrétním zařízení, důležitá z hlediska identifikace a vyhodnocení domino efektů (nebezpečnost, skupenství, podmínky v zařízení apod.).
2. **Plán objektu** umožňující nalézt:
 - místa skladování pevných látek,
 - místa skladování plynů a kapalin,
 - místa pro malotonážní skladování,
 - místa stáčení a čerpání,
 - místa výroby,
 - hlavní potrubí a dopravní zóny,
 - havarijní potrubí a místa jejich vyústění,
 - velíny a různé další budovy.

Kromě toho musí plán objektu obsahovat:

- pro každé místo skladování pevných látek:
 - identifikační kód,
 - povahu skladovaných látek,
 - skladované množství;
- pro každé skladiště plynů nebo kapalin:

- identifikační kód,
 - povahu skladovaných látek,
 - skladované množství,
 - skladovací tlak,
 - velikost záchytné jímky (pokud existuje);
 - pro malotonážní skladování:
 - povahu skladovaných látek,
 - celkové skladované množství,
 - množství obsažené v jednom balení;
 - pro místa stáčení a čerpání:
 - povahu látek, se kterými se manipuluje,
 - množství obsažené v transportní jednotce (autocisterna, železniční cisterna, nákladní říční člun, ...),
 - rychlost stáčení / čerpání,
 - průměr stáčecího / čerpacího potrubí;
 - pro výrobní zařízení:
 - obecný popis výrobního procesu,
 - povahu a množství látek, se kterými se manipuluje,
 - diagram procesních toků – musí být ve formě blokového diagramu, tj. jeden blok pro každý výrobní krok s vtoky a výtoky (povaha a rychlosti proudění látek). Přítomnost zvláštního zařízení musí být zvýrazněna (viz kapitola 3),
 - používané energie (průtok nebo skladované množství energetických médií);
 - pro potrubí vedoucí do různých zón zařízení:
 - povahu přepravované látky,
 - rychlost toku,
 - průměr potrubí;
 - pro budovy:
 - jejich funkce (údržba, technologické haly, ...),
 - významné informace pro uplatnění metodického pokynu.
3. Uvedení souřadnic míst v objektu nebo jednoznačný popis jejich umístění. Pomoci mohou letecké fotografie daného místa, on-line mapové portály či nástroje GIS, využívající volně dostupných služeb a mapových podkladů na bázi služeb „Web Map Services (WMS)“, Open Street Map apod.
4. Seznam látek, se kterými se manipuluje nebo které jsou skladovány v objektu včetně jejich bezpečnostních listů. Bezpečnostní list musí specifikovat nebezpečí hrozící od látky a její zvláště nebezpečné vlastnosti (např. rozklad teplem, sekundární reakce, toxický kouř při požáru, ...). Rovněž musí být uvedeny potřebné informace vztahující se k sekundárním reakcím (např. tlakové a teplotní poměry). Seznam je možné také převzít z aktuálně platné dokumentace posouzení rizik závažných havárií pro aktuálně řešené provozovny vybraných provozovatelů.

Pro uvažovaný objekt je nutné vytvořit dokument sumarizující specifické informace o rizikových zařízeních. K tomuto účelu se využijí formuláře „data o zařízení“, jež jsou přílohou tohoto dokumentu, pro pozdější vyhodnocení získaných podrobných informací o rizikových položkách zařízení.

Dobrou a užitečnou praxí je návštěva objektu, setkání a spolupráce s odpovědnými pracovníky v oblasti průmyslové bezpečnosti podniku (zástupcem pro PZH).

Návštěva a prohlídka objektu pomůže vytvořit přesnější představu o skutečném rozsahu a rozmístění položek zařízení, potrubí atd. Během prohlídky je nezbytné soustředit pozornost na:

- přítomnost pozemních komunikací umístěných v blízkosti různých položek zařízení (riziko dopravní nehody postihující i některou položku zařízení, riziko nárazu do potrubí, ...);
- přítomnost dočasně parkujících vozidel (např. železniční nebo silniční cisternové vozy čekající na čerpání / stáčení) a jejich umístění vzhledem k různým položkám zařízení;
- přeplněnost různých zón v objektu (přeplněnost je důležitá z důvodu vyhodnocení nebezpečí exploze oblaku par) a průměrnou výšku položek zařízení (z důvodu určení objemu případného oblaku par přítomného v přeplněné zóně; podrobný výpočet je vysvětlen v kap. 5.9.2;
- přítomnost a umístění zachytných jímek a dalších preventivních a bezpečnostních prvků a systémů;
- přítomnost horkých míst (pece, vařáky, motory, fléry atd.), které by mohly být pravděpodobným zdrojem iniciace oblaku par.

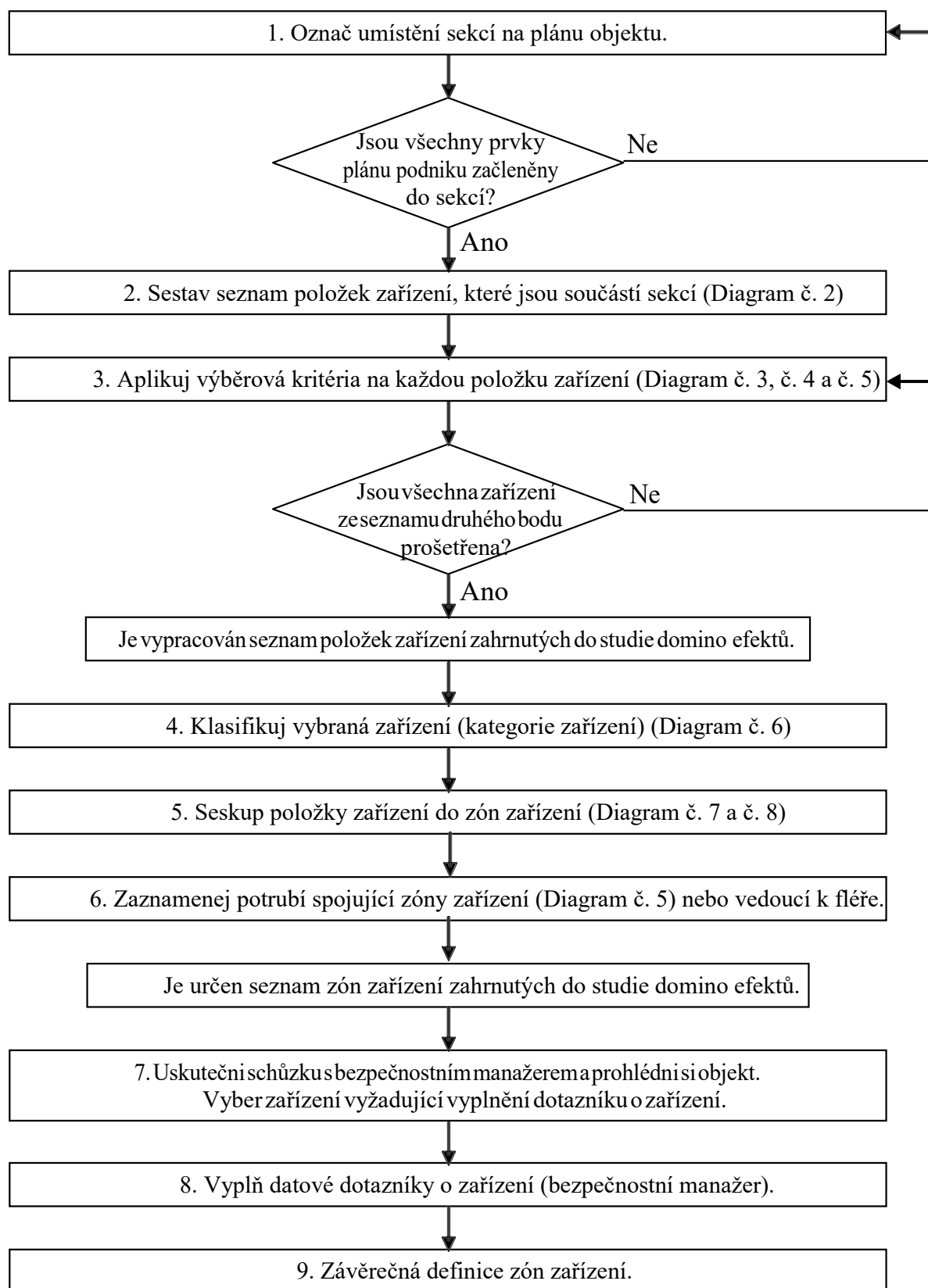
3. Krok 1: Metoda pro nalezení rizikového zařízení

Účelem prvního kroku je zpracování přehledu, roztrídění a umístění položek zařízení nebo zón zařízení v objektu. Logický způsob sestavování seznamu zón zařízení je vyjádřen pomocí rozhodovacích diagramů. Tyto diagramy jsou uvedeny v dalším textu.

- Diagram č. 1: Sumarizace Kroku 1: způsob výběru nebezpečného zařízení v objektu.
- Diagram č. 2: Seznam položek zařízení, které jsou součástí sekce.
- Diagram č. 3: Výběrová kritéria pro položky zařízení náležející do sekce skladování nebo sekce čerpání/stáčení.
- Diagram č. 4: Výběrová kritéria pro položky zařízení náležející do výrobní sekce.
- Diagram č. 5: Výběrová kritéria založená na povaze látek a na jejich množstvích.
- Diagram č. 6: Určení kategorie pro skladovací zařízení.
- Diagram č. 7: Seskupování do zón zařízení pro: sklady, stáčecí a čerpací zařízení a potrubní.

Diagram č. 1 popisuje způsob výběru rizikového zařízení. Tento způsob zahrnuje 9 bodů. V dalším textu jsou tyto body probrány podrobněji.

Diagram č. 1: Sumarizace Kroku 1: způsob výběru nebezpečného zařízení v objektu



3.1 První bod: „Označení umístění sekcí na plánu objektu“

Použije se plán objektu za účelem definování sekcí pomocí jednoduchých logických a prostorových kritérií (otevřený prostor, stěny, budovy, komunikace, ...).

Tyto sekce jsou:

- sekce skladování (suroviny, meziprodukty, výrobky, odpadní produkty, ...);
- stáčecí / čerpací sekce pro dovážené a expedované produkty;
- výrobní sekce (zpracování výrobků, výroba energie, ...)
- budovy.

Na konci prvního bodu musí být sestaven seznam se všemi identifikovanými sekcemi ve studovaném objektu (viz kap. 3.9 tohoto dokumentu).

3.2 Druhý bod: „Sestavení seznamu položek zařízení, které jsou součástí sekcí“

Pro každou definovanou sekci musí být vytvořen seznam základních položek zařízení. Diagram č. 2, uvedený níže, uvádí postup.

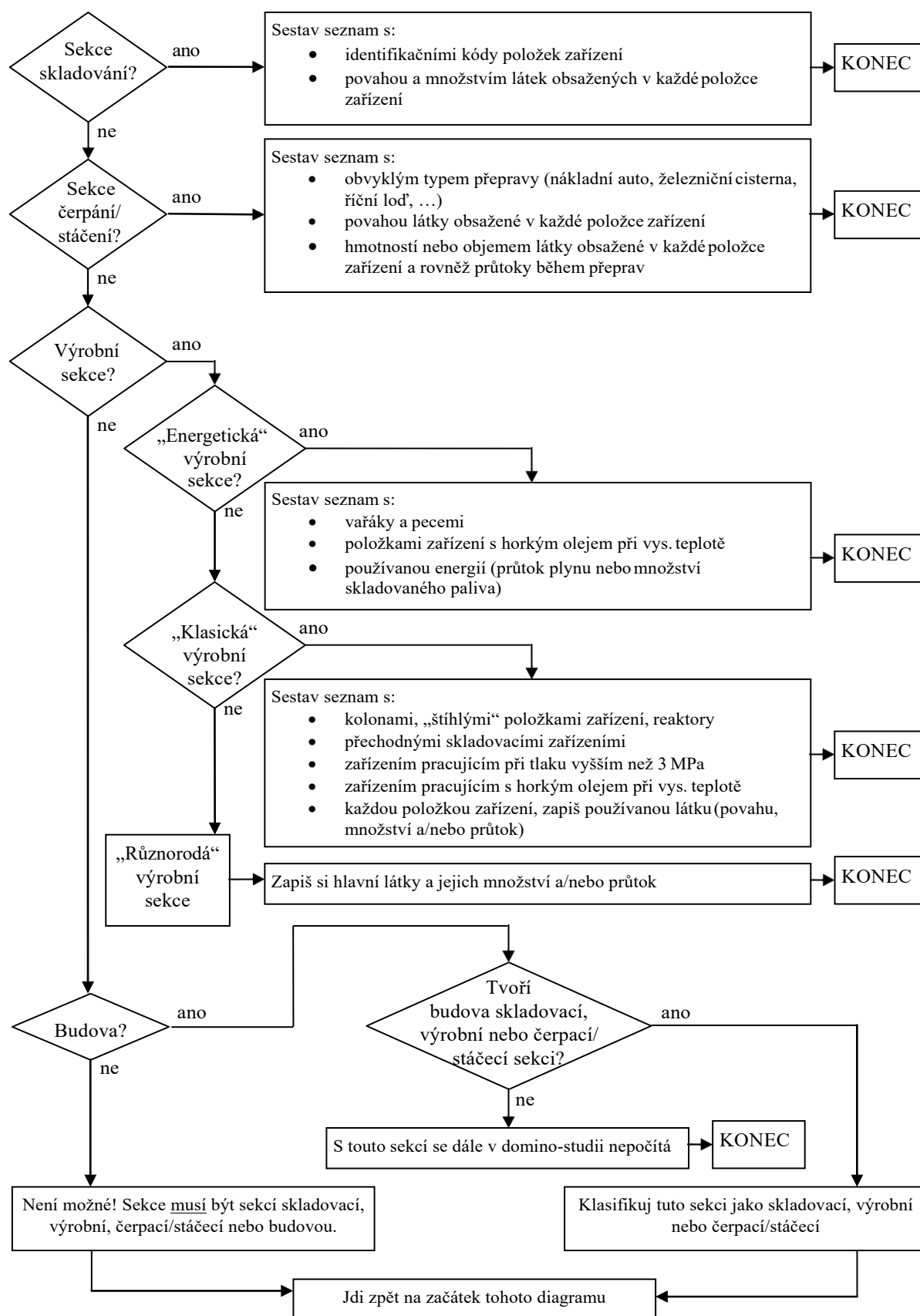
Mělo by se postupovat podle následujících instrukcí:

- Pro skladovací sekce sestavit seznam s:
 - identifikačním číslem nebo názvem položky,
 - povahou látky v každé položce zařízení,
 - množstvím látek v každé položce zařízení.
- Pro stáčecí / čerpací sekce sepsat:
 - typ dopravního prostředku (autocisterna, železniční cisterna, nákladní říční člun, ...),
 - povahu látek, se kterými se manipuluje,
 - množství obsažené v položce zařízení,
 - rychlost stáčení / čerpání.
- Pro výrobní sekce:
 - ve výrobach s přívodem „energií“ zaznamenejte přítomnost:
 - vařáků,
 - pecí,
 - zařízení používající horký olej nebo vysokou teplotu,
 - používané energie (průtok plynu nebo množství skladovaného paliva);
 - v „klasických“ výrobních sekcích prostuduj diagramy procesních toků a zaznamenej:
 - kolony,
 - „štíhlá“ zařízení (vyšší než 20 m a s poměrem výška / průměr větším než 4),
 - reaktory,
 - položky zařízení pro skladování meziproductů,
 - zařízení pracující při tlacích vyšších než 3 MPa,

- zařízení pracující s horkým olejem a při vysoké teplotě.
 - Pro každou položku zařízení zaznamenej látku, se kterou se manipuluje, a její množství (a / nebo průtok).
- V „různorodých“ výrobních sekcích (výrobní sekce, které nejsou ani s přívodem „energií“, ani „klasické“, ale ve kterých se manipuluje s nebezpečnými látkami, např. soubory čerpadel, kompresorů...) zaznamenejte hlavní látku, se kterou se manipuluje a její množství a / nebo průtok.
 - U budov, pokud jsou používány jako skladiště, výrobní či stáčecí / čerpací zařízení, by měly být shromážděny údaje o jejich základních položkách zařízení, podobně jako je popsáno výše pro odpovídající sekce. Sekce „budovy“ se dále neuvažuje, pokud se tento pojem nepoužívá pro sklady nebezpečných látek, pro výrobní sekce nebo pro čerpací / stáčecí sekci.

Na závěr druhého bodu musí být všechny položky zařízení patřící do výše uvedených sekcí zapsány do formuláře DOMINO-2: SEZNAM ZAŘÍZENÍ (viz kap. 3.9 tohoto dokumentu).

Diagram č. 2: Seznam položek zařízení, které jsou součástí sekce



3.3 Třetí bod: „Výběr zařízení“

Každá položka zařízení, která je v druhém bodu zařazena na seznam, musí být prošetřena podle výběrových kritérií, která uvádějí Diagram č. 3, Diagram č. 4 nebo Diagram č. 5 tak, aby buď byla, nebo nebyla vybrána jako položka zařízení pro pokračování v posouzení možnosti vzniku domino efektů.

Tato kritéria se týkají nebezpečnosti a množství látky v položce zařízení stejně jako možnosti vzniku letících trosek z položky zařízení. Diagram č. 3 a Diagram č. 4 uvádějí výběrová kritéria pro zařízení jednak skladovacích sekcí (4 typy) nebo čerpacích / stáčecích sekcí a jednak pro výrobní sekce.

Diagram č. 5 se užívá pouze tehdy, odkazuje-li na něj Diagram č. 3 nebo Diagram č. 4 nebo pro výběrová kritéria vztahující se k potrubí – viz kap. 3.5.

Poznámky k jednotlivým diagramům:

- Jakmile je položka zařízení vybrána pomocí některého z kritérií, ostatní výběrová kritéria už nemusí být aplikována. Spojení mezi položkou zařízení a jiným scénářem havárie bude proveden v druhém kroku.
- Pokud Diagram č. 3 a Diagram č. 4 uvádí množství manipulované nebo skladované nebezpečné látky větší než 5 tun, pak se s položkou zařízení ve studii dále automaticky počítá. Ve většině případů havárií je toto množství považováno za dostatečné způsobit významné projevy s ohledem na domino efekty.
- Diagram č. 4 vede k automatickému výběru pouze pece spalující plyn a ta je spojena se scénáři s únikem plynu. Pece spalující olej nebo jiné kapalné palivo vybrány nebudou, ale příslušné palivové nádrže vybrány budou (pokud je množství větší než pět tun).
- Reaktory a přechodné skladovací nádrže jsou systematicky vybrány, pokud hrozí *nebezpečí nekontrolovatelné reakce*, při které vzniká vysoký přetlak ohrožující celistvost nádoby, nebo *vnitřní exploze* uzavřené nádoby – často vlivem akumulace explozivních látek (par, plynu nebo prachu) pod víkem nádoby (Diagram č. 4).
- Výběr položky zařízení obsahující nebo manipulující s hořlavou látkou závisí na době trvání možného požáru (Diagram č. 5). Jednoduchá metoda pro odhad doby trvání požáru kaluže je navržena v kap. 5.9.2
- Diagram č. 5 bere s ohledem na výběr položek zařízení obsahujících kapalné explozivní látky v úvahu pouze případ vysoce reaktivních látek, pokud tyto látky mají tlak par mezi 0,05 a 0,1 MPa a jsou schopny vytvořit kaluž, jejíž povrch je větší než 200 m² (metoda pro odhad povrchu kaluže je uvedena v kap. 5.1.2).
- Množství větší než 5 tun je nezbytné pro vznik vážného nebezpečí exploze u zařízení obsahujícího látky s jinou reaktivitou nebo jiným tlakem par. Proto jsou tato zařízení buď vybrána, nebo se s nimi nemusí dále počítat.
- Podle stejného diagramu nejsou ještě dostupná kritéria pro výběr položek zařízení obsahující toxické látky. Přesto musí být brány v úvahu všechny položky zařízení obsahující látky třídy nebezpečnosti 4 (třídy nebezpečnosti látek viz kap. 7).

