

# **Zhodnocení rizika havárií**

Pro účely „Dokumentace“ ve smyslu zákona č.100/2001 Sb.,  
v platném znění

Letiště Vodochody a.s.

Objednatel: Letiště Vodochody a.s.

Číslo objednávky:

Za zhotovitele:

---

Miroslav Dítě  
Jednatel společnosti

Zpracovatel: TLP, spol. s r.o.  
prosinec 2009



Název dokumentu: Zhodnocení rizika havárií

**Rozdělovník:**

Výtisk č.	Držitel
1-2	Letiště Vodochody a.s.
3	TLP, spol. s r.o.



## Seznam zkratek

AC	autocisterna
ACHVK	areál Chemických výrob Kralupy
AIHA	American Industrial Hygiene Association
APH	automobilové pohonné hmoty
BCF	Bioconcentration Factor
BLEVE	Boiling Liquid Evaporation Vapour Explosion
BP	bezpečnostní program
BTD	1,3-butadien
ČOV	čistírna odpadních vod
DM	domov mládeže
DMV	dolní mez výbušnosti (hořlavosti)
DUP	domovní uzávěr plynu
EC	Effective Concentration
ERPG	Emergency Responsible Planning Guidelines
F&EI	Fire & Explosion Index
F <sub>BLEVE</sub>	frekvence havárie BLEVE kulových zásobníků v SKP
F <sub>MZ</sub>	frekvence pádu letadla s úmrtím osob na zemi
F <sub>OL</sub>	frekvence ohrožení letadla havárií zásobníku v SKP
F <sub>ZP</sub>	frekvence pádu letadla do zásobníkového pole v SKP
g	tíhové zrychlení
GPH	General Process Hazards
h	výška letadla nad terénem
HMV	horní mez výbušnosti (hořlavosti)
HUP	hlavní uzávěr plynu
HZS	hasičský záchranný sbor
IZS	Integrovaný záchranný systém
K <sub>H</sub>	Henryho konstanta
K <sub>oc</sub>	rozdělovací koeficient organický uhlík-voda
K <sub>ow</sub>	rozdělovací koeficient oktanol-voda
LC	Lethal Concentration
LD	Lethal Dose
LPH	Letecké pohonné hmoty
MEM	Multi Energy Method
MF	Material Factor
MTOW	Maximum Take-Off Weight
NFPA	National Fire and Protection Association
NL	nebezpečná látka
P <sub>p</sub>	pravděpodobnost pádu letadla v blízkosti letiště
P <sub>PSKP</sub>	pravděpodobnost pádu letadla v oblasti SKP při přistání
P <sub>PMZ</sub>	pravděpodobnost pádu letadla s mrtvými osobami na zemi
P <sub>SKP</sub>	pravděpodobnost výskytu letadla v oblasti SKP
P <sub>VZSKP</sub>	pravděpodobnost pádu letadla v oblasti SKP při vzletu
P <sub>ZP</sub>	pravděpodobnost zasažení zásobníkového pole SKP
QRA	Quantitative Risk Assessment
SKP	sklad kapalných plynů
SO	stavební objekt
SPH	Special Process Hazards
SŠ LVT	Střední škola letecké a výpočetní techniky



STL	středotlaký
TI	Toxicity Index
VCE	Vapour Cloud Explosion
VTL	vysokotlaký
$v_d$	dopadová rychlost letadla (fragmentu) při pádu
$v_l$	rychlost letadla
ZR	zdroj rizika
ŽP	životní prostředí



## Definice pojmů

Pro účely této zprávy je následujícími pojmy míněno:

BCF	Poměr koncentrace chemické látky v organismu a koncentrace téže chemické látky v prostředí, které organismus obklopuje (především se vztahuje na vodní prostředí).
BLEVE	Událost, která je výsledkem náhlé poruchy tlakové nádoby, obsahující kapalinu při teplotě podstatně vyšší, než je její bod varu při normálním atmosférickém tlaku. Projevem havárie je vznik tlakové vlny a rozlet fragmentů. V případě hořlavých látek dojde k vytvoření velké ohnivé koule s intenzivní tepelnou radiací (Fireball).
Deflagrace	Šíření chemické reakce látkou (výbušná přeměna), které probíhá v reakčním pásmu pomocí vedení tepla, sáláním a molekulární difúzí. Lineární rychlost šíření reakčního pásma je nižší než rychlost zvuku za místních podmínek.
Detonace	Šíření chemické reakce látkou (výbušná přeměna), které probíhá v ostře odděleném reakčním pásmu konstantní nadzvukovou rychlostí pomocí generované rázové vlny.
DMV	Nejnižší koncentrace hořlavého plynu nebo par ve vzduchu, která umožňuje šíření exploze (hoření).
EC <sub>50</sub>	Statisticky odvozená koncentrace látky u které se předpokládá, že způsobí určitý efekt (snížení měřené životní funkce, např. snížení růstu, změna chování apod.) u 50% testovaných organismů dané populace za definovaných podmínek
ERPG-1	Maximální koncentrace látky v ovzduší, o které se lze domnívat, že téměř všichni jednotlivci by mohli být vystaveni jejím účinkům po dobu až 1 hodiny, aniž by se u nich projevil jiné účinky než mírné přechodné nepříznivé zdravotní účinky nebo vnímání zřetelného nepříjemného zápachu.
ERPG-2	Maximální koncentrace látky v ovzduší, o které se lze domnívat, že téměř všichni jednotlivci by mohli být vystaveni jejím účinkům po dobu až 1 hodiny, aniž by se u nich projevil nebo vyvinuly nevratné nebo jiné závažné zdravotní účinky nebo příznaky, které by mohly oslabit jejich schopnost provést ochrannou činnost.
ERPG-3	Maximální koncentrace látky v ovzduší, o které se lze domnívat, že téměř všichni jednotlivci by mohli být vystaveni jejím účinkům po dobu až 1 hodiny, aniž by se u nich projevil nebo vyvinuly zdravotní účinky ohrožující život.
Flash Fire	Hoření směsi hořlavých par, plynu nebo aerosolu se vzduchem, při kterém lineární rychlost šíření plamene je malá, takže není generován významný přetlak.
Frekvence (četnost)	Očekávaný počet událostí, které nastanou, nebo se očekává že nastanou v rámci stanoveného časového intervalu (za časovou jednotku).
K <sub>H</sub>	Henryho konstanta je mírou těkavosti dané látky. Čím je hodnota K <sub>H</sub> vyšší, tím je látka těkavější, má vyšší tendenci přejít z půdního prostředí do atmosféry.
HMV	Nejvyšší koncentrace hořlavého plynu nebo par ve vzduchu, která umožňuje šíření exploze (hoření).
Iniciační událost	Selhání zařízení nebo nerovnováha systému, jež mohou potenciálně zapříčinit závažnou havárii. Je to událost, která je výchozím bodem pro sestavení scénáře havárie.
Jet Fire	Hoření látky unikající z otvoru, za podmínek významné hybnosti.
K <sub>oc</sub>	Poměr koncentrace chemické látky adsorbované na uhlík v zemině k její koncentraci ve vodě (vyjadřuje míru adsorpce organické látky na zeminu). Hodnoty log K <sub>oc</sub> > 3 charakterizují látky silně se sorbující v půdním prostředí



K <sub>ow</sub>	Poměr koncentrace chemické látky v organickém rozpouštědle (oktanol) k její koncentraci ve vodní fázi pro dvoufázový systém oktanol-voda. K <sub>ow</sub> je mírou schopnosti látky akumulovat se v tukové tkáni a adsorbovat se v půdě na organický uhlík. Hodnota log K <sub>ow</sub> v rozmezí 3-6 představuje látky s vysokou tendencí k bioakumulaci.
LC <sub>50</sub>	Statisticky odvozená koncentrace látky v ovzduší, která je smrtelná pro 50% testovaných organismů exponovaných touto koncentrací stanovenou dobu.
LD <sub>50</sub>	Statisticky odvozená dávka (množství) látky, která je smrtelná pro 50% testovaných organismů za stanovených podmínek (udává se v hmotnostních jednotkách látky na jednotku hmotnosti testovaného organismu).
NL	Vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek, uvedené v příloze č. 1 zákona [1] v části 1 tabulce I nebo splňující kritéria stanovená v příloze č.1 zákona [1] v části 1 tabulce II a přítomné v objektu nebo zařízení jako surovina, výrobek, vedlejší produkt, zbytek nebo meziprodukt, včetně těch látek, u kterých se dá důvodně předpokládat, že mohou vzniknout v průběhu havárie.
Pool Fire	Požár par, které se vypařují z povrchu vytvořené louže kapaliny
Pravděpodobnost	Pravděpodobnost události „A“ je dána výrazem $P(A) = n_A/n$ , kde $n_A$ je počet nastalých událostí a „n“ je celkový počet všech pozorovaných událostí ve sledovaném souboru. Platí, že $0 \leq P(A) \leq 1$ .
Riziko	Pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností.
Společenské (skupinové) riziko	Riziko, jemuž je vystavena skupina osob ovlivněných havárií. Riziko je vyjádřeno jako vztah mezi frekvencí závažné havárie a počtem lidí, kteří v jejím důsledku zemřou.
VCE	Chemický výbuch, který je výsledkem iniciace mraku tvořeného hořlavými parami, plynem nebo aerosolem ve směsi se vzduchem, při kterém lineární rychlost šíření plamene je dostatečně vysoká, aby vznikal významný přetlak.
ZR (nebezpečí)	Vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku havárie.



## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>Rizika vyplývající z manipulací s NL</b> .....	<b>11</b>
2.1.	Stručný popis uvažovaných objektů .....	11
2.1.1.	Sklad LPH .....	11
2.1.2.	Depo autocisteren .....	11
2.1.3.	Produktovod .....	11
2.1.4.	Skladové hospodářství AVGAS 100 LL .....	11
2.1.5.	Čerpací stanice APH .....	12
2.1.6.	Plynovod .....	12
2.2.	Nebezpečné látky .....	13
2.3.	Posouzení nebezpečnosti letiště Vodochody na základě zákona o prevenci závažných havárií .....	14
2.4.	Posouzení nebezpečnosti zařízení selektivní metodou .....	15
2.4.1.	Seznam posuzovaných zařízení .....	16
2.4.2.	Výpočet indikačních čísel „A“ uvažovaných zařízení .....	18
2.4.3.	Výsledky selektivní metody .....	19
2.5.	Posouzení nebezpečnosti zařízení metodou „Rapid Ranking“ .....	19
2.6.	Posouzení rizika havárie na základě modelování vybraných scénářů havárií .....	22
2.6.1.	Výběr iniciační události .....	22
2.6.2.	Scénáře havárií pro vybranou iniciační událost .....	22
2.6.3.	Předpoklady pro modelování .....	24
2.6.4.	Výsledky modelování .....	26
2.7.	Ohrožení životního prostředí .....	32
2.7.1.	Analýza nebezpečí, týkající se podstatných vlastností LPH (APH) .....	33
2.7.2.	Toxické zplodiny požáru .....	38
<b>3.</b>	<b>Zhodnocení rizika pádu letadla do obydlených oblastí</b> .....	<b>41</b>
3.1.	Počet havárií letadel v Evropě s mrtvými osobami na zemi .....	42
3.2.	Odhad počtu pohybů letadel v Evropě .....	45
3.3.	Odhad frekvence pádu letadla s úmrtím osob na zemi .....	46
3.4.	Odhad počtu usmrcených osob v obydlené oblasti v důsledku pádu letadla .....	46
3.5.	Zhodnocení přijatelnosti rizika pádu letadla do obydlené oblasti .....	47
3.5.1.	Odhad materiálních škod při pádu letadla do obydlené oblasti .....	49
<b>4.</b>	<b>Posouzení vzájemného ohrožení mezi provozem letiště a kulovými zásobníky v SKP</b> .....	<b>50</b>
4.1.	Kulové zásobníky ve skladu kapalných plynů .....	50
4.2.	Zhodnocení ohrožení kulových zásobníků zkapalněných plynů v SKP pádem letadla .....	51
4.2.1.	Stanovení pravděpodobnosti pádu letadla v blízkosti letiště (velký okruh) .....	52
4.2.2.	Stanovení pravděpodobnosti pádu letadla v oblasti zásobníkových polí SKP .....	53
4.2.3.	Stanovení efektivní plochy pádu letadla a pravděpodobnosti zasažení zásobníkového pole SKP .....	53
4.2.4.	Stanovení výsledné frekvence pádu letadla do zásobníkového pole SKP .....	54
4.2.5.	Zhodnocení rizika ohrožení kulových zásobníků v důsledku pádu letadla .....	54
4.3.	Zhodnocení ohrožení letadla v důsledku havárie kulových zásobníků v SKP .....	56



---

4.3.1.	Scénář Fireball+Pool Fire .....	58
4.3.2.	Scénář VCE .....	59
4.3.3.	Scénář BLEVE .....	60
4.3.4.	Scénář Jet Fire .....	61
4.3.5.	Zhodnocení rizika ohrožení letadla provozní havárií kulového zásobníku.....	61
<b>5.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>63</b>
<b>6.</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>66</b>



# 1. Úvod

Účelem realizace záměru je rozšíření infrastruktury stávajícího letiště Vodochody. To se bude týkat, kromě jiného:

- úpravy úložiště leteckého paliva-skladu leteckých pohonných hmot- v prostorách areálu společnosti Aero Vodochody, a.s.

a dále vybudování:

- depa autocisteren,
- produktovodu ze skladu LPH v areálu Aera Vodochody, a.s. do depa autocisteren,
- skladového hospodářství pro letecký benzín AVGAS 100 LL pro letadla s pístovými motory,
- čerpací stanice APH (automobilový benzín a nafta) pro potřeby dopravních prostředků letiště,
- středotlakého plynovodu pro nový terminál a další objekty.

Celý systém příjmu, skladování a výdeje LPH a APH bude v souladu s platnými technickými normami a standardy respektující bezpečnou a ekologickou manipulaci.

Veškeré plochy, kde se bude manipulovat s LPH budou nepropustné, odolné ropným látkám, spádované do vpustí s odtokem do havarijní nádrže (nebo do odlučovače ropných látek s automatickým uzávěrem).

Dodávky LPH se uvažují železniční dopravou, automobilovou pouze nouzově, dodávky leteckého benzínu AVGAS 100 LL a APH budou pouze autocisternami.

Z hlediska zákona o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky [1] byly proto uvažovány a posuzovány výše uvedené objekty a zařízení.

Kromě toho bylo posouzeno i nebezpečí havárií vyplývající z provozu samotných letadel letiště Vodochody. Byla odhadnuta frekvence pádu letadla do obydlené oblasti a zhodnoceno riziko takového pádu.

Rovněž bylo posouzeno nebezpečí pádu letadla do skladu kapalných plynů, který je součástí areálu Chemických výrob Kralupy. V tomto skladu jsou největší zásoby nebezpečných látek z celého ACHVK, konkrétně se jedná o extrémně hořlavé zkapalněné plyny.



## 2. Rizika vyplývající z manipulací s NL

### 2.1. Stručný popis uvažovaných objektů

#### 2.1.1. Sklad LPH

Ve skladu se budou skladovat, stáčet a vydávat LPH a sklad bude tvořen:

- šesti podzemními ocelovými dvouplášťovými nádržemi, každá o objemu 100 m<sup>3</sup> s indikací úniku v plášťovém meziprostoru,
- stáčištěm ŽC (AC) a plnicím místem AC – technologické zařízení pro stáčení ŽC (AC)/plnění AC (potrubní rozvody z nerezové oceli dvouplášťové DN 100/125, výdejní rameno pro spodní plnění, čerpadla, filtry, měřicí systémy, řídicí systém) + zastřešená manipulační nepropustná betonová plocha s odtokem do záchytné podzemní dvouplášťové jímky o objemu 30 m<sup>3</sup> (jímka bude vybavena bezpečnostními, stáčecími a plnicími armaturami a potrubními rozvody)

#### 2.1.2. Depo autocisteren

Depo bude sloužit, kromě parkování AC, k plnění AC (z podzemních zásobníků v areálu Aera Vodochody, a.s. přes produktovod) pro zásobování letadel LPH.

Vlastní depo bude tvořeno zastřešeným prostorem ocelovou příhradovou konstrukcí. Z důvodu požární bezpečnosti budou mezi jednotlivými stáními uprostřed zdvojených sloupů železobetonové stěny.

V rámci depa jsou navržena 2 průjezdná a 2 statická stání. Průjezdná jsou navržena jako paralelní, mezi stáním bude refýžní ostrůvek, na kterém bude technologie pro plnění letištních AC (plnicí rameno, měření výdeje, odvodušnění). Předpokládá se spodní plnění AC s bezpečnostním zařízením proti přeplnění AC. Při plnění bude AC uzemněna a bude stát v betonové záchytné jímcce, která bude napojena na havarijní podzemní nádrž. Celkem budou 3 plnicí místa (každé o kapacitě 120 m<sup>3</sup>/hod.).

Každé plnicí místo bude vybaveno samostatnou měřicí tratií zakončenou plnicím ramenem. Trať bude vybavena odplyňovacím zařízením a filtrem, měřením teploty a tlaku, objemovým průtokoměrem, regulačním ventilem a ručním uzavíracím ventilem.

#### 2.1.3. Produktovod

Potrubní podzemní rozvod ze skladu LPH do depa autocisteren (SO 07)-dvouplášťové nerezové potrubí DN 250, délka cca 1 200 m, průtok max. 360 m<sup>3</sup>/hod. s indikací úniku paliva v meziplášťovém prostoru. Čerpání pomocí čerpadel umístěných ve skladu LPH. Čerpadla budou spouštěna automaticky dálkově na základě součtu předvolených požadavků na výdej.

#### 2.1.4. Skladové hospodářství AVGAS 100 LL

Čerpací nadzemní stanice s výdejním bubnem a hadicí bude umístěna blízko stojánky letadel s pístovými motory. Letecký benzín AVGAS 100 LL bude tankován přímo do nádrže letadla. Stáčecí místo bude opatřeno nepropustnou betonovou vanou.



Kompaktní čerpací stanici bude tvořit nadzemní dvouplášťová nádrž o nominálním objemu 50 m<sup>3</sup> s příslušenstvím a dále potrubní trasy, čerpadlo, ventily, pojistky, systém rekuperace par, výdejní bezobslužný stojan. K výdejnímu stojanu bude připojen naviják hadice 30 m s pohonem elektromotorem.

Stanice bude vybavena systémem kontinuálního měření hladiny, teploty s napojením do řídicího systému.

Letecký benzín se do nádrže bude stáčet z AC. Stáčecí místo bude vybaveno nepropustnou betonovou záchytnou jímkou svedenou do podzemního odlučovače lehkých kapalin s automatickým uzávěrem v případě výskytu ropných látek a signalizací na dispečink a HZS.

### 2.1.5. Čerpací stanice APH

Čerpací stanici APH tvoří skladovací podzemní dvouplášťová nádrž o nominálním objemu 50 m<sup>3</sup> s příslušenstvím a s indikací úniku paliva v meziplášťovém prostoru. Nádrž bude rozdělena na dvě části, v jedné bude automobilový benzín, v druhé nafta. Dále budou součástí stanice potrubní rozvody, dvě čerpadla, ventily a dva bezobslužné výdejní stojany (nafta, benzín).

Plnicí místo bude zastřešeno a zabezpečeno nepropustnou betonovou vanou. Stanice bude vybavena systémem kontinuálního měření hladiny, teploty s napojením do řídicího systému.

APH se do nádrže bude stáčet z AC.

### 2.1.6. Plynovod

Ze stávající VTL regulační stanice v areálu společnosti Aero Vodochody, a.s. bude veden nový páteřní STL plynovod, ze kterého budou odbočky do jednotlivých objektů. Na přívodu plynu do objektu v nice na obvodové zdi objektu bude osazen DUP, regulátor tlaku plynu, plynoměr a dále HUP.

Jednotlivé světlosti a délky potrubí jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tab. č. 1 Rozvody plynu pro objekt Letiště Vodochody a.s.**

	Světlost potrubí [mm]	Délka [m]
Páteřní plynovod	160	510
Plynovod pro objekt SO 05	110	560
Plynovod pro objekt SO 08 až SO 10	110	560
Plynovod pro objekt SO 08	40	18
Plynovod pro objekt SO 010	25	18
Plynovod pro objekt SO 09	90	285

Primárním palivem bude zemní plyn s předpokládaným odběrem 788,2 m<sup>3</sup>/hod.



## 2.2. Nebezpečné látky

Tab. č. 2 Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti NL a jejich klasifikace [2]

Parametr	JET A1	AVGAS 100 LL	Natural 95	Motorová nafta	Zemní plyn
charakteristika	složitá směs uhlovodíků s počtem uhlíkových atomů převážně v rozmezí C <sub>9</sub> až C <sub>16</sub>	složitá směs uhlovodíků s počtem uhlíkových atomů převážně v rozmezí C <sub>4</sub> -C <sub>12</sub>	složitá směs uhlovodíků s obsahem aromatických uhlovodíků do 35 %	složitá směs uhlovodíků s obsahem polycykl. aromatických uhlovod. do 11 % hm.	Směs převážně methanu (cca 98%), dalších uhlovodíků (C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> ) a inertních plynů (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> )
použití	Palivo pro letecké proudové motory	Palivo pro letecké pístové motory	Motorové palivo pro zážehové spalovací motory	Motorové palivo pro vznětové spalovací motory	Palivo pro plynové kotelny objektů
Klasifikace	R 10 N; R 51/53 X <sub>n</sub> ; R 65 X <sub>i</sub> ; R 38	F+; R 12 X <sub>n</sub> ; R 48/20/21/22 X <sub>i</sub> ; R 38 N; R 51/53 karc.kat. 2; R 45 R 65 R 67	F+; R 12 karc.kat. 2; R 45 X <sub>i</sub> ; R 65 R 66 R 67	karc.kat. 3; R 40 X <sub>i</sub> ; R 65 R 66	F+; R 12
Skupenství (20°C)	kapalné	kapalné	kapalné	kapalné	plynné
Bod varu [°C]	160-300	30-170	30-210	180-370	-162
Bod vzplanutí [°C]	> 38	< -18	< -20	> 55	-189
Teplota vznícení [°C]	> 230	280	340	250	537
DMV [% obj.]	0,6	0,6	0,6	0,5	4,4
HMV [% obj.]	6,8	8,0	8,0	6,5	15
Tenze par při 20°C [kPa]	< 0,2	45-90	35-90	< 0,01	–
Hustota [kg·m <sup>-3</sup> ]	775-840 (15°C)	700-720 (15°C)	720-775 (15°C)	800-845 (15°C)	0,704 (10°C)
Rozpustnost ve vodě	nerozpustný a nemísitelný	omezeně mísitelný	nepatrná	nepatrná	nerozpustný

### 2.3. Posouzení nebezpečnosti letiště Vodochody na základě zákona o prevenci závažných havárií

Podle zákona [1] je podnikající právnická nebo fyzická osoba, která užívá objekt nebo zařízení povinna zpracovat seznam, ve kterém je uveden druh, množství, klasifikace a fyzikální forma všech nebezpečných látek umístěných v objektu a na základě tohoto seznamu navrhnout zařazení objektu/zařízení do příslušné skupiny (A nebo B).

V případě, že množství nebezpečných látek v objektu je takové, že se na něj nevztahují povinnosti navrhnout zařazení objektu do skupiny „A“ nebo „B“, ale množství NL umístěných v objektu je větší než 2% množství NL uvedené v příloze č.1 zákona [1], je nutné tuto skutečnost protokolárně zaznamenat a protokol, včetně seznamu uložit pro účely předložení kontrolním orgánům a stejnopis protokolu zaslat krajskému úřadu.

V opačném případě (množství NL umístěných v objektu je menší nebo rovno než 2% množství NL uvedené v příloze č.1 zákona [1]) je nutné tuto skutečnost protokolárně zaznamenat a protokol, včetně seznamu uložit pro účely předložení kontrolním orgánům.

Zařazení objektu Letiště Vodochody a.s. dle zákona [1] bylo provedeno se zohledněním projektové fixní a mobilní kapacity NL<sup>1</sup>.

Tab. č. 3 **Bilance nebezpečných látek<sup>2</sup>**

NL	zařízení	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [t]
Letecký Petrolej JET A1	podzemní nádrže v areálu Aera	6×100	470,0
	mobilní zdroje (AC)	4×30	94,0
	produktovod: (DN 250, l=1 200 m)	59	47,7
	<b>Letecký petrolej celkem</b>		<b>611,7</b>
Letecký benzín AVGAS 100LL	nadzemní nádrž	50	34,4
	mobilní zdroj (AC)	15	10,3
	<b>Letecký benzín celkem</b>		<b>44,7</b>
Automobilový benzín Natural 95	podzemní nádrž <sup>3</sup>	25	18,2
	<b>Automobilový benzín celkem</b>		<b>18,2</b>
Motorová nafta	podzemní nádrž <sup>3</sup>	25	20
	<b>Motorová nafta celkem</b>		<b>20</b>
Zemní plyn	Pátevní plynovod (DN 160, l=510 m)	10,3	0,041
	plynovod pro objekt SO 05 (DN 110, l=560 m)	5,3	0,021
	plynovod pro objekt SO 08 až SO 10 (DN 110, l=560):	5,3	0,021
	plynovod pro objekt SO 08 (DN 40, l=18):	0,02	< 0,001
	plynovod pro objekt SO 10 (DN 25, l=18 m)	0,01	< 0,001
	plynovod pro objekt SO 09 (DN 90, l=285 m)	1,8	0,007
	<b>Zemní plyn celkem</b>		<b>0,09</b>

<sup>1</sup> Pro nádrže a AC bylo počítáno s maximálním využitím kapacity 97% nominálního objemu.

<sup>2</sup> Pro výpočty hmotnosti kapalin byla použita střední hustota pro rozmezí, která prezentuje Tab. č. 2.

<sup>3</sup> Jedná se o dělenou nádrž, kde v jedné části bude skladován Natural 95 a v druhé části nádrže motorová nafta.



Ostatní NL se skladují pouze v malých obalech po malých množstvích (např. kanystr apod.), a proto nemají vliv na výsledné hodnocení.

Další používané látky, např. chladiwa HFC 134 a, R 407 c, nebo odmrazovací prostředky Clearway 1, Safewing nejsou nebezpečnými látkami ve smyslu zákona [1].

Tab. č. 4 Množství jednotlivých NL v porovnání s klasifikačním limitem dle [1]

NL	Množství [t]	Klasifikace NL	Klasifikační množství [t]	
			A	B
JET A1	611,7	vybraná látka	2 500	25 000
AVGAS 100 LL	44,7	vybraná látka	2 500	25 000
Natural 95	18,2	vybraná látka	2 500	25 000
Motorová nafta	20,0	vybraná látka	2 500	25 000
Zemní plyn	0,09	Vybraná látka	50	200

Vzorec pro sčítání poměrného množství s klasifikačním množstvím pro skupinu „A“:

$$N = \frac{611,7}{2\,500} + \frac{44,7}{2\,500} + \frac{18,2}{2\,500} + \frac{20}{2\,500} + \frac{0,09}{50} = 0,28$$

$N < 1$

Z provedené analýzy množství jednotlivých NL ve správě Letiště Vodochody a.s. dle zákona [1] i z výsledku sčítání poměrného množství NL vyplývá, že toto množství je podstatně menší než limitní množství pro zařazení do skupiny „A“, a proto není navrženo zařazení provozovatele do systému prevence závažných havárií dle zákona [1].

Vypracovaný protokol o nezařazení objektu je však nutné uložit pro účely předložení kontrolním orgánům a stejnopis protokolu zaslat Krajskému úřadu Středočeského kraje.

Již z této kategorizace ovšem vyplývá, že rozšíření infrastruktury letiště Vodochody nepředstavuje ve smyslu zákona [1] tak závažné nebezpečí pro své okolí, aby bylo nutné zpracovat bezpečnostní program prevence závažné havárie, nebo dokonce bezpečnostní zprávu.

## 2.4. Posouzení nebezpečnosti zařízení selektivní metodou

Selektivní metoda [3] byla vyvinuta za účelem zjištění a výběru těch zařízení, která nejvíce přispívají k celkovému riziku podniku, plynoucího z provozování, manipulace, transportu a skladování NL.

V případě rozšíření infrastruktury letiště byla metoda použita pro předběžné zhodnocení, zda uvažované zdroje rizika představují takové riziko, že mohou při havárii ohrozit obyvatelstvo v okolí areálu letiště Vodochody.

Z principu metody vyplývá, že okolí areálu mohou ohrožovat pouze taková zařízení, která mají tzv. indikační číslo „A“ větší než jedna a jejichž selektivní číslo „S“ v některém místě na hranicích areálu a/nebo v obydlené zóně je větší než 1.

**Vlastní postup selektivní metody lze charakterizovat takto:**

1. objekt/podnik se rozdělí na nezávislá zařízení,
2. nebezpečnost každého zařízení se stanoví na základě množství NL, provozních podmínek a vlastností nebezpečných látek; indikační číslo „A“ stanovené na základě těchto parametrů potom vyjadřuje míru skutečné nebezpečnosti zařízení,
3. nebezpečnost zařízení na jistou vzdálenost se stanoví na základě známého indikačního čísla a vzdálenosti mezi posuzovaným bodem a zařízením; míra nebezpečí v posuzovaném bodě se odvodí z hodnoty selektivního čísla „S“,
4. selektivní číslo se stanoví pouze pro to zařízení, jehož indikační číslo „A“ je větší než 1; to vyplývá z principu metody, protože pokud indikační číslo „A“ je menší než 1, potom i selektivní číslo „S“ musí být menší než 1, a tedy zařízení není vybráno pro kvantitativní hodnocení rizika (QRA).

Indikační číslo je numerická hodnota, která vyjadřuje poměr mezi skutečným a mezním množstvím nebezpečné látky, které je považováno za relativně bezpečné [3]. Takto stanovený poměr je korigován součinem tří faktorů, vyjadřujících typ činnosti (proces/sklad), umístění jednotky (vně nebo uvnitř budovy, přítomnost jímky) a podmínky procesu.

$$A = \frac{Q \times O_1 \times O_2 \times O_3}{G} \quad (1)$$

Q je množství látky přítomné v zařízení [kg].

O<sub>1</sub> je faktor pro procesní zařízení nebo pro skladovací zařízení.

O<sub>2</sub> je faktor zohledňující umístění zařízení.

O<sub>3</sub> je faktor zahrnující množství látky v plynném stavu po úniku v závislosti na provozní teplotě, normálním bodu varu, skupenství látky a teplotě okolí.

G je mezní množství nebezpečné látky [kg].

**Výběr zařízení vyžadujících QRA**

Zařízení vyžaduje kvantitativní hodnocení rizika pokud jsou splněny následující podmínky :

1. selektivní číslo zařízení ve zvoleném bodě na hranici areálu je větší než jedna; při větším počtu zařízení se selektivním číslem větším než 1 se zahrnou ta zařízení, jejichž selektivní číslo je větší než 50% hodnoty maximálního selektivního čísla v posuzovaném bodě,
2. selektivní číslo zařízení je větší než jedna v obydlené oblasti v místě nejbližšího zařízení.

Detailní popis selektivní metody je uveden v práci [3].

**2.4.1. Seznam posuzovaných zařízení**

Seznam uvažovaných samostatných zařízení byl zpracován na základě poskytnuté dokumentace, aktuální k datu zpracování selektivní metody, ve spolupráci se zástupcem společnosti Letiště Vodochody a.s.

Seznam posuzovaných zařízení je uveden v následující tabulce.



Tab. č. 5 Seznam posuzovaných zařízení

Označení zařízení	Zařízení	Typ zařízení <sup>4</sup>	Umístění zařízení (vně/uvnitř)	Jímka/bez jímky	NL	Skup. NL (25°C)	Množství látky v zařízení [kg]	Prov. teplota [°C]	Tlak par při prov. teplotě [bar]
ZR 1	Podzemní nádrž 100 m <sup>3</sup> ve skladu LPH (6×)	S	vně	dvouplášť	JET A1	kapalina	78 328	15	< 0,1
ZR 2	ŽC 60 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do skladu LPH (2×)	P	vně	jímka	JET A1	kapalina	46 997	15	< 0,1
ZR 3	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici plnění ze skladu LPH/stáčení do skladu LPH	P	vně	jímka	JET A1	kapalina	23 498	15	< 0,1
ZR 4	AC 30 m <sup>3</sup> (4×) na odbavovací ploše	S	vně	bez jímky	JET A1	kapalina	23 498	15	< 0,1
ZR 5	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici plnění v DEPU (3×)	P	vně	jímka	JET A1	kapalina	23 498	15	< 0,1
ZR 6	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do letadla	P	vně	bez jímky	JET A1	kapalina	23 498	15	< 0,1
ZR 7	Produktovod LPH	P	vně	dvouplášť	JET A1	kapalina	47 700	15	< 0,1
ZR 8	Nadzemní nádrž 50 m <sup>3</sup> ve skladu leteckého benzínu AVGAS 100 LL	S	vně	Jímka+ dvouplášť	AVGAS 100 LL	kapalina	34 435	15	0,9
ZR 9	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do nadzemní nádrže leteckého benzínu AVGAS 100 LL	P	vně	jímka	AVGAS 100 LL	kapalina	20 661	15	0,9
ZR 10	AC 15 m <sup>3</sup> na pozici plnění z nadzemní nádrže leteckého benzínu AVGAS 100 LL/stáčení do letadla	P	vně	jímka	AVGAS 100 LL	kapalina	10 331	15	0,9
ZR 11	Podzemní nádrž 50 m <sup>3</sup> (dělená) ve skladu APH	S	vně	dvouplášť	Natural 95	kapalina	18 127	15	0,9
		S	vně	dvouplášť	motorová nafta	kapalina	19 946	15	< 0,1
ZR 12	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do podzemní nádrže ve skladu APH	P	vně	jímka	Natural 95	kapalina	21 752	15	0,9
ZR 13	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do podzemní nádrže ve skladu APH	P	vně	jímka	motorová nafta	kapalina	23 935	15	< 0,1
ZR 14	Potrubí zemního plynu	P	vně	bez jímky	zemní plyn	plyn	90	15	–

<sup>4</sup> P-provozní, S-skladovací



## 2.4.2. Výpočet indikačních čísel „A“ uvažovaných zařízení

Tab. č. 6 Výpočet indikačních čísel „A“ zařízení

Označení zařízení	Zařízení	Nebezpečná látka	množství NL	Typ NL	Faktory provozních podmínek			Mezní hodnota G	Indikační číslo A [-]
			[kg]		O1	O2	O3	[kg]	
ZR 1	Podzemní nádrž 100 m <sup>3</sup> ve skladu LPH (6×)	JET A1	78 328	hořlavá	0,1	0,1	0,1	10 000	0,008
ZR 2	ŽC 60 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do skladu LPH (2×)	JET A1	46 997	Hořlavá	1	0,1	0,1	10 000	0,047
ZR 3	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici plnění ze skladu LPH/stáčení do skladu LPH	JET A1	23 498	hořlavá	1	0,1	0,1	10 000	0,023
ZR 4	AC 30 m <sup>3</sup> (4×) na odbavovací ploše	JET A1	23 498	hořlavá	0,1	1	0,1	10 000	0,023
ZR 5	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici plnění v DEPU (3×)	JET A1	23 498	hořlavá	1	0,1	0,1	10 000	0,023
ZR 6	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do letadla	JET A1	23 498	hořlavá	1	1	0,1	10 000	0,23
ZR 7	Produktovod LPH	JET A1	47 700	hořlavá	1	0,1	0,1	10 000	0,048
ZR 8	Nadzemní nádrž 50 m <sup>3</sup> ve skladu leteckého benzínu AVGAS 100 LL	AVGAS 100 LL	34 435	hořlavá	0,1	0,1	0,9	10 000	0,031
ZR 9	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do nadzemní nádrže leteckého benzínu AVGAS 100 LL	AVGAS 100 LL	20 661	hořlavá	1	0,1	0,9	10 000	0,186
ZR 10	AC 15 m <sup>3</sup> na pozici plnění z nadzemní nádrže leteckého benzínu AVGAS 100 LL/stáčení do letadla	AVGAS 100 LL	10 331	hořlavá	1	0,1	0,9	10 000	0,093
ZR 11	Podzemní nádrž 50 m <sup>3</sup> (dělená) ve skladu APH	Natural 95 motorová nafta	18 127 19 946	hořlavá hořlavá	0,1 0,1	0,1 0,1	0,9 0,1	10 000 10 000	0,016 0,002 Σ 0,018
ZR 12	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do podzemní nádrže ve skladu APH	Natural 95	21 752	hořlavá	1	0,1	0,9	10 000	0,196
ZR 13	AC 30 m <sup>3</sup> na pozici stáčení do podzemní nádrže ve skladu APH	motorová nafta	23 935	hořlavá	1	0,1	0,1	10 000	0,024
ZR 14	Potrubí zemního plynu	zemní plyn	90	hořlavá	1	1	10	10 000	0,090



### 2.4.3. Výsledky selektivní metody

Podle této metody byl areál Letiště Vodochody a.s. rozdělen na samostatná zařízení, ve kterých bylo stanoveno množství nebezpečné látky a pro každé zařízení byly určeny faktory zohledňující provozní podmínky, vlastnosti NL a mezní množství NL. Z těchto údajů bylo pro každé zařízení vypočteno indikační číslo „A“. Výsledky jsou uvedeny v předchozí tabulce.

Na základě vypočtených hodnot indikačních čísel lze uvést, že:

- ani v jednom případě nebyla hodnota indikačního čísla větší nebo rovna jedné,
- všechny hodnoty indikačních čísel jsou podstatně menší než 1,
- z výše uvedených důvodů nebylo třeba stanovit selektivní čísla na hranicích areálu a/nebo v obytné zóně.

Nad rámec metody byly posouzeny letecký petrolej JET A1 a motorová nafta, protože se nejedná ve smyslu této metody o hořlavé kapaliny. Metoda považuje kapalinu za hořlavou, pouze pokud je provozní teplota rovna nebo vyšší než bod vzplanutí kapaliny. Obě kapaliny tuto podmínku nenaplnují, neboť bod vzplanutí leteckého petroleje je vyšší než 38°C a v případě motorové nafty vyšší jak 55°C.

Z výsledků provedené selektivní metody vyplývá jednoznačný závěr, že žádné uvažované zařízení nepředstavuje tak závažný zdroj rizika pro své okolí ve smyslu zákona [1], aby bylo nutné provést následnou kvantitativní analýzu (QRA).

Uvažovaná zařízení podle této metody nepředstavují závažné riziko pro obyvatelstvo v okolí areálu.

## 2.5. Posouzení nebezpečnosti zařízení metodou „Rapid Ranking“

Metoda „Rapid Ranking“ umožňuje klasifikovat zařízení do tří kategorií nebezpečnosti při současném uvážení obou základních indexů používaných pro posuzování bezpečnosti procesu. Jedná se o tzv. „Fire and Explosion Index“ (F&EI) a „Toxicity Index“ (TI).

Jednotlivé indexy se vypočtou podle následujících vztahů:

$$F\&EI = MF \times (1 + GPH) \times (1 + SPH) \quad (2)$$

$$TI = \frac{T_h + T_s}{100} \times (1 + GPH + SPH) \quad (3)$$

MF je materiálový faktor, který udává míru energetického potenciálu NL

GPH jsou obecná nebezpečí procesu (míra nebezpečnosti vlastního procesu)

SPH jsou specifická nebezpečí procesu (míra nebezpečí plynoucích z provozních podmínek, povahy a velikosti zařízení apod.)

T<sub>h</sub> je faktor toxicity

T<sub>s</sub> doplněk faktoru toxicity

Porovnáním vypočtených indexů F&EI a TI s kritérii uvedenými v následující tabulce, je posuzované zařízení zatříděno do jedné z kategorií nebezpečnosti.



**Tab. č. 7      Klasifikace zdrojů rizika dle hodnoty F&EI a TI**

<b>Kategorie nebezpečnosti</b>	<b>Index požáru a exploze</b>	<b>index toxicity</b>
I	$F\&EI < 65$	$TI < 6$
II	$65 \leq F\&EI < 95$	$6 \leq TI < 10$
III	$F\&EI \geq 95$	$TI \geq 10$

Zařízení zařazená do první kategorie představují nejnižší nebezpečný potenciál, zařízení zařazená do třetí kategorie představují nejvyšší nebezpečný potenciál.

Podrobný popis metody je uveden v práci [4].

V následující tabulce je uvedena klasifikace uvažovaných zdrojů rizika dle této metody.



Tab. č. 8 Stanovení F&amp;EI a TI

Hodnotící a penalizační faktory	ZR1	ZR2	ZR3	ZR4	ZR5	ZR6	ZR7	ZR8	ZR9	ZR10	ZR11	ZR12	ZR13	ZR14
NL	Jet A1	Jet A1	Jet A1	Jet A1	Jet A1	Jet A1	Jet A1	AVGAS	AVGAS	AVGAS	NATURAL/ Nafta	NATURAL	Nafta	Zemní plyn
<b>MF</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16/10</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>21</b>
Penalizace za exotermní reakce	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za endotermní reakce	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za manipulaci	–	0,5	0,5	–	0,5	0,5	–	–	0,5	0,5	–	0,5	0,5	–
Penalizace za umístění zařízení	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za ostatní	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>GPH</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0/0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0</b>
Penalizace za procesní teplotu	–	–	–	–	–	–	–	0,25	0,25	0,25	0,25/–	0,25	–	0,6
Penalizace za nízký tlak	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za provoz v blízkosti rozmezí hořlavosti	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za provozní tlak	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,48
Penalizace za nízkou teplotu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Penalizace za množství NL	0,79	0,78	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,67	0,58	0,47	0,57/0,58	0,60	0,60	0,12
Penalizace za úbytek konstrukčního materiálu korozi a erozi	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1/0,1	0,1	0,1	0,1
Penalizace za netěsnost spojů a těsnění	–	0,1	0,1	–	0,1	0,1	–	–	0,1	0,1	–/–	0,1	0,1	–
<b>SPH</b>	<b>0,89</b>	<b>0,98</b>	<b>0,83</b>	<b>0,73</b>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>0,73</b>	<b>1,02</b>	<b>1,03</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92/0,68</b>	<b>1,05</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>
Faktor toxicity $T_h$	–	–	–	–	–	–	–	50	50	50	50/–	50	–	50
Doplnkový faktor toxicity $T_s$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50/50	50	50	50
<b>F&amp;EI</b>	<b>18,9</b>	<b>29,7</b>	<b>27,5</b>	<b>17,3</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>17,3</b>	<b>32,3</b>	<b>48,7</b>	<b>46,1</b>	<b>30,7/16,8</b>	<b>49,2</b>	<b>27,0</b>	<b>48,3</b>
<b>TI</b>	<b>0,95</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,9/0,8</b>	<b>2,6</b>	<b>1,2</b>	<b>2,3</b>
<b>Kategorie nebezpečnosti zařízení</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I/I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>



## Zhodnocení výsledků klasifikace zařízení

Z výsledků použité metody vyplývá, že všechna uvažovaná zařízení jsou posouzena jako málo nebezpečná na základě zařazení do nejnižší kategorie nebezpečnosti – kategorie I.