Diagram č. 3: Výběrová kritéria pro položky zařízení náležející do sekce skladování nebo sekce čerpání/stáčení

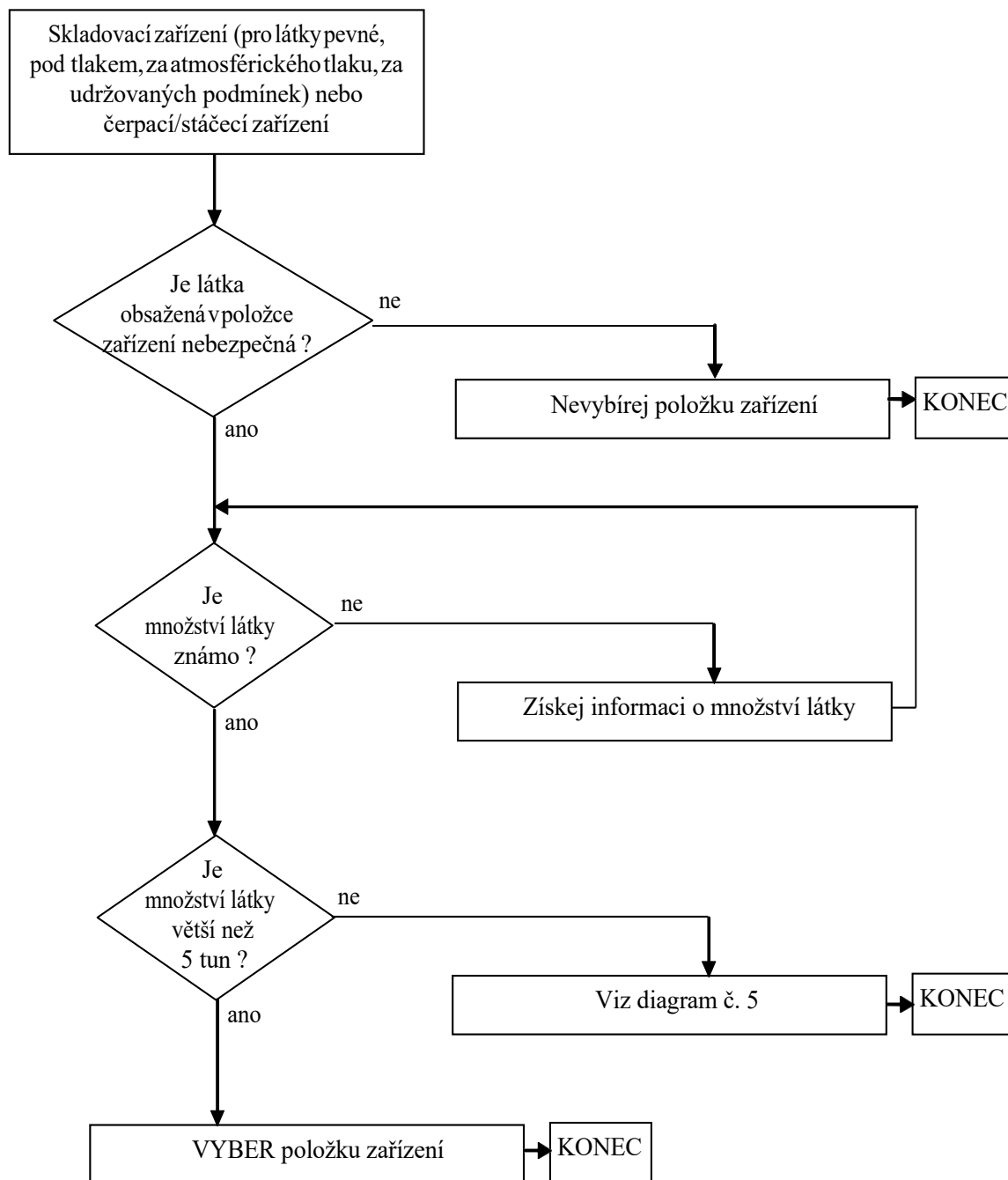


Diagram č. 4: Výběrová kritéria pro položky zařízení náležející do výrobní sekce

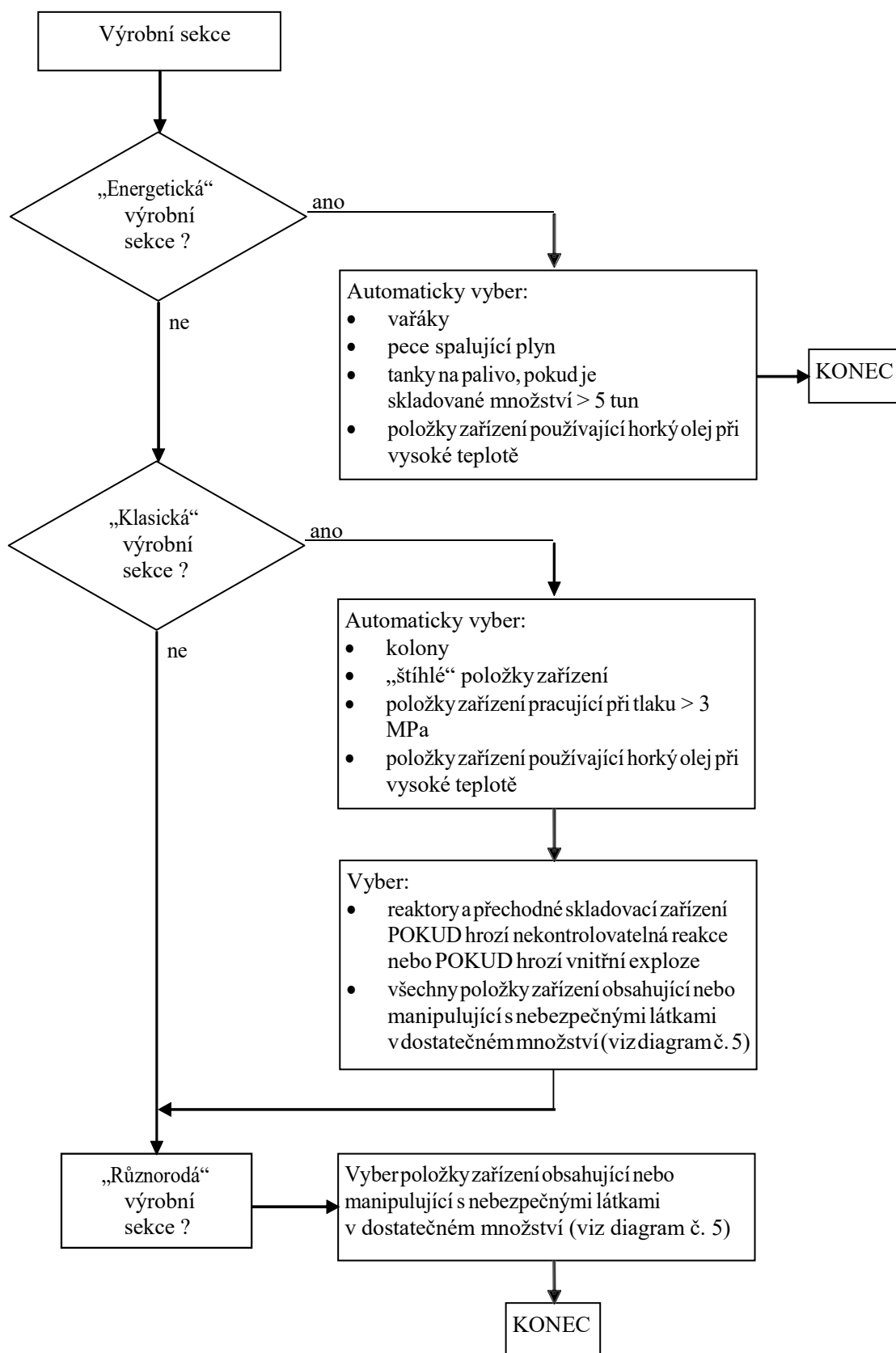
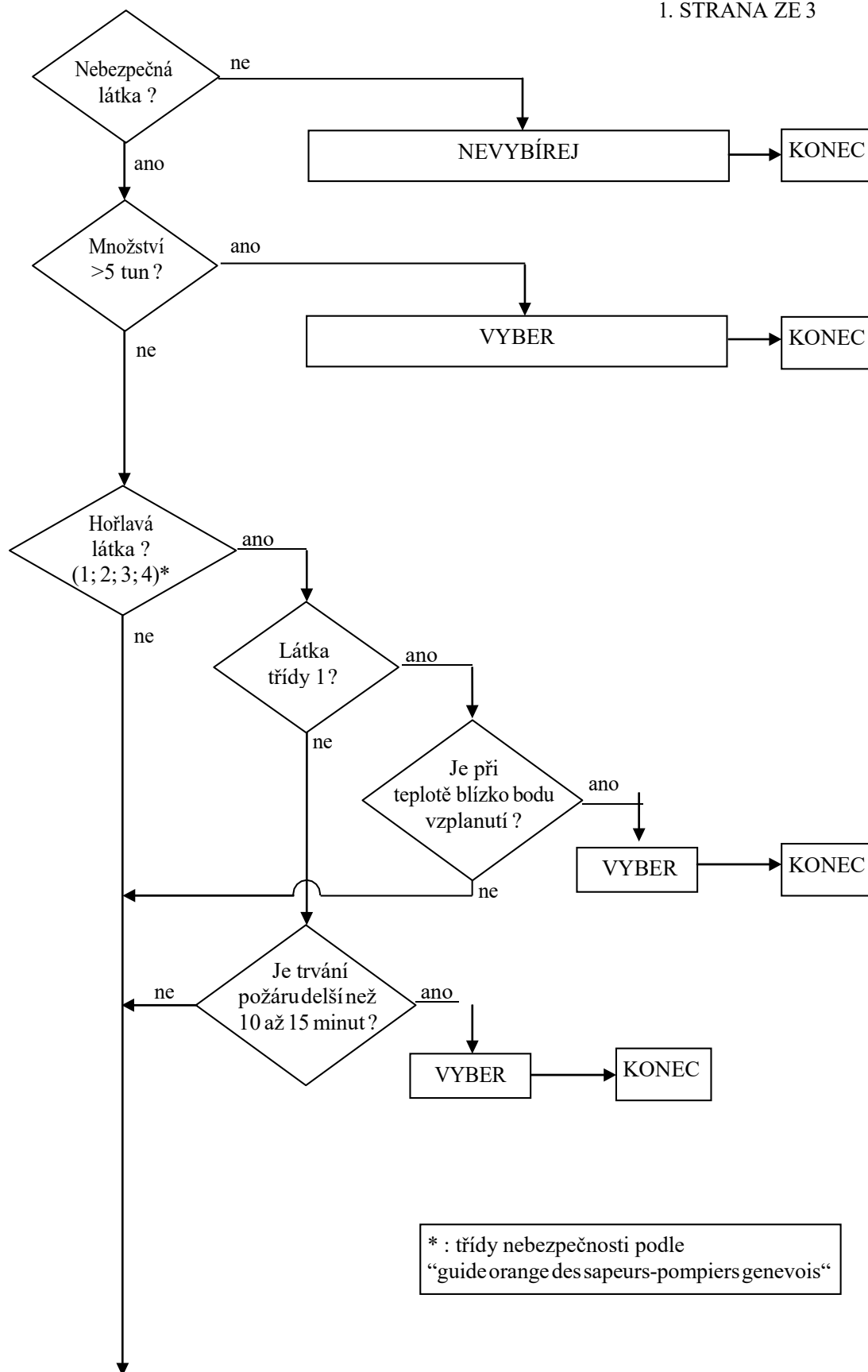
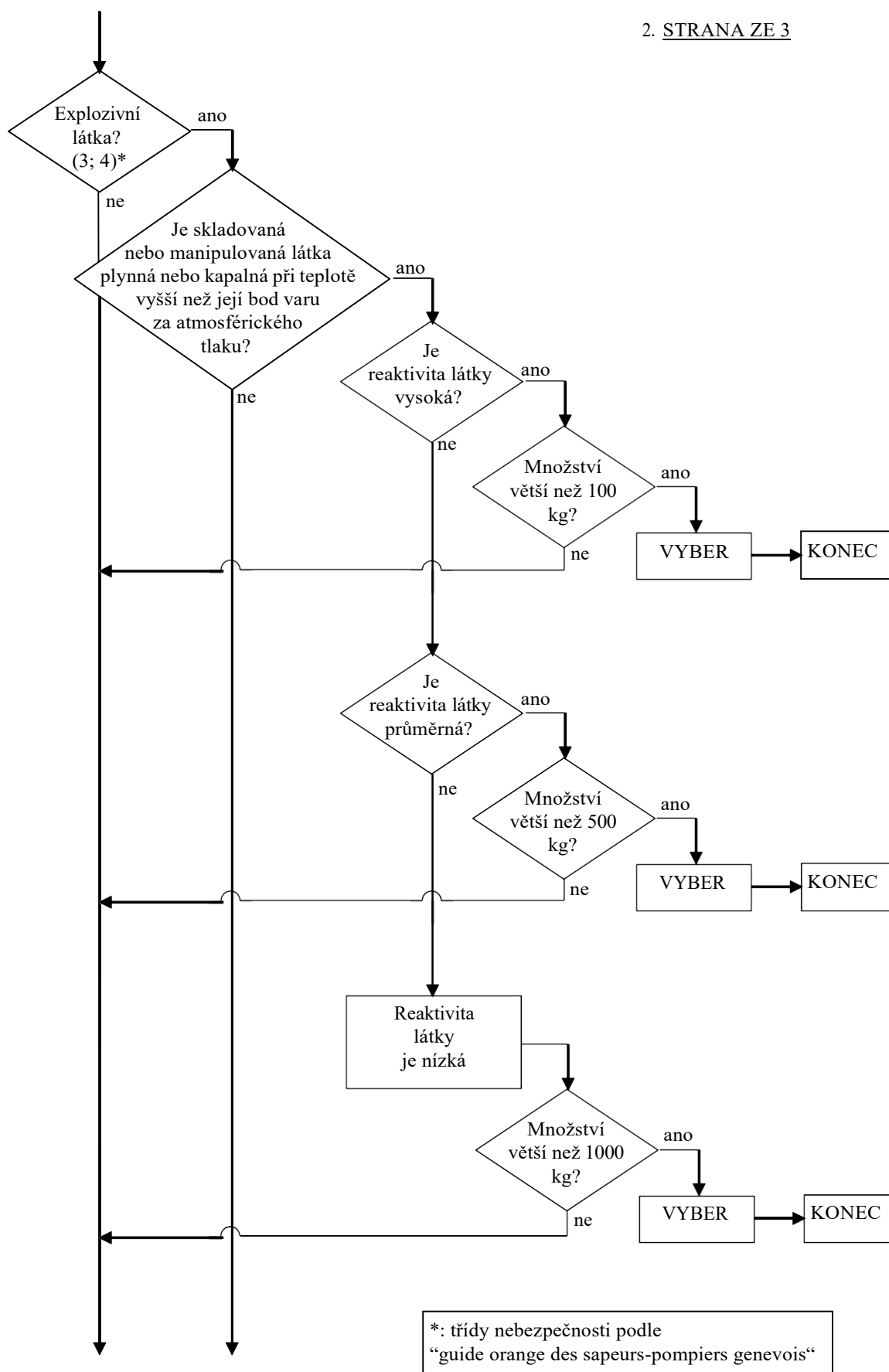


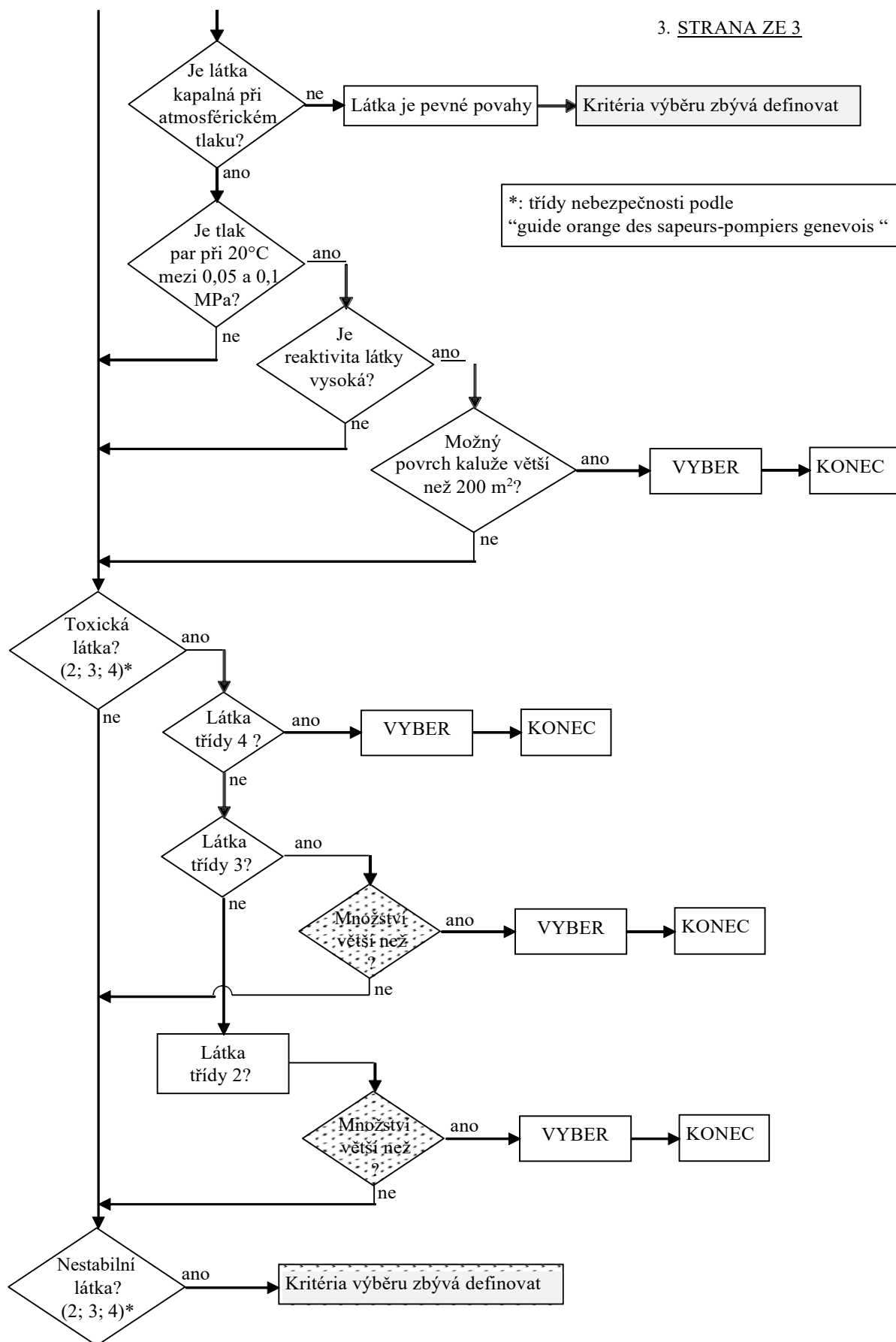
Diagram č. 5: Výběrová kritéria založená na povaze látek a na jejich množstvích

1. STRANA ZE 3





*: třídy nebezpečnosti podle
“guide orange des sapeurs-pompiers genevois“



3.4 Čtvrtý bod: „Klasifikace vybraných zařízení“

Položky zařízení jsou klasifikovány podle svých charakteristik do sedmi kategorií zařízení uvedených níže.

(1) Zařízení pro skladování pevných látek

Týká se skladů pevných látek ve formě prášku nebo granulí. Tyto látky musí být skladovány volně ložené (nejsou zahrnovány produkty skladované v pytlích, big-bag).

(2) Zařízení pro tlakové skladování

Má se jednat o tlakové skladovací zásobníky, které mají pracovní tlak nad 0,2 MPa (tlak dosažený látkou nebo inertem). Takové zásobníky jsou užívány ke skladování zkapalněných plynů jako chloru, LPG, VCM, amoniaku atp., to znamená látek, které mají tlak par značně větší, než je atmosférický tlak. Chlazené tlakové sklady jsou rovněž klasifikovány mezi tlaková skladovací zařízení, pokud v nich tlak přesahuje 0,2 MPa. I když některá další zařízení mohou pracovat s tlakem větším než atmosférickým (např. některé reaktory), do této skupiny se řadí pouze skladovací zásobníky.

(3) Zařízení pro atmosférické nebo nízkoteplotní skladování

Tato kategorie zahrnuje pouze různé typy atmosférických skladovacích zásobníků (s plovoucí střechou, s pevnou střechou, bez střechy). Do této kategorie patří rovněž skladování s podchlazením, protože je zde obecně tlak atmosférický nebo nižší.

(4) Zařízení pro malotonážní skladování

Malotonážní skladování znamená skladování v kovových soudcích, skleněných opletených lahvích apod. a všech skladovacích tancích, jejichž jednotlivý objem je menší než 1 m³. Látka v jednom obalu zřejmě nemůže způsobit závažnou havárii. Nicméně jsou někdy obaly s látkou skladovány v omezeném prostoru a její množství může být příčinou nehody.

(5) Stáčecí a čerpací zařízení

Zařízení pro stáčení a čerpání je pro provoz v objektu důležité. Zařízením může být železniční cisterna, silniční cisterna nebo loď včetně přípojných ramen a hadic. Jejich nebezpečnost vyplývá z častých manipulací.

(6) Výrobní zařízení

Tato kategorie zahrnuje:

- zařízení navržené pro zpracování nebo fyzikální či chemickou separaci látek (reaktor, destilační kolona, absorpční kolona, extrakce z kapaliny do kapaliny, centrifuga, ...);
- přechodné skladovací zařízení začleněné do výroby;
- další pomocné prostředky (čerpadla, tepelné výměníky, kompresory, plynové výparníky);
- zařízení pro výrobu a dodávku energií (pece, vařáky, ...);
- všechna potrubí přináležející výše zmíněným zařízením jsou začleněna do výrobních zařízení.

(7) Potrubní systém

Potrubí spojující rozdílné zóny zařízení se uvažují jako „potrubní síť“, např. potrubí spojující stáčecí zařízení s prostorem skladování, nebo spojující prostor skladování s výrobním prostorem. Patří sem i havarijní potrubí a místa jejich vyústění.

Za „potrubní systém“ se nepovažují:

- malá potrubí náležející některé položce zařízení (např. drenážní nebo vzorkovací potrubí...), tato potrubí náleží těm položkám zařízení, se kterými jsou spojena;
- potrubí náležející výrobě, ta jsou studována společně s výrobním zařízením.

Klasifikace do kategorií pro výrobní, stáčecí a čerpací zařízení a pro potrubní systémy je zřejmá. Naopak může pomoci při klasifikaci skladovacího zařízení do výše uvedených čtyřech kategorií pro skladování.