Metoda Rapid Ranking jenom potvrzuje předchozí výsledky a závěry selektivní metody i posouzení rizika na základě zatřídění objektu dle zákona [1].

## 2.6. Posouzení rizika havárie na základě modelování vybraných scénářů havárií

### 2.6.1. Výběr iniciační události

Protože předchozí kvalitativní metody prokázaly „relativní“ bezpečnost uvažovaných zařízení a na základě selektivní metody nebylo vybráno žádné zařízení pro kvantitativní analýzu rizika, byla pro modelování následků vybrána pouze jedna iniciační událost a jí odpovídající havarijní scénáře. Touto iniciační událostí byl únik veškeré zádrže leteckého benzínu AVGAS 100 LL z nadzemní dvouplášťové nádrže 50 m<sup>3</sup> [3]. Důvody pro výběr této iniciační události byly následující:

- Z hlediska požárního nebezpečí uvažovaných LPH a APH je letecký benzín AVGAS 100 LL (i motorový benzín) podstatně nebezpečnější než petrolej a nafta, neboť se jedná o hořlavou kapalinu I. třídy nebezpečnosti [5]. Letecký petrolej JET A1 i motorová nafta (hořlavé kapaliny II, respektive III třídy) mají bod vzplanutí poměrně vysoko nad normální provozní teplotou a tudíž pravděpodobnost iniciace po úniku ze zařízení je podstatně menší než u obou benzínů.
- Z hlediska zařízení s obsahem uvažovaných benzínů (AVGAS 100 LL a Natural 95) má největší objem a tím i skladované množství nádrž leteckého benzínu AVGAS 100 LL.
- Nádrž leteckého benzínu je nadzemní, takže eventuální následky požáru (exploze) se dají předpokládat mnohem závažnější než u podzemních nádrží.

### 2.6.2. Scénáře havárií pro vybranou iniciační událost

Iniciační událost předpokládá únik celého množství benzínu, tzn. při zcela naplněné nádrži (97% nominálního objemu) cca 34 435 kg.

Protože se jedná o dvouplášťovou atmosférickou nádrž, kdy vnější plášť při poruše vnitřní nádoby je schopen zachytit uniklý objem kapaliny, je takový scénář málo pravděpodobný. Nicméně dle [3] je nutné takovou iniciační událost posoudit a zhodnotit.

Po úniku z nádrže se benzín rozlije na okolní betonovou nepropustnou plochu, včetně záchytné jímky stáčení AC, která je v blízkosti nádrže. Záchytná jímka bude vyspádována směrem ke středu a napojena potrubím DN 300 na podzemní nádrž - odlučovač lehkých (ropných) kapalin. Trasa bude zabezpečena kapalinovým uzávěrem (zařízením proti prošlehnutí plamene). Odlučovač bude na konci osazen automatickým uzávěrem proti vniknutí ropných látek do kanalizace se signalizací na dispečink a HZS. Maximální plocha rozlití benzínu byla odhadnuta na 600 m<sup>2</sup>.

V případě tzv. okamžité (přímé) iniciace par benzínu po jeho úniku z nádrže dojde k požáru (Pool Fire) s tepelným účinkem na okolí.



Pokud k iniciaci nedojde, benzín se začne vypařovat. Vypařování vyžaduje teplo, které se odebrává z okolí (podloží, atmosféry) a rovněž z tepelného obsahu samotné kapaliny, což vede k poklesu střední teploty louže. Počáteční stadium vypařování je řízeno vedením tepla z podloží. Později převažují jiné zdroje tepla, jako je přenos tepla z atmosféry a sluneční tepelný tok.

Rychlost vypařování tak závisí hlavně na teplotě benzínu, převažující rychlosti větru a ploše louže. Vzhledem k tomu, že záchytná jímka je vypákována do podzemního odlučovače lehkých kapalin., bude tento odpar časově omezený (max. cca 18 minut).

Pokud dojde k iniciaci až po určité době (tzv. opožděná iniciace), kdy se již vytvoří v atmosféře dostatečné množství par benzínu v mezích hořlavosti (výbušnosti), dojde nejpravděpodobněji k rychlému vyhoření mraku (Flash Fire) bez výrazných tlakových účinků na své okolí. Dominantním jevem je opět tepelný účinek.

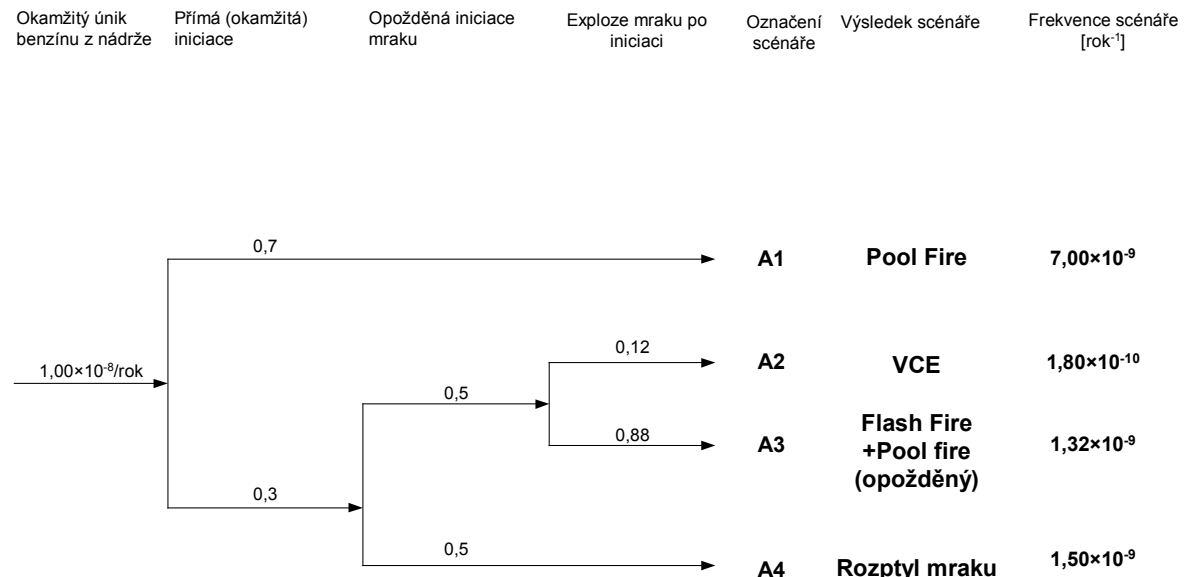
Zcela však nelze vyloučit ani explozi par benzínu (VCE).

Rozsah havárie Flash Fire a VCE závisí, kromě jiného, na čase opožděné iniciace. Pro modelování byla konzervativně uvažována situace, kdy k opožděné iniciaci rozptylujících se par benzínu dojde v čase vytvoření maximální plochy hořlavého mraku v mezích hořlavosti (výbušnosti).

Jestliže k iniciaci mraku nedojde vůbec, potom se budou páry benzínu rozptylovat okolím.

V grafické formě je scénář schematicky znázorněn na následujícím obrázku ve formě stromu událostí.

**Obr. č. 1 Scénáře iniciační události okamžitého úniku benzínu z nádrže**



Frekvence a pravděpodobnosti uvedené v předchozím stromu událostí byly získány z následujících zdrojů:

- okamžitý únik benzínu z dvouplášťové nádrže: generická data [3]
- přímá (okamžitá) iniciace: generická data [3]
- opožděná iniciace mraku: odhad na základě generických dat [6],
- exploze po iniciaci: generická data [7].

## 2.6.3. Předpoklady pro modelování

### 2.6.3.1. Vlastnosti benzínu AVGAS 100 LL

Benzín AVGAS 100LL, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2, je složitá směs uhlovodíků, s počtem uhlíků převážně C<sub>4</sub>-C<sub>12</sub> a s destilačním rozmezím 30-170°C. Obecně modelování směsí látek je složité, vzhledem k problematickému stanovení potřebných vstupních fyzikálně-chemických a termodynamických teplotně závislých parametrů. Letecký benzín AVGAS 100 LL není součástí databáze programu Effects a proto byl použit benzín podobných vlastností. Nejdůležitější parametry tohoto benzínu, nutných pro výpočty, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. č. 9 Parametry benzínu použitého pro modelování

parametr	hodnota
Molekulová hmotnost [kg·kmol <sup>-1</sup> ]	115
Kritická teplota [°C]	196,6
Teplota varu [°C]	59,85
Spalné teplo [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	45
DMV [% obj.]	0,6
HMV [% obj.]	7,8
Výparné teplo při 10°/20°C [kJ/kg]	0,374/0,367
Tenze par při 10°/20°C [kPa]	34,5/52,4
Hustota kapaliny při 10°/20°C [kg·m <sup>-3</sup> ]	735,1/745,6
Tepelná kapacita kapaliny při 10°/20°C [kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	2,18/2,21
Tepelná kapacita par při 10°/20°C [kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	1,03/1,05
Viskozita kapaliny při 10°/20°C [Pa·s]	5×10 <sup>-4</sup> /4×10 <sup>-4</sup>
Viskozita par při 10°/20°C [Pa·s]	6,5×10 <sup>-6</sup> /6,7×10 <sup>-6</sup>
Tepelná vodivost kapaliny při 10°/20°C [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	1,182×10 <sup>-1</sup> /1,144×10 <sup>-1</sup>
Povrchové napětí kapaliny při 10°/20°C [N·m <sup>-1</sup> ]	2,03×10 <sup>-2</sup> /1,9×10 <sup>-2</sup>

### 2.6.3.2. Atmosférické podmínky

Vliv na rozptyl a šíření látek v ovzduší má především typ atmosférické stability a rychlost větru. Směr větru potom ovlivňuje oblast, do které se může vzniklý mrak plynu nebo par šířit. Pro účely modelování rozptylu látek byla využita větrná růžice z BP Aero Vodochody, a.s. [8].

Modelování rozptylu se většinou provádí pro nejpravděpodobnější a nejhorší variantu (z hlediska rozptylu) atmosférické stability. Ze získaných meteorologických údajů vyplývá, že nejpravděpodobnější variantou je třída stability „D“ (dle Pasquilla) s rychlostí větru 2,5-6 m/s.



(pravděpodobnost výskytu je 0,2315), nejhorší variantou potom třída stability „F“ s rychlostí větru 0-2,5 m/s (pravděpodobnost výskytu je 0,2075).

Pro atmosférickou stabilitu „D“ byla uvažována rychlost větru 5 m/s jako reprezentativní v daném rozsahu rychlostí a pro atmosférickou stabilitu „F“ potom rychlost větru 1,7 m/s.

Vzhledem k tomu, že atmosférická stabilita „F“ se vyskytuje zejména v zimním půlroce (říjen-březen) a dále v noci a po ránu, byla uvažována okolní teplota 10°C. V případě atmosférické stability „D“ byla uvažována teplota 20°C.

### 2.6.3.3. Havárie VCE

Při odhadu smrtelných následků na osoby v případě šíření tlakové vlny se používají následující hodnoty přetlaku, kterým odpovídá pravděpodobnost úmrtí osob [3].

Tab. č. 10 Hodnoty přetlaku výbuchové vlny pro určení podílu zemřelých osob

Max. přetlak výbuchové vlny [kPa]	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	
	osoby uvnitř budov	osoby vně budov
> 30	1	1
30 až 10	0,025	0
< 10	0	0

Tyto údaje znamenají, že v oblasti zasažené tlakovou vlnou o přetlaku větším než 30 kPa zemřou všichni lidé. Při hodnotě přetlaku menším než 10 kPa naopak nedojde k žádnému úmrtí. V rozmezí hodnot 10 až 30 kPa se uvažuje, že dojde k úmrtí 2,5% osob, které se nacházející uvnitř budov.

Použitý software využívá v případě vyhodnocení exploze mraku (VCE) multi energetickou metodu (MEM), kde se počáteční síla exploze indikuje číslem v rozmezí od 1 (velmi slabá deflagrace) až po 10 (detonace). Pro účely modelování vybraných scénářů exploze byla použita počáteční síla exploze 5 (střední deflagrace). Tato síla byla odhadnuta na základě tří faktorů, které ji nejvíce ovlivňují (mohutnost iniciačního zdroje, stupeň zatarasení mraku a jeho utěsnění), podle postupu uvedeného v práci [9] a prezentovaného v práci [24].

Střed mraku v čase vytvoření maximální plochy mraku v mezích hořlavosti (výbušnosti) byl považován za centrum exploze.

Dále bylo předpokládáno, že do exploze přejde 8% z celkového množství výbušné směsi [3].

### 2.6.3.4. Havárie Flash Fire

V případě havárie Flash Fire se předpokládá, že všechny osoby, které se nacházejí uvnitř hořícího mraku zemřou. Vzhledem k velmi rychlému vyhoření mraku se naopak neočekává smrt osob nacházejících se mimo mrak. Oblast plamenné zóny tohoto typu požáru je dána konturami mraku o koncentraci DMV [3].

### 2.6.3.5. Havárie Pool Fire

V případě požáru louže hořlavé kapaliny se předpokládá, že osoby uvnitř budov jsou chráněny proti tepelné radiaci, pokud budovu nezachvátí požár. Prahová hodnota intenzity tepelné radiace pro iniciaci budov se uvádí 35 kW·m<sup>-2</sup> [3]. V takové situaci se předpokládá smrt všech osob uvnitř budovy. Jestliže je intenzita tepelné radiace menší než 35 kW·m<sup>-2</sup>, potom se naopak neuvažuje se smrtelnými následky osob uvnitř budovy [3].



Rovněž se předpokládá smrt všech osob mimo budovy do vzdáleností od požáru, kde dosažená úroveň tepelné radiace je vyšší než  $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Pro osoby nalézající mimo budovy se ve vzdálenostech, kde intenzita tepelné radiace je menší než  $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  je rozhodující velikost tepelného toku. Pravděpodobnost, že tyto osoby zemřou v důsledku působení tepelného toku je vypočtena na základě použití probitové funkce, která má tvar [3]:

$$Pr = c + d \times \ln(Q^{4/3} \times t) \quad (4)$$

c, d – konstanty  
Q – tepelná radiace  
t – doba expozice

Podle práce [3] se uvažuje doba expozice osob tepelnou radiací 20 sekund (předpokládá se, že lidé během této doby stačí utéci na bezpečné místo).

Při výpočtech je však nutné brát do úvahy, že osoby jsou chráněny minimálně oděvem, který snižuje pravděpodobnost smrti<sup>5</sup>. K vyjádření této skutečnosti se používá korekční faktor 0,14 [3].

### 2.6.3.6. Rozptyl par

Benzín AVGAS 100 LL není klasifikován z hlediska akutní expozice jako toxický, ale pouze jako zdraví škodlivý a dráždivý. Vdechování par může způsobit ospalost a závratě (R67), a při dlouhodobé expozici vdechováním, stykem s kůží nebo požíváním je zde nebezpečí vážného poškození zdraví (R 48/20/21/22). Rovněž dráždí kůži (R 38).

Americká asociace pro průmyslovou hygienu (AIHA) publikuje (a reviduje) hodnoty koncentrací ERPG, které představují přípustné hodnoty koncentrací tam, kde se předvídají nepříznivé účinky, tak aby se mohla naplánovat opatření pro případ havárie. Pro benzín (obecně) tyto hodnoty zatím nebyly uveřejněny, ale ze zápisu komise AIHA pro tyto záležitosti ze dne 13-14. 3. 2008 [10] vyplývá, že byly navrženy následující hodnoty koncentrací ERPG:

ERPG 3: 4 000 ppm,  
ERPG 2: 1 000 ppm,  
ERPG 1: 200 ppm.

Tyto koncentrace byly použity pro modelování rozptylu par benzínu.

### 2.6.4. Výsledky modelování

Pro modelování následků byl použit software Effects, verze 8.0 (rok 2009) nizozemské organizace pro aplikovaný vědecký výzkum (TNO).

---

<sup>5</sup> Při určité úrovni tepelné radiace a době expozice může dojít k iniciaci a vzplanutí oděvu. Prahová hodnota pro dobu expozice 20 s je rovna tepelnému toku  $35 \text{ kW}/\text{m}^2$ .



### 2.6.4.1. scénář A1 (Pool Fire)

#### Vyhodnocení parametrů požáru

Použitý model	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool fire	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 20°C rychlost větru: 5 m/s	Rychlost odhořívání: 33 kg/s Teoretická doba požáru: 1 040 s Intenzita tepelného záření z hořícího povrchu: 54 kW·m <sup>-2</sup> Teplota plamene: 714°C Výška plamene: 25 m

#### Vzdálenost od středu požáru, kde může dojít k úmrtí osob

Tepelná radiace [kW·m <sup>-2</sup> ]	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	Vzdálenost od středu požáru [m]
35	1,00 (vně i uvnitř budov)	20
23	0,10 (vně budov)	30
12,8	0,01 (vně budov)	40

#### Vyhodnocení požáru z hlediska smrtelného ohrožení osob v okolí areálu

lokality	Vzdálenost od požáru [m]	tepelná radiace [kW·m <sup>-2</sup> ]	Pravděpodobnost úmrtí osob
SŠ LVT a DM <sup>6</sup>	350	< 0,1	0
Obytný dům <sup>7</sup>	620	< 0,1	0
Komunikace č.608	450	< 0,1	0

Z výsledků modelování tohoto scénáře vyplývá, že se nepředpokládají smrtelné následky na osobách v uvažovaných lokalitách.

Pro odhad následků na majetku byly použity některé obecné hodnoty tepelného toku, uvedené v práci [11].

#### Vzdálenost od středu požáru, kde může dojít ke škodě na majetku

Tepelný tok požáru [kW·m <sup>-2</sup> ]	Typ poškození	Vzdálenost od středu požáru [m]
25	Prasknutí a vypadnutí okenních tabulí z rámu	28
15,1	Zapálení suchého dřeva do 5 minut, zapálení plastů do 7 minut	36
12,6	Kritický tepelný tok pro zapálení suchého dřeva	39
10	Kritický tepelný tok pro zapálení plastů	42
4	Popraskání okenních tabulí	57

<sup>6</sup> Střední škola letecké a výpočetní techniky Odolena Voda se nachází v těsné blízkosti severovýchodní hranice areálu společnosti Letiště Vodochody a.s.

<sup>7</sup> Jedná se o samostatný obytný dům v těsné blízkosti severní hranice areálu společnosti Aero Vodochody a.s.



## 2.6.4.2. Scénář A2 (VCE)

### Atmosférická stabilita F

#### Vyhodnocení parametrů VCE

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, explosive mass Explosion (Multi Energy Model)	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 10°C rychlost větru: 1,7 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 5,3 kg/s Max. množství par v mezích hořlavosti: 386 kg Předpokládané centrum exploze od místa úniku: 30 m

#### Vzdálenost od centra exploze, kde může dojít k úmrtí osob

Výbuchový přetlak [kPa ]	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	Vzdálenost od místa úniku [m]
≥ 30	1,00 (vně i uvnitř budov)	– <sup>(8)</sup>
10 – 30	0,025 (uvnitř budov)	30

#### Vyhodnocení VCE z hlediska smrtelného ohrožení osob v okolí areálu

lokalita	Vzdálenost od zásobníku [m]	Výbuchový přetlak [kPa ]	Pravděpodobnost úmrtí osob
SŠ LVT a DM	350	0,9	0
Obytný dům	620	0,5	0
Komunikace č.608	450	0,7	0

Z výsledků modelování tohoto scénáře vyplývá, že se nepředpokládají smrtelné následky na osobách v uvažovaných lokalitách.

Pro odhad následků na majetku (cihlových domech a budovách) byly použity hodnoty přetlaku , uvedené v práci [12].

#### Vzdálenost od místa úniku, kde může dojít ke škodě na majetku (budovy, domy)

Výbuchový přetlak [kPa ]	Rozsah poškození budov	Vzdálenost od centra exploze [m]
> 83	Totální zničení	–
> 35 – 83	Těžké poškození	–
> 17 – 35	Střední poškození	20
> 3,5 – 17	Malé poškození	80

<sup>8</sup> Maximální přetlak exploze (pro počáteční sílu exploze 5) je 21 kPa



## Atmosférická stabilita D

### Vyhodnocení VCE

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, explosive mass Explosion (Multi Energy Model)	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 20°C rychlost větru: 5 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 16,6 kg/s Max. množství par v mezích hořlavosti: 69 kg Předpokládané centrum exploze od místa úniku: 14 m

### Vzdálenost od centra exploze, kde může dojít k úmrtí osob

Výbuchový přetlak [kPa]	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	Vzdálenost od místa úniku [m]
≥ 30	1,00 (vně i uvnitř budov)	– <sup>(9)</sup>
10 – 30	0,025 (uvnitř budov)	16

### Vyhodnocení VCE z hlediska smrtelného ohrožení osob v okolí areálu

lokality	Vzdálenost od zásobníku [m]	Výbuchový přetlak [kPa]	Pravděpodobnost úmrtí osob
SŠ LVT a DM	350	0,5	0
Obytný dům	620	0,3	0
Komunikace č.608	450	0,4	0

Z výsledků modelování tohoto scénáře vyplývá, že se nepředpokládají smrtelné následky na osobách v uvažovaných lokalitách.