Diagram č. 6: Určení kategorie pro skladovací zařízení

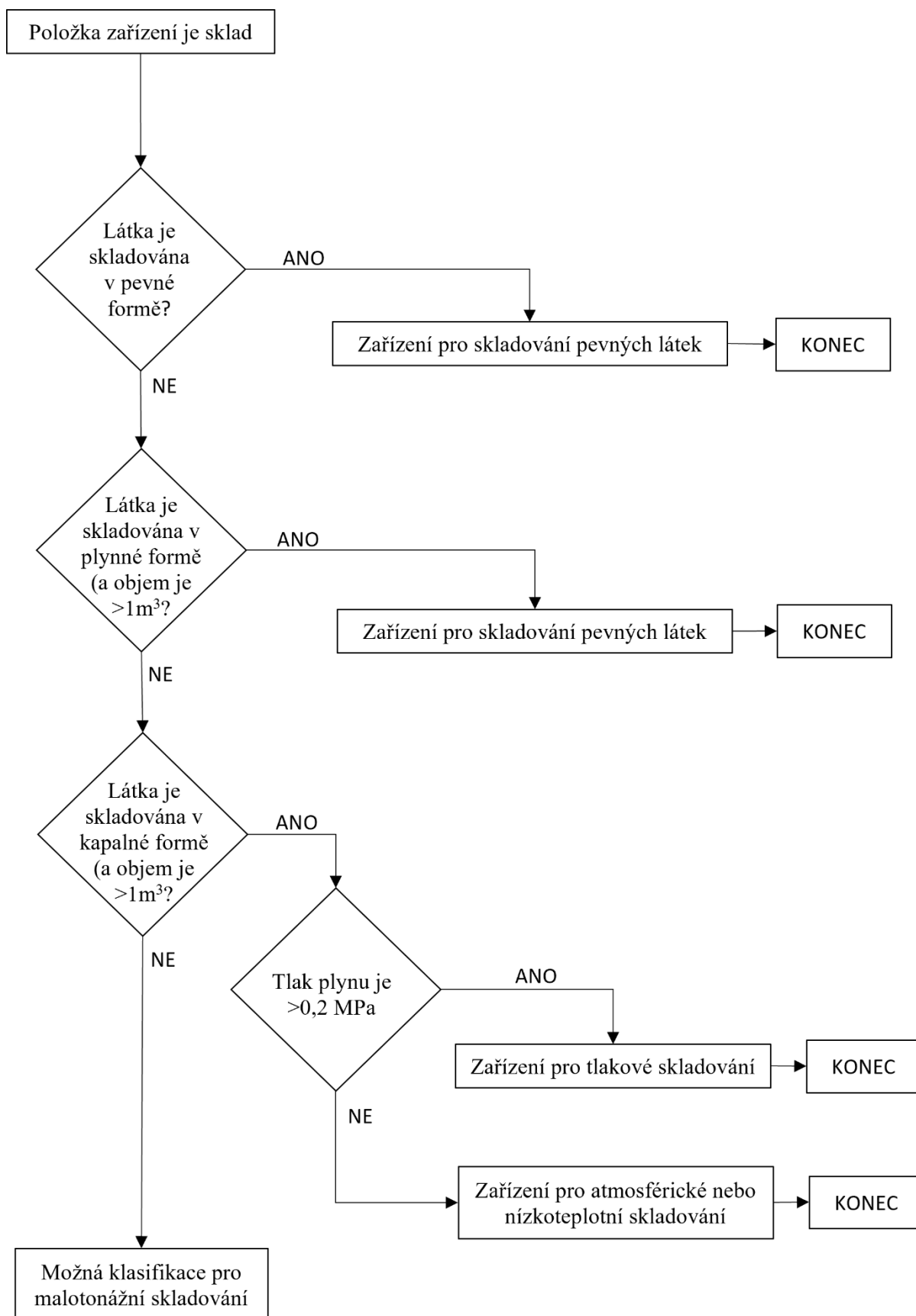
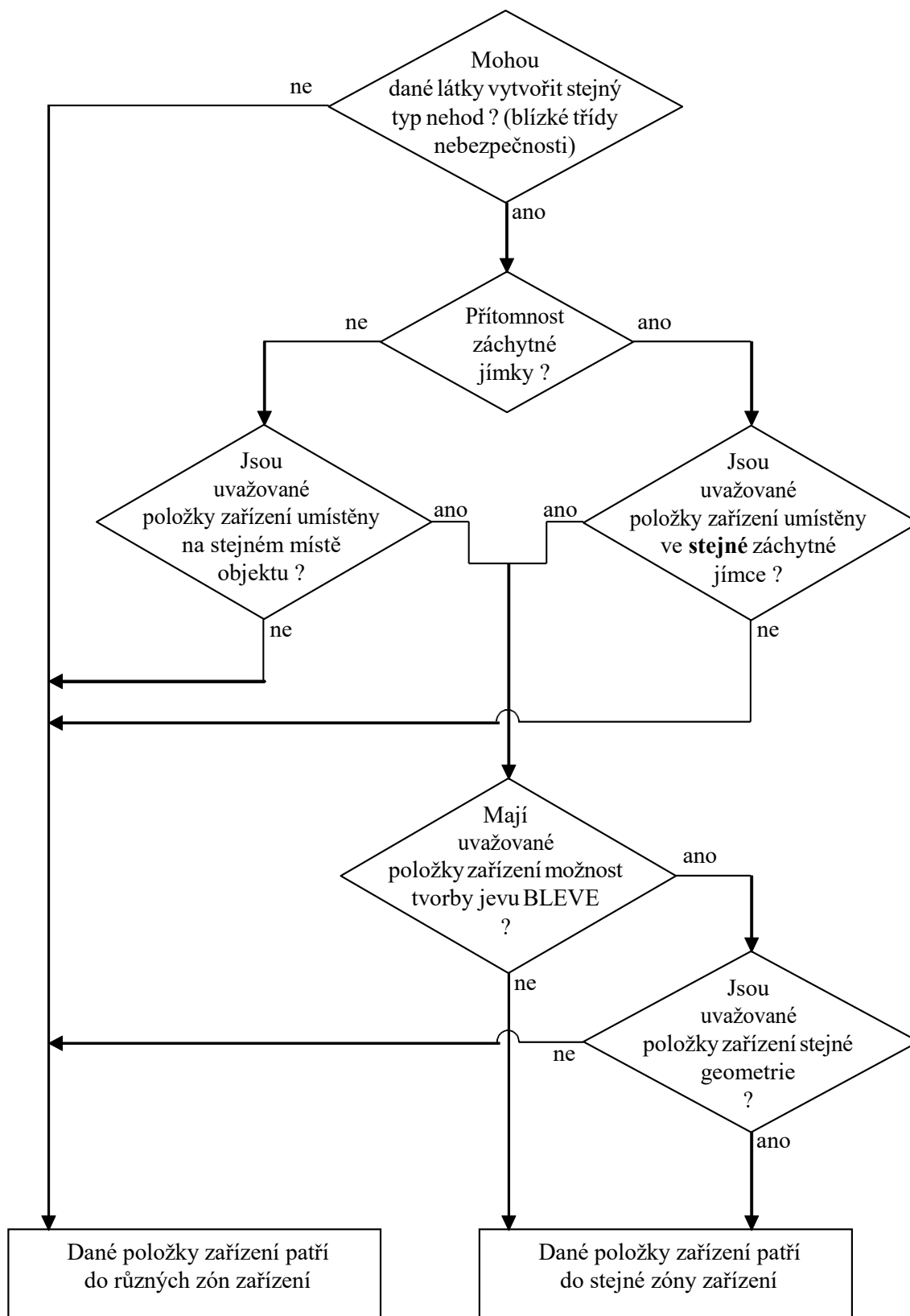


Diagram č. 7: Seskupování do zón zařízení pro: sklady, stáčecí a čerpací zařízení a potrubní systémy



3.5 Šestý bod: „Zaznamenání potrubí spojující zóny zařízení nebo fléru“

Jakmile je provedeno seskupení do jednotlivých zón zařízení, mohou být vybrána a seskupena spojovací potrubí (viz Diagram č. 5).

Zóny zařízení jsou vytvářeny oddělenými potrubími podle jejich umístění a povahy přepravovaných látek, jak ukazuje Diagram č. 7.

Měla by být určena potrubí spojující zóny zařízení definované v pátém bodě a vytvořen jejich seznam. Potrubí buď budou, nebo nebudou vybrána na základě kritérií, která berou v úvahu množství a nebezpečnost přepravované látky.

3.6 Sedmý bod: „Schůzka s bezpečnostním manažerem a prohlídka objektu“

V této fázi je užitečné opět navštívit objekt a znovu se sejit s pracovníkem, který nejlépe zná objekt a může pomoci posoudit důležitost vybraných zón zařízení.

Návštěva objektu je nutná zvláště pro:

- posouzení všech vybraných zón zařízení a diskusi nad jejich významností;
- získání dalších podrobností ze zkušeností bezpečnostního manažera a z jeho hlubokých znalostí objektu;
- získání podrobností o nehodách, které se v minulosti staly v objektu nebo v jiných objektech s podobnou výrobou.

Schůzka má rovněž sloužit pro shromáždění potřebných dat pro ty položky zařízení, pro které to je nezbytné, a pro volbu přeplněných zón.

Na závěr takového setkání by měly být vybrány ty položky zařízení, pro které jsou potřeba datové dotazníky zařízení (viz „Datové dotazníky zařízení“, Příloha 1 tohoto dokumentu).

3.7 Osmý bod: „Vyplnění datových dotazníků zařízení“

Datové dotazníky zařízení se vyplní dle vzoru v Příloze 1.

3.8 Devátý bod: „Závěrečná definice zón zařízení“

Získaný datový dotazník zařízení umožní dokončit definici zón zařízení („Datové dotazníky zařízení“, viz Příloha 1).

3.9 Zpracování výsledků

Během prvního kroku se vyplní první formulář (DOMINO-1), který uvádí Příloha 2. Pro každý objekt se musí uvést název příslušné průmyslové oblasti, název objektu, datum, jméno osoby, která provádí studii. Rovněž se uvede seznam a krátký popis sekcí přítomných v objektu:

- skladovací sekce;
- stáčecí / čerpací sekce;
- výrobní sekce;
- budovy.

Druhý formulář (DOMINO-2: SEZNAM ZAŘÍZENÍ), který je rovněž uveden v Příloze 2, umožní zpracovateli studie vytvořit seznam všech položek zařízení, které jsou součástí výše popsaných sekcí. Seznam bude obsahovat následující informace:

- uvažovanou sekci;
- identifikační číslo nebo kód položky zařízení;
- popis položky zařízení;
- skladovanou nebo manipulovanou látku v této položce zařízení;
- třídy nebezpečnosti dané látky (viz kap. 7 nebo citaci [4]);
- možné teplotní a tlakové podmínky (bude specifikováno pro výrobní zařízení);
- skladovaná nebo manipulovaná množství (obsah nebo průtok);
- výběr nebo zamítnutí položky zařízení pro pokračování ve studii identifikace a vyhodnocení domino efektů;
- pokud je položka zařízení vybrána, je klasifikována do jedné ze 7 dříve definovaných tříd (zařízení pro skladování pevných látek, zařízení pro tlakové skladování, zařízení pro atmosférické nebo nízkoteplotní skladování, zařízení pro malotonážní skladování, stáčecí a čerpací zařízení, výrobní zařízení, potrubní systémy);
- číslo zóny zařízení: několik vybraných zařízení může patřit do stejné zóny zařízení. S takovou zónou se bude dále počítat ve studii identifikace a vyhodnocení domino efektů.

Jakmile jsou tyto formuláře vyplněny, může uživatel metodického pokynu začít připravovat tabulku DOMINO-3, viz Příloha 2, obsahující následující sloupce:

- sloupec 1: číslo zóny zařízení;
- sloupec 2: kód umožňující identifikaci zóny zařízení na mapě objektu;
- sloupec 3: popis zóny zařízení, povaha a množství manipulovaných látek považovaných za charakteristické pro danou zónu zařízení;
- sloupec 4: typ zóny zařízení (SPL, TS, ANS, MTS, SČ, V, PS).

Tato tabulka s aktuálním souhrnem informací nasbíraných při studii identifikace a vyhodnocení domino efektů bude dokončena během následujících kroků.

4. Krok 2: Výběr primárních položek zařízení nebo zón zařízení – primární nehody, přidružené projevy a epicentra

Účelem druhého kroku je vybrat položky zařízení nebo zónu zařízení (z těch, které byly identifikovány v předešlém kroku), které jsou pravděpodobně schopny způsobit primární nehodu. Navíc musí být stanoveny možné projevy a epicentra pro tato zařízení.

4.1 Výběr primárních položek zařízení

Pouze položky zařízení nebo zóny zařízení, které jsou schopny způsobit havárii s tepelnými a/nebo mechanickými projevy, jsou vybírány jako primární. Položky zařízení nebo zóny zařízení představující pouze toxické ohrožení nejsou vybrány jako primární, ale jsou řazeny mezi sekundární položky zařízení nebo zóny zařízení. Podle analýzy dat proběhlých havárií [7] můžeme konstatovat, že některé typy zón zařízení nebo některé typy havárií nemohou být první událostí způsobující domino efekt. Následuje jejich seznam:

- Malotonážní zařízení zřídka způsobí závažnou primární havárii. Současné selhání několika kontejnerů je zcela nepravděpodobné. Naopak mohou vést ke vzniku sekundárního požáru nebo letících trosek.
- Projev BLEVE se může vyskytnout pouze v případě, kdy je zásobník zachvácen požárem (nebo v blízkosti požáru). BLEVE je pak sekundární havárií. Primární havárií je často požár kaluže nebo tryskový požár.
- Vzkypění je rovněž sekundární havárie. Je to následek primárního požáru, zejména požáru zásobníku nebo požáru kaluže.

Sekundární zařízení nebo havárie se mohou stát primárními v sérii domino efektů (sekundární havárie se v prvním domino efektu stává primární havárií pro druhý domino efekt). Proto jsou malotonážní zařízení přesto řazena mezi primární zařízení a rovněž BLEVE a vzkypění jsou studovány jako primární havárie. Nejsou jako první události v domino efektu, ale mohou se stát primární událostí v sérii domino efektů.

4.2 Primární nehody, přidružené projevy a umístění epicentra

Historický souhrn [7] poskytuje řadu informací o hlavních nehodách a projevech, které mohou být pozorovány podle různých typů položek zařízení nebo zón zařízení. Následující tabulky shrnují primární nehody, příslušné projevy a umístění epicentra pro každý ze sedmi typů zařízení definovaných v kap. 1. Musí být přesně stanoven scénář (z množiny možných), který je spojován s uvažovanou zónou zařízení, viz kap. 4.2.

a) Zařízení pro skladování pevných látek

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Exploze a exploze prachu	Přetlak, Rozlet trosek	V uvažované zóně zařízení

b) Zařízení pro tlakové skladování

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár kaluže	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Tryskavý požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
BLEVE	Přetlak, Rozlet trosek	V uvažované zóně zařízení
VCE	Přetlak	V přeplněné zóně umístěné v daném rozsahu kolem uvažované zóny zařízení

Poznámka: VCE (výbuch oblaku par) se může vyskytnout, stejně jako může vzniknout zahoření oblaku par. Zahoření je pozorováno v případě, že hořlavý mrak vzplane vně přeplněné zóny. Rychlost plamene není dostatečná, aby to vedlo k pozorovatelným tlakovým projevům. Navíc tepelné projevy zahoření nejsou dostatečné, aby vyvolaly druhotnou nehodu. Ve většině případů následky zahoření způsobí požár kaluže nebo tryskový požár v místě úniku hořlavé látky. Proto není zahoření považováno za specifickou nehodu, ale počítá se s jeho případnými následky.

c) Zařízení pro skladování atmosférické nebo nízkoteplotní skladování

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár kaluže	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Požár zásobníku	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Exploze zásobníku	Rozlet trosek	V uvažované zóně zařízení
VCE následovaný po vypaření hořlavé látky	Přetlak	V přeplněné zóně umístěné v daném rozsahu kolem uvažované zóny zařízení
Vzkypění (ne pro nízkoteplotní skladování)	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení

d) Zařízení pro malotonážní zařízení

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Exploze	Rozlet trosek	V uvažované zóně zařízení

e) Stáček a čerpací zařízení

Projevy a epicentra budou stejné jako pro uvažované sklady pevných látek, skladování za atmosférického tlaku a tlakové skladování v závislosti na tom, zda je látka pevná nebo kapalná, za normálního tlaku nebo pod tlakem (také látky plynné).

f) Výrobní zařízení

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Tryskavý požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Exploze a exploze prachu	Rozlet trosek, Přetlak	V uvažované zóně zařízení
VCE	Přetlak	V přeplněné zóně umístěné v daném rozsahu kolem uvažované zóny zařízení

g) Potrubní systémy

Primární nehoda	Primární projev	Umístění epicentra
Požár kaluže	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
Tryskavý požár	Tepelná radiace	V uvažované zóně zařízení
VCE	Přetlak	V přeplněné zóně umístěné v daném rozsahu kolem uvažované zóny zařízení

Z předchozích tabulek lze vidět, že většina epicenter je uvnitř uvažovaných zón zařízení s výjimkou explozí oblaku par (VCE). Projevy VCE jsou počítány na základě objemu hořlavého mraku umístěného uvnitř přeplněné zóny.

Tyto přeplněné zóny jsou v objektech určovány proto, aby bylo možné nalézt epicentrum VCE. V každém studovaném objektu je zásadní takové přeplněné zóny nalézt (nemělo by se zapomínat na to, že hořlavý oblak může být iniciován v sousedícím zařízení).

Podrobněji k přeplněným zónám viz kap. 5.9.2.

4.3 Přířazování scénářů havárie k zařízením

Každá položka zařízení nebo zóna zařízení, která nebyla vyloučena během prvního kroku tohoto metodického pokynu, může způsobit nejrůznější primární havárie uvedené v předchozí kapitole.

Přesto v závislosti na uvažovaném typu zařízení, povaze a množství daných látek mohou být některé havarijní scénáře ze studie identifikace a vyhodnocení domino efektů vyloučeny.

4.3.1 Požár

Havarijní scénář „požár“ musí být spojován se zařízením pro skladování pevných látek, malotonažním zařízením, se zařízením pro stáčení a čerpání a výrobním zařízením obsahujícím nebo manipulujícím s látkou patřící do třídy hořlavosti 1, 2, 3 nebo 4 (pro látky patřící do třídy 1 pouze tehdy, pokud jsou užívány při teplotě vyšší, než je jejich bod vzplanutí), pokud je možnost trvání požáru delší než 10 až 15 minut. Navíc je vždy nutné ověřit, že kouřové zplodiny neobsahují toxické látky (sekundární havárie).

4.3.2 Exploze a prachová exploze

Havarijní scénář „exploze“ musí být spojován se všemi položkami zařízení, ve kterých se může vyskytnout náhlé zvýšení tlaku a může tak způsobit explozi s možností vzniku letících trosek.

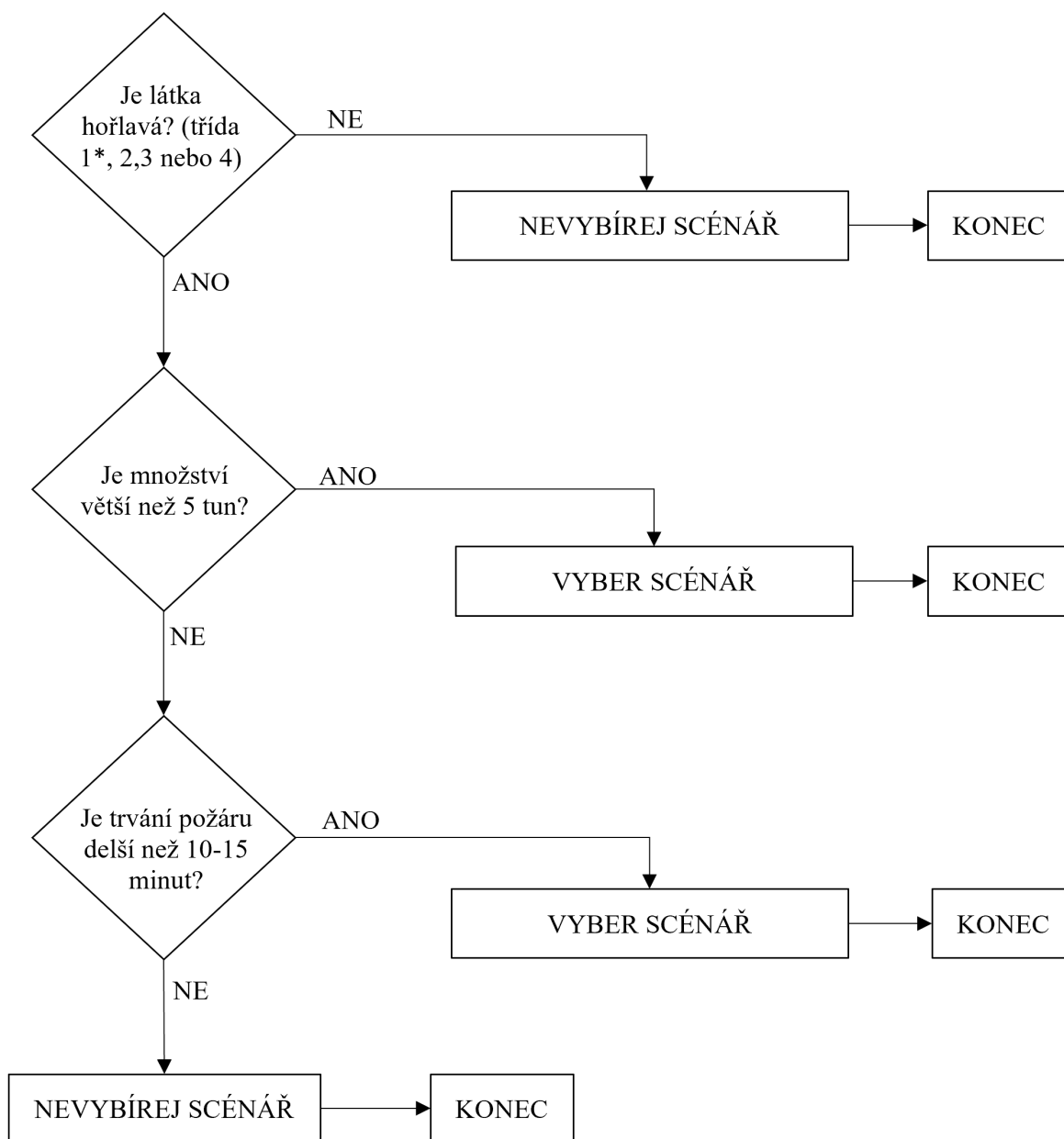
Takto uvažujeme o:

- prachové explozi ve skladovacích silech a v zařízeních manipulujících s práškovitými pevnými látkami (drtiče, sušičky, ...);
- explozi zásobníků;
- explozi reaktorů (nekontrolovatelný průběh reakce), kolon, přechodných skladovacích zásobníků začleněných do výroby, položek zařízení s tlakem vyšším než 3 MPa;
- explozi při malotonážním skladování;
- další případy.