### Vzdálenost od místa úniku, kde může dojít ke škodě na majetku (budovy, domy)

Výbuchový přetlak [kPa]	Rozsah poškození budov	Vzdálenost od centra exploze [m]
> 83	Totální zničení	–
> 35 – 83	Těžké poškození	–
> 17 – 35	Střední poškození	10
> 3,5 – 17	Malé poškození	50

<sup>9</sup> Maximální přetlak exploze (pro počáteční sílu exploze 5) je 21 kPa



### 2.6.4.3. Scénář A3 (Flash Fire)

#### Atmosférická stabilita F

##### Vyhodnocení Flash Fire

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, explosive mass	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 10°C rychlost větru: 1,7 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 5,3 kg/s Maximální plocha mraku: 0,8864 ha Maximální délka mraku: 90 m Maximální šířka mraku: 130 m Maximální výška mraku: 1,9 m

##### Vzdálenost od místa úniku, kde může dojít k úmrtí osob

Flash Fire	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	Max. vzdálenost od místa úniku [m]
Oblast v plamenech	1,00 (vně i uvnitř budov)	90
Oblast mimo plameny	0 (vně i uvnitř budov)	> 90

##### Vyhodnocení Flash Fire z hlediska smrtelného ohrožení osob v okolí areálu

Lokalita	Vzdálenost od zásobníku [m]	Pravděpodobnost úmrtí osob
SŠ LVT a DM	350	0
Obytný dům	620	0
Komunikace č.608	450	0

Z výsledků modelování tohoto scénáře vyplývá, že se nepředpokládají smrtelné následky na osobách v uvažovaných lokalitách.

#### Atmosférická stabilita D

##### Vyhodnocení Flash Fire

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, explosive mass	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 20°C rychlost větru: 5 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 16,6 kg/s Maximální plocha mraku: 0,1024 ha Maximální délka mraku: 50 m Maximální šířka mraku: 26 m Maximální výška mraku: 1,8 m

##### Vzdálenost od místa úniku, kde může dojít k úmrtí osob

Flash Fire	Pravděpodobnost úmrtí osob [-]	Max. vzdálenost od místa úniku [m]
Oblast v plamenech	1,00 (vně i uvnitř budov)	50
Oblast mimo plameny	0 (vně i uvnitř budov)	> 50

**Vyhodnocení Flash Fire z hlediska smrtelného ohrožení osob v okolí areálu**

Lokalita	Vzdálenost od zásobníku [m]	Pravděpodobnost úmrtí osob
SŠ LVT a DM	350	0
Obytný dům	620	0
Komunikace č.608	450	0

Z výsledků modelování tohoto scénáře vyplývá, že se nepředpokládají smrtelné následky na osobách v uvažovaných lokalitách.

**2.6.4.4. Scénář A4 (rozptyl par)****Atmosférická stabilita F****Vyhodnocení rozptylu par**

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, concentration	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 10°C rychlost větru: 1,7 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 4,7 kg/s Maximální dosah koncentrace ERPG 3: 48 m Maximální dosah koncentrace ERPG 2: 204 m Maximální dosah koncentrace ERPG 1: 674 m

**Vyhodnocení rozptylu par z hlediska ohrožení osob v okolí areálu**

Lokalita	Vzdálenost od zásobníku [m]	Maximální dosažená koncentrace [ppm]	Doba trvání max. koncentrace [s]
SŠ LVT a DM	350	507	470
Obytný dům	620	225	500
Komunikace č.608	450	354	488

Z výsledků vyplývá, že v uvažovaných lokalitách (při rozptylu par příslušným směrem) není dosaženo koncentrace par odpovídající hodnotě ERPG 1 (4 000 ppm), ani ERPG 2 (1 000 ppm). Maximální koncentrace par přesahují ve všech případech pouze hodnotu koncentrace ERPG 1 (200 ppm), přibližně 1,1× až 2,5×. Avšak doba expozice touto maximální koncentrací u nechráněných (neukrytých) osob je podstatně menší, než doba expozice odpovídající koncentracím ERPG (1 hodina). V případě komunikace č. 608 bude doba expozice zanedbatelná (při rychlosti 50 km/h projede automobil mrakem o šířce 50 m za cca 3,6 s). Lze se tak domnívat, že nežádoucím účinkem by bylo pouze vnímání nepříjemného zápachu benzínu.



## Atmosférická stabilita D

### Vyhodnocení rozptylu par

Použité modely	Vstupní parametry modelu	Výsledky modelu
Pool evaporation Dense gas dispersion, concentration	Maximální plocha louže: 600 m <sup>2</sup> , množství benzínu v louži: 34,4 t, teplota benzínu: 20°C rychlost větru: 5 m/s	Reprezentativní rychlost odpařování: 12,3 kg/s Maximální dosah koncentrace ERPG 3: 34 m Maximální dosah koncentrace ERPG 2: 152 m Maximální dosah koncentrace ERPG 1: 520 m

### Vyhodnocení rozptylu par z hlediska ohrožení osob v okolí areálu

Lokalita	Vzdálenost od zásobníku [m]	Maximální dosažená koncentrace [ppm]	Doba trvání max. koncentrace [s]
SŠ LVT a DM	350	345	633
Obytný dům	620	155	580
Komunikace č.608	450	244	617

Z výsledků vyplývá, že v uvažovaných lokalitách (při rozptylu par příslušným směrem) není dosaženo koncentrace par odpovídající hodnotě ERPG 1 (4 000 ppm), ani ERPG 2 (1 000 ppm). Koncentrace par přesahují (přibližně 1,2× až 1,7×) hodnotu koncentrace ERPG 1 (200 ppm) pouze ve dvou lokalitách. Avšak doba expozice touto maximální koncentrací u nechráněných (neukrytých) osob je podstatně menší, než doba expozice odpovídající koncentracím ERPG (1 hodina). V případě komunikace bude doba expozice osob ještě menší. Lze se tak domnívat, že nežádoucím účinkem by bylo pouze vnímání nepříjemného zápachu benzínu.

## 2.7. Ohrožení životního prostředí

Z chemických látek a přípravků používaných v areálu letiště Vodochody jsou klasifikovány jako nebezpečné pro životní prostředí pouze letecký petrolej JET A1 a letecký benzín AVGAS 100 LL.

Látky klasifikované jako toxické nebo vysoce toxické se zde nevyskytují.

Ochrana podzemních vod bude řešena ve smyslu požadavků zákona [13] tak, aby primárními technicko-konstrukčními řešeními byl minimalizován možný únik látek závadných vodám mimo zařízení do okolního prostředí (podloží, podzemní vody).

Celý systém technologie skladování a čerpání LPH a APH bude provozován v souladu s platnými normami a standardy respektující bezpečnou a ekologickou manipulaci:

- Místo stáčení a výdeje LPH v areálu společnosti Aero Vodochody bude zabezpečeno zastřešenou manipulační nepropustnou plochou se záchytnou vanou a záchytnou podzemní jímkou (nádrží) o celkovém objemu 30 m<sup>3</sup>. Nádrž bude dvouplášťová s indikací úniku paliva do meziplášťového prostoru.
- Podzemní nádrže na letecký petrolej (6×100 m<sup>3</sup>) budou dvouplášťové s indikací úniku paliva do meziplášťového prostoru.



- Podzemní potrubí z místa stáčení LPH do podzemních nádrží bude dvouplášťové z nerezové oceli s indikací úniku paliva a rovněž tak i produktovod LPH do SO 07
- Veškeré plochy, kde se manipuluje s LPH budou nepropustné, odolné ropným látkám a vyspádované do vpustí s odtokem do havarijní nádrže
- Nové depo AC bude zastřešeno a vybaveno zařízením proti přeplnění AC (veškeré spojky budou bezúkapové); AC bude stát v betonové záchytné jímce, která bude napojena na havarijní podzemní dvouplášťovou nádrž
- Kompaktní čerpací stanice pro letecký benzín AVGAS bude vybavena rekuperací par (snížení úniku par do ovzduší při přečerpávání) a dále nepropustnou betonovou záchytnou jímku svedenou do podzemního odlučovače lehkých kapalin s automatickým uzávěrem v případě výskytu ropných látek a signalizací na dispečink a HZS
- Vozovky budou mít povrch odolný vůči ropným látkám a budou lemovány obrubníky
- Technologické vody z provozu mytí techniky (SO 08) nebo letadel (SO 09) budou svedeny do ČOV, odkud budou po přečištění odvedeny do splaškové kanalizace

Vzhledem k zabezpečení nádrží a stáčecích/plnicích míst AC a ŽC je nebezpečí kontaminace půdy, podzemní a povrchové vody vysoce nepravděpodobné.

V případě havárie AC při přepravě LPH (APH) po komunikacích v rámci letištního areálu, by mohlo dojít k úniku LPH (APH) do dešťové kanalizace.

Kanalizace je svedena na technologickou linku přečištění srážkových vod, jejíž součástí jsou i usazovací nádrž kombinovaná s lapolem a retenční nádrže. Retenční nádrž RN 1 má užžitný objem 850 m<sup>3</sup>, retenční nádrž RN 2 potom 1 800 m<sup>3</sup>. Zde by došlo k zachycení a indikaci uniklého paliva. Součástí nádrží budou usazovací kalové jímky s normými stěnami odtoku a s možností odebírat kontrolní vzorky odtékající vody.

Odbavovací plochy letadel v místech kde bude docházet k plnění letadel a místo odběru leteckého benzínu pro menší typy letadel budou spádově oddělena od ostatních zpevněných letištních ploch a odvodněna do letištní kanalizace přes účinné odlučovače, včetně sorpčního stupně s automaticky pracujícím bezpečnostním uzávěrem odtoku a indikací ropných látek na hladině s přenosem informace do místa stálé letištní služby (SO 08).

V případě úniku LPH (APH) v areálu letiště by situaci řešila především podniková jednotka HZS. Došlo by k odčerpávání uniklého paliva mobilními prostředky do vyčleněných obalů, cisterny a/nebo k sanaci pomocí sorpčních materiálů (podle rozsahu úniku).

## 2.7.1. Analýza nebezpečí, týkající se podstatných vlastností LPH (APH)

### 2.7.1.1. Klasifikace a základní fyzikálně chemické vlastnosti

Klasifikace a základní fyzikálně chemické vlastnosti pohonných hmot jsou uvedeny v kapitole 2.2.



### 2.7.1.2. Nebezpečnost dle standardu NFPA

Nebezpečnost benzínu, petroleje a motorové nafty dle standardu NFPA [14] je uvedena v následující tabulce. Jedná se o pětistupňovou klasifikaci od 0 do 4, kdy nejnižší hodnota znamená nejmenší nebezpečí.

Tab. č. 11 Klasifikace nebezpečnosti dle standardu NFPA

Vlastnost	Klasifikace			
	benzín AVGAS 100 LL	benzín NATURAL 95	petrolej JET A1	motorová nafta
hořlavost	3	3	2	2
reaktivita	0	0	0	0
ohrožení zdraví	1	1	0	0

Jak vyplývá z tohoto hodnocení, uvažované látky jsou nebezpečné zejména z hlediska hořlavosti.

### 2.7.1.3. Nebezpečnost dle ČSN 65 0201

Podle ČSN 65 0201 [5] se za hořlavé kapaliny považují chemické látky nebo jejich směsi s definovaným bodem vzplanutí, které jsou při teplotách výskytu kapalné a lze u nich stanovit bod hoření.

Bod vzplanutí je definován jako nejnižší teplota hořlavé kapaliny, při níž kapalina (zahřívána v předepsaném přístroji za stanovených podmínek) vyvine nad hladinou tolik par, že jejich směs se vzduchem při přiblížení zkušebního plamene vzplane a opět zhasne.

Bod hoření je potom definován jako nejnižší teplota hořlavé kapaliny, při níž kapalina (zahřívána v předepsaném přístroji za stanovených podmínek) vyvine nad hladinou tolik par, že jejich směs se vzduchem při přiblížení zkušebního plamene vzplane a hoří bez přerušení nejméně 5 sekund

Z předchozího vyplývá, že uvažované LPH i APH jsou považovány za hořlavé kapaliny.

Hořlavé kapaliny se dále třídí podle bodu vzplanutí do čtyř tříd nebezpečnosti (I-IV), z nichž první třída je nejnebezpečnější (bod vzplanutí je nižší nebo roven teplotě 21°C) a čtvrtá třída nejméně nebezpečná (bod vzplanutí vyšší než 100°C).

Zatřídění uvažovaných hořlavých kapalin je uvedeno v následující tabulce.

Tab. č. 12 Třída nebezpečnosti hořlavých kapalin dle ČSN 65 0201

NL	Bod vzplanutí [°C]	Třída nebezpečnosti
JET A1	> 38	II
AVGAS 100 LL	< -18	I
Natural 95	< -20	I
Motorová nafta	> 55	III

Z uvedených bodů vzplanutí je vidět, že jak letecké palivo JET A1, tak i motorová nafta mají poměrně vysoký bod vzplanutí a proto za normálních provozních podmínek na letišti se vyskytují pod svým bodem vzplanutí a tudíž nebezpečí jejich požáru je podstatně menší než u obou benzínů.



Kapalina s teplotou nižší než bod vzplanutí není požárně nebezpečná při krátkém účinku plamene, jiskry nebo žhavého tělesa. Požár může vzniknout, je-li kapalina zahřátá na teplotu vzplanutí nebo vyšší.

Jestliže je teplota kapaliny nižší než její bod vzplanutí, nemůže vzniknout výbušná koncentrace jejich par se vzduchem.

#### 2.7.1.4. Nebezpečné situace

LPH (APH) jsou za normální teploty a tlaku stabilní látky. Nebezpečné situace, kterých je nutné se při manipulacích s LPH (APH) vyvarovat, jsou následující:

- kontakt s oxidačními činidly (např. chlorem a oxidy chloru, kyselinou dusičnou, kyslíkem),
- kontakt se zdroji iniciace (plamen, jiskry, horké povrchy, apod.),
- zahřívání.

#### 2.7.1.5. Ekotoxicita

V dostupných databázích jsou údaje týkající se ekotoxicity a environmentální degradace a biodegradace stanoveny obecně pro benzín, petrolej a motorovou naftu.

Nejnižší nalezené hodnoty ekotoxických a toxických koncentrací jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. č. 13 Ekotoxické koncentrace pro vodní organismy

NL	koncentrace	Nejnižší nalezené hodnoty [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]		
		řasa	dafnie	ryba
benzín (bezolovnatý)	EC <sub>50</sub>	19 (72 hod.)	7,6 (96 hod.)	–
	LC <sub>50</sub>	–	13,4 (48 hod.)	11-16 (96 hod.)
petrolej	–	–	–	–
nafta	LC <sub>50</sub>	–	–	35 (96 hod.)

Tab. č. 14 Toxické koncentrace pro potkana

NL	toxická	Doba expozice [hod.]	Nejnižší zjištěná hodnota
benzín	LC <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	4	> 5,2
	LD <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	–	14 063
petrolej	LC <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	4	> 5,28
	LD <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	–	> 5 000
nafta	LC <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	4	4,6
	LD <sub>50</sub> [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]	–	7 400



### 2.7.1.6. Důležité parametry vzhledem k distribuci a akumulaci NL

Tab. č. 15 Zjištěné hodnoty důležitých parametrů

parametr	benzín <sup>10</sup>	petrolej	nafta
rozpuštnost ve vodě	nepatrná	nerozpuštný	nepatrná
Log K <sub>OW</sub>	1-4,5 (alkény-uhl.C <sub>5</sub> ≥)	3,3-5,25	8,2-9,7
Log K <sub>OC</sub>	1,81-4,56		> 4
K <sub>H</sub> [Pa·m <sup>3</sup> ·mol <sup>-1</sup> ]	50-400 000		
BCF	10-1 500 (alkény-uhl.C <sub>5</sub> ≥)	190-5 800	10 000-14 000

### 2.7.1.7. Environmentální degradace a biodegradace benzínu

#### Atmosférické prostředí

Většina individuálních složek benzínu bude existovat za atmosférických podmínek v ovzduší ve formě par. V atmosféře budou degradovat reakcí s atmosférickými oxidanty, jako jsou hydroxylové radikály, nitrátové radikály a ozón. Rychlost reakce se mění v závislosti na chemické struktuře jednotlivých komponent benzínu. Alkány, isoalkány a cykloalkány mají poločas životnosti v rozsahu 1-10 dní, zatímco alkény, cykloalkény a substituované benzeny jeden den nebo méně. Alkény, určité druhy substituovaných aromátů a naftalen jsou náchylné k přímé fotolýze.

#### Terestrické prostředí

Hodnota logaritmu rozdělovacího koeficientu organický uhlík-voda (K<sub>OC</sub>) se pohybuje pro individuální složky benzínu v rozsahu od 1,81-4,56. Tyto hodnoty naznačují, že pro jednotlivé komponenty benzínu se očekává mobilita v podloží v rozsahu od vysoké až po žádnou.

Relativně nízká rozpustnost ve vodě a vysoké hodnoty K<sub>OW</sub> alkánů, alkénů a některých aromátů ukazují, že tyto látky budou mít nízkou až střední mobilitu v podloží.

Složky obsahující kyslík, tak jako MTBE, který se přidává do automobilových benzínů, mají velmi vysokou mobilitu v podloží a často kontaminují podzemní vodu.

Henryho konstanta jednotlivých složek benzínu se pohybuje v rozmezí od 50 do 400 000 Pa·m<sup>3</sup>·mol<sup>-1</sup>. Tento rozsah naznačuje, že vypařování z podloží je důležitým environmentálním procesem. Poločas vypařování závisí na typu podloží, koncentraci benzínu teplotě a obsahu vlhkosti.

Jednotlivé složky benzínu podléhají biodegradaci v podloží, avšak biodegradční rychlost je vysoce ovlivněna jeho množstvím a řadou specifických environmentálních faktorů, zahrnující teplotu, obsah kyslíku, obsah vlhkosti, obsah živin, slanost a pH.

<sup>10</sup> Hodnoty jsou závislé na obsahu jednotlivých složek benzínu



## Vodní prostředí

Na základě odhadnutého rozsahu  $K_{OC}$  jednotlivých složek benzínu lze usuzovat, že mnoho složek benzínu se bude adsorbovat na rozptýlené pevné částice a sedimenty ve vodě. Rovněž je očekáváno odpařování z vodních povrchů.

Rovněž biokoncentrační potenciál většiny komponent benzínu se bude pohybovat v rozsahu od nízkého k vysokému.

Alkény mají nízký rozdělovací koeficient oktanol-voda ( $\log K_{OW} \approx 1$ ) a z něho odhadnuté biokoncentrační faktory (BCF) mají hodnotu okolo 10. Aromatické uhlovodíky mají střední hodnoty ( $\log K_{OW} = 2-3$  a  $BCF = 20-200$ ), zatímco  $C_5$  a vyšší alkány mají docela vysoké hodnoty ( $\log K_{OW} = 3-4,5$  a  $BCF = 100-1\ 500$ ).

Hydrolyza složek benzínu nebude důležitý environmentální proces, protože benzín neobsahuje žádné složky s hydrolyzovatelnými funkčními skupinami.

Mnoho složek benzínu podléhá biodegradaci v povrchových vodách a sedimentech, ale rychlost tohoto procesu je vysoce závislá na podmínkách vodního systému a koncentraci uhlovodíků.

Degradace uhlovodíků benzínu v povrchových vodách bude rychlá za podmínek příznivých k mikrobiální aktivitě. Za podmínek jako je nízké pH, teplota, nízký obsah kyslíku, vysoká slanost nebo tam, kde je nízký stav populace příslušných mikrobů, však může být tento proces pomalý nebo omezený.

### 2.7.1.8. Environmentální degradace a biodegradace petroleje

#### Atmosférické prostředí

Jestliže petrolej unikne do atmosféry, bude podléhat degradaci reakcí s fotochemicky produkovanými hydroxylovými radikály. Poločas životnosti par petroleje v ovzduší se odhaduje na 2-4 dny.

#### Terestrické prostředí

Jestliže petrolej unikne do podloží, předpokládá se jeho biodegradace, jak za aerobních, tak i za neaerobních podmínek. Na základě odhadnuté hodnoty  $K_{OW}$  byly získány adsorpční koeficienty pro podloží v rozsahu od 1 500- 17 000 pro hlavní komponenty petroleje jako jsou n-dodekan, alkylbenzen deriváty, naftalen a tetrahydronaftalény. Tyto hodnoty naznačují, že některé složky budou mít nízkou mobilitu a některé budou v podstatně imobilní.

Vypočtená rychlost pohybu petroleje pěti odlišnými typy podloží při velkém úniku byla od 24,5 do 102 cm za 12 hodin.

#### Vodní prostředí

Jestliže petrolej unikne do vody, předpokládá se jeho biodegradace, jak za aerobních, tak i za neaerobních podmínek.

BCF pro hlavní složky petroleje se pohybuje v rozmezí od 190 do 5 800. To znamená, že některé složky se budou významně akumulovat v těle ryb a jiných vodních organismů.

Rovněž bude docházet k adsorpci na sedimenty a ve vodě rozptýlené organické částice.



### 2.7.1.9. Environmentální degradace a biodegradace nafty

#### Atmosférické prostředí

Rychlostní konstanta pro reakci par nafty s fotochemicky produkovanými hydroxyl radikály byla odhadnuta na  $1 \times 10^{-11}$  až  $1 \times 10^{-10}$   $\text{cm}^3/\text{mol}\cdot\text{s}$ . Této konstantě odpovídá poločas rozpadu v atmosféře 1 den nebo méně.

#### Terestrické prostředí

Na základě odhadnuté hodnoty  $K_{OC}$  hlavních složek nafty se očekává velmi intenzivní adsorpce a velmi nízká mobilita v podloží.

Mikroorganismy mají schopnost biodegradovat normální alkány  $C_{16}$  -  $C_{19}$ . Avšak adsorpce může zmírnit rychlost biodegradace.

#### Vodní prostředí

Na základě odhadnuté hodnoty  $K_{OC}$  a BCF hlavních složek nafty se očekává velmi intenzivní adsorpce na sedimenty a rozptýlené organické látky, takže se může akumulovat v ve vodních organismech. Avšak metabolismus může limitovat důležitost biokoncentrace.

Mikroorganismy mají schopnost biodegradovat normální alkány  $C_{16}$  -  $C_{19}$ . Avšak adsorpce může zmírnit rychlost biodegradace.

### 2.7.2. Toxické zplodiny požáru

Zplodiny hoření jsou určeny především chemickým složením dané látky a dále podmínkami hoření (požáru).

LPH (APH) jsou složitou směsí kapalných uhlovodíků, jejichž složení a obsah kolísá podle druhu a způsobu zpracování ropy. Orientační složení benzínu je: alkány 60 – 65%, cykloalkány 20 – 25%, aromatické uhlovodíky 10 – 15%.

Složkami leteckého benzínu AVGAS 100 LL jsou např.: butan, cyklopentan, trimethylbenzen, pentan, 2-methylbutan, benzen, cyklohexan, n-hexan, toluen, methylcyklohexan, heptan, ethylbenzen, xylen, oktan, kumen, naftalen.

Při hoření (požáru) může dojít k situaci, kdy teplota a koncentrace kyslíku jsou dostatečně vysoké, aby zajistily úplnou oxidaci látky. V takovém případě shoří látky obsahující pouze vodík, uhlík, popř. kyslík na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . Dokonalé hoření je však spíše spojeno s řízeným spalováním látek v hořácích, pecích apod.

V následující tabulce je vypočteno množství vzniklých zplodin hoření v případě dokonalého spalování jednotlivých složek leteckého benzínu AVGAS.

Tab. č. 16 Typ a množství zplodin při dokonalém spalování složek benzínu AVGAS

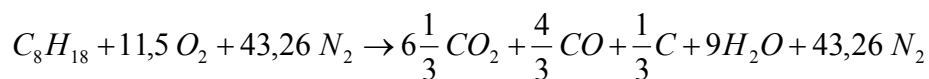
Složka PB	Množství vytvořených zplodin při dokonalé oxidaci [kg zplodin/kg látky]	
	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
butan	3,03	1,55
2-methylbutan	3,05	1,50
pentan	3,05	1,50
hexan	3,07	1,46
heptan	3,08	1,44



Složka PB	Množství vytvořených zplodin při dokonalé oxidaci [kg zplodin/kg látky]	
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
oktan	3,08	1,42
cyklopentan	3,14	1,29
cyklohexan	3,14	1,29
benzen	3,38	0,69
toluen	3,34	0,78
ethylbenzen	3,32	0,85
trimethylbenzen	3,30	0,90
naftalen	3,43	0,56
kumen	3,30	0,9
methylcyklohexan	3,14	1,29
xylen	3,32	0,85

V případě požárů však dochází většinou k nedokonalému spalování, které se projevuje zejména u látek s vysokým obsahem uhlíku (jako jsou LPH a APH). Látky jsou nedostatečně oxidovány a kromě výše uvedených zplodin vznikají především oxid uhelnatý a saze.

Hrubý odhad množství oxidu uhelnatého a sazí, vznikajících při nedokonalém spalování např. n-oktanu, jako složky benzínu, lze udělat na základě následujících podmínek. Podle [15] nedokonalé spalování u benzínu činí cca 18%, což znamená, že z jednoho molu oktanu (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) se nedokonale spálí 0,18 molu (cca 20 g). Za předpokladu, že poměr CO a C ve spalinách bude přibližně 4:1, lze rovnici hoření oktanu popsat následovně:



Konkrétně by to znamenalo, že spálením 1 kg oktanu vznikne cca 0,33 kg oxidu uhelnatého a 0,04 kg sazí.

Kromě toho však může vzniknout velké množství dalších látek v důsledku vzájemných reakcí mezi primárně vytvořenými zplodinami, v důsledku pyrolýzy (zahřívání za nepřístupu vzduchu) a rozkladných reakcí (např. alkoholy, ketony, aldehydy, organické kyseliny a řada dalších komplikovaných organických látek) [12].

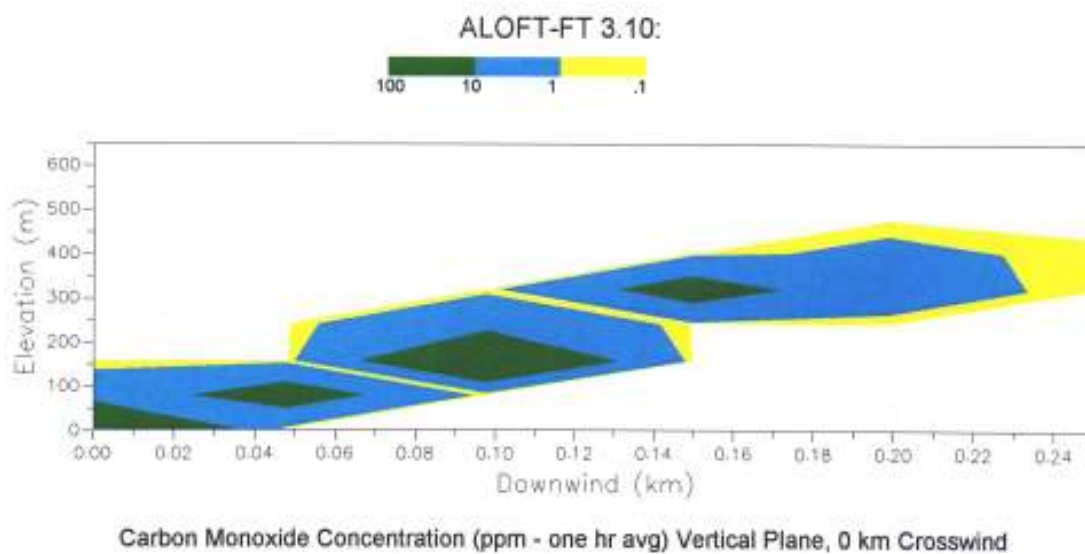
V takových případech je odhad vytvořených látek a jejich množství prakticky nemožný.

Pro chování a rozptyl toxického CO (a dalších zplodin) při požáru hraje významnou roli provázející komínový efekt, který rozptyluje zplodiny vertikálním směrem do větších výšek (v místech s vyšším obsahem kyslíku přitom může dojít, podle podmínek, k oxidaci CO na CO<sub>2</sub>). Nakonec dochází k rozptylu ve větších výškách (mimo to je nutné brát do úvahy skutečnost, že CO patří mezi tzv. neutrální plyny-molekulová hmotnost je srovnatelná s molekulovou hmotností vzduchu).

To potvrzuje i grafická prezentace modelování koncentračních kontur oxidu uhelnatého vzniklého při požáru nafty programem ALOFT-FT, verze 3.10.:

Plocha požáru: 1 000 m<sup>2</sup>  
atmosférická stabilita: D  
rychlost větru: 5 m/s

Obr. č. 2 Koncentrační kontury CO při požáru nafty



Z předchozího obrázku je patrné, že např. ve vzdálenosti cca 100 m od požáru se koncentrační stopa CO nachází již ve výšce cca 80 m nad terénem.

Prakticky to znamená, že obyvatelstvo v okolí by nemělo být rozptylem CO (a dalších zplodin) zasaženo, ale zasahující jednotky IZS musejí být připraveny na výskyt CO a dalších nebezpečných zplodin v blízkosti požáru.

### 3. Zhodnocení rizika pádu letadla do obydlených oblastí

Po realizaci záměru rozšíření infrastruktury letiště se předpokládá cca 35 000 pohybů letadel za rok. Z tohoto pohledu to znamená, že se bude jednat přibližně o letiště s provozem srovnatelným s provozem letiště v Brně (cca 33 300 pohybů v roce 2008) a přibližně 5× menším než je provoz letiště v Praze-Ruzyni (cca 179 000 pohybů v roce 2008).

Bezpečnost je jedním ze základních požadavků na všechny druhy dopravy, v letecké dopravě však je její zajištění problémem nejkompexnějším a veřejností mimořádně sledovaným. V posledních letech se na poli bezpečnosti letecké dopravy udělal ohromný kus práce a letecká doprava se stala podle dosavadních statistik nejbezpečnějším druhem dopravy.

Z hlediska počtu havárií letadel patří Česká republika mezi málo rizikové státy Evropy.

Za posledních 40 roků, tedy od roku 1969 až po současnost, došlo na území Československa a následně České republiky k 18 haváriím s celkovým počtem 172 obětí<sup>11</sup>, jak dokládá následující tabulka, která byla získána z databáze organizace Aircraft Crashes Record Office. V této statistice nejsou zahrnuty havárie vojenských letadel, vrtulníků, soukromých (typu ultralight) a sportovních letadel.

Tab. č. 17 Přehled havárií letadel na území České republiky v období 1969-2008

Rok	datum	Místo havárie	Typ letadla	Počet obětí	
				letadlo	zem
1998	26.5.	Brno	Pilatus PC-12	2	0
	13.1.	Brno	Let 410	2	0
1996	8.10.	Liberec	PZL-Mielec AN-2	0	0
1992	13.3.	Žilina	Let 410UVP-E	0	0
1990	17.11.	Velichovky	Tupolev TU-154	0	0
1989	13.9.	Vodochody	Let 410 M	0	0
1988	11.10.	Praha	Tupolev TU-134	0	0
1982	25.8.	Smedava	PZL-Mielec AN-2	0	0
1981	15.9.	Znojmo	PZL-Mielec AN-2	0	0
	21.10.	Praha	Tupolev TU-154	0	0
1980	12.6.	Brno	Avia 14	0	0
1977	2.1.	Praha	Tupolev TU-134	0	0
	7.7.	Nedakonice	Let 410	0	0
1975	15.1.	Praha	Avia 14	0	0
	30.10.	Praha	Douglas DC 9	75	0
1973	19.2.	Praha	Tupolev TU-154	66	0
1972	26.1.	Srbská Kamenice	Douglas DC 9	27	0
	1.2.	Karlovy Vary	Avia 14	0	0
1969	31.7.	Drahomysl	Antonov AN-2	0	0

Jak je vidět z údajů prezentovaných v tabulce, ani v jednom případě nedošlo k úmrtí osob mimo havarované letadlo (pouze posádka a cestující v letadle).

<sup>11</sup> Od vzniku samostatného Československa v roce 1918 až po současnost to bylo 44 havárií s úmrtím 288 osob.



Z tabulky rovněž vyplývá, že od vzniku samostatné České republiky (1.1.2003) do současnosti (tedy za období 16 roků) došlo pouze ke 3 haváriím s úmrtím 4 osob<sup>12</sup>.

Za stejné období došlo např. na našich silnicích k 3 030 433 dopravním nehodám, při nichž bylo usmrceno 20 658 osob.

### **3.1. Počet havárií letadel v Evropě s mrtvými osobami na zemi**

Pravděpodobnost pádu letadla do obydlených oblastí (vyplývající z provozu letiště Vodochody), respektive pravděpodobnost pádu letadla s úmrtím osob na zemi, tedy mimo vlastní letadlo (nebo letištní plochu) bylo možné odhadnout na základě statistických údajů proběhlých havárií letadel s úmrtím osob na zemi a počtu pohybů letadel. Pro analýzu byly použity údaje prezentované v databázích organizací Aircraft Crashes Record Office a dále Flight Safety Foundation za posledních 40 roků (1969-2008) v Evropě.

V následující tabulce je uveden výsledek analýzy počtu havárií letadel, při kterých došlo k úmrtí osob na zemi. Ve výsledcích nejsou zahrnuty vojenská letadla a vrtulníky. Avšak jsou zde zahrnuty např. nákladní letadla, ačkoliv nákladní letecká přeprava na letišti Vodochody není a nebude provozována.

---

<sup>12</sup> Pravděpodobně v případě obou havárií v roce 1998 se jednalo o soukromé lety malých letadel.



Tab. č. 18 Přehled havárií letadel v Evropě s úmrtím osob mimo letadlo (letišťe) za období 1969-2008

Rok	datum	Typ letadla	Kategorie dle MTOW	Místo	Stát	Fáze letu	Počet mrtvých v letadle/počet osob v letadle	Počet mrtvých na zemi (mimo letišťe)/lokalita
2007	25.1.	Fokker 100	M	Pau-Uzein	Francie	vzlet	0/54	1 (silnice)
2000	25.07.	Concorde 101	H	Gonesse	Francie	vzlet	109/109	4 (hotel)
1996	8.10.	Antonov AN-124 (nákladní letadlo)	H	San Francesco al Campo	Itálie	přiblížení	2/23	2 (dům)
	23.02.	Antonov 24RV	M	Baia Mare	Rumunsko	přiblížení	8/8	2 (dům)
1992	4.10.	Boeing 747 (nákladní letadlo)	H	Amsterdam	Nizozemí	nouzové přiblížení	4/4	39 (činzovní dům)
1989	17.6.	Ilyushin Il-62	H	Berlín	Německo		21/113	1 (není známo)
1988	26.10.	Cessna 501 Citation	L	Salzburg	Rakousko	let	2/2	4 (není známo)
	13.2.	Dassault MD.315 Flamant	H	Montceau-les-Mines	Francie		3/3	3 (není známo)
1987	11.8.	Piper PA-31 Cheyenne	L	Mnichov	Německo		3/3	4 (obydlená plocha)
1983	27.6.	Partenavia P.68B	L	Birkendorf	Německo		4/4	3 (není známo)
1979	10.12.	Learjet 36	M	Forli	Itálie	přiblížení	3/6	2 (dům)
1976	6.3.	Ilyushin Il-18	M	Verkhnyaya Khava	Rusko	přiblížení	111/111	7 (není známo)
1975	20.11.	Hawker Siddeley HS-125	M	Dunstable	Velká Británie	počáteční stoupání při ukázce letu	0/9	6 (silnice)
	22.10.	Yakovlev Yak-40	M	Novgorod	Rusko	přiblížení	6/6	5 (dům a silnice)
1973	13.8.	Aérospatiale Caravelle	M	La Coruna	Španělsko	přiblížení	85/85	1(dům)
	3.6.	Tupolev TU-144	H	Goussainville	Francie	počáteční stoupání při letecké přehlídce	6/6	8 (domy)
1972	16.5.	Antonov AN-24T (meteorologická měření)	M	Svetlogorsk	Rusko	let	8/8	25 (mateřská škola)
1969	5.1.	Boeing 727-100	M	Londýn	Velká Británie	přiblížení	48/62	2 (dům)

Rozdělení dopravních letadel dle MTOW je uvedeno v následující tabulce [16].

**Tab. č. 19      Tabulka rozdělení letadel dle MTOW**

MTOW [t]	Kategorie letadla	označení
< 7	Lehké	L
7 – 136	Střední	M
> 136	Těžké	H
Airbus A 380-800		J

Na základě analýzy proběhlých havárií bylo zjištěno, že v uvažovaném období došlo k 18 haváriím letadel, při kterých přišlo o život 119 osob na zemi (mimo letiště). V průměru na jednu havárii tak bylo usmrceno 6,6 osob.

Z těchto 18 havárií došlo v 11 případech k pádu letadla do obydlené oblasti, ve 2 případech na silnici a ve 4 případech nebylo možné z dostupných údajů zjistit, kde k úmrtí osob na zemi došlo. Nejvíce mrtvých v obytné oblasti bylo při havárii nákladního letadla Boeing 747 v roce 1992 v Nizozemí, kdy letadlo dopadlo na činžovní 11 poschodový dům. V domě a okolí zahynulo 39 osob a dalších 25 bylo zraněno. V roce 1972 při havárii ruského letounu Antonov AN-24T došlo k usmrcení 23 dětí a 2 dospělých osob při pádu letadla do mateřské školy.

Z hlediska statistiky pádů letadel podle kategorie MTOW, s kterými se uvažuje ve Vodochodech (kategorie L a M), došlo za stanovené období k 12 haváriím s celkovým počtem usmrcených osob na zemi 62, takže v průměru bylo usmrceno při jedné havárii 5,2 osob na zemi.

Stručný popis dvou nejzávažnějších havárií a dále havárie nadzvukového letounu Concorde v roce 2000 je uveden níže.

#### **Havárie letadla Antonov AN-24T (16.5. 1972)**

Letadlo se vracelo na letiště v Kaliningradu po letu nad Baltickým mořem, kde posádka prováděla meteorologická měření. Po přeletu pobřežní linie vletli do husté mlhy. Viditelnost byla špatná a letadlo sestoupilo do nebezpečně nízké nadmořské výšky a následně narazilo do mateřské školy, kde došlo k usmrcení 23 dětí a dvou dospělých osob. Příčinou bylo špatné počasí a nesprávně seřízený výškoměr, který ukazoval vyšší výšku, než byla ve skutečnosti.

#### **Havárie letadla Boeing 747-258 F (4.10. 1992)**

Jednalo se o let číslo 1862 nákladního letadla Boeing 747-258F izraelské společnosti E1A1 z New Yorku do Tel Avivu s mezipřistáním na amsterdamském letišti Schiphol. Zde došlo ke změně posádky letadla, doplnění paliva a naložení nákladu. Celková hmotnost nákladu byla 114,7 t, celková hmotnost letadla byla 338,3 t (21 t pod maximální povolenou hmotností). Letadlo vzletlo v 17:21. V 17:27:30, jak letadlo stoupalo na požadovanou výšku 6 500 stop (1 981 m), se motor č.3 a pylon oddělil od pravého křídla a následně narazil do motoru č. 4, který se nárazem také oddělil od letadla. Posádka vyhlásila havarijní stav a nahlásila řídicí věži návrat zpět na letiště. V 17:28:57 posádka obdržela zprávu, že je pro ně připravena přistávací dráha 06. Posádka letadla však vyžadovala pro přistání dráhu 27. Normální přiblížení k této přistávací dráze nebylo možné z důvodu výšky letadla (5 000 stop, tj. 1 524 m) a vzdálenosti k dráze (7 mil, tj. 11,3 km). Řídicí věž instruovala posádku, jak má provést přiblížení. Tyto instrukce byly akceptovány, avšak posádka informovala řídicí věž o problémech s ovládním letadla. Zatímco snižovali rychlost při přípravě na závěrečné přiblížení, ztratili kontrolu nad letadlem a letadlo narazilo do 11 poschodového činžovního



domu na předměstí Amsterdamu. Při havárii zahynula posádka letadla (4 osoby) a 39 obyvatel na zemi. Došlo také ke zranění 25 osob.

Pravděpodobná příčina byla neadekvátní konstrukce a certifikace pylonu letadla pro zabezpečení požadované úrovně bezpečnosti. Kromě toho selhal systém zajištění konstrukční integrity, prováděný inspekci. Závada byla pravděpodobně způsobena vnitřní únavou prostředního podélníku, takže motor č. 3 a pylon se oddělily takovým způsobem, že strhly pylon a motor č. 4. Část přední hrany křídla byla poškozena a použití některých systémů letadla nebylo možné a nebo bylo omezeno. Posádka tak měla pouze omezené možnosti ovládnutí letadla při přistávacím manévru.

### **Havárie letadla Concorde 101 (25.7. 2 000)**

Jednalo se o let č.4590 z Paříže do New Yorku. Odlet byl opožděn o hodinu z technických důvodů. Ve 14:42:17 bylo letadlo připraveno k odletu na vzletové dráze 26 R, 4 217 m dlouhé. Ve 14:42:31 kapitán zahájil vzlet a přibližně po 35 sekundách došlo na rozjezdové dráze k roztržení pneumatiky letadla, která následně praskla. Důvodem bylo najetí letadla na titanový pásek (3 cm široký a 43 cm dlouhý), který zůstal ležet na vzletové dráze po startu předchozího letadla. Destrukce pneumatiky se vší pravděpodobností způsobila, že velká část destruované pneumatiky byla odmrštěna proti spodní ploše levého křídla a prorazila část palivové nádrže č.5. Unikající palivo bylo zřejmě iniciováno při kontaktu s poškozenými elektrickými kabely. Pod levým křídlem propuknul rozsáhlý požár a přibližně ve stejnou dobu ztratily motory 1 a 2 výkon. Ve 14:43:13 byla posádka informována o plamenech za letadlem. Současně letový inženýr ohlásil selhání motoru č.2. O devět sekund později spustil alarm požáru motoru a letový inženýr oznámil odstavení motoru č. 2. Posádka pokračovala ve vzletu, ale letadlo nemohlo nabrat dostatečnou rychlost (rovněž nešel zatáhnout podvozek). Letadlo nebylo schopno stoupat nebo akcelarovat a udržovalo rychlost 370 km/hod ve výšce 60 m. Požár poškodil křídlo. V důsledku asymetrického tahu motorů došlo k naklonění letadla o více než 100°. Posádka se snažila letadlo vyrovnat snížením výkonu motorů č.3 a 4, ale s poklesnoucí rychlostí došlo ke ztrátě kontroly nad letadlem, které následně narazilo do hotelu „Hotellissimo“ a bylo zachváčeno plameny. Zemřelo všech 109 osob na palubě letadla a 4 osoby v hotelu.

## **3.2. Odhad počtu pohybů letadel v Evropě**

Pro stanovení pravděpodobnosti pádu letadla s úmrtím osob na zemi bylo nutné odhadnout počet pohybů letadel v Evropě za stanovené období (1969-2008).

Pro odhad bylo využito statistických údajů prezentovaných organizací The European Organisation for the Safety of Air Navigation. Jedná se o mezinárodní organizaci tvořenou v současnosti 38 členskými státy. Primárním cílem této organizace je harmonizovat a integrovat navigační služby v Evropě s cílem vytvořit jednotný systém řízení letecké dopravy, tak aby evropské letectví bylo bezpečnější, spolehlivější, ekonomičtější s minimalizací nepříznivých účinků na životní prostředí.