4.3.3 Požár kaluže

Havarijní scénář „požár kaluže“ může být spojován se zařízením pro tlakové skladování, se zařízením pro skladování atmosférické nebo nízkoteplotní, se stáčecím a čerpacím zařízením a s potrubními systémy. Diagram č. 8 pomůže uživateli provést spojení mezi položkou zařízení a scénářem požáru kaluže. Volba scénáře závisí na době trvání požáru. Metoda výpočtu doby trvání požáru je uvedena v kap. 5.1.2.

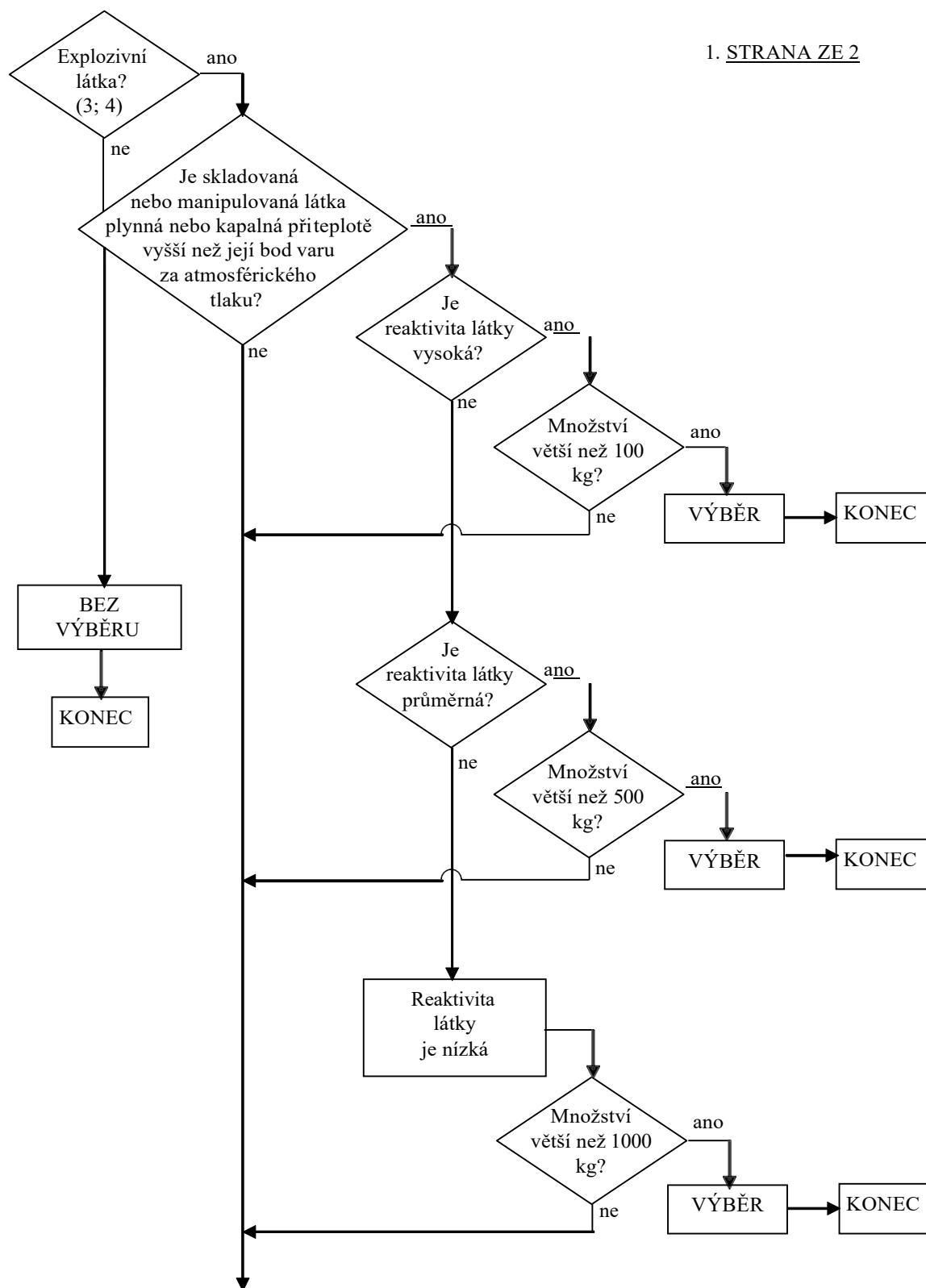
Diagram č. 8: Výběrová kritéria pro scénář požáru kaluže

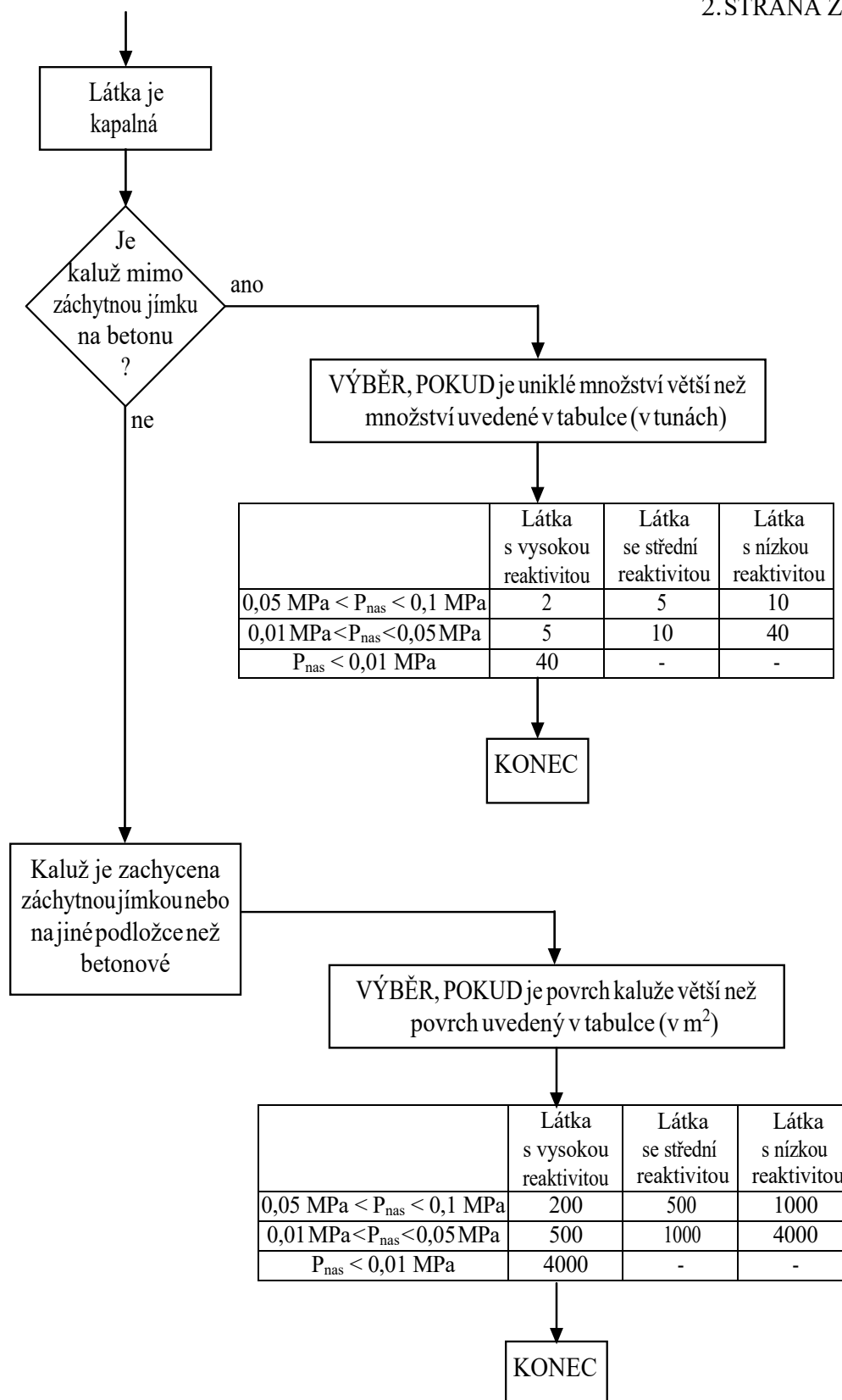


*látka patřící do 1. třídy hořlavosti se bere v úvahu pouze tehdy, pokud se používá při teplotě vyšší než je její teplota vzplanutí

Diagram č. 9: Výběrová kritéria pro scénář VCE (předpokládá se přeplněná zóna)

1. STRANA ZE 2





4.3.4 Tryskavý požár

Havarijní scénář „tryskavý požár“ musí být spojován se všemi položkami zařízení se zvýšeným tlakem a s hořlavou látkou.

4.3.5 BLEVE

Havarijní scénář „BLEVE“ musí být spojován se všemi položkami zařízení se zvýšeným tlakem, které obsahují látku uvedenou v následující tabulce (tento seznam není vyčerpávající):

Tabulka 1: Seznam látek s potenciálem havarijního projevu BLEVE

Acetylen	Chlorovodík	Oxid uhličitý	Etylenoxid
Amoniak	Metylchlorid	Etylén	Kyslík
Butadien (a C4)	Vinylchlorid monomer	Zkapalněný zemní plyn	Propan
Butan, buten a izomery	Cyklohexan	Vodík	Propylen
Butadienchlorid	Dimetyleter	Metan	

4.3.6 VCE

Havarijní scénář „VCE“ může být spojován se zařízením pro tlakové skladování, pro skladování atmosférické nebo nízkoteplotní, se zařízením pro stáčení a čerpání, s výrobním zařízením a s potrubními systémy. Diagram č. 8 pomůže uživateli provést spojení mezi položkou zařízení a scénářem VCE. Aby se mohlo uvažovat o scénáři s VCE, je nutná přítomnost přeplněné zóny (viz [kap. 5.9.2](#)). Tato přeplněná zóna může ležet na jiném místě objektu, než kde vznikl únik.

4.3.7 Požár zásobníku

Havarijní scénář „požár zásobníku“ musí být spojován se všemi zařízeními pro skladování atmosférické nebo nízkoteplotní, které obsahují látku patřící do třídy hořlavosti 2, 3 nebo 4.

4.3.8 Vzkypění

Havarijní scénář „vzkypění“ může být spojován pouze se zařízením atmosférického zásobníku za podmínek definovaných v [kap. 5.8](#).

5. Krok 3: Stanovení sekundárního zařízení

Účelem třetího kroku je rychlý výběr párů zón zařízení, které by zřejmě byly zasaženy domino efekty. Pro splnění třetího kroku se pro každý projev spojený s nehodou primární položky zařízení nebo zóny zařízení stanovuje pomocí jednoduchých kritérií vzdálenost, která představuje významnou možnost vzniku sekundární nehody (domino efektu) v případě dostatečného poškození položky sekundárního zařízení nebo zóny zařízení.

5.1 Požár kaluže

5.1.1 Popis jevu

Požár kaluže je výsledkem poruchy zařízení obsahujícího hořlavou kapalinu. Náhodné zapálení této kapaliny způsobí vznik místního neřízeného tepelného zdroje, který produkuje více nebo méně významnou tepelnou radiaci. Požár kaluže bude významný za následujících podmínek:

- Uniklá látka je hořlavá a patří do třídy hořlavosti 1, 2, 3 nebo 4 (v „Guide des Pompriers de Genève“ [4], viz seznam nebezpečných látek v kap. 7); látky patřící do třídy 1 se berou v úvahu pouze tehdy, pokud jsou užívány při teplotě vyšší, než je jejich bod vzplanutí.
- Unikne dostatečné množství schopné způsobit požár trvající od 10 do 15 minut.

5.1.2 Odhad dosahů projevů

Účinky tepelné radiace závisí na několika faktorech, jako jsou trvání expozice, typ exponované konstrukce, povaha použitých materiálů, případné bezpečnostní systémy. V literatuře jsou udávány hodnoty intenzity tepelného toku, která je schopna způsobit vážné poškození zařízení ([9], [10]). Podle konkrétních případů může jít o hodnoty od 8 do 50 kW/m².

Pro výpočet tepelné radiace produkované požárem kaluže lze použít řady počítačových programů ([11], [12]), které berou v úvahu povahu uniklé látky a možnou přítomnost bariéry proti šíření rozlité kapaliny. Může tak být počítána hodnota intenzity tepelné radiace v dané vzdálenosti od zdroje požáru. Pro zjednodušení použití metodického pokynu je možné sestavit diagramy se vzdálenostmi, kde je dosaženo prahové radiace v závislosti na ekvivalentním průměru kaluže.

Aby se snížil počet diagramů, lze použít jednoduchou křivku pro celou kategorii látek představujících podobné fyzikálně-chemické vlastnosti (a tím také podobnou vyzařovanou energii).

Odhad dosahů projevů v důsledku požáru kaluže se provádí podle ve čtyřech krocích:

1. *Odhad průměru požáru kaluže*
2. *Volba prahu snesitelné intenzity tepelného toku podle typu zařízení a možné přítomnosti bezpečnostních systémů na poloze zařízení*
3. *Výběr diagramu odpovídajícího uvažované látce*
4. *Stanovení vzdálenosti, ve které je dosaženo radičního prahu*

1. Odhad průměru požáru kaluže

Průměr požáru kaluže může být odhadnut následovně:

- je roven průměru zásobníku v případě požáru zásobníku;
- pokud existuje záchytná jímka, ekvivalentní průměr se počítá podle vzorce:

$$D = \frac{4 * \text{povrch záchytné jímky}}{\text{obvod záchytné jímky}}$$

- pokud záchytná jímka neexistuje, kaluž se považuje za kruhovou a její průměr se odhaduje následovně:
 - Pokud se kaluž rozlévá, má tendenci rychle dosáhnout minimální výšky v závislosti na druhu a kvalitě podložky. Následující tabulka uvádí tloušťku kaluže pro některé typy podložek [7]. Pro nedostatek přesných dat o povaze podložky se považuje beton za podložku s největším stupněm rozlití kaluže ($h_{\min} = 1$ cm).

Tabulka 2: Tabulka tloušťky kaluže pro některé typy podložek

Povaha podložky	$h_{\min}$ (cm)
Beton	1
Průměrná půda	3
Suchá písčité půda	20
Humózní písčité půda	15
Štěrkovitá půda	5

- Průměr kaluže se pak může vypočítat z maximálního objemu látky uniklého při havárii podle následujícího vzorce:

$$\text{Průměr} = 2 * \sqrt{\frac{\text{objem}}{\pi * h_{\min}}}$$

- Maximální objem látky uniklé při havárii se může odhadnout následovně:
 - v případě zásobníku to je objem uniklý během půl hodiny z největšího potrubí po jeho gilotinovém roztěti;
 - v případě potrubí je maximální objem buď objem potrubí mezi dvěma ventily (pokud funguje samouzavírací bezpečnostní systém), nebo objem látky uniklý při jmenovitém průtoku během půl hodiny.

Poznámka: v případě tlakem zkapalněného plynu se maximální množství schopné vytvořit kaluž rovná množství uniklému při havárii minus množství mžikově odpařené při ústí úniku ze zásobníku nebo potrubí (např. pro propan se mžikově odpaří kolem 35 %).

2. Volba prahu snesitelné intenzity tepelného toku podle typu zařízení a možné přítomnosti bezpečnostních systémů na položce zařízení

Podle literatury [13] uvádí následující tabulka horní hodnoty snesitelné intenzity tepelného toku, a to podle typu sekundární položky zařízení vystavené požáru kaluže a podle bezpečnostních systémů přítomných na této položce zařízení.

Tabulka 3: Tabulka horní hodnoty intenzity tepelného toku

Sekundární položka zařízení	Horní hodnota intenzity tepelného toku pro nechráněnou položku zařízení (kW/m ²)	Horní hodnota intenzity tepelného toku pro chráněnou položku zařízení* (kW/m ²)
Tlakové skladování	8	44
Atmosférické skladování	8	32
Skladování s podchlazením	8	32
Výrobní zařízení	8	32
Zařízení pro stáčení / čerpání	8	-

*Položka zařízení chráněná vodní tříští, izolací, tepelnou protiradiační zástěnou nebo podobnými systémy.

3. Výběr diagramu odpovídajícího uvažované látky

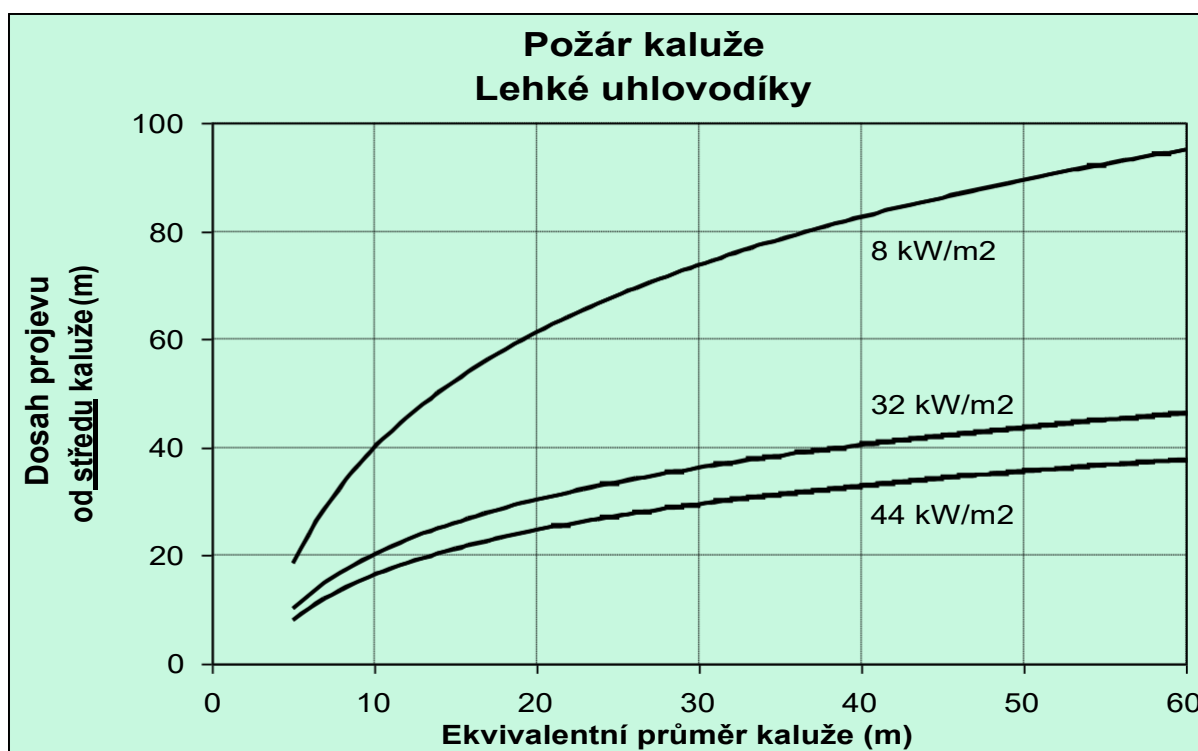
Diagramy jsou sestaveny pro odhad vzdálenosti kolem požáru kaluže, ve které je dosaženo prahové intenzity tepelného toku, která je schopna způsobit sekundární havárie. Tyto diagramy jsou typické pro obecné kategorie látek jako:

- lehké uhlovodíky;
- oxidy a látky obsahující dusík (např. etylenoxid, propylenoxid, akrylonitril);
- alkoholy a aldehydy (metanol, směs formaldehyd-metanol apod.);
- benzíny;
- topné oleje.