Tato data byla získána z tzv. Performance Review Reports této organizace, a to jednak z tabulkových údajů (roky 1999-2008), a jednak z grafických výstupů (roky 1969-1998).

Tab. č. 20 Počet pohybů letadel v Evropě (1969-2008)

rok	Počet pohybů [mil.]	rok	Počet pohybů [mil.]	rok	Počet pohybů [mil.]	rok	Počet pohybů [mil.]
2008	10,100	1998	7,500	1988	4,472	1978	3,252
2007	10,100	1997	7,200	1987	4,065	1977	3,171
2006	9,600	1996	6,626	1986	3,740	1976	2,886
2005	9,200	1995	6,260	1985	3,659	1975	2,846
2004	8,900	1994	6,016	1984	3,496	1974	2,846
2003	8,470	1993	5,691	1983	3,293	1973	2,846
2002	8,237	1992	5,650	1982	3,293	1972	2,683
2001	8,393	1991	5,244	1981	3,252	1971	2,480
2000	8,400	1990	5,081	1980	3,333	1970	2,439
1999	8,100	1989	3,837	1979	3,293	1969	2,439

Je třeba říci, že se jedná spíše o podhodnocený odhad, protože ve statistice nejsou zahrnuty pohyby letadel v Rusku (evropské části), protože Rusko není členským státem této organizace a také proto, že počet členských států se postupně zvyšoval od doby založení organizace až po současnost .

Z údajů uvedených v předchozí tabulce vyplývá, že v Evropě za uplynulých 40 roků bylo uskutečněno cca 213 389 000 pohybů.

### 3.3. Odhad frekvence pádu letadla s úmrtím osob na zemi

Pro odhad roční frekvence pádu letadla do obydlené oblasti byl použit přímý (klasický) odhad [17, 18], na základě následujícího statistického souboru dat v evropském regionu:

počet pohybů letadel:	213 389 000,
počet pádů letadel, při kterých došlo i k usmrcení osob na zemi:	18,
časové období za které byly získány statistické údaje	40 roků.

Odhadnutá frekvence pádu letadla s usmrcením osob na zemi je  $2,11 \times 10^{-9}$ /rok.

### 3.4. Odhad počtu usmrcených osob v obydlené oblasti v důsledku pádu letadla

Je velmi těžké odhadnout následky pádu letadla do obydlené oblasti v okolí letiště Vodochody. Záleží to na mnoha okolnostech, především na kategorii letadla (lehké, střední) způsobu pádu (přímý pád nebo skluz), místu dopadu (střed města, předměstí, obec, okraj obce nebo města, silnice, neobydlená část), denní či noční době (výskyt osob v dané lokalitě).

Z historie vyplývá (Tab. č. 18), že při nejtragičtější havárii (z hlediska počtu usmrcených osob na zemi), která se v Evropě stala v uvažovaném období posledních 40 let, došlo při pádu letadla Boeing 747 do obydlené oblasti v nizozemském Amsterdamu (pádem letadla byl přímo zasažen 11 poschodový činžovní dům) k usmrcení 39 osob. Vzhledem k roční i denní době (podzim, 18:35 hodin) se lze domnívat, že v domě bylo tou dobou hodně obyvatel. Jednalo se o těžké nákladní letadlo (MTOW > 136 t), které však na letišti Vodochody nebude létat.



Ze statistických údajů dále vyplývá, že průměrný počet osob usmrcených na zemi při pádu letadla za posledních čtyřicet roků v Evropě byl 6,6 osob.

Hrubý odhad počtu obětí při pádu letadla do obydlené oblasti byl proveden na základě odhadu zasažené plochy pádem letadla a plošné hustoty osob (požadavek města Odoleny Vody).

Z analýzy fotografických snímků některých havárií se podařilo odhadnout plochu pádu letadla pro dvě kategorie letadel následovně:

- lehké letadlo (kategorie „L“): 400 m<sup>2</sup>,
- těžké letadlo (kategorie „H“): 4 540 m<sup>2</sup>.

Pro letadla střední kategorie se nepodařilo tyto údaje získat, proto byla konzervativně uvažována stejná plocha jako pro letadla těžká. Je však třeba si uvědomit, že hmotnostní rozmezí pro letadla patřící do střední kategorie dle MTOW je značné (7-136 t), takže tuto plochu lze přiřadit letadlům, mající MTOW na horní hranici uvedeného rozmezí.

Hustota obyvatel byla odhadnuta na základě hustoty zalidnění různých typů sídelních oblastí České republiky [19] následovně:

- centrální obytná část města do 50 000 obyvatel: 90 osob/ha (např. Kralupy nad Vltavou),
- vnější obytná část města do 50 000 obyvatel: 45 osob/ha (např. místní část Lobeček, Kralupy nad Vltavou),
- obec (město) do 5 000 obyvatel: 25 osob/ha (např. Odolena Voda),
- obec do 2 000 obyvatel: 15 osob/ha (např. Chvatěruby, Dolany, Kozomín, Líbeznice, Máslovice, Panenské Břežany, Postřižín, Zlončice, Nelahozeves, Měšice, Úžice apod.).

Na základě těchto předpokladů bylo možné odhadnout počet usmrcených osob v obydlené oblasti tak, jak uvádí sledující tabulka.

**Tab. č. 21** Přibližný odhad počtu usmrcených osob v různých obydlených oblastech

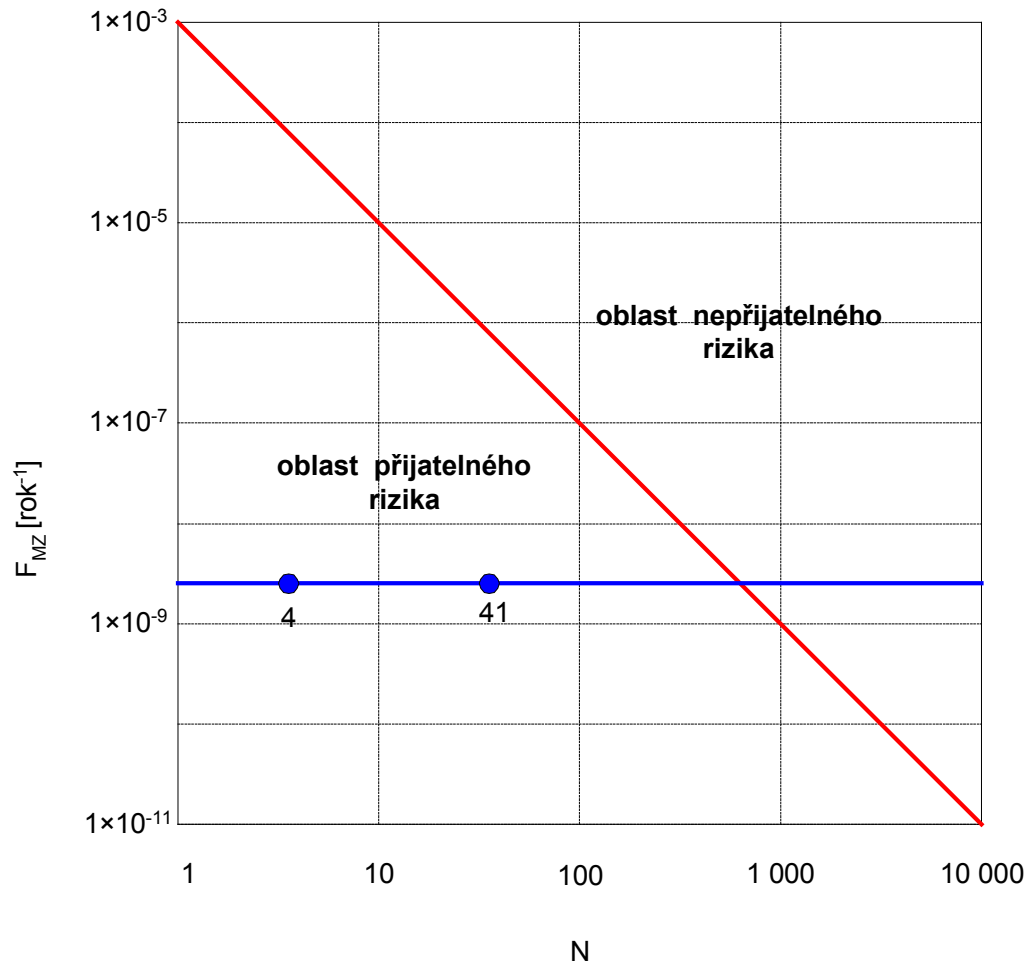
	Město do 50 000 obyvatel – centrální část	Město do 50 000 obyvatel-vnější část	Obec (město) do 5 000 obyvatel	Obec do 2 000 obyvatel
Lehké letadlo	4	2	1	1
Těžké (střední) letadlo	41	20	11	7

### **3.5. Zhodnocení přijatelnosti rizika pádu letadla do obydlené oblasti**

Na základě připomínek města Odoleny Vody k původní analýze rizika letiště Vodochody (č.j. 979/2009/St ze dne 18.3.2009) vyplynul požadavek zhodnotit přijatelnost rizika pádu letadla s úmrtím osob na zemi podle tzv. nizozemského kritéria (kritérium přijatelnosti rizika závažné havárie dle zákona [1] v České republice není stanoveno), které se používá pro hodnocení

společenského rizika havárií v okolí objektů s nebezpečnými látkami, které podléhají dikci zákona.<sup>13</sup> Toto kritérium je znázorněno na následujícím obrázku.

Obr. č. 3 Grafické znázornění kritéria pro hodnocení společenského rizika



$F_{MZ}$  je frekvence pádu letadla, při kterém dojde k usmrcení osob na zemi [rok<sup>-1</sup>]

N je počet usmrcených osob na zemi v důsledku pádu letadla

Červená přímka znázorňuje kritérium přijatelnosti rizika. Oblast nad touto linií znamená nepřijatelné riziko, oblast pod touto linií potom přijatelné riziko.

Modrá přímka na obrázku prezentuje vypočtenou frekvenci pádu letadla ( $2,11 \times 10^{-9}$ /rok), při které dojde k usmrcení osob na zemi. Na této přímce jsou vyznačeny body s odhadnutými počty usmrcených osob na zemi. V prvním případě se jedná o maximální počet zemřelých osob na zemi (4) při pádu lehkého letadla do obydlené oblasti (Tab. č. 21), v druhém případě o maximální počet zemřelých osob na zemi (41) při pádu středního (těžkého) letadla do obydlené oblasti (Tab. č. 21). V obou případech se jedná o riziko přijatelné.

<sup>13</sup> Zákon o prevenci závažných havárií byl implementován jednotlivými členskými státy Evropské unie do svých národních legislativ ze směrnice EU č. 96/82/EC [20].



Vzhledem k tomu, že není reálné, aby při pádu letadla bylo usmrceno více osob, než prezentuje průsečík modré a červené přímký, potom lze zhodnotit riziko pádu letadla (vyplývajícího z provozu letiště Vodochody) do obydlené oblasti v okolí letiště jako přijatelné.

### 3.5.1. Odhad materiálních škod při pádu letadla do obydlené oblasti

Odhadnout materiální škody při pádu letadla je opět velmi obtížné, neboť záleží na místě dopadu, kategorii letadla a způsobu jeho dopadu.

Velmi hrubě lze odhadnout průměrnou velikost pozemku novostavby na 600–800 m<sup>2</sup>, přičemž zastavěná plocha může být mezi 20–30% (30% bývá povolené maximum v regulativech pro výstavbu nových rodinných domů).

Cena nového rodinného domu se pohybuje kolem 3–5 mil. Kč, u starší zástavby kolem 2–3 mil. Kč.

V případě nejhorší varianty pádu středního letadla s MTOW na horní hranici hmotnostního limitu této kategorie by tak mohlo dojít k materiálním škodám až na 6–8 pozemcích novostavby. V případě totálního zničení majetku by se tak materiální škoda pohybovala okolo 18–40 mil. Kč. V případě starší zástavby by materiální škoda mohla činit 12–24 mil. Kč.

Při pádu lehkého letadla by materiální škoda byla podstatně nižší a neměla by v nejhorším případě přesahovat cenu rodinného domu.

V případě činžovních domů je odhad ještě obtížnější, neboť většinou se neprodávají jako celek, tak aby bylo možné zjistit jejich tržní cenu v dané lokalitě. Patrně se bude cena pohybovat řádově v několika desítkách milionů Kč. Závisí to hlavně na typu domu (panelový, zděný), velikosti domu, technickém stavu domu (střecha, vodovodní, plynové a elektrické rozvody, zateplení, okna, fasáda apod.), vybavenosti jednotlivých bytů, či zda jsou součástí domu i nebytové prostory apod. a otázkou zůstává, jaká část domu by byla zničena, respektive, zda by muselo dojít k demolici celého domu, nebo by šel dům zrekonstruovat. Pochopitelně při pádu lehkého letadla a nebo středního letadla s MTOW na spodní hranici limitní hmotnosti by byly škody podstatně menší, než v případě pádu středního letadla s MTOW na horní hranici limitní hmotnosti.



## 4. Posouzení vzájemného ohrožení mezi provozem letiště a kulovými zásobníky v SKP

Vzletová a přistávací dráha letiště Vodochody leží přibližně 4,7 km jihovýchodním směrem od SKP.

Vzlet letadel bude probíhat z větší části (80%) severozápadním směrem v kurzu 284° (zbylých 20% vzletů bude probíhat jihovýchodním směrem v kurzu 104°), zatímco přistání letadel bude probíhat z 80% z jihovýchodního směru v kurzu 104° (zbylých 20% přistání bude ze severozápadu v kurzu 284°).

Zásobníková pole s kulovými zásobníky SKP se nacházejí přibližně v kurzu 311° od vzletové/přistávací dráhy letiště Vodochody. Z toho vyplývá, že uvažované prostory SKP (i vlastního areálu Chemických výrob Kralupy) jsou zcela mimo letový koridor letiště Vodochody).

Jiná situace je v případě okružového létání na tzv. „velkém okruhu“, kdy letadlo po vzletu SZ směrem a po přeletu řeky Vltavy nad severním okrajem obce Dolany začíná točit doprava a po necelých 6 km letu prolétá ve výšce cca 600 m nad terénem prakticky nad jihovýchodní částí SKP. Toto je nejpravděpodobnější varianta, kdy by mohlo dojít, v případě pádu letadla, k ohrožení zásobníků a proto byla při výpočtech zvažována.

Posouzení možnosti ovlivnění bezpečnosti kulových zásobníků SKP provozem letiště Vodochody vycházelo především ze zjištění pravděpodobnosti (frekvence) pádu letadla do zásobníkového pole v SKP a porovnání této frekvence s frekvencí závažné havárie. Jinými slovy řečeno, podstatou posouzení bylo zjistit, zda příspěvek frekvence pádu letadla do zásobníkového pole je významný ve vztahu k závažné provozní havárii kulového zásobníku.

Posouzení možnosti ovlivnění letadla letícího v blízkosti zásobníkového pole SKP provozní havárií kulových zásobníků vycházelo z modelování nejhorsích scénářů (BLEVE, VCE, Flash Fire, Jet Fire) a zhodnocení možnosti ohrožení letadla fyzikálními účinky daného scénáře (tepelný tok, rozlet fragmentů, tlaková vlna). Následně byla opět oceněna pravděpodobnost takové události.

### 4.1. Kulové zásobníky ve skladu kapalných plynů

Kulové nadzemní zásobníky v SKP slouží ke skladování hořlavých uhlovodíkových zkapalněných plynů. Jedná se o tlakové nádoby, které jsou umístěny ve dvou zásobníkových polích, z nichž jedno je provozováno společností SYNTHOS Kralupy a.s. (SO 8501) a druhé je provozováno společností ČESKÁ RAFINÉRSKÁ a.s.(SO 8601).

Kulových zásobníků v zásobníkovém poli SO 8501 je celkem 12 a všechny mají nominální objem 1 000 m<sup>3</sup>. Maximální přípustné plnění je 85% nominálního objemu. Ve třech zásobnících se skladuje BTĐ, v pěti zásobnících tzv. C<sub>4</sub> frakce (směs převážně C<sub>4</sub> nasycených a nenasycených uhlovodíků, především BTĐ, isobutenu, 1-butenu a n-butanu) a ve dvou potom tzv. Rafinát I (směs převážně isobutanu, 1-butenu, isobutenu a n-butanu). Jeden zásobník je prázdný a slouží jako rezerva v případě potřeby nebo havárie (možnost přečerpání obsahu jiného zásobníku při netěsnosti apod.)



V SO 8601 je rovněž 12 kulových zásobníků, ale pouze 8 z nich má nominální objem 1 000 m<sup>3</sup>, zbylé čtyři zásobníky mají nominální objem 250 m<sup>3</sup>. Maximální přípustné plnění je opět 85% nominálního objemu. Ve dvou velkých zásobnících se skladuje tzv. Rafinát II (podobné složení jako Rafinát I, ale neobsahuje isobuten), v dalších C<sub>4</sub> frakce (2 zásobníky), propan-butan (3 zásobníky) a n-butan (1 zásobník). V menších zásobnících se skladuje propan (2 zásobníky) a propan-butan (2 zásobníky).

Některé fyzikálně-chemické vlastnosti skladovaných plynů a jejich klasifikace [2] jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. č. 22 Některé fyzikálně-chemické vlastnosti skladovaných plynů a jejich klasifikace

Parametr	BTD	n-butan	isobutan	isobuten	1-buten	propan
Číslo CAS	106-99-0	106-97-8	75-28-5	115-11-7	106-98-9	74-98-6
Klasifikace	F+; R12 Karc.Kat.1; R45 Mut.Kat.2; R46	F+; R12	F+; R12	F+; R12	F+; R12	F+; R12
Vzorec	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
Molekulová hmotnost [g·mol <sup>-1</sup> ]	54,09	58,12	58,12	56,11	56,11	44,10
Skupenství (20°C)	plynné	plynné	plynné	plynné	plynné	plynné
Bod varu [°C]	-4,4	-0,5	-11,7	-6,9	-6,2	-42
Bod tání [°C]	-109	-138	-160	-140	-185	-188
Bod vzplanutí [°C]	-76	-74	-83	-76	-80	-104
Teplota vznícení [°C]	420	288	460	465	384	450
DMV [% obj.]	2,0	1,5	1,8	1,8	1,6	2,1
HMV [% obj.]	11,5	9,0	8,4	8,8	9,3	9,5
Tenze par při 20°C [kPa]	241	208	303	260	259	837
Spalné teplo [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	44,5	45,7	45,6	45,0	45,3	46,3
Hustota kapaliny při teplotě varu [kg·m <sup>-3</sup> ]	651	602	594	627	625	582
Hustota plynu při 0°C [kg·m <sup>-3</sup> ]	2,50	2,70	2,70	2,60	2,60	1,94
Rozpustnost ve vodě	nerozpustný	nerozpustný	nerozpustný	nerozpustný	nerozpustný	nerozpustný

## 4.2. Zhodnocení ohrožení kulových zásobníků zkapalněných plynů v SKP pádem letadla

Jak již bylo zmíněno, pro eventuální pád letadla do prostoru zásobníkového pole SKP byly uvažovány pohyby letadel při tzv. okruhovém létání, konkrétně na velkém okruhu.

Pro odhad výsledné frekvence pádu letadla do zásobníkového pole bylo třeba postupně stanovit následující pravděpodobnosti:

- pravděpodobnost pádu letadla v blízkosti letiště Vodochody,
- pravděpodobnost pádu letadla v oblasti zásobníkových polí SKP,
- Stanovení efektivní plochy pádu letadla a pravděpodobnosti zasažení zásobníkového pole SKP.

#### 4.2.1. Stanovení pravděpodobnosti pádu letadla v blízkosti letiště (velký okruh)

Stanovení pravděpodobnosti pádu letadla v blízkosti letiště Vodochody vycházelo ze zlepšené metodologie ocenění rizika (vyplývajícího z provozu letišť) prezentované Wongem [21]. Wong kvantifikoval vlivy, které zvyšují riziko havárií letadel v blízkosti letišť a zahrnul je do pravděpodobnostního modelování havárií. Uvažoval především meteorologické parametry jako výšku oblačnosti, viditelnost, rychlost bočního větru, sněžení, namrzající srážky a tvorbu námrazy. Kromě toho bral do úvahy i další parametry jako velikost letiště, okolní terén, svítání a soumrak při startu a přistání letadel apod. Pochopitelně uvažoval při výpočtech i tradiční parametry jako typ a hmotnost letadel, druh motoru a charakter provozu letiště.

Pro predikci pravděpodobnosti havárie letadel byl použit multivarietní statistický model, který bere do úvahy faktory získané jak z databází havárií, tak i z databází normálních provozních podmínek [21].

Pravděpodobnost pádu letadla je vyjádřena vztahem:

$$P_p = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (5)$$

$$z = b_0 + b_1(\text{proměnná } 1) + b_2(\text{proměnná } 2) + \dots + b_n(\text{proměnná } n) \quad (6)$$

$b_0$  = je konstanta

$b_1$  až  $b_n$  = odpovídající koeficienty

Pro výpočet pravděpodobnosti pádu letadla při vzletu/přistání z letiště Vodochody byly použity údaje prezentované v následující tabulce.

Tab. č. 23 Vstupní údaje pro výpočet pádu letadla na velkém okruhu

Parametr	Hodnota <sup>14</sup>
Zastoupení letadel dle MTOW <sup>15</sup> [kg]:	18 450 – 114 750
Zastoupení typu letadel [%]:	80 (proudová) 20 (turbovrtulová)
Uživatelská třída letadel	Obchodní (komerční)
Pravděpodobnost vzletu a přistání letadel při svítání/soumraku	0
Průměrná roční výška oblačnosti [m]	1 300
Viditelnost [km]	> 5
Průměrná rychlost bočního větru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	3
Pravděpodobnost výskytu mlhy při vzletu/přistání [-]	0
Pravděpodobnost výskytu sněhu nebo sněžení [-]	0,020

<sup>14</sup> Meteorologické údaje jsou statistickým vyhodnocením údajů za posledních 5 roků.

<sup>15</sup> V literatuře [21] se používají odlišné kategorie letadel dle MTOW od českých kategorií (Tab. č. 19).



Parametr	Hodnota <sup>14</sup>
Pravděpodobnost tvorby námrazy [-]	0,019
Pravděpodobnost namrzajících srážek [-]	0,010
Počet vzletů v kurzu 284° [rok <sup>-1</sup> ]	273
Počet přistání z kurzu 284° [rok <sup>-1</sup> ]	78

Na základě vstupních údajů a vztahu (6) byl vypočten parametr „z“ a následně pravděpodobnost a frekvence pádu letadla v blízkosti letiště při okružovém létání (velký okruh):

$$z = -18,4615$$

$$P_p = \frac{1}{1 + e^{-z}} = \frac{1}{1 + e^{18,4615}} = 9,6 \times 10^{-9}$$

#### 4.2.2. Stanovení pravděpodobnosti pádu letadla v oblasti zásobníkových polí SKP

Ze statistických údajů uvedených v práci [22] bylo možné odhadnout pravděpodobnost pádu letadla na území ve tvaru čtverce o straně 1,609 km v závislosti na vzdálenosti od vzletové/přistávací dráhy.

Letadlo letící po velkém okruhu, které se nachází v místě kulových zásobníků v SKP, uletí od vzletové/přistávací dráhy vzdálenost cca 6 km.

Pravděpodobnost pádu letadla na plochu čtverce  $A_p$  o straně 1,609 km ( $A_p = 2,588881 \text{ km}^2$ ) v oblasti zásobníkových polí SKP byla odhadnuta následovně:

$$P_{VZSKP} = 2,80 \times 10^{-2}$$

$$P_{PSKP} = 6,30 \times 10^{-2}$$

#### 4.2.3. Stanovení efektivní plochy pádu letadla a pravděpodobnosti zasažení zásobníkového pole SKP

V předchozí kapitole byla stanovena pravděpodobnost pádu letadla v oblasti zásobníkových polí SKP na plochu čtverce o straně 1,609 km. Aby však došlo v rámci této plochy k zasažení zásobníkového pole, musí letadlo spadnout na území, označované jako efektivní plocha ( $A_E$ ). Velikost efektivní plochy závisí na rozměrech uvažovaného zařízení a dále na rozpětí křídel letadla, dopadovém úhlu letadla a délce jeho skluzu a lze ji vypočítat dle následujícího vztahu [22]:

$$A_E = A_D + A_S \quad (7)$$

$A_E$  je efektivní plocha dopadu letadla

$A_D$  je efektivní plocha v důsledku přímého dopadu letadla

$A_S$  je efektivní plocha v důsledku skluzu letadla

$$A_D = (RK + R) \cdot H \cdot \cot \phi + \frac{2 \cdot L \cdot W \cdot RK}{R} + L \cdot W \quad (8)$$



$$A_S = (RK + R) \cdot S \quad (9)$$

RK	je rozpětí křídel letadla
R	je uhlopříčka zařízení
$\phi$	je úhel dopadu letadla
H	je výška zařízení
L	je délka zařízení
W	je šířka zařízení
S	je délka skluzu letadla

Protože kulové zásobníky jsou umístěny v zásobníkovém poli relativně blízko sebe, byly za délku (L), šířku (W) a uhlopříčnou vzdálenost (R) zařízení uvažovány rozměry zásobníkového pole:

$$L = 103 \text{ m}, W = 87 \text{ m}, H = 14 \text{ m}, R = 130 \text{ m}$$

Pro rozpětí křídel letadel byl konzervativně použit největší rozměr, tzn. RK=36 m. Úhel dopadu letadla a délka skluzu byly odhadnuty na základě údajů uvedených v práci [22].

$$A_E = A_D + A_S = 37\,628 + 72\,857 = 110\,485 \text{ m}^2 = 0,110485 \text{ km}^2$$

Protože však v SKP jsou dvě zásobníková pole, potom platí:

$$A_E = 0,110485 \cdot 2 = 0,22097 \text{ km}^2$$

Pravděpodobnost zasažení zásobníkových polí SKP pádem letadla je potom dána vztahem:

$$P_{ZP} = \frac{A_E}{A_p} = \frac{0,22097}{2,588881} = 8,54 \times 10^{-2}$$

#### 4.2.4. Stanovení výsledné frekvence pádu letadla do zásobníkového pole SKP

Výsledná frekvence pádu letadla do prostoru zásobníkového pole SKP ( $F_{ZP}$ ) je dána součinem pravděpodobnosti pádu letadla v blízkosti letiště, pravděpodobnosti pádu letadla v oblasti zásobníkových polí SKP, pravděpodobnosti zasažení zásobníkového pole SKP pádem letadla a frekvenci vzletů a přistání letadel v uvažovaném kurzu (viz Tab. č. 23):

$$F_{ZP} = P_p \cdot P_{VZSKP} \cdot P_{ZP} \cdot 273 + P_p \cdot P_{PSKP} \cdot P_{ZP} \cdot 78 = 6,26 \times 10^{-9} / \text{rok} + 4,03 \times 10^{-9} / \text{rok} = 1,03 \times 10^{-8} / \text{rok}$$

#### 4.2.5. Zhodnocení rizika ohrožení kulových zásobníků v důsledku pádu letadla

Zhodnocení ohrožení kulového zásobníku v SKP v důsledku pádu letadla vycházelo z porovnání frekvence závažné havárie vyplývající z provozování zásobníků s frekvencí pádu letadla do zásobníkového pole.

Frekvence závažné havárie kulového zásobníku (iniciačních událostí) byla odhadnuta na základě generických údajů, prezentovaných v práci [3]:

- okamžitý únik celého obsahu tlakového zásobníku:  $5 \times 10^{-7} / \text{rok}$ ,
- kontinuální únik celého obsahu tlakového zásobníku :  $5 \times 10^{-7} / \text{rok}$ .



Z výše uvedeného vyplývá, že frekvence závažného úniku celého obsahu zásobníku je dána součtem obou výše uvedených frekvencí, tzn.  $1 \times 10^{-6}$ /rok.

Z porovnání vypočtené frekvence pádu letadla do zásobníkového pole ( $1,03 \times 10^{-8}$ /rok) s frekvencí závažné havárie kulového zásobníku ( $1,00 \times 10^{-6}$ /rok) vyplývá, že tato frekvence je o dva řády nižší, takže její příspěvek k celkové frekvenci závažné havárie je zanedbatelný.

Predikovat průběh havárie, způsobené pádem letadla do zásobníkového pole SKP je velice obtížné, neboť jednak není znám reálný příklad takové (podobné) události z historie, a jednak rozsah takové události velmi závisí na mnoha konkrétních okolnostech, zejména na:

- hmotnosti, rychlosti a s nimi spojené kinetické energii (fragmentu) dopadajícího letadla (přímý náraz, skluz),
- charakteristikách (fragmentu) letadla, např. rozměrech a schopnosti deformace při nárazu, což se projevuje v absorpci určité části dopadové energie,
- kontaktní ploše nárazu, která absorbuje předávanou kinetickou energii,
- tloušťce kulového zásobníku a jeho materiálových vlastnostech, včetně úrovně přepětí ve stěnách nádoby vlivem podmínek skladování,
- přítomnosti eventuálních defektů zásobníku v blízkosti dopadové oblasti,
- úhlu mezi povrchem zásobníku a dopadovou trajektorií (fragmentu) letadla,
- stupni naplnění zásobníků zkapalněným plynem,
- stupni poškození technických represivních prostředků skladu.

Poškození letadla takovým způsobem, aby se stalo úplně neovladatelným a v důsledku toho se zřítilo volným pádem je dle názoru leteckých odborníků velmi nepravděpodobné. Příčinou by mohl být snad jediné teroristický čin, závada typu ulomení křídla, nebo chyba pilota při nouzovém přistávacím manévru. Ve většině případů letových problémů (např. závada, poškození nebo výpadek obou motorů) je však letadlo i nadále ovladatelné a piloti mohou nouzově přistát buď na letišti nebo v horším případě na relativně plochem terénu mimo zástavbu nebo nebezpečné území (pole, louky, vodní hladina apod.).

Zásobníky zkapalněných plynů v SKP jsou tlakové ocelové nádoby o tloušťce stěny 20 mm a z hlediska pevnosti mají navíc i ideální tvar (koule). Jedná se prakticky o vysoce pevnostní zařízení. Oproti tomu letadlo je, zjednodušeně řečeno, z lehkých slitin pouze s pevnostním rámem, takže se při dopadu (nárazu) rozlomí na několik kusů a každý se bude pohybovat jinak.

V odborné literatuře je tato problematika většinou spojována s možností ohrožení bezpečnosti jaderných elektráren.

Nejsou však známy studie týkající se havárií a ohrožení tlakových zásobníků nebo podobných chemických zařízení pádem letadla nebo jeho částí.

Uvažované kulové zásobníky v SKP jsou provozovány společnostmi Synthos Kralupy a.s. a Česká rafinérská a.s. Oba tyto podniky, respektive jejich objekty v ACHVK, jsou zařazeny podle zákona [1] do skupiny „B“. Na základě povinností, vyplývajících z tohoto zákona mají oba provozovatelé zpracováno, mimo jiné, analýzu a hodnocení rizika závažné havárie a bezpečnostní zprávu (kde jsou uvedeny, kromě jiného, i zásady prevence závažné havárie a struktura a systém řízení bezpečnosti, nebo např. Opatření pro ochranu a zásah k omezení dopadů závažné havárie). V analýze a hodnocení rizika obou objektů jsou vyhodnoceny



i nejzávažnější varianty úniku zkapalněného plynu, včetně okamžitého úniku celé zadržovací zásobníku.

V případě nejhoršího scénáře přímého nárazu celého letadla do zásobníku lze asi předpokládat jeho destrukci a utržení připojených potrubí a/nebo dalšího instrumentálního zařízení, vzhledem k jeho obrovské kinetické energii (kolem 300 MJ).

Avšak v případě nárazu některých ulomených částí letadla do zásobníku by tomu tak nemuselo být, jak dokazuje následující příklad výpočtu. Z hlediska hmotnosti a pevnosti je jednou z nejkompaktnějších částí letadla motor (více méně ocelová konstrukce). Pro ilustrativní příklad výpočtu byl proto uvažován náraz leteckého motoru do zásobníku.

K výpočtu hloubky průrazu do pevnostní oceli (tlakového zásobníku) zasažené zaobleným fragmentem byl použit model publikovaný Miyamotou [23].

#### **Vstupní údaje:**

Typ motoru: CFM56-5B1

hmotnost motoru: 2 384 kg

průměr motoru: 1,74 m

dopadová rychlost<sup>16</sup>: 116 m/s (418 km/hod.)

#### **Výstupní údaje:**

Kinetická energie dopadu: 16 MJ

hloubka průrazu pevnostní oceli (tlakového zásobníku): 18 mm

Uvažovaný kulový zásobník má tloušťku stěny 20 mm, takže teoreticky by nemělo dojít k jeho proražení.

Z hlediska rozvoje iniciační události by však havárie byla patrně lokalizována ve vlastním prostoru areálu SKP, vzhledem k tomu, že téměř s jistotou lze uvažovat s okamžitou (přímou) iniciací unikajícího plynu po nárazu letadla (palivové nádrže letadla, tření, jiskry, deformace apod.). Jinými slovy to znamená, že se neočekává rozptýlení plynu do velké vzdálenosti a opožděná iniciace vytvořeného mraku, jehož výsledkem by bylo vyhoření (Flash Fire) nebo exploze (VCE) někde daleko mimo území SKP v obydlené oblasti.

Při rozvoji iniciační události (pád letadla do zásobníkového pole) nelze vyloučit eskalaci havárie na okolní zásobníky nebo potrubní vedení. Jednalo by se však pravděpodobně o jednotlivé časově oddělené děje.

### **4.3. Zhodnocení ohrožení letadla v důsledku havárie kulových zásobníků v SKP**

V práci [3] je uveden seznam iniciačních událostí (úniků látek ze zařízení), které se většinou hodnotí v rámci kvantitativního posuzování rizika podniků, ve kterých je manipulováno s nebezpečnými látkami ve smyslu zákona [1].

---

<sup>16</sup> Tato rychlost byla konzervativně vypočtena na základě údajů o rychlosti a výšce letu v oblasti zásobníků jako maximální rychlost ( $v_1 = 87,5$  m/s.,  $h = 300$  m nad terénem) dle vztahu:  $v_d = \sqrt{v_1^2 + 2gh}$ ; ve skutečnosti by byla menší v důsledku odporu vzduchu.

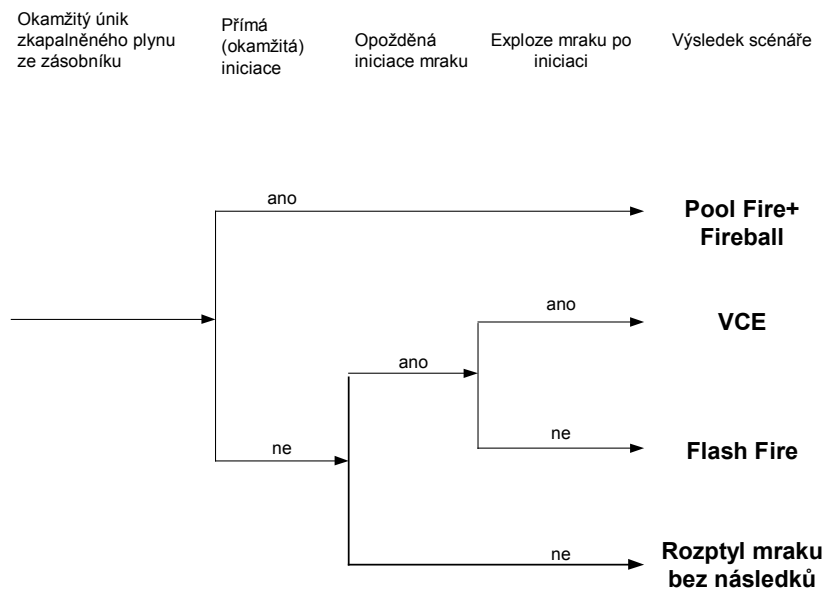


V případě tlakového zásobníku se posuzují zejména následující dvě iniciační události [3]:

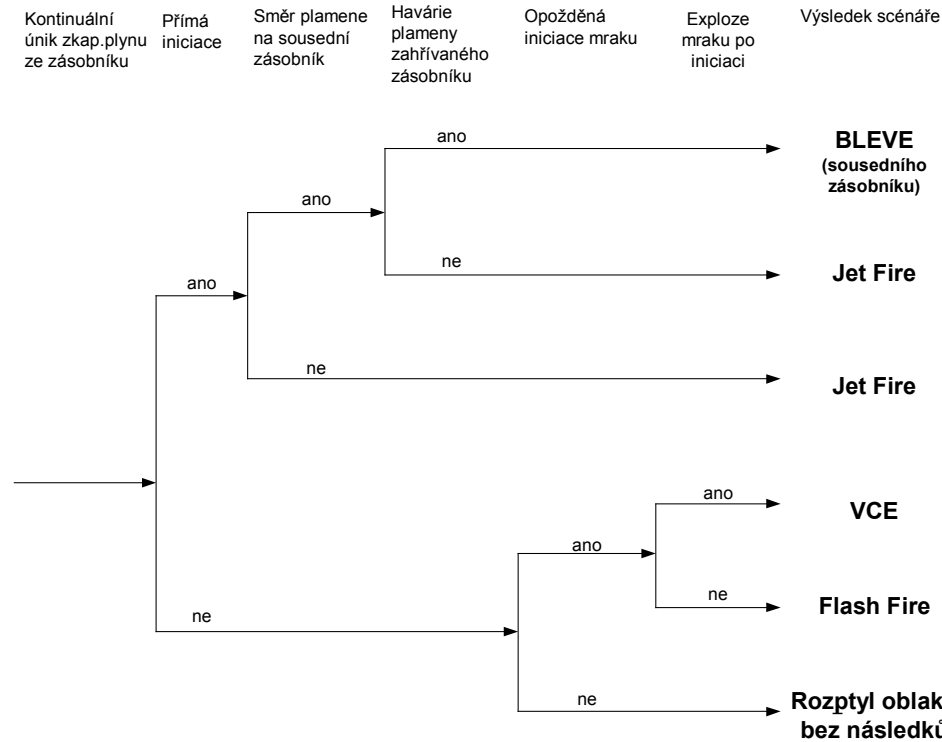
1. okamžitý únik celého obsahu zásobníku,
2. kontinuální únik celého obsahu zásobníku.

Každá z uvažovaných iniciačních událostí se může rozvinout podle různých scénářů, které jsou prezentovány na následujících obrázcích ve formě tzv. stromu událostí.

**Obr. č. 4** Možné scénáře iniciační události 1



Obr. č. 5 Možné scénáře iniciační události 2



Z výše uvedených scénářů lze předem vyloučit havárie Flash Fire (rozptyl plynu a následné vyhoření bude probíhat při zemském povrchu-uvážované zkapalněné plyny patří vzhledem ke své hustotě a teplotě při úniku mezi tzv. těžké plyny) a Pool Fire, které opět nemají potenciál ovlivnit letadlo prolétávající v inkriminovaném prostoru ve výšce cca 300 m nad terénem.

U ostatních scénářů bylo nutné provést matematické výpočty.

K výpočtům byl použit nizozemský software EFFECTS v nejnovější verzi 8 (rok 2009).

Jako reprezentativní zkapalněný plyn byl vybrán isobutan.

#### 4.3.1. Scénář Fireball+Pool Fire

V případě okamžitého úniku zkapalněného plynu ze zásobníku a přímé (okamžité) iniciaci dojde k vytvoření tzv. ohnivé koule, ve které je nadbytek paliva oproti okysličovacímu (vzduchu), proto se rozměry koule v tomto případě stanovují na horní hranici hořlavosti. Neshořelá část paliva následně vyhoří (Pool Fire).

##### Vstupní parametry

Množství uniklé ze zásobníku:  $4,75 \times 10^5$  kg

Předpokládaná plocha požáru: 1620 m<sup>2</sup>

Teplota isobutanu a okolí: 20°C

Atmosférická stabilita dle Pasquilla: D (nejpravděpodobnější stabilita)

Rychlost větru: 1,7 m/s (nejpravděpodobnější rychlost větru při atm. stabilitě „D“)



## Výstupní parametry

Poloměr ohnivé koule (Fireball): 83 m

Maximální výška plamene (Pool Fire): 70 m

Dosažená tepelná radiace ve výšce letu letadla (300 m nad terénem): 0,9 kW/m<sup>2</sup>

### 4.3.2. Scénář VCE

Všechny dosud známé případy VCE vznikly z důvodu iniciace hořlavého mraku, který se utvořil v důsledku uvolnění velkého množství hořlavé odpařující se kapaliny nebo plynu ze zásobníku, výrobních nebo transportních nádob, nebo potrubí. Avšak ne každý z těchto případů musí nutně vést k VCE. Obecně vzato, k tomu, aby nastala exploze mraku par s ničícím přetlakem musí být splněna řada podmínek. Celá problematika exploze mraků plynů je velmi složitá a přesahuje rámec této studie. Podrobněji se lze o explozi plynů seznámit v celé řadě odborných publikací a článků [např.24, 25, 26, 27].

#### 4.3.2.1. Okamžitý únik zkapalněného plynu z kulového zásobníku

Scénář předpokládá únik celého skladovaného množství zkapalněného plynu ze zásobníku ve velmi krátké době.

Při úniku se část kapalného plynu rychle odpaří na základě přebytku tepla oproti svému výparnému teplu (tzv. adiabatický odpar) a zbylý neodpařený kapalný podíl, ochlazený na svůj bod varu, se rozlije na okolní betonovou plochu (plocha cca 1 080 m<sup>2</sup>) vyspádovanou do havarijní jímky (plocha cca 540 m<sup>2</sup>), umístěné mimo půdorys zásobníku a bude se odpařovat z ní (rychlost odpařování je určována přenosem tepla z podkladu a okolí do vytvořené louže). Nejprve se bude jednat o odpar vroucí kapaliny. Po určité době dojde k ochlazení kapaliny pod svůj bod varu a režim odpařování se opět změní (rychlost se zmenší).

Scénář předpokládá, že k iniciaci mraku dojde až po určité době (opožděná iniciace), kdy se vytvořilo dostatečné množství plynu v mezích výbušnosti ve směsi se vzduchem. Pro modelování bylo konzervativně uvažováno, že k explozi dojde v čase vytvoření maximální plochy mraku v mezích hořlavosti (výbušnosti).

Použitý software využívá v případě vyhodnocení exploze mraku (VCE) multi energetickou metodu (MEM), kde se počáteční síla exploze indikuje číslem v rozmezí od 1 (velmi slabá deflagrace) až po 10 (detonace). Pro účely modelování vybraných scénářů exploze byla použita počáteční síla exploze 7 (silná deflagrace). Dále bylo předpokládáno, v souladu s prací [3], že do exploze přejde 8% z celkového množství hořlavé látky v mezích hořlavosti (výbušnosti).