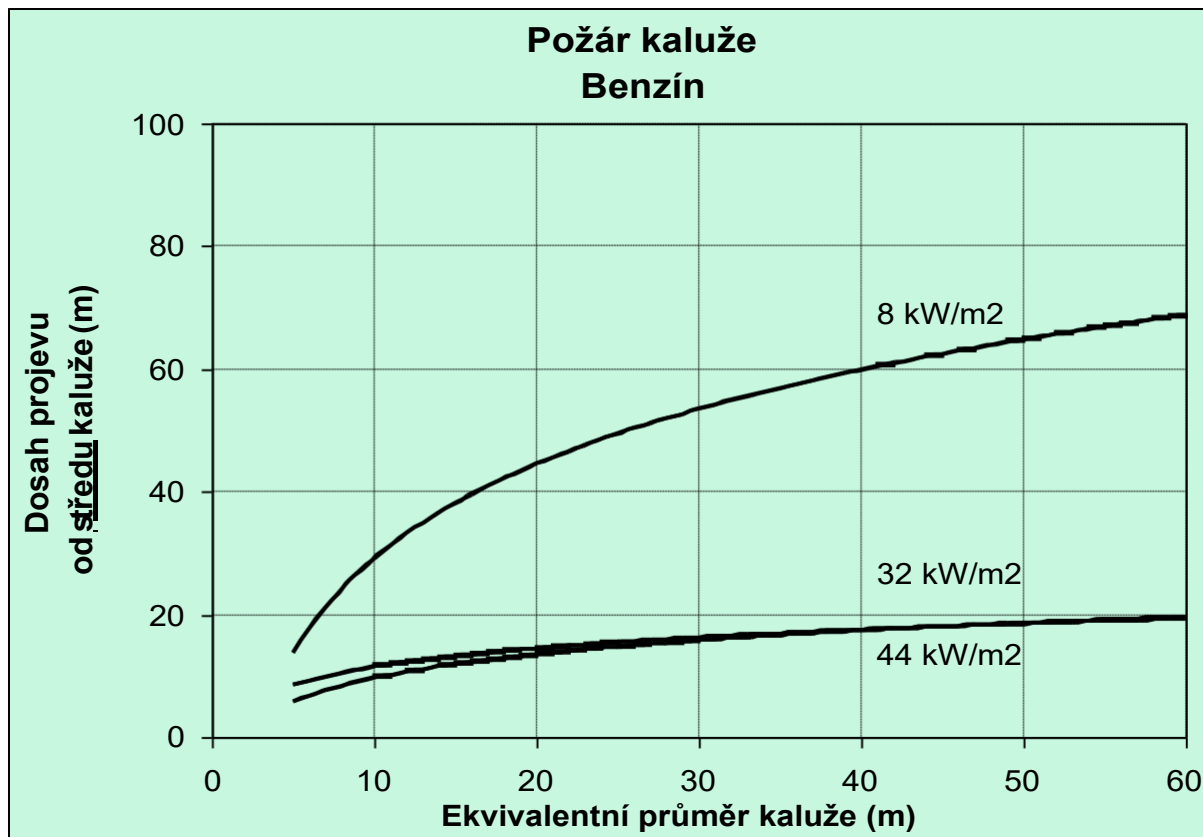
V praxi se vybere diagram určité kategorie látek, které mají fyzikálně-chemické vlastnosti nejbližší vlastnostem uvažované hořící látky.

4. Stanovení vzdálenosti, ve které je dosaženo radiačního prahu

Na následujících dvou obrázcích (Obrázek č. 2 a Obrázek č. 3) jsou uvedeny diagramy pro odhad vzdálenosti dosažení radiačního prahu pro lehké uhlovodíky a benzíny. Další diagramy mohou být odvozeny obdobně. Je třeba poznamenat, že tyto diagramy umožňují v závislosti na ekvivalentním průměru kaluže snadné určení vzdálenosti od středu kaluže, ve které je dosaženo tepelně radiačního prahu.



Obrázek č. 2: Dosahy intenzity tepelného toku při požáru kaluže pro lehké uhlovodíky



Obrázek č. 3: Dosahy intenzity tepelného toku při požáru kaluže pro benzín

5.1.3 Odhad doby trvání požáru

Odhad doby trvání požáru je založen na znalosti rychlosti odhořívání $m_{\square}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) uvažované látky. Následující tabulka uvádí hodnoty pro některé zkapalněné plyny, uhlovodíky a alkoholy ([14], [15]).

Tabulka 4: Odhad doby odhořívání pro některé běžné látky

Látka	Rychlost odhořívání $m_{\square}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
<u>Zkapalněné plyny</u>	
LNG	0,078
LPG	0,099
<u>Uhlovodíky</u>	
butan	0,078
hexan	0,074
heptan	0,101
benzen	0,085
benzín	0,055
<u>Alkoholy</u>	
metanol	0,017
etanol	0,015

Dále je popsán způsob výpočtu doby trvání požáru:

1. Odhadni povrch kaluže S podle celkové uniklé hmotnosti m_{r} (viz Odhad průměru požáru kaluže, [kap. 5.1.2](#)). Pro tlakem zkapalněné plyny je hustota brána při bodu varu, pro ostatní látky při teplotě okolí.
2. Vypočítej vyhořelou hmotnost za daný časový interval dt : $m_{\text{e}} = m_{\square} \times S \times dt$.
3. Vypočítej zbývající hmotnost: $m_{\text{r}} = m_{\text{T}} - m_{\text{e}}$.
4. Odhadni nový povrch kaluže (podle zbývající hmotnosti).
5. Jdi na následující časový krok.

Pokud je povrch kaluže větší než daný limit (např. 5 m^2), kroky 2 až 5 se opakují. Odhadovaná doba trvání požáru je součtem časových kroků.

Pokud je doba trvání kratší než 10 až 15 minut, položka zařízení nebude považována jako nebezpečná z hlediska požáru kaluže. Přesto by tato položka zařízení mohla být vybrána na základě dalšího kritéria (např. možnost vzniku VCE).

5.2 Požár zásobníku

5.2.1 Popis jevu

Požár zásobníku je obecně důsledkem vznícení plynné fáze v nádobě obsahující hořlavou kapalinu. Požadované podmínky pro uvažování požáru zásobníku jsou stejné jako pro požár kaluže.

5.2.2 Odhad dosahů projevů

Vzdálenosti účinků pro požár mohou být počítány stejným způsobem jako pro požár kaluže. V tomto případě je průměr kaluže nahrazen průměrem zásobníku. V úvahu musí být brána výška plamene. Navíc by měla být prošetřena možnost vzkypění.

5.3 Exploze zásobníku

5.3.1 Popis jevu

Pokud atmosférický zásobník obsahuje hořlavou kapalinu, akumulace výbušné atmosféry pod jeho střechou může vést k explozi zásobníku.

5.3.2 Odhad dosahů projevů

Uvažovaným projevem exploze zásobníku jsou letící trosky. Tento projev je probírán v kap. 5.7.2.

5.4 Tryskavý požár

5.4.1 Popis jevu

Zacházení s hořlavými kapalinami může vést k tryskavému požáru v případě netěsnosti na potrubí nebo nádobě. Zapálení tekutiny vede k vzniku tryskavého požáru charakterizovaného vysokou energií plamene (značně vyšší než tepelná radiace při požáru kaluže) a patrnou kinetickou energií. Směr tryskání, délka plamene a radiační energie jsou nejdůležitější charakteristiky při hodnocení takového zdroje rizika.

5.4.2 Odhad dosahů projevů

Na modelování tryskavého požáru byla provedena řada studií, zejména pro určení geometrie plamene a tepelné radiace [13]. Avšak pro rychlé určení možnosti domino efektů se zdá být dostatečné použití maximální vzdálenosti účinků (např. 100 m), což bere v úvahu délku plamene a zónu jeho tepelného účinku.

Délka plamene u tryskavého požáru obvykle nepřesáhne 50 m [13]. Povrchová intenzita tepelného toku může dosáhnout až 250 kW/m^2 [13]. Nicméně se zdá, že intenzita tepelného toku se snižuje poměrně rychle s rostoucí vzdáleností od plamene [16]: hodnota intenzity tepelného toku 15 kW/m^2 je dosažena přibližně 50 m od plamene. Proto je pro maximální délku plamene 50 m hrubý odhad dosahu projevu asi 100 m.

5.5 Požár

5.5.1 Popis jevu

Požár je nehoda, která se může týkat výrobních prostor a skladování pevných látek. Ve výrobě může vést k požáru prasklý kompresor, čerpadlo, příruba atd., pokud je unikající produkt hořlavý (kapalina, plyn, pára). Požár se může rozšířit a způsobit další nehody. Ve skladu pevných látek může požár vést k výbuchu.

5.5.2 Odhad dosahů projevů

Vzdálenost účinku požáru ve výrobě bude počítána jako pro požár kaluže podle povahy a množství uniklé látky. Jiné nehody způsobené požárem by se rovněž měly brát v úvahu (např. tryskový požár, výbuch s ohledem na přítomná zařízení).

Pro sklady pevných výrobků by se kromě tepelné radiace měly rovněž uvažovat projevy možného výbuchu.

5.6 BLEVE

5.6.1 Popis jevu

Mezi závažnými nehodami je BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion – Výbuch par expandující vroucí kapaliny) zřejmě nejnápadnější. K BLEVE dochází v případě, kdy se nádoba s kapalinou, která je vysoce přehřátá nad svůj atmosférický bod varu, katastroficky rozpadne. BLEVE vzniká u skladů tlakem zkapalněných plynů nebo kapalin pod tlakem. Prvním důsledkem BLEVE je tlakový projev jednak vlivem expanze par při rozpadu nádoby, jednak vlivem explozivního vypařování kapaliny z nádoby. Tento projev je obecně provázen vznikem letících trosek. Pokud se jedná o hořlavou látku, vzniklý aerosol látky se vzduchem se může okamžitě vznítit. Čelo plamene se velice rychle pohybuje směrem od místa zapálení a tím se objevuje ohnivá koule. Její teplota je extrémně vysoká a způsobuje ohromnou tepelnou radiaci.

Prvním projevem BLEVE je tlakový účinek. Jako prahová se bere hodnota přetlaku 0,016 MPa. Tato hodnota odpovídá spodní hranici pro vážná poškození konstrukcí. Kromě toho se při jevu BLEVE obecně vytvářejí letící trosky a, pokud je látka hořlavá, může se objevit i ohnivá koule.

5.6.2 Odhad dosahů projevů

Odhad tlakových projevů BLEVE se může provádět odečtem z grafů udávajících přetlak $\square p$ proti redukované vzdálenosti [17] (viz Obrázek č. 4 níže). Obrázek znázorňuje různé křivky podle rozdílných teplot přehřátí. Maximální přehřátí se rovná rozdílu mezi teplotou, při níž tlak páry skladované látky dosáhne tlaku prasknutí nádoby, a teplotou atmosférického bodu varu této látky. Na druhé straně, literatura uvádí limity přetlaků, které pravděpodobně poškodí zařízení. Tyto limity mohou být použity pro stanovení dosahů projevů.

Pokud je tlak prasknutí nádoby znám, může být přehřátí počítáno pomocí závislosti tlaku par dané látky na teplotě. Pokud tlak prasknutí nádoby znám není, může být použit testovací tlak

nádoby. Rovněž se může počítat s tlakem při otevření pojišťovacího ventilu jako s hrubým odhadem tlaku prasknutí nádoby. Např. pro skladovací nádoby propanu nebo butanu můžeme v literatuře [19] nalézt:

Tabulka 5: Hodnoty pro odhad dosahů projevu BLEVE pro propan a butan

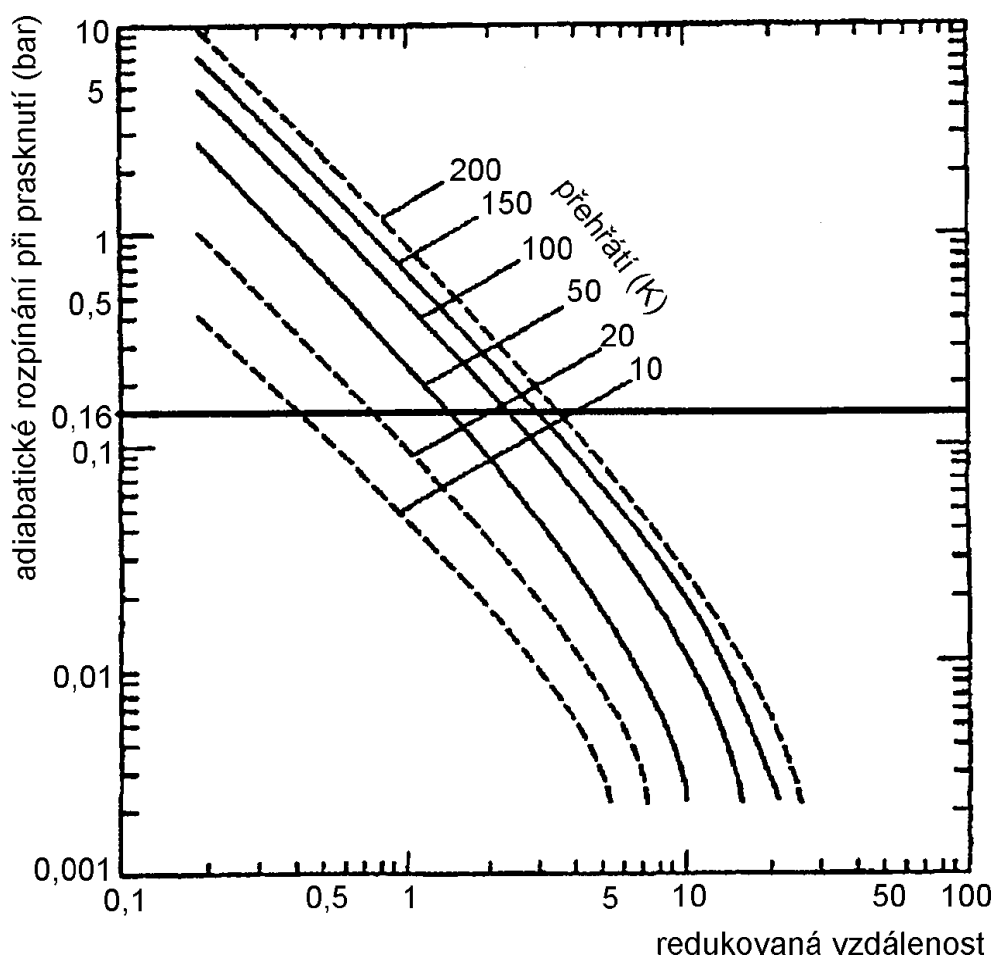
	Propan	Butan
Tlak prasknutí [MPa]	1,8	1,0
Teplota, při které je tlak par látky roven tlaku prasknutí (T) [°C]	53	80
Atmosférický bod varu (T _b) [°C]	-42	-1
Přehřátí (T – T _b) [°C]	95	81

Pomocí dále uvedeného grafu [17] (Obrázek č. 4), můžeme pro známé přehřátí a daný přetlak p (0,016 MPa je spodní hranicí vážného poškození konstrukcí [18]) získat redukovanou vzdálenost:

$$\text{redukovaná vzdálenost} = \frac{r}{(2 * W_{vl,0})^{0,33}}$$

kde $W_{vl,0}$ je vypařená hmotnost [kg] a r je dosah tlakového projevu [m].

Pokud je vypařené množství známo (v prvním přiblížení celé množství skladované v nádobě), je redukovaná vzdálenost použita pro výpočet dosahu tlakového účinku projevu BLEVE.



Obrázek č. 4: BLEVE – přetlak způsobený explozivním vypařováním kapaliny [17]

5.6.3 Odhad vzdálenosti účinků letících trosek

Odhad vzdálenosti účinků letících trosek je uveden v kapitole 5.7.2.

5.6.4 Odhad tepelných účinků BLEVE

Ohnivá koule vytvořená při jevu BLEVE je určitě nejokázalejší projev, který může být pozorován v procesním průmyslu. Tento projev může mít smrtící následky a nemůže být opomíjen vzhledem k následkům na osobách, zejména v záchranářských týmech. Přesto se v rámci studia domino efektů tepelná radiace emitovaná ohnivou koulí neuvažuje. Trvání ohnivé koule není tak významné, aby způsobilo závažné škody na konstrukcích.

Tepelné účinky BLEVE zahrnují několik parametrů, mezi nimiž si povšimněme průměru, trvání a povrchové tepelné radiace ohnivé koule. Trvání ohnivé koule je obecně velmi krátké. Proto tepelná radiace způsobuje malé škody na konstrukcích, a proto nebude uvažováno jako příčina domino efektů.

5.7 exploze a letící trosky

5.7.1 Popis jevu

Různé položky zařízení mohou produkovat tlakovou vlnu s letícími troskami jako důsledek exploze nebo zvýšení tlaku.

- Při BLEVE z rozpadu nádoby mohou vznikat letící trosky.
- Ve výrobním zařízení může vzniknout exploze a způsobit vznik letících trosek, např. při nekontrolovatelné reakci v reaktoru.
- Skladovací zásobníky atmosférické nebo s podchlazením mohou také produkovat letící trosky (při explozi zásobníku). Zejména se to může stát v případě akumulace hořlavých par pod střechou zásobníku.

5.7.2 Odhad dosahů projevů

Modelování domino efektů způsobených letícími troskami je velmi složité. V úvahu se musí brát řada parametrů:

- mechanismus rozvalení zásobníku a kinetická energie dodávaná letícím troskám;
- dráha letících trosek;
- dopad letících trosek na konstrukce.

Literatura uvádí řadu modelů popisujících účinky letících trosek [20]. Avšak aplikace těchto teorií v praxi dává široký rozsah možných dosahů letících trosek. Vypočítané vzdálenosti jsou větší než ty, co jsou změřeny ze známých nehod [20]. Proto se zdá být lepší analyzovat dosahy letících trosek na statistickém základě. Pro dosažení tohoto cíle jsou pro různé typy zařízení používány diagramy [21], které udávají procentuální kumulativní zastoupení letících trosek pro danou vzdálenost u známých havárií (např. [13], [20], [22], [23], [24]).

U různých kategorií zařízení, ze kterých by pravděpodobně v případě nehody vznikly letící trosky (tlakové zásobníky, atmosférické zásobníky, výrobní zařízení, ...) je definován dosah účinků jako vzdálenost na té straně, na které přistálo alespoň 80 % letících trosek během známých nehod.

Následující tabulka uvádí vzdálenosti, do kterých odletělo 80 % a 100 % letících trosek během známých havárií. Hodnoty odpovídající 100 % jsou uvedeny pro informaci.

Tabulka se čte následovně: u známých nehod s letícími troskami vzniklých např. z reaktorů dopadlo 80 % letících trosek ve vzdálenosti menší nebo rovné 350 m.

Tabulka 6: Vzdálenosti dopadů letících trosek během známých havárií

Typ zařízení	80 %	100 %
<i>Tlakové nádoby</i>		
<i>Horizontální válce</i>		
LPG	200 m	1200 m
Etylenoxid	430 m	1500 m
Vinylchlorid monomer	170 m	1000 m
Amoniak	100 m	200 m
<i>Kulové zásobníky</i>		
LPG	250 m	1000 m
Etylenoxid	500 m	
Vinylchlorid monomer	250 m	
Amoniak	125 m	
<i>Atmosférické zásobníky</i>	100 m	300 m
<i>Výrobní zařízení</i>		
reaktory	350 m	600 m
kolony	850 m	1100 m
vařáky	130 m	250 m

U dat pro kulové zásobníky jsou malé rozdíly mezi různými látkami. Avšak dostupná data pro válcové zásobníky a pro rozdílné látky ukazují jasný vliv na uvedené vzdálenosti.

Proto se pro kulové zásobníky navrhuje použít vzdálenosti vypočtené a srovnat je s těmi získanými pro válcové zásobníky.

Pro látky, které nejsou uvedeny ve výše zmíněné tabulce, se berou dosahy projevů látky s fyzikálně-chemickými vlastnostmi podobnými studované látce.

5.8 Vzkypění (Boilover)

5.8.1 Popis jevu

Vzkypění je náhlý výron hořící kapaliny z hořícího atmosférického zásobníku. Je to důsledek přeměny kapalně vody, která se nachází na spodku zásobníku, na páru.

U atmosférického zásobníku může ke vzkypění dojít splněním následujících podmínek:

- přítomnost vody či vodních kapes na dně či ve spodní části zásobníku;
- utvoření tepelné vlny, která vmísí vrstvu vody do uhlovodíkové hmoty;
- dostatečně viskózní uhlovodík, který přes sebe nedovolí snadné proniknutí vodní páry ze dna zásobníku.

Faktor náchylnosti ke vzkypění (**PBO: Propensity to Boilover**) byl definován v literatuře [25]. Může být použit pro určitou látku k předpovědi možnosti přechodu do vzkypění. Typické produkty, které jsou náchylné ke tvorbě vzkypění jsou: motorová nafta, topný olej a surová nafta. Závažnými následky vzkypění jsou ohnivá koule (fireball) a přetečení hořících uhlovodíků.

5.8.2 Odhad dosahů projevů

Dříve než se budeme zabývat dosahem projevů vzkypění, měli bychom posoudit, zda je daná látka schopna vytvořit tento druh nehody.

Faktor náchylnosti ke vzkypění (PBO) se počítá následovně:

$$PBO = \left[\left(1 - \frac{393}{T_{BOIL_{HC}}} \right) * \left(\frac{\Delta T_{boil}}{60} \right)^2 * \left(\frac{v_{HC}}{0,73} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

kde:

$T_{BOIL_{HC}}$	průměrná teplota varu skladované látky (K)
$\square T_{boil}$	přesah bodu varu přes 393 K (K)
v_{HC}	kinematická viskozita při 393 K (cSt – centistoke)

Z důvodu krátkého trvání ohnivé koule se neuvažuje možné tepelné působení na konstrukce. Na druhou stranu nehody z minulosti [25] ukazují, že přetečení je hlavním projevem vzkypění. Hořící jazyky mohou přetéci daleko přes případné havarijní jímky.

Proto mohou být účinky vzkypění počítány jako účinky požáru kaluže těžkých uhlovodíků (viz kapitola 5.1). Podle známých havárií je vysoké nebezpečí vzkypění pozorováno u látek s PBO vyšším nebo rovným 0,6 ([25], [7]).

Proto se ve studii identifikace a vyhodnocení domino efektů berou v úvahu jen zásobníky obsahující látky s PBO $\square$ 0,6.

Následující tabulka uvádí hodnoty PBO pro běžné uhlovodíky.

Tabulka 7: Hodnoty faktoru náchylnosti ke vzkypění pro běžné uhlovodíky

Uhlovodíky	PBO	Možnost vzkypění
Těžká ropa	6,76	ANO
Střední ropa	4,24	ANO
Topný olej č. 2	3,48	ANO
Topný olej č. 1	3,03	ANO
Motorová nafta	1,20	ANO
TRO	0,70	ANO
Petrolej	0,53	NE
Těžký benzín	0,29	NE
TR4	0,35	NE
Benzín	-0,25	NE

Hlavním projevem vzkypění je přetečení hořících uhlovodíků. Poloměr požáru kaluže těžkých uhlovodíků se tedy uvažuje 85 m (viz kapitola 5.1).

5.9 exploze oblaku par (VCE)

5.9.1 Popis jevu

Během úniku látky z položky zařízení může vzniknout plynný oblak z této látky buď přímo, nebo následkem postupného vypařování z kaluže na povrchu v blízkosti úniku. To vede k tvorbě mraku, který je unášen a dispergován ve směru větru. Pokud je látka hořlavá, existuje přechodová zóna, ve které je koncentrace par ve vzduchu mezi dolní a horní mezí výbušnosti látky (DMV, HMV). Vzniklý mrak může být na dráze postupu iniciován dostatečně silným energetickým zdrojem. Podle rychlosti postupu čela plamene povede nehoda k vyhoření mraku nebo k jevu VCE (Vapor Cloud Explosion – exploze mraku par). VCE způsobuje přetlakovou a podtlakovou vlnu. Devastující účinek je spojen s náhlým vzrůstem přetlaku stejně jako s tvarem vlny [26].

Aby došlo ke vzniku VCE, musí být splněny následující podmínky:

- přítomnost přeplněné zóny, která je definována jako zóna s velkou koncentrací položek zařízení (nádoby, potrubí, čerpadla, tepelné výměníky, ...), která zvyšuje rychlost čela plamene;
- daná látka musí patřit do třídy výbušnosti 3 nebo 4 (viz kapitola 7) nebo seznam látek „Guide des Pompiers de Genève“ [4]);
- minimální uniklé množství musí být větší nebo rovno danému prahovému množství:
 - pokud může být uniklá látka přímo rozptýlena do atmosféry (plynná látka nebo aerosol) nebo pokud je tlak par (P_{nas}) látky za provozních podmínek větší než 0,1 MPa, minimální množství může být nízké: **0,1 tuny** pro vysoce reaktivní látky, **0,5 tuny** pro látky střední reaktivity a **1 tuna** pro látky nízké reaktivity,
 - na druhou stranu jsou minimální uniklá množství významnější pro další látky, které vytvářejí výbušný mrak vypařováním z kaluže. Pro případ nepříznivých povětrnostních podmínek (stabilní atmosféra, tj. stabilitní třída F podle Pasquilla

a nízká rychlost větru $1,5 \text{ ms}^{-1}$) udává následující tabulka minimální hmotnosti uniklé látky potřebné pro to, aby hrozilo nebezpečí VCE.

Tabulka 8: Minimální množství různých látek pro vznik VCE

	Uniklé množství (t)		
	Látka s vysokou reaktivitou	Látka se střední reaktivitou	Látka s nízkou reaktivitou
P_{nas} (při prac. teplotě) $\square$ 0,1 MPa nebo plynná látka	0,1	0,5	1
0,05 $\square$ P_{nas} $\square$ 0,1 MPa	$\square$ 2	$\square$ 5	$\square$ 10
0,01 $\square$ P_{nas} $\square$ 0,05 MPa	$\square$ 5	$\square$ 10	$\square$ 40
P_{nas} $\square$ 0,01 MPa	$\square$ 40	-	-

Pro kaluže v záchytné jímce nebo pro jiné typy podloží udává další tabulka jiné limitní hodnoty. Tyto hodnoty se týkají minimálního povrchu kaluže, aby ještě hrozilo nebezpečí VCE.

Tabulka 9: Minimální povrch kaluže různých látek, potřebný pro vznik VCE

	Povrch kaluže (m^2)		
	Látka s vysokou reaktivitou	Látka se střední reaktivitou	Látka s nízkou reaktivitou
0,05 $\square$ P_{nas} $\square$ 0,1 MPa	$\square$ 200	$\square$ 500	$\square$ 1000
0,01 $\square$ P_{nas} $\square$ 0,05 MPa	$\square$ 500	$\square$ 1000	$\square$ 4000
P_{nas} $\square$ 0,01 MPa	$\square$ 4000	-	-

5.9.2 Odhad dosahů projevů

Pro odhad přetlaku po vzniku VCE jsou důležité následující kroky:

1. Identifikace přeplněných zón v objektech.
2. Odhad objemu explozivního mraku (vzduch + látka) v každé přeplněné zóně.
3. Znalost objemu přeplněné zóny a reaktivity uniklé látky (malá, střední, velká), pomocí diagramu je pak stanoven dosah daného přetlaku.

Výsledky pokusů za posledních 20 let a analýza historických havárií ([28], [29], [30], ...) ukazují, že VCE plyných uhlovodíků (propanu, butanu apod.) jsou do značné míry podporovány turbulencí a přítomností překážek (přehuštění objektu).

Lze proto konstatovat, že účinky přetlaku jsou významné pouze tehdy, je-li hořlavý mrak iniciován v přeplněné zóně.

Pomocí jednoduchého modelu [31] je možno provést odhad explodující hmotnosti nebo objemu nebezpečné látky (včetně množství nebo objemu v mezích výbušnosti) a potom se spočítá úroveň přetlaku oproti vzdálenosti od epicentra exploze.

Proto je požadován odhad hmotnosti nebo objemu, který by byl pravděpodobně iniciován, v každé přeplněné zóně, nacházející se uvnitř daného dosahu kolem uvažované zóny zařízení.

Použití prahových přetlaků, které pravděpodobně poškodí konstrukce, může sloužit pro stanovení dosahů účinků. Mělo by se ověřit (ve čtvrtém kroku), že uvažovaný explozivní objem není větší než objem, který by pravděpodobně vznikl z poškozené položky zařízení.

Hlavním účinkem exploze oblaku par je nesporně náhlé a neočekávané zvýšení tlaku. Hodnota přetlaku 0,016 MPa je považována za spodní hranici pro vážná poškození konstrukcí.

V následujících třech bodech jsou shrnuty kroky nutné pro úspěšný odhad přetlaku způsobeného jevem VCE:

1. Určení přeplněných zón v objektu

Přeplněná zóna je definována jako zóna, kde je koncentrována řada položek zařízení takovým způsobem, že tvoří mnohonásobné překážky (nádoby, potrubí, čerpadla, tepelné výměníky, ...), které způsobují urychlování čela plamene.

Přetlak způsobený explozí je tím větší, čím větší je počet překážek na jednotku délky a čím větší je blokovací poměr [29]. Další podrobnosti je možné nalézt v literatuře [32] a [33].

Pro určení přeplněných zón byl zaveden pojem ***hustota překážek***. Hustota překážek může být určena kvalitativně stejně jako kvantitativně.

- Obecně jsou výrobní sekce považovány spíše za přeplněné až vysoce přeplněné, jelikož se v nich nachází množství nahuštěných překážek (nádoby, potrubí, ...).
- Na druhé straně u skladovacích zón, prostorů pro stáčení / čerpání, parkovacích ploch apod., kde je mlhavá představa o přeplněnosti, je kvantitativní ocenění hustoty překážek vhodnější, ale také obtížnější. Zvláště je potřeba odhadnout počet vrstev s překážkami provést výpočet blokovacího poměru.

Baker [35] navrhuje následující definice:

- vysoký stupeň přeplnění odpovídá alespoň 3 vrstvám překážek s blokovacím poměrem vyšším než 40 %;
- střední stupeň přeplnění odpovídá 2 až 3 vrstvám překážek s blokovacím poměrem mezi 10 a 40 %;
- nízký stupeň přeplnění odpovídá 1 až 2 vrstvám překážek s blokovacím poměrem nižším než 10 %.

Doporučujeme, aby zóna byla považována za přeplněnou, pokud je stupeň přeplnění **střední** nebo **vysoký**. V opačném případě daná zóna nebude zařazena mezi přeplněné zóny.

Je třeba poznamenat, že otevřená budova s dostatečným stupněm přeplnění může být také definována jako přeplněná zóna. A naopak uzavřené budovy nejsou považovány za přeplněné zóny.

Volný prostor (bez jakýchkoliv překážek) větší než 10 metrů má být důvodem pro definování dvou různých přeplněných zón (10 metrů volného prostoru skutečně způsobí významné zpomalení čela plamene).

Budeme uvažovat, že výbušný mrak se může iniciovat v kterékoliv přeplněné zóně nacházející se v rozmezí $\square$ 200 metrů kolem položky zařízení, v níž došlo k úniku. Hodnota 200 metrů byla zvolena proto, že meze výbušnosti jsou obecně dosaženy v tomto pásmu, a protože u známých havárií ([7], [27]) zřídka přesahuje vzdálenost mezi zdrojem úniku a místem iniciace 200 metrů.

2. Odhad objemu výbušného mraku (vzduch + látka) v každé přeplněné zóně

Předpokládá se, že objem výbušného mraku je roven objemu přeplněné zóny, tzn. součinu povrchové plochy přeplněné zóny a průměrné výšky položek zařízení nacházejících se v dané zóně. Přesto v případě těžkého plynu průměrná výška oblaku v rozmezí $\square$ 200 metrů obvykle nepřesáhne 6 metrů.

Objem výbušného mraku se považuje roven objemu přeplněné zóny bez odečítání objemu zařízení. Toto pravidlo jen mírně nadhodnocuje výsledek, protože při výpočtu přetlaku se používá třetí odmocnina z výbušného množství.

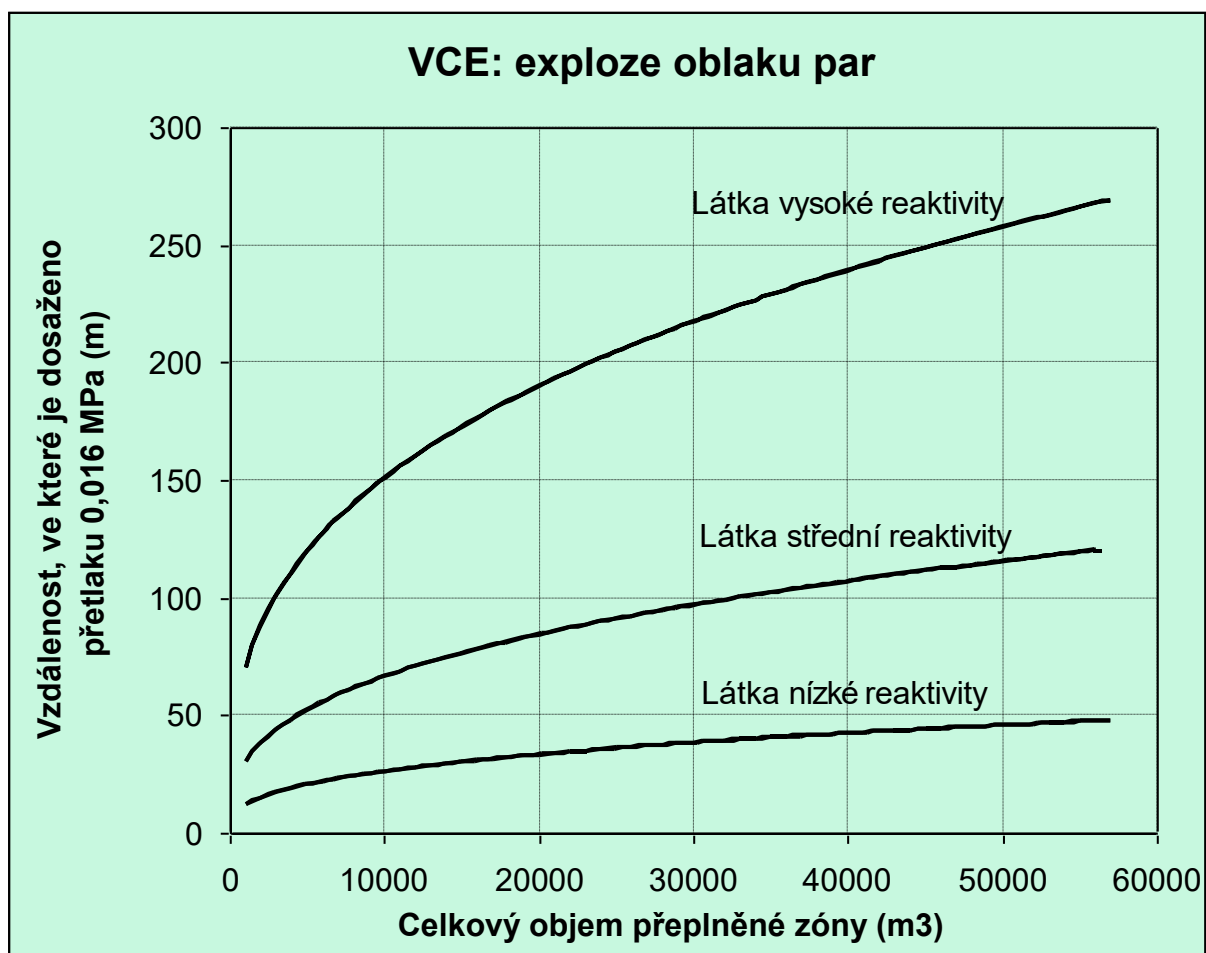
3. Určení vzdálenosti, ve které je dosaženo přetlaku 0,016 MPa

Jakmile známe objem přeplněné zóny a reaktivitu uniklé látky (nízká, střední, vysoká), můžeme s použitím níže uvedeného graf (Obrázek č.5) určit vzdálenost, ve které je dosaženo přetlaku 0,016 MPa (spodní hranice pro vážná poškození konstrukcí [18]). Z tohoto grafu můžeme přímo odečítat vzdálenost, ve které je dosaženo přetlaku 0,016 MPa, pro známý objem přeplněné zóny. Při tomto způsobu výpočtu nemusíme znát výbušné množství, protože se směs vzduch-látka považuje za stechiometrickou.

Tabulka 10 upřesňuje reaktivitu některých často používaných výbušných látek. V případě směsi výbušných látek s rozdílnou reaktivitou se výsledná reaktivita řídí podle nejreaktivnější látky [35].

Tabulka 10: Reaktivita některých často používaných výbušných látek

Látka	Reaktivita	Látka	Reaktivita	Látka	Reaktivita
Acetaldehyd	průměrná	Dietylamin	průměrná	Metylakrylát	vysoká
Acetylen	vysoká	Dimetylamin	průměrná	Metylbromid	nízká
Acetonitril	průměrná	Epichlorhydrin	nízká	Metylchlorid	nízká
Akrylonitril	průměrná	Etan	průměrná	Metylformiát	vysoká
Allylalkohol	vysoká	Eten	průměrná	Oxid uhelnatý	nízká
Allylchlorid	nízká	Etylmerkaptan	vysoká	Propan	průměrná
Amoniak	nízká	Etylchlorid	nízká	Propen	průměrná
Anilin	průměrná	Etylformiát	vysoká	Propylenoxid	vysoká
Benzen	vysoká	Etylendiamin	průměrná	Rozpouštěcí benzol	vysoká
1,3-butadien	průměrná	Etylenoxid	vysoká	Sírouhlík	vysoká
n-butan	průměrná	Formaldehyd	vysoká	Sulfan	vysoká
1-buten	průměrná	Metan	nízká	Vinylacetát	vysoká
Dichlorpropen	nízká	Metanol	průměrná	Vinylchlorid	průměrná



Obrázek č. 5: Vzdálenosti dosažení přetlaku 0,016 MPa v závislosti na celkovém objemu přeplněné zóny a reaktivitě látky

5.10 Exploze pevných látek a prachu

5.10.1 Popis jevu

U explozí pevných látek skladovaných v uspořádaných hromadách se zdá, že se zájem soustřeďuje na sklady dusičnanu amonného [37]. Nicméně s explozemi jiných nestabilních látek se musí rovněž počítat. Taková havárie způsobuje vznik přetlakové a podtlakové vlny.

Exploze prachu jsou bohužel mnohem častější. Týkají se různých látek a může k nim dojít, pokud existuje dostatečně vysoká koncentrace prachu v oxidační atmosféře. Tyto exploze se v principu mohou projevit přetlakem a letícími troskami.

5.10.2 Odhad dosahů projevů

V případě exploze pevných látek skladovaných v uspořádaných hromadách může být vzdálenost, ve které je dosaženo daného přetlaku, odvozena z TNT modelu ([13], [18], [39]). Použití prahových přetlaků, které by mohly poškodit konstrukce, může sloužit k odhadu dosahu účinku výbuchu.

Také pro exploze prachu mohou být dosahy účinků vztahující se k letícím troskám odhadnuty podle zásad popsaných v kap. 5.7. Účinky přetlaku se oceňují obtížněji, i když literatura posledních let poskytuje některé přesné informace [37].

Následkem exploze pevných látek nebo prachové exploze vzniká přetlaková a podtlaková vlna. Jako prahová hodnota přetlaku se opět bere 0,016 MPa. Tato hodnota odpovídá spodní hranici pro vážná poškození konstrukcí.

V případě exploze pevných látek skladovaných na hromadě lze odhad dosahu účinku vzniklého přetlaku obtížné kvantifikovat. Přesto za předpokladu, že jsou známy výbušné množství a účinnost exploze, můžeme uvažovat o použití metody TNT.

V případě exploze prachu skladovaného v uzavřených zásobnících s diskovými otvory na odlehčení výbuchu může být přetlak P_r v závislosti na vzdálenosti r odhadnut podle následující rovnice [37]:

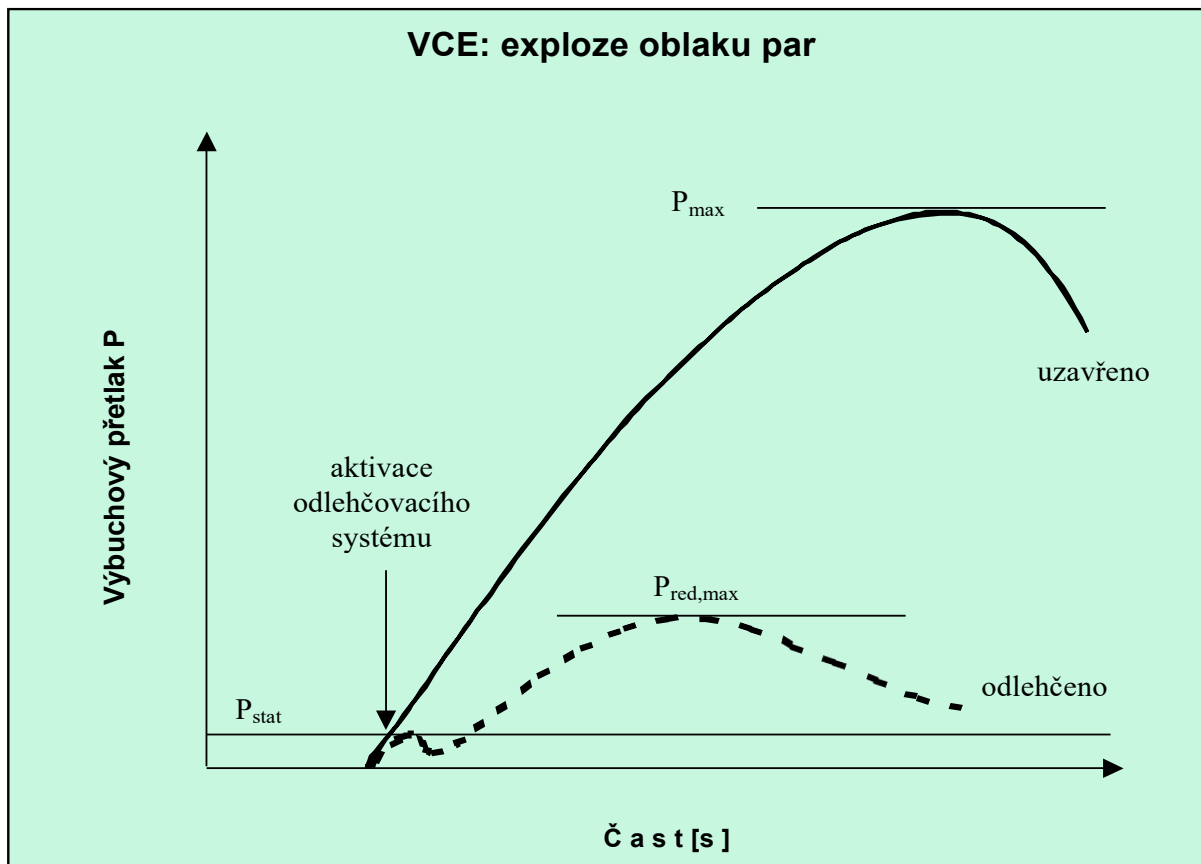
$$P_r = P_{max} * \left(\frac{2 * V^{1/3}}{r} \right)^{1,5}$$

$$P_{max} = 0,2 * P_{red,max} * A^{0,1} * V^{0,18}$$

kde:

A	je povrch otvoru na odlehčení výbuchu [m ²];
P_{max}	je maximální přetlak [bar] dosažený ve vzdálenosti $R_s = 2 * V^{1/3}$;
P_r	je přetlak ve vzdálenosti r [bar];
$P_{red,max}$	je maximální redukovaný přetlak exploze [bar], maximální přetlak exploze nádoby vybavené otvory na odlehčení výbuchu (viz následující obrázek);
R	je vzdálenost od otvoru odlehčení [m];
V	je objem nádoby [m ³].