#### Vstupní parametry

Množství uniklé ze zásobníku:  $4,75 \times 10^5$  kg

Teplota isobutanu a okolí: 20°C

Atmosférická stabilita dle Pasquilla: D

Rychlost větru: 1,7 m/s

#### Výstupní parametry

Množství isobutanu okamžitě odpařené (plyn +aerosol):  $2,42 \times 10^5$  kg

Množství isobutanu odpařeného z louže:  $1,99 \times 10^4$  kg

Maximální množství isobutanu v mezích výbušnosti (hořlavosti):  $1,29 \times 10^5$  kg



Čas vytvoření maximální plochy mraku v mezích výbušnosti: 148 s po úniku  
Dosažený přetlak exploze ve výšce letu letadla (300 m nad terénem): 19 kPa

#### **4.3.2.2. Kontinuální únik zkapalněného plynu ze zásobníku**

V případě této iniciační události se předpokládá kontinuální únik veškerého isobutanu ze zásobníku během 10 minut. Při úniku se veškerý isobutan bude odpařovat (plyn+aerosol).

##### **Vstupní parametry**

Doba úniku do vyprázdnění zásobníku: 10 minut  
Ekvivalentní únikový otvor: 314 mm  
Teplota isobutanu a okolí: 20°C  
Atmosférická stabilita dle Pasquilla: D  
Rychlost větru: 1,7 m/s

##### **Výstupní parametry**

Množství isobutanu unikající ze zásobníku: 791 kg/s  
Maximální množství isobutanu v mezích výbušnosti (hořlavosti):  $1,26 \times 10^5$  kg  
Čas vytvoření maximální plochy mraku v mezích výbušnosti: 597 s  
Dosažený přetlak exploze ve výšce letu letadla (300 m nad terénem): 19 kPa

#### **4.3.3. Scénář BLEVE**

BLEVE je uvažován v tomto případě jako havárie vzniklá domino efektem, kdy dojde k havárii na jednom zásobníku a unikající hořící plyn (Jet Fire) je nasměrován na zásobník jiný. Po čase, vlivem vzrůstu teploty zahřívání plynu uvnitř zásobníku (a tím pádem nárůstu tlaku) a současně zeslabení pevnosti materiálu zásobníku vlivem tepelného namáhání, dojde k jeho roztržení a explozi rozpínajících se par vroucí kapaliny, rozletu fragmentů roztrženého zásobníku a vzniku ohnivé koule (Fireball).

##### **Vstupní parametry**

Množství kapalně fáze v zásobníku:  $4,71 \times 10^5$  kg  
Množství plynné fáze v zásobníku:  $3,16 \times 10^3$  kg  
Tlak uvnitř zásobníku při prasknutí: 7,14 bar  
Teplota uvnitř zásobníku při prasknutí: 51,7°C  
Podíl celkově uvolněné energie přecházející do kinetické energie fragmentů: 0,04  
Hmotnost kulového zásobníku: 76 084 kg  
Předpokládaný počet fragmentů: 20

##### **Výstupní parametry pro BLEVE:**

Celkově uvolněná energie BLEVE: 15 234 MJ  
Dosažený přetlak exploze ve výšce letu letadla (300 m nad terénem): 5 kPa

##### **Výstupní parametry rozletu fragmentů:**

Hmotnost jednotlivých fragmentů: 3 804 kg  
Počáteční rychlost fragmentů: 124 m/s  
Maximální vertikální výška doletu fragmentů: 220 m



### **Výstupní parametry pro Fireball:**

Doba trvání Fireball: 25 s  
Poloměr ohnivé koule: 227 m  
Výška spodní části ohnivé koule: 227 m  
Tepelné záření z povrchu koule: 285 kW/m<sup>2</sup>  
Teplota plamene: 1224°C  
Maximální vertikální dosah ohnivé koule: 681 m

### **4.3.4. Scénář Jet Fire**

#### **Vstupní parametry**

Ekvivalentní únikový otvor: 314 mm  
Teplota isobutanu a okolí: 20°C

#### **Výstupní parametry**

Teoretická délka plamene: 170 m  
Dosažená tepelná radiace ve výšce letu letadla (300 m nad terénem): 1,5 kW/m<sup>2</sup>

### **4.3.5. Zhodnocení rizika ohrožení letadla provozní havárií kulového zásobníku**

Z výše uvedených modelových situací vyplývá, že letadlo v předpokládané výšce 300 m nad terénem by teoreticky mohlo být ohroženo pouze havárií BLEVE, respektive jeho doprovodným jevem a tím je Fireball (v případě scénáře VCE o maximálním přetlaku 19 kPa ve výšce letu letadla by podle názoru odborníků pravděpodobně došlo pouze ke „zhrounutí“ letadla bez vážnějšího ohrožení jeho letu).

Fireball má při uvažovaném scénáři BLEVE (stupeň naplnění zásobníku 85% nominálního objemu) průměr 454 m a celkový vertikální dosah 681 m nad okolní terén. Při předpokládané rychlosti letadla kolem 315 km/hod. by „prolétlo“ ohnivou koulí za cca 5 s. Vlivem nasátí hořícího paliva do motorů letadla by došlo prakticky k jejich destrukci a pravděpodobně i k jeho vážnému poškození vzhledem k vysoké teplotě plamene a tepelné radiaci emitované z ohnivé koule.

#### **4.3.5.1. Odhad frekvence ohrožení letadla**

##### **Frekvence havárie BLEVE kulového zásobníku**

Frekvence havárie BLEVE vychází ze stromu událostí (Obr. č. 5) a byla vypočtena na základě následujících údajů:

- frekvence kontinuálního úniku veškeré zádrže zkapalněného plynu z tlakového zásobníku:  $5 \times 10^{-7}$ /rok (zdroj: literatura [3]),
- pravděpodobnost přímé (okamžité) iniciace úniku: 0,7 (zdroj: literatura [3]),
- pravděpodobnost směru plamene na některý z okolních kulových zásobníků: 0,2 (zdroj: výpočet na základě dispozice zásobníků v zásobníkovém poli a dispozice únikového otvoru na zásobníku),
- pravděpodobnost BLEVE při zasažení plamenem: 0,5 (zdroj: odborný odhad),
- počet zásobníků v SKP : 24 (2 zásobníková pole po 12 kulových zásobnících).



Frekvence havárie BLEVE kulového zásobníku tak byla vypočtena následovně:

$$F_{BLEVE} = 5 \times 10^{-7} \cdot 0,7 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 24 = 8,40 \times 10^{-7} / rok$$

### **Pravděpodobnost výskytu letadla v oblasti kulových zásobníků v době havárie BLEVE**

Z výsledků modelování vyplývá, že průměr ohnivé koule (Fireball), vzniklé při havárii BLEVE kulového zásobníku, je 454 m. Teoreticky letadlo uletí takovou vzdálenost (při uvažované rychlosti 315 km/hod.) za 5 s. Ovšem je třeba počítat i s dobou reakce pilota na takovou událost a manévrovací schopností letadla. Na základě toho bylo konzervativně odhadnuto, že doba letu v oblasti kulových zásobníků, kdy letadlo může být ohroženo, se pohybuje kolem 25 s. Tento čas rovněž odpovídá době trvání ohnivé koule při havárii BLEVE.

Pravděpodobnost výskytu letadla v místě ohrožení (dosahu havárie BLEVE) je tak vypočtena na základě následujících údajů:

- doba ohrožení jednoho letadla: 25 s ( $6,94 \times 10^{-3}$  hod.),
- celková doba výskytu letadel:  $351 \times 6,94 \times 10^{-3}$  hod., tj. 2,44 hod.

Pravděpodobnost výskytu letadla v oblasti kulových zásobníků v době havárie BLEVE tak byla vypočtena následovně:

$$P_{SKP} = \frac{2,44}{8760} = 2,78 \times 10^{-4}$$

### **Frekvence ohrožení letadla havárií BLEVE (Fireball)**

Výsledná frekvence ohrožení letadla havárií BLEVE je dána součinem frekvence havárie BLEVE kulových zásobníků a pravděpodobnosti výskytu letadla v dosahu havárie.

$$F_{OL} = F_{BLEVE} \cdot P_{SKP} = 8,40 \times 10^{-7} / rok \cdot 2,78 \times 10^{-4} = 2,34 \times 10^{-10} / rok$$

#### **4.3.5.2. Zhodnocení rizika ohrožení letadla havárií kulového zásobníku v SKP**

Vzhledem k extrémně nízké pravděpodobnosti (frekvenci) havárie kulového zásobníku a současného výskytu letadla v dosahu havárie je i riziko ohrožení letadla zanedbatelné.

## 5. Závěr

Pro posouzení rizik, vyplývajících z přítomnosti NL na letišti Vodochody, bylo použito několik metod kvalitativní i kvantitativní analýzy.

1. Ze zpracovaného seznamu NL dle zákona [1] vyplývá, že plánované množství NL bude mnohonásobně menší, než jsou minimální množství NL, která jsou rozhodující pro zařazení objektu do skupiny A nebo skupiny B dle tohoto zákona. Na základě požadavku § 4 téhož zákona [1] je nutné zpracovat pouze „Protokol o nezařazení“. Již z této kategorizace vyplývá, že rozšíření infrastruktury letiště Vodochody nepředstavuje ve smyslu zákona [1] tak závažné nebezpečí pro své okolí, aby bylo nutné zpracovat bezpečnostní program prevence závažné havárie, nebo dokonce bezpečnostní zprávu.
2. Ze zpracované selektivní analýzy vyplývá, že žádný plánovaný zdroj rizika nebude pro své okolí tak závažný, aby bylo nutné pro něj zpracovávat kvantitativní analýzu rizika. Uvažovaná zařízení tak podle této metody nepředstavují závažné riziko pro obyvatelstvo v okolí areálu.
3. Ze zpracované analýzy rizika metodou Rapid Ranking vyplývá, že všechny uvažované ZR spadají do nejnižší kategorie nebezpečí z hlediska požáru (výbuchu) i toxického ohrožení okolí. Tato nebezpečí nijak nepřekračují běžná nebezpečí vyplývající z manipulací s hořlavými látkami.
4. Na základě kvantitativního posouzení rizika vybrané iniciační události (únik leteckého benzínu AVGAS 100 LL z nadzemní nádrže 50 m<sup>3</sup>) lze konstatovat, že únik benzínu a následný průběh havárie podle uvažovaných scénářů neohrožuje obyvatelstvo v okolí areálu (osoby v areálu střední školy letecké a výpočetní techniky a domova mládeže, osoby na komunikaci č. 608 a obyvatele domu v těsné blízkosti severní hranice areálu společnosti Aero Vodochody a.s.). V případě rozptýlu par benzínu směrem na tyto lokality by mohlo dojít k ohrožení osob zápachem benzínu. Podle modelových výpočtů lze počítat s překročením koncentrace ERPG-1 (koncentrací ERPG-2 a ERPG-3 není dosaženo). Avšak koncentrace ERPG se vztahují na dobu expozice 1 hodiny, zatímco v případě modelových situací lze počítat s dobou expozice menší. Kvantitativní analýza rizika tak potvrzuje výsledky výše uvedených kvalitativních metod.

Rozšíření infrastruktury letiště Vodochody tak nebude z hlediska případných havárií a nestandardních stavů uvažovaných zařízení představovat závažné riziko ohrožení obyvatelstva v okolí.

Pochopitelně nelze vyloučit možnost ohrožení osob a majetku v areálu (samotného letiště nebo i nejbližších objektů společnosti Aero Vodochody, a.s.) v případě vzniku havárie. Modelový případ úniku veškeré zádrže leteckého benzínu AVGAS 10 LL z nadzemní dvouplášťové nádrže ukázal, že v případě požáru lze odhadovat smrtelné ohrožení osob do vzdálenosti cca 40 m od požáru. K popáleninám I. stupně by mohlo dojít u nechráněných osob až do vzdálenosti přibližně 50 m od hořící louže. Ve vzdálenosti cca 90 m od místa úniku benzínu by mohlo dojít ke smrtelnému ohrožení osob, pokud by došlo k explozi (VCE) nebo vyhoření par benzínu (Flash Fire). Rozptýl par by mohl způsobit zdravotní komplikace nebo přechodné nepříznivé zdravotní účinky nechráněných (neukrytých) osob až do vzdálenosti



cca 200 m od místa úniku (dosah koncentrace ERPG-2). Doba expozice by však musela přesahovat 1 hodinu, což není reálné.

Riziko ohrožení je minimální, vzhledem k odhadnuté velmi nízké frekvenci těchto scénářů havárií.

Celý systém technologie skladování a čerpání LPH a APH bude provozován v souladu s platnými normami a standardy respektující bezpečnou a ekologickou manipulaci, tak aby nedošlo k ohrožení ŽP.

Vzhledem k tomu, že uvažované NL jsou ropnými produkty, bude však rovněž nutné dodržovat velmi důsledně všechny provozní, požární a bezpečnostní předpisy a nařízení (lidský faktor), dbát na pravidelnou údržbu a kontrolu všech zařízení, měřicí, regulační a zabezpečovací techniky.

Pravděpodobnost (frekvence) pádu letadla do obydlených oblastí byla vyhodnocena na základě statistických údajů havárií letadel v Evropě za posledních 40 roků, které si kromě úmrtí a/nebo zranění osob v letadle vyžádaly i usmrcení osob na zemi (v obydlených oblastech) a odhadu počtu pohybů letadel za toto období. Frekvence pádu letadla s úmrtím osob v obydlené oblasti v okolí letiště Vodochody byla odhadnuta na  $2,11 \times 10^{-9}$ /rok.

Je nutné zdůraznit, že ze statistických údajů havárií dopravních letadel v České republice (Československu) vyplývá, že nedošlo k žádnému pádu letadla s úmrtím osob na zemi.

Havárie letadel v celé Evropě si vyžádaly za období let 1969-2009 smrt 119 osob na zemi, zatímco např. jen za dobu existence samostatné České republiky (od roku 1993) zahynulo na silnicích 20 658 osob při dopravních nehodách.

Z použitých statistických údajů rovněž vyplývá, že nejzávažnější pád letadla do obydlené oblasti si vyžádal smrt 39 osob na zemi (mimo osoby v letadle) a 25 osob bylo zraněno. Jednalo se však o těžké nákladní letadlo (MTOW > 136 t).

Na základě požadavku města Odoleny Vody, stanovit počet usmrcených osob na zemi podle zasažené plochy pádem letadla a hustoty obyvatel v dané lokalitě, bylo odhadnuto, že by mohlo dojít v případě havárie středního letadla v závislosti na místě havárie k úmrtí 41 osob v centru města Kralupy nad Vltavou, přibližně 11 osob v městě Odolena Voda nebo cca 7 osob v okolních obcích. V případě pádu lehkého letadla potom cca 4 osob v centru města Kralupy nad Vltavou a po jedné osobě, pokud by k pádu došlo v městě Odolena Voda nebo okolních obcích.

Společenské riziko pádu letadla bylo zhodnoceno podle požadovaného nizozemského kritéria a bylo zjištěno, že je přijatelné.

V případě posouzení rizika ohrožení kulových zásobníků ve skladu kapalných plynů areálu Chemických výrob Kralupy pádem letadla při tzv. okruhovém létání (velký okruh) bylo zjištěno, že frekvence takového pádu je  $1,03 \times 10^{-8}$ /rok. Oproti tomu frekvence závažného úniku zkapalněného plynu z kulového zásobníku byla odhadnuta, na základě generických údajů [3], na  $1,00 \times 10^{-6}$ /rok.

Zjištěná frekvence pádu letadla do prostoru zásobníkových polí je o dva řády nižší, než frekvence závažného úniku způsobená provozní havárií.



Z porovnání obou zjištěných frekvencí jednoznačně vyplývá, že příspěvek frekvence pádu letadla do zásobníkového pole k celkové frekvenci havárie kulového zásobníku je zanedbatelný.

Toto tvrzení podporuje i údaj uvedený v práci [22], kde je stanovena limitní frekvence pádu letadla do nebezpečného zařízení  $1 \times 10^{-6}$ /rok. Pokud je zjištěná frekvence menší, potom se riziko pádu letadla do nebezpečného zařízení považuje za nevýznamné a dále se nehodnotí.

Z hlediska následků pádu letadla do zásobníkového pole lze jen velmi těžko předvídat scénáře rozvoje této iniciační události. Z historie není znám takový případ.

Havárie by však byla s největší pravděpodobností lokalizována ve vlastním prostoru areálu SKP, vzhledem k tomu, že téměř s jistotou lze uvažovat s okamžitou (přímou) iniciací unikajícího plynu po nárazu letadla (palivové nádrže letadla, tření, jiskry, deformace apod.). Vzhledem k relativně velké vzdálenosti okolních obcí od SKP (nejblíže se nachází obec Chvatěruhy, ve vzdálenosti cca 850 m) je tak velmi nepravděpodobné ohrožení jejich obyvatel.

Při havárii nelze vyloučit její eskalaci na okolní zásobníky nebo potrubní vedení. Jednalo by se pravděpodobně o jednotlivé časově oddělené děje.

Pravděpodobnost ohrožení letadla v důsledku havárie kulového zásobníku je ještě výrazněji menší než pravděpodobnost havárie zásobníku způsobená pádem letadla. Z uvažovaných scénářů havárií bylo zjištěno, že významněji by mohlo být letadlo ohroženo pouze havárií BLEVE, respektive jedním z projevů této události-ohnivou koulí (Fireball). Odhadnutá frekvence události  $2,34 \times 10^{-10}$ /rok však ukazuje, že riziko takového ohrožení je minimální.



## 6. Literatura

1. Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií)
2. Zákon č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, jak vyplývá ze změn provedených zákonem č. 186/2004 Sb., zákonem č. 125/2005 Sb., zákonem č. 345/2005 Sb., zákonem č. 222/2006 Sb. a zákonem č. 371/2008 Sb.
3. Committee for the Prevention of Disasters : Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book), CPR 18E, ISBN 90 12 08796 1, Hague, 1999.
4. International Labour Organisation (ILO): Major Hazard Control, A Practical Manual, ISBN 92-2-106432-8, International Labour Office, Geneva, 1990
5. ČSN 65 0201, Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci, Český normalizační institut, Praha, 2003
6. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety of American Institute of Chemical Engineers, second edition, New York, 2000
7. Lees, F.P.: Loss Prevention in the Process Industries, Butherworth-Heinemann, second edition, London, 1996
8. Bezpečnostní program podle zákona 59/2006 o prevenci závažných havárií, Aero Vodochody, a.s., 2007
9. Kinsella K.G.: A Rapid Assessment Methodology for the Prediction of Vapor Cloud Explosion Overpressure, Proceedings of the International Conference and Exhibition on Safety, Health and Loss Prevention in the Oil, Chemical and Process Industrie, Singapore, 1993
10. American Industrial Hygiene Association, Emergency Response Planning Committee, Minutes for Sept March 13-14, Salt Lake City, UT, 2008
11. Burel G., Hare J., Review of HSE Building Ignition Criteria, HSL/2006/33, United Kingdom, 2006
12. Committee for the Prevention of Disasters: Methods for the Determination of Possible Damage to People and Objects Resulting from Releases of Hazardous Materials, („Green Book“), CPR 16E, Voorburg, 1992
13. Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů
14. Fire Protection Guide to Hazardous Materials. 12 ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1997., p. 325-13
15. Reinhardt H., Kirchof E.: Brennbare Flüssigkeiten, Theorie und Praxis des chemisch-physikalischen Verhaltens, překlad L. Adámek: Hořlavé kapaliny, teorie a praxe chemicko-fyzikálních jevů, Svaz požární ochrany ČSSR, Praha, 1976
16. České letecké předpisy řady „L“, postup pro letové navigační služby, 4.6., 2009
17. Starý I.: Teorie spolehlivosti, České vysoké učení technické v Praze, vydavatelství ČVUT, Praha, 1973
18. Kelnar L.: Studie odhadů frekvencí a pravděpodobností vzniku havárií se zaměřením na vznik základních událostí a postupy výpočtů pro účely zpracování bezpečnostní zprávy (interní dokument), Výzkumný ústav bezpečnosti práce, Praha, 2000
19. Postup hodnocení rizik závažné havárie pro účely oznámení, Příloha č.1 k vyhlášce č.8/2000 Sb.
20. Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 of the Control of Major-Accident Hazards Involving Dangerous Substance (SEVESO II Directive)



21. Wong D.K.Y., Pitfield D.E., Caves R.E., Appleyard A.J.: The Development of a More Risk-Sensitive and Flexible Airport Safety Area Strategy: Part I. The Development of an Improved Accident Frequency Model; Safety Science, Volume 47, Issue 7, August 2009
22. DOE Standard, DOE-STD-3014-2006: Accident Analysis for Aircraft Crash Into Hazardous Facilities, U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, October 1996, Reaffirmation May 2006
23. Miyamoto H.: Integrity Assessment of Nuclear Containment Vessel Steels due to Missile Impact Load, Nuclear Engineering Design, pp. 277-283, September 1984
24. Committee for the Prevention of Disasters: Methods for the Calculation of Physical Effects, („Yellow Book“), CPR 14E, ISBN 9012084970, The Hague, SDU, 1997
25. Baker Q.A., Tang M.J., Scheier E.: Vapor Cloud Explosion Analysis, 28th Loss Prevention Symposium, Atlanta, Georgia, USA, 1994
26. Van den Bergh A.C., Lannoy A.: Methods for Vapor Cloud Explosion Blast Modeling, Journal of Hazardous Materials, Vol. 34, 1993
27. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires a BLEVEs, Center for Chemical Process Safety of American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994
28. NIKODEM A PARTNER, spol. s r.o.: Letiště Vodochody, Dokumentace pro Územní řízení, prosinec 2008
29. OK. TANK, spol. s r.o.: Nabídka na opravu úložišť LPH, 15.10.2008
30. Písemná a ústní sdělení a podklady poskytnuté pracovníky Letiště Vodochody a.s., září-říjen 2009