Tato rovnice platí pro tzv. „kubické nádoby“, u kterých je poměr výška / průměr menší než 2, a pro homogenní směsi vzduchu s prachem.



Obrázek č. 6: Porovnání výbuchového přetlaku pro uzavřený a odlehčený systém

6. Krok 4: Detailní analýza párů, nevyloučených během třetího kroku z důvodu možnosti účasti na domino efektu

Účelem čtvrtého kroku je ověření důležitosti párů položek zařízení nebo zón zařízení vybraných ve třetím kroku jako těch, které by se mohly účastnit domino efektů.

Ověření se zabývá čtyřmi úkoly:

- podrobnějším přístupem k haváriím;
- studiem nepříznivých faktorů;
- studiem bezpečnostních systémů a příznivých okolností;
- historickými zkušenostmi.

Lze uvažovat i o přehledu podrobných scénářů havárií pro nevyloučené páry zařízení nebo zóny zařízení. To může být provedeno pomocí počítačových programů pro studium havárií a jejich projevů a/nebo experimentu a/nebo pomocí pravděpodobnostního přístupu.

6.1 Podrobnější přístup k haváriím

Dosahy projevů pro různé druhy havárií byly stanoveny ve třetím kroku pomocí některých základních/jednoduchých metod pro odhad dosahu projevů, avšak tento přístup v sobě zahrnuje některé aproximace a zjednodušení v použitých metodách. Ve čtvrtém kroku se pracuje s podrobnější analýzou různých vybraných havárií. Tento krok je proto pracnější a časově náročnější. Zejména by měly být analyzovány následující body:

- Pokud se týče požárů kaluží – může být přesněji studována (software, experimenty) tepelná radiace vyzařovaná během hoření uvažované látky a její dosahy, kromě používání diagramů navržených pro obecné kategorie látek.
- Pokud se týče tryskových požárů – mohou být přesněji studovány délka plamene a vyzařovaná tepelná radiace, pokud se bude brát v úvahu povaha tryskající látky a podmínky jejího úniku.
- Pokud se týče BLEVE – otázka teploty přehřátí (viz [kap. 5.6](#)) může být považována za vyřešenou. Pokud budeme brát v úvahu povahu skladované látky, můžeme vyloučit některé dříve uvažované havárie.
- Pokud se týče jevu VCE – rozhodně by se měla přesněji počítat hmotnost uniklé hořlavé hmoty a ověřit, zda skutečně může vyplnit přeplněnou zónu uvažovanou jako epicentrum exploze. Rovněž by se mělo ověřit, zda jsou v této přeplněné zóně skutečně dosaženy meze výbušnosti.

6.2 Studium nepříznivých faktorů

Pokud uvažujeme různé projevy havárií, mohou být brány v úvahu pouze obecné zřetele. Nicméně dosahy projevů havárií mohou být ovlivněny několika faktory v závislosti na uspořádání objektu:

- vlivem sklonu terénu může dojít k posunu kaluže a radiačního epicentra;
- kanalizace může být zaplavena hořlavou, explozivní nebo toxickou látkou;
- hadice z cisternového vozu se může poškodit a způsobit kaluž mimo záchytnou jímku;
- drenážní příkop společný pro několik záchytných jímek (např. prostor pro bezpečný únik rozlité kapaliny) může rozšířit požár na tyto různé záchytné jímky.

Tyto rozličné faktory mohou zvýšit dosahy projevů havárií a zasáhnout i jiná sekundární zařízení nebo zóny zařízení, které nebyly vyloučeny ve třetím kroku.

6.3 Studium bezpečnostních systémů a příznivých okolností

Metody uvedené v prvních třech krocích neberou v úvahu bezpečnostní systémy, které jsou eventuálně přítomny na různých zařízeních. Ve čtvrtém kroku je užitečné prověřit vliv těchto systémů na dosahy projevů.

Podobně můžeme uvažovat o obecné konfiguraci zařízení, abychom dospěli k poznání, zda by mohly nějaké zvláštní okolnosti snížit dosahy projevů (např. dosah doletu trosky bude určitě snížen, jestliže budou kolem zařízení, na kterém by mohly při výbuchu vznikat letící trosky, umístěny stěny nebo budou kolem stát budovy).

6.4 Historické zkušenosti

Nakonec i proběhlé havárie se mohou zohlednit při hodnocení možnosti vzniku domino efektů. Např. můžeme vyloučit určité typy havárií na některých dobře známých výrobních procesech, pokud se tyto havárie nikdy nevyskytly od počátku fungování těchto výrobních procesů (např. nebudeme uvažovat VCE amoniaku, protože tato havárie se nikdy nevyskytla: amoniak je teoreticky hořlavý, ale potřebuje značně vysokou iniciační energii).

7. Třídy nebezpečnosti pro některé látky

Příručka „Guide Orange des Pompiers de Genève“ [4] obsahuje podrobnou dokumentaci pro každou nebezpečnou látku. Látky jsou v této příručce klasifikovány podle závažnosti nebezpečí, jež se týká:

- zdraví (toxicity);
- hořlavosti;
- chemické tepelné nestability;
- reakce s vodou;
- explozivní směsi se vzduchem.

Seznam hlavních nebezpečných látek, jejich UN kód a některé důležité vlastnosti uvádí následující tabulka.

Rozsah tříd je od 0 do 4 a označuje závažnost nebezpečí:

- 0 látka není nebezpečná nebo jen velmi nepatrně;
- 1 látka je lehce nebezpečná;
- 2 látka je nebezpečná;
- 3 látka je velmi nebezpečná;
- 4 látka je extrémně nebezpečná.

Tabulka 11: Seznam hlavních nebezpečných látek a jejich důležitých vlastností

Název látky	UN kód	Toxicita	Hořlavost	Nestabilita	Výbušnost	Reaktivita	Teplota varu (°C)	Tlak par (atm)	vzplanutí	DMV (%)	HMV (%)	MAK (ppm)
1,2-Dichloreten	1184	2	3	1	3	Prům.	84	0,087	13	6,2	16,0	10
1,2-Propylenoxid	1280	2	4	2	4	Vys.	34	0,59	-37	1,9	37,0	20
1,3-Butadien	1010	2	4	2	3	Prům.	-4	2,4		1,1	12,5	1000
1-Buten	1012	1	4	0	3	Prům.	-6	2,6		1,6	10,0	
1-Hexen	2370	1	3	1	4	Prům.	63	0,17	-20	1,2	6,9	
1-Penten	1108	1	4	1	3	Prům.	30	0,66	-40	1,4	8,7	
Acetaldehyd	1089	2	4	2	4	Prům.	21	1	-38	4,0	57,0	50
Aceton	1090	1	3	0	4	Prům.	56	0,24	-19	2,2	12,8	750
Acetonitril	1648	3	3	1	4	Prům.	82	0,09	2	3,0	16,0	40
Acetylen	1001	1	4	3	4	Vys.	-84	43,6		1,5	82,0	1000
Akrylonitril	1093	4	3	2	4	Prům.	77	0,11	-5	3,0	17,0	2
Allylalkohol	1098	3	3	1	3	Vys.	97	0,02	21	2,5	18,0	2
Allylchlorid	1100	3	3	1	4	Níz.	45	0,4	-30	3,2	11,2	1
Amoniak	1005	3	2	0	2		-33	8,5		15,0	28,0	25
Benzen	1114	2	3	0	4	Vys.	80	0,1	-11	1,2	8,0	8
Brom	1744	4	0	0	2		59	0,23				0,1

Název látky	UN kód	Toxicita	Hořlavost	Nestabilita	Výbušnost	Reaktivita	Teplota varu (°C)	Tlak par (atm)	vzplanutí	DMV (%)	HMV (%)	MAK (ppm)
Bromovodík	1048	3	0	0	0		-66	21,8				3
Bromovodík (roztok)	1788	3	0	0	0		126					3
Butan	1011	1	4	0	3	Prům.	-1	2,2		1,5	8,5	800
Cyklohexan	1145	1	3	0	4	Prům.	81	0,1	-18	1,2	8,3	300
Cyklopentan	1146	1	3	0	4	Prům.	48	0,34	-20			600
Dekan	2247	0	2	0	1		174	0,001	47	0,8	5,4	
Dietyleter	1155	2	4	0	4	Prům.	34	0,58	-45	1,7	36,0	400
Dietylketon	1156	1	3	0	3	Prům.	102	0,02	12	1,6	?	200
Dichlormetan	1593	2	0	1	1		40	0,5				100
Dimethylamin	1032	3	4	0	3	Prům.	7	1,7		2,8	14,4	10
Dimethylamin (roztok)	1160	3	3	0	4	Prům.	54	0,26	-18	2,6	12,3	10
Dimetyleter	1033	2	4	0	4	Prům.	-25	5,1		2,0	50,0	
Dusičnan amonný (pevný)	1942	1	1	3	0							
Etan	1035	1	4	0	3	Prům.	-89	37,5		3,0	12,5	10000
Etan kapalný (chlazený)	1961	1	4	0	3	Prům.	-89	37,5		3,0	12,5	10000
Etylalkohol	1170	0	3	0	3	Prům.	78	0,06	12	3,3	19,0	1000
Etylamin	1036	3	4	0	3	Prům.	17	1,2		3,5	14,0	10
Etylbenzen	1175	2	3	0	3	Prům.	136	0,009	15	1,0	7,8	100
Etylen	1962	1	4	2	4	Prům.	104			2,7	34,0	10000
Etylen kapalný (chlazený)	1038	1	4	2	4	Prům.	104			2,7	34,0	10000
Etylenoxid	1040	2	4	3	4	Vys.	11	1,4		2,6	100,0	1
Etylchlorid	1037	2	4	1	3	Níz.	12	1,3		3,6	14,8	1000
Etylmetylketon	1193	1	3	0	4	Prům.	80	0,093	-6	1,8	11,5	200
Fluorovodík	1052	4	0	0	0		19	1				2
Fluorovodík (roztok)	1790	4	0	0	0		110					2
Formaldehyd (roztok)	1198	2	2	0	2		101	0,002	56	7,0	73,0	1
Fosgen	1076	4	0	0	0		8	1,6				0,1
Furan	2389	2	4	1	3	Prům.	32		-35	2,3	14,3	
Heptan	1206	1	3	0	4	Prům.	98	0,05	-4	1,1	6,7	400
Hexan	1208	1	3	0	4	Prům.	69	0,16	-21	1,1	7,5	50
Chlor	1017	3	0	1	3	Prům.	-34	6,7				0,5
Chlorbenzen	1134	2	3	1	2		132	0,012	28	1,3	11,0	50
Chlorovodík	1050	3	0	0	0		-85	43				5
Chlorovodík (roztok)	1789	3	0	0	0		110	0,28				5
Izoamylalkohol	1105d	2	2	0	1		131	0,003	43	1,2	8,0	100
Izobutan	1969	1	4	0	3	Prům.	-12	3,3		1,8	8,5	1000
Izobuten	1055	1	4	0	3	Prům.	-7	2,7		1,8	8,8	
Izobutylmetylketon	1245	2	3	0	3	Prům.	118	0,02	14	1,2	8,0	50
Izopren	1218	2	4	0	3	Prům.	34	0,66	-50	1,0	9,7	
Izopropylalkohol	1219	1	3	0	3	Prům.	82	0,04	12	2,0	12,0	400
Izopropylamin	1221	3	4	0	3	Prům.	32	0,63	-26	2,3	10,4	5
Kyselina dusičná (více než 70 %)	2032	3	0	1	2		83	0,06				2

Název látky	UN kód	Toxicita	Hořlavost	Nestabilita	Výbušnost	Reaktivita	Teplota varu (°C)	Tlak par (atm)	vzplanutí	DMV (%)	HMV (%)	MAK (ppm)
Kyselina fosforečná	1805	3	0	0	0		158	0,002				
Kyselina octová	2789	2	2	0	2		118	0,014	40	4,0	17,0	10
Kyselina sírová	1830	3	0	0	0		338	0				
Metan	1971	1	4	0	3	Níz.	-164			5,0	15,0	10000
Metan kapalný (chlazený)	1972	1	4	0	3	Níz.	-164			5,0	15,0	10000
Metylacetát	1231	1	3	0	4	Prům.	56	0,22	-10	3,1	16,0	200
Metylalkohol	1230	2	3	0	3	Prům.	65	0,13	11	5,5	36,5	200
Metylamin	1061	3	4	0	3	Prům.	-6	2,9		5,0	20,7	10
Metylbromid	1062	3	0	1	1		4	1,9		8,6	20,0	5
Metylchlorid	1063	2	4	1	3	Níz.	-24	4,8		7,1	18,5	50
n-Amylalkohol	1105a	2	2	0	1		138	0,0026	46	1,3	10,5	
n-Butylalkohol	1120a	1	3	0	2		118	0,006	35	1,4	11,3	50
Nonan	1920	0	2	0	2		151	0,004	31	0,7	5,6	200
n-Propyleter	2384	2	3	0	4	Prům.	89	0,08	-21	1,7	?	
Oktan	1262	0	3	0	4	Prům.	126	0,013	13	1,0	6,5	300
Oxid dusičitý	1067	3	0	2	3	Prům.	21	1				3
Oxid siřičitý	1079	3	0	0	0		-10	3,2				2
Oxid uhličitý	1013	2	0	0	0		-78,5	58,8				5000
Pentan	1265	1	4	0	3	Prům.	36	0,56	-40	1,3	7,8	600
Peroxid vodíku	2015	2	0	3	2							
Propan	1978	1	4	0	3	Prům.	-42	8,9		2,1	9,5	1000
Propylalkohol	1274	1	3	0	3	Prům.	97	0,025	15	2,1	13,5	200
Propylen	1077	1	4	1	3	Prům.	-48	10,4		2,0	11,7	10000
sek-Amylalkohol	1105b	2	2	0	2		119	0,0026	34	1,2	8,0	
sek-Butylalkohol	1120b	1	3	0	2		99	0,017	24	1,7	9,8	100
Sirouhlík	1131	2	3	0	4	Vys.	46	0,37	-30	1,0	60,0	10
Styren	2055	2	3	2	2		145	0,006	32	1,1	8,0	50
Sulfan	1053	3	4	0	4	Vys.	-60	18,6		4,3	45,5	10
terc-Amylalkohol	1105c	2	3	0	3	Prům.	102	0,01	19	1,2	8,0	
terc-Butylalkohol	1120c	1	3	0	3	Prům.	83	0,04	11	2,3	8,0	100
Toluen	1294	2	3	0	3	Prům.	111	0,03	6	1,2	7,0	100
Uhlovodíky kapal. (tepl. vzpl. pod 21°C)	1203	1	3	0	4	Prům.						
Uhlovodíky kapal. (tepl. vzpl. 21-55°C)	1223	0	2	0	2							
Uhlovodíky kapal. (tepl. vzpl. 55-100°C)	1202	0	2	0	1							
Undekan	2330	0	2	0	1		196		61			
Vinylbromid	1085	2	4	2	3	Prům.	16	1,2		5,6	13,5	5
Vinylchlorid	1086	2	4	3	4	Prům.	-14	3,4		3,8	29,3	2
Vodík	1049	0	4	0	4	Prům.	-253			4,1	75,6	
Vodík kapalný (chlazený)	1966	0	4	0	4	Prům.	-253			4,1	75,6	
Xylen	1307	2	3	0	2		140	0,009	25	1,0	7,6	100

8. Frekvence a pravděpodobnosti domino efektů

Definice domino efektu podle zákona o prevenci závažných havárií vyžaduje kvantitativní hodnocení domino efektů.

Je nezbytné kvantitativně vyhodnotit nejenom případné následky domino havárií, ale stanovit i frekvenci a pravděpodobnost, s jakou tyto domino havárie mohou nastat, tzn. ocenit příspěvek frekvence domino efektů k frekvenci samotné primární události [38].

Naplnění této etapy procesu kvantitativního ocenění rizika domino havárií vyžaduje realizaci následujících kroků:

- stanovení frekvence primární události, resp. primárního scénáře,
- odhad pravděpodobnosti poškození sekundárního zařízení,
- výpočet pravděpodobnosti každé možné kombinace sekundárních scénářů,
- výpočet celkové frekvence domino havárie.

Celkový počet odlišných domino scénářů, ke kterým může dojít v důsledku jedné primární události (jednoho primárního scénáře) může být obrovský, jak vyplývá z následujícího vztahu:

$$n = 2^k - 1$$

kde:

n je počet domino scénářů,

k je počet sekundárních scénářů.

Pro představu, kdybychom uvažovali jedno primární zařízení, u kterého dojde pouze k jedné iniciační události (např. kontinuální únik propanu ze zásobníku) a dvěma možným primárním scénářům (Jet Fire nebo VCE), které by mohly způsobit poškození pěti sekundárních zařízení v dosahu, potom bychom museli vyhodnotit 62 domino scénářů:

$$[n = 2 \times (2^5 - 1) = 2 \times 31 = 62]$$

V případě, že bychom měli ocenit tyto domino efekty mezi všemi pěti zařízeními navzájem, potom se nám počet možností rozroste na 310 ($5 \times 62 = 310$).

V praxi lze zejména v průmyslových areálech s několika umístěnými podniky očekávat podstatně vyšší počet zařízení, která se mohou navzájem ovlivňovat (ohrožovat).

Při výpočtu celkové frekvence eskalačních scénářů, které jsou výsledkem primární události a několika sekundárních událostí, ke kterým dojde současně, se každá eskalační událost způsobující poškození sekundárního zařízení považuje za nezávislou.

Celková pravděpodobnost, že primární událost (scénář) způsobí eskalaci, tak může být vypočtena na základě následujícího vztahu:

$$P_d = \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^{\binom{n}{k}} P_d^{(k,m)}$$

kde:

- P_d je celková pravděpodobnost, že výsledný fyzikální projev dané primární události způsobí domino efekt,
- $P_d^{(k,m)}$ je pravděpodobnost m-tého domino scénáře, zahrnující „k“ sekundárních zařízení,
- n je celkový počet sekundárních událostí, které mohou být způsobeny daným primárním scénářem,
- $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$
- $n! = 1 * 2 * 3 \dots n = \prod_{k=1}^n k$ pro $n \geq 0$, tj. součin čísel od 1 po n .

Celkovou frekvenci domino havárie způsobené fyzikálním účinkem uvažované primární události lze vypočítat na základě následujícího vztahu:

$$F_d = F_p * P_d = F_p \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^{\binom{n}{k}} P_d^{(k,m)}$$

kde:

- F_d je celková frekvence domino havárie způsobená daným fyzikálním projevem uvažované primární události,
- F_p je frekvence primární události.

V Praze dne 12. 5. 2016

Reference

- [1] Delvosalle C. (coordinator): A methodology for the identification and evaluation of domino effects, Belgian Ministry of Employment and Labour, 1st ed. 1998.
- [2] Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií) - znění od 1. 2. 2022.
- [3] EU Directive 2012/18/EU of the European parliament and of the Council, on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC, Official Journal of the European Union, L 197/1, 24.7.2012.
- [4] *Repertoire des produits dangereux* – Guide orange des sapeurs pompiers genevois / Ville de Geneve, Service d'Incendie et de Secours, 2^{eme} edition.
- [5] Kadri F., Chatelet E.: Domino Effect Analysis and Assessment of Industrial Sites: A Review of Methodologies and Software Tools. International Journal of Computers and Distributed Systems, 2013, 02 (III), pp. 1-10, hal-01026495.
- [6] *European Seminar on Domino Effects*. Ministry of Labour and Employment – Administration of Labour Safety – Directorate Chemical Risks – Belgie, 19. a 20. září 1996, Leuven (Belgie).
- [7] Levert J. M., Delvosalle C., Anstett P. A., Benjelloun F., Pons P., Verriest C.: *Méthodologie d'analyse des effets domino en milieu industriel* – Rapport final – Ministère de l'Emploi et du Travail – Administration de la Sécurité du Travail – Inspection technique – (Contrat de gré à gré CRC/WPS/07/95) – Faculté Polytechnique de Mons – Juillet 1996.
- [8] Levert J. M., Delvosalle C., Benjelloun F., Fiévez C.: *Développement et application d'une méthodologie d'étude des effets domino en milieu industriel* – Rapport final – Ministère de l'Emploi et du Travail – Administration de la Sécurité du Travail – Inspection technique – (Contrat de gré à gré CRC/WPS/07/96) – Faculté Polytechnique de Mons – Juillet 1997.
- [9] Levert J. M., Delvosalle C., Benjelloun F., Brognon F., Minguet P.: *Méthodes et outils pour la quantification des conséquences d'accidents dans l'industrie chimique* – Rapport final – Ministère de l'Emploi et du Travail – Administration de la Sécurité du Travail – Inspection technique – (réf. MH/PVG/100593.NO2) - Faculté Polytechnique de Mons – Juillet 1994.

- [10] Levert J. M., Delvosalle C., Benjelloun F., Hantson A. L., Verriest C.: *Etude des effets domino en milieu industriel* – Rapport final – Ministère de l'Emploi et du Travail – Administration de la Sécurité du Travail – Inspection technique – (réf. OOMONS94) - Faculté Polytechnique de Mons – Juillet 1995.
- [11] Delvosalle C.: *Présentation et démonstration des logiciels d'étude des risques majeurs: SOURCE et EDITH* – Chaire AIB-Vincotte 1996 – Maîtrise des risques industriels majeurs – Prévention des effets thermiques et mécaniques – Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) – 28 Mars 1996.
- [12] Mavrothalassitis G.: *Logiciel FNAP: calcul du rayonnement thermique associé à un feu de nappe* – INERIS / E.M.A. – Laboratoire de référence d'analyse des risques – 1994.
- [13] Lees, F.,P., Mannan, S.: *Loss prevention in the process industries* – Elsevier Butterworth – Heinemann, 2012 (4. vydání).
- [14] Mudan K. S.: *Thermal Radiation Hazards from Hydrocarbon Pool Fires*, Program. Energy Combustion Seksi., Vol. 10, pp 59–80, 1984.
- [15] Babrauskas: *Estimating large pool fire burning rate*, Fire technology 19, 1983.
- [16] Carter D. A.: *Aspects of risk assessment for hazardous pipelines containing flammable substances* – J. Loss Prev. Process Ind. 4, 68, 1991 (citováno v [13]).
- [17] Engelhard, W.F.J.M.: *Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*, Chapter 6: Heat flux from fires. – Report of the committee for the Prevention of Disasters, Third Edition second revised print 2005 – („The Yellow book“: TNO).
- [18] Lannoy A.: *Analyse des explosions air-hydrocarbures en milieu libre*. Electricité de France, bulletin de la direction des études et recherche, volume 4, série A, Octobre 1984.
- [19] Pietersen C. M.: *Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatepec, Mexico City*, 19 Nov. 1984.
- [20] Center for Chemical Process Safety (CCPS): *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs* – American Institute of Chemical Engineers – New York – 1994.
- [21] Holden P.L., Reeves A. B.: *Fragment hazards from failure of pressurized liquefied gas vessels* – IChemE Symposium Series n°93 – pp. 204–220, 1985.
- [22] Garrison W. G.: *One hundred largest losses – A thirty-year review of property damage losses in the hydrocarbon chemical industries* – Loss Prevention Bulletin 58 – pp. 2–11, April 1984.
- [23] Mahoney D. G.: *One hundred largest losses – A thirty-year review of property damage losses in the hydrocarbon chemical industries* – Loss Prevention Bulletin 99 – pp. 1–25, 1991.

- [24] Kardi S.H.: One hundred largest losses in the Hydrocarbon Industry 1974-2019, 26th Edition, March 2020, Marsh JLT Speciality.
- [25] Base de données ARIA: *Sélection d'accidents ayant entraîné des projections d'équipements ou de débris*. Ministère de l'Environnement – Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques Service de l'Environnement Industriel – Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Atmosphériques.
- [26] Mavrothalassitis G.: *Les accidents d'origine thermique: causes et conséquences* – Chaire AIB-Vincotte 1996 - Maitrise des risques industriels majeurs – Prévention des effets thermiques et mécaniques – Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) – 7 Mars 1996.
- [27] Bonnefoy A., Hervé M.: Importance du facteur mécanique sur le risque technologique majeur – CETIM, France, Septembre 1995.
- [28] Wiekema B. J.: Vapour Cloud Explosions – an analysis based on accidents – Journals of Hazardous Materials, 8, pp. 295-328, 1984.
- [29] Van Den Berg A. C.: The multi-energy method: a framework for vapor cloud explosion blast prediction. Journal of Hazardous Materials, 12, pp. 1–10, 1985.
- [30] Mouilleau Y.: *Influence du confinement et de la présence d'obstacles sur le déroulement d'une explosion de gaz* – Chaire AIB-Vincotte 1996 - Maitrise des risques industriels majeurs – Prévention des effets thermiques et mécaniques – Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) – 21 Mars 1996.
- [31] Hodin A.: *La modélisation des explosions de gaz non confinées – Nature des phénomènes physiques et bilan des modélisations* – Chaire AIB-Vincotte 1996 - Maitrise des risques industriels majeurs – Prévention des effets thermiques et mécaniques – Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) – 21 Mars 1996.
- [32] Van den Bosch, C.J.H., Weterings.: Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Chapter 5: Vapor Cloud Explosion. – Report of the committee for the Prevention of Disasters, Third Edition Second revised print 2005 – („The Yellow book“: TNO).
- [33] Cates A. T.: *Fuel gas explosion guidelines* – Paper presented at Conf. on Fire and Explosion Hazards, Moreton-in-Marsh, April 1991 – Publ. by The Institute of Energy, 1991.
- [34] Hallam M.: *Vapour Cloud Explosions and Consequential Loss Damage Estimates – An Insurance Brokers Approach in Practice* – European Seminar on Domino Effects, Leuven (Belgium) – September 19 - 20th, 1996.
- [35] Baker: *Vapour Cloud Explosions Analysis*, Paper presented at the 28th Annual Loss Prevention Symposium, 1994 Atlanta.
- [36] Baker Q. A., Tang M. J., Ephraim A. S., Silva G. J.: *Vapour Cloud Explosions Analysis*, Process Safety Progress, Vol. 15, No. 2, pp. 106-109, Summer 1996.

- [37] PIERORAZIO, Adrian J., J. Kelly THOMAS, Quentin A. BAKER a Donald E. KETCHUM. An update to the Baker-Strehlow-Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table. *Process Safety Progress* [online]. 2005, 24(1), 59-65 [cit. 2022-09-22]. ISSN 1066-8527. Dostupné z: doi:10.1002/prs.10048.
- [38] Zhang Guo-Shun, Lao Yun-Liang and Tang Ming-Jun: *Cause Analysis of Shenzhen Explosion Accident* – Loss prevention end Safety Promotion in the process industries, vol. 1, pp. 277–285, Elsevier Science B. V., 1995
- [39] Casal J., 2018. *Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants*. Druhé vydání. Elsevier. ISBN-13: 978-0444638830.
- [40] National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Centre for External Safety, *Reference Manual Bevi Risk Assessments*, Version 3.2, 01.07.2009.
- [41] TUGNOLI, Alessandro, Giordano Emrys SCARPONI a Giacomo ANTONIONI. Quantitative assessment of domino effect and escalation scenarios caused by fragment projection. *ScienceDirect* [online]. January 2022, **2022**(Volume 217) [cit. 2022-09-22]. Dostupné z: doi:108059
- [42] KHAN, Faisal, Md Tanjin AMIN a Genserik RENIERS. *Methods in Chemical Process Safety*. United Kingdom: Elsevier, 2021, s. 1-517. ISBN 978-0-323-91515-1.
- [43] Siwek R.: *Explosion venting technology* – Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 9, No 1, pp. 81–90, Elsevier, 1996

Příloha 1: Datové dotazníky zařízení

ZAŘÍZENÍ PRO SKLADOVÁNÍ PEVNÝCH LÁTEK	
Identifikační kód nebo název zařízení (mapa)	
Všeobecné informace Povaha látky Skladované množství Granulometrie Nebezpečí výbuchu prachu	 (kg) ☐ ANO ☐ NE
Typ balení ¹	☐ Hromada ☐ Pytle ☐ Silo ☐ Jiné
Bezpečnostní systémy Popis	

¹ Zaškrtni příslušné políčko

ZAŘÍZENÍ PRO TLAKOVÉ SKLADOVÁNÍ	
Identifikační kód nebo název zařízení (mapa) Celkový počet nádob, které jsou stejné jako položky zařízení popsané v tomto formuláři a které patří do téže zóny zařízení	
Charakteristiky látky Povaha Maximální skladovaný objem (m ³) nebo (kg) maximální skladované množství Teplota (°C) Tlak (MPa)	
Charakteristiky zařízení Typ ¹ Geometrie: Objem Průměr (m) Výška (m) Maximální dovolený poměr plnění (%) Inertizace Tlak inertního plynu (MPa) Tlak pro prasknutí (MPa) Typ podložky	☐ Kulový zásobník ☐ Horizontální válcový zásobník ☐ Vertikální válcový zásobník ☐ ANO ☐ NE (MPa) (MPa)
Charakteristiky větších potrubí Vstupní potrubí Průměr (mm) Průtok (m ³ /h) Umístění ² Výstupní potrubí Průměr (mm) Umístění ² Armatura regulace průtoku ² Průtok	kapalná fáze plynná fáze (mm) (mm) (m ³ /h) (m ³ /h) (mm)
Bezpečnostní systémy Záchytná jímka ¹ Rozměry Výška stěn (m) Bezpečnostní tlakový ventil ¹ Nastavený průtok (m ³ /h) Nastavený tlak (MPa) Povrch (cm ²) Sklad za ochranným valem ¹ Jiné	☐ ANO ☐ NE ☐ ANO ☐ NE (m ³ /h) (MPa) (cm ²) ☐ ANO ☐ NE

¹ Zaškrtni příslušné políčko

² Urči výšku potrubí nad dnem zásobníku

ZAŘÍZENÍ PRO SKLADOVÁNÍ ATMOSFÉRICKÉ NEBO NÍZKOTEPLTNÍ	
Identifikační kód nebo název zařízení (mapa) Celkový počet nádob (zásobníků), které jsou stejné jako položky zařízení popsané v tomto formuláři a které patří do téže zóny zařízení	
Charakteristiky látky Povaha Maximální skladovaný objem (m ³) nebo (kg) maximální skladované množství <i>Pro směs uhlovodíků:</i> Kinematická viskozita ¹ při 120°C (cSt) Minimální teplota varu (°C) Maximální teplota varu (°C)	
Charakteristiky zařízení Geometrie: Objem (m ³) Průměr (m) Výška (m) Maximální dovolený poměr plnění (%) Inertizace ☐ ANO ☐ NE Tlak inertního plynu (MPa) Typ zakrytí ² ☐ Pevná střecha ☐ Plovoucí střecha ☐ Bez střechy ☐ ANO ☐ NE ☐ ANO ☐ NE Lehká střecha ² Vytápěcí systém Druh podlahy	
Charakteristiky větších potrubí <i>Vstupní potrubí</i> Průměr (mm) Průtok (m ³ /h) Umístění ³ <i>Výstupní potrubí</i> Průměr (mm) Umístění ³ Armatura regulace průtoku ² ☐ ANO ☐ NE Průtok	
Bezpečnostní systémy Záchytná jímka ² ☐ ANO ☐ NE Rozměry Výška stěn (m) Jiné	

¹ Kinematická viskozita při 120°C nám pro atmosférické skladování umožní vypočítat PBO (sklon ke vzkyplení)

² Zaškrtni příslušné políčko

³ Urči výšku potrubí nad dnem zásobníku

ZAŘÍZENÍ PRO MALOTONÁŽNÍ SKLADOVÁNÍ	
<i>Identifikační kód nebo název zařízení (mapa)</i>	
<i>Všeobecné informace</i> Povaha látky Sudy: objem jednoho sudu (m ³) počet sudů Lahve: objem jedné lahve (m ³) počet lahví Nádoba: objem jedné nádoby (m ³) počet nádob Jiné balení	
<i>Bezpečnostní systémy</i> Popis	

STÁČECÍ A ČERPACÍ ZAŘÍZENÍ	
<i>Identifikační kód nebo název zařízení (mapa)</i> <i>Celkový počet nádob, které jsou stejné jako položky zařízení popsané v tomto formuláři a které patří do téže zóny zařízení</i>	
<i>Přeprava</i> Typ přepravního zařízení ¹ Objem přepravního zařízení minimum maximum Průměr stáčecí nebo čerpací hadice Jmenovitý průtok čerpadla (pro kapalinu)	☐ Železniční cisterna ☐ Nákladní automobil ☐ Lod' (m ³) (m ³) (m) ()
<i>Charakteristiky látky</i> Povaha látky Balení ¹ Teplota Tlak	 ☐ Sypké zboží ☐ Soudek ☐ Pytle ☐ Zásobník ☐ Jiné (°C) (MPa)
<i>Bezpečnostní systémy</i> Popis	

¹ Zaškrtni příslušné políčko

VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ

VYŽADOVANÉ DOKUMENTY

- Obecný popis výroby
- Blokový diagram výroby s
 - rozdílnými položkami zařízení;
 - vstupy a výstupy různých aparátů, materiálové toky (složení, průtoky, tlak a teplotu každého toku).
- Situační plán výroby s
 - umístěním položek zařízení;
 - umístěním horkých míst;
 - umístěním hlavních potrubí a dopravních pásů;
 - umístěním přechodných skladovacích zásobníků;
 - umístěním možných prostředků expanze plynů;
 - umístěním míst s kompresory;
 - umístěním míst, kde se mohou používat horké oleje;
 - umístěním tlakových položek zařízení.
- Karty zařízení

DALŠÍ OTÁZKY

Jaká jsou horká místa ve výrobní jednotce? (pece, vařáky, motory, ...) Udej odkaz na situační plán	Seznam horkých míst 	Odkaz
Jsou položky výrobního zařízení odolné proti výbuchu?	☐ ANO	☐ NE
Nacházejí se ve výrobní jednotce přechodné skladovací zásobníky? Pokud ano: povaha skladované látky skladovaný objem charakteristiky největších potrubí záchytná jímka (její rozměry)	☐ ANO 	☐ NE

VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ																					
REAKTOR																					
Identifikační kód nebo název zařízení (mapa). Celkový počet nádob, které jsou stejné jako položky zařízení popsané v tomto formuláři a které patří do téže zóny zařízení																					
Typ reakce ¹	☐ Hydrogenace, hydrolýza, sulfonace, neutralizace ☐ Alkylace, esterifikace, oxidace, polymerace, kondenzace ☐ Halogenace ☐ Nitrace ☐ Kalcinace, elektrolýza, pyrolýza, krakování ☐ Endotermická reakce, ve které je zdrojem energie spalování pevného, kapalného nebo plynného paliva ☐ Jiné:.....																				
Všeobecné informace Manipulované nebo vyráběné látky Maximální teplota Maximální tlak Celkový objem látky nebo celková hmotnost látky Inertizace Tlak inertního plynu Typ provozu ¹	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Povaha</th> <th>Průtok</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (°C)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (MPa)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (m³)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (kg)</td> </tr> <tr> <td>☐ ANO</td> <td>☐ NE</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (MPa)</td> </tr> <tr> <td>☐ Kontinuální</td> <td></td> </tr> <tr> <td>☐ Vsádkový</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Povaha	Průtok				 (°C)		 (MPa)		 (m ³)		 (kg)	☐ ANO	☐ NE		 (MPa)	☐ Kontinuální		☐ Vsádkový	
Povaha	Průtok																				
.....																					
.....	 (°C)																				
.....	 (MPa)																				
.....	 (m ³)																				
.....	 (kg)																				
☐ ANO	☐ NE																				
.....	 (MPa)																				
☐ Kontinuální																					
☐ Vsádkový																					
Charakteristiky větších potrubí Průměr Průtok Funkce Umístění ² Armatura regulace průtoku ¹	<table border="0"> <tbody> <tr> <td>.....</td> <td>..... (mm)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (m³/h)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (m)</td> </tr> <tr> <td>☐ ANO</td> <td>☐ NE</td> </tr> </tbody> </table>		 (mm)		 (m ³ /h)				 (m)	☐ ANO	☐ NE										
.....	 (mm)																				
.....	 (m ³ /h)																				
.....																					
.....	 (m)																				
☐ ANO	☐ NE																				
Bezpečnostní systémy Bezpečnostní tlakový ventil ¹ Nastavený průtok Nastavený tlak Povrch Jiné	<table border="0"> <tbody> <tr> <td>☐ ANO</td> <td>☐ NE</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (m³/h)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (MPa)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (cm²)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </tbody> </table>	☐ ANO	☐ NE		 (m ³ /h)		 (MPa)		 (cm ²)												
☐ ANO	☐ NE																				
.....	 (m ³ /h)																				
.....	 (MPa)																				
.....	 (cm ²)																				
.....																					
.....																					

VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ																											
SEPARAČNÍ SYSTÉM																											
Identifikační kód nebo název zařízení (mapa). Celkový počet nádob, které jsou stejné jako položky zařízení popsané v tomto formuláři a které patří do téže zóny zařízení																											
Typ separačního systému ¹	☐ Destilační kolona ☐ Separace kapalina-kapalina ☐ Filtrace ☐ Sušení ☐ Absorpce ☐ Jiné:																										
<i>Všeobecné informace</i> Manipulované nebo vyráběné látky Maximální teplota Maximální tlak Celkový objem látky nebo celková hmotnost látky Inertizace Tlak inertního plynu Typ provozu¹	<table border="0"> <thead> <tr> <th><i>Povaha</i></th> <th><i>Průtok</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (°C)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (MPa)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (m³)</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (kg)</td> </tr> <tr> <td>☐ ANO</td> <td>☐ NE</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>..... (MPa)</td> </tr> <tr> <td>☐ Kontinuální</td> <td></td> </tr> <tr> <td>☐ Vsádkový</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	<i>Povaha</i>	<i>Průtok</i>										 (°C)		 (MPa)		 (m ³)		 (kg)	☐ ANO	☐ NE		 (MPa)	☐ Kontinuální		☐ Vsádkový	
<i>Povaha</i>	<i>Průtok</i>																										
.....																											
.....																											
.....																											
.....																											
.....	 (°C)																										
.....	 (MPa)																										
.....	 (m ³)																										
.....	 (kg)																										
☐ ANO	☐ NE																										
.....	 (MPa)																										
☐ Kontinuální																											
☐ Vsádkový																											
<i>Charakteristiky větších potrubí</i> Průměr Průtok Funkce Umístění² Armatura regulace průtoku¹	 (mm) (m³/h) (m) ☐ ANO ☐ NE																										
<i>Bezpečnostní systémy</i> Popis																											

POTRUBNÍ SYSTÉMY	
<i>Identifikační kód nebo název zařízení (mapa)</i>	
<i>Charakteristiky látky</i>	Povaha Průtok (m ³ /h) nebo (kg/h) Tlak (MPa) Teplota (°C)
<i>Charakteristiky potrubí</i>	Funkce Přeprava z do..... Umístění ¹ ☐ Nadzemní výška nad zemí (m) ☐ Podzemní hloubka (m) Průměr (mm)
<i>Bezpečnostní systémy</i>	Maximální vzdálenost mezi samouzavíracími armaturami (m) nebo maximální množství látky, (kg) které by pravděpodobně uniklo

¹ Zaškrtni příslušné políčko

Příloha 2: Formuláře DOMINO-1, DOMINO-2 a DOMINO-3

Průmyslová oblast:	Objekt:	Datum:
Osoba provádějící studii:		
DOMINO-1: SEZNAM SEKCÍ		

TYPY SEKCÍ:

Skladování

Stáčení / čerpání

Výroba: „energetická“, „klasická“, „různorodá“

Budovy

Identifikace	Typ sekce	Popis

DOMINO-2: SEZNAM ZAŘÍZENÍ

TYPY ZAŘÍZENÍ

SPL	Zařízení pro skladování pevných látek	SČ	Stáčecí a čerpací zařízení
TS	Zařízení pro tlakové skladování	V	Výrobní zařízení („energetické“, „klasické“, „různorodé“)
ANS	Zařízení pro skladování atmosférické nebo nízkoteplotní skladování	PS	Potrubní systémy
MS	Zařízení pro malotonážní skladování		

				Toxicita	Hořlavost	Nestabilita	Výbušnost	Teplota [°C]	Tlak [MPa]				
Sekce	Identifikace zařízení	Popis	Látka	Třídy nebezpečí				Podmínky		Množství [t]	Výběr ANO/NE	Typ zařízení	Č. zóny zařízení

				Toxicita	Hořlavost	Nestabilita	Výbušnost	Teplota [°C]	Tlak [MPa]				
Sekce	Identifikace zařízení	Popis	Látka	Třídy nebezpečí				Podmínky		Množství [t]	Výběr ANO/NE	Typ zařízení	Č. zóny zařízení

DOMINO-3: DOMINOEFEKTY OBJEKT:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Č.	Mapa	Popis	Typ zařízení	Prim./ sek.	Primární nehoda	Primární projev	Epicentrum	Dosah projevu [m]	Dosaženo zón zařízení vnějšího objektu 1	Dosaženo zón zařízení vnějšího objektu 2	...	Dosaženo zón zařízení uvnitř objektu

DOMINO-3: DOMINOEFEKTY OBJEKT:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Č.	Mapa	Popis	Typ zařízení	Prim./ sek.	Primární nehoda	Primární projev	Epicentrum	Dosah projevu [m]	Dosaženo zón zařízení vnějšího objektu 1	Dosaženo zón zařízení vnějšího objektu 2	...	Dosaženo zón zařízení uvnitř objektu