

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

**Problematika výkonu státního požárního dozoru na
úseku zjišťování příčin vzniku požárů u případů
výbuchů**

diplomová práce

Autor práce: Bc. Miroslav Šída
Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzová připravenost
Vedoucí práce: Ing. Miloš Bodlák Ph.D.

Datum odevzdání práce: 20.5.2013

Abstrakt

Jednou ze součástí výkonu státního požárního dozoru u HZS krajů je vyšetřování příčin vzniku požárů (ZPP). Tato činnost je zajišťována příslušníky HZS ČR, kteří jsou pro tuto činnost přímo vyčleněni, nebo příslušníky prevence HZS krajů, kteří tuto činnost vykonávají vedle svého hlavního zaměstnání.

Jednou z oblastí, kterých se výkon ZPP dotýká, je rovněž oblast výbuchů, u nichž je požár častým následným jevem. Těchto případů je každoročně v ČR několik desítek a zpravidla po vyšetřovateli vyžadují zcela specifické znalosti a vědomosti. Zkušenosti a postupy z vyšetřování běžných požárů jsou zde často omezeně, pokud vůbec, využitelné. Ve snaze o fundované a kvalitní přehled dané události je pak vyšetřovatel nucen obtížně shánět materiály a odborné informace pro získání základní orientace v oblasti výbuchů a jejich příčin, které mu umožní porozumět aspektům konkrétního výbuchu.

Problematika ZPP a její jednotlivosti byla během let zpracována do formy metodických příruček. Vzhledem k tomu, že nejvyužívanější podobná příručka, usilující o komplexní shrnutí problematiky ZPP, je již 25 let stará, úmyslem MV-GŘ HZS ČR je vytvoření aktualizovaného metodického materiálu pro výkon ZPP, jehož součástí má být rovněž část, věnující se vyšetřování případů výbuchů. Jako podstatný zdroj informací pro vytvoření tohoto materiálu byla, vedle českých zdrojů, vytipována americká příručka NFPA 921 – *Návod na vyšetřování požárů a výbuchů*, která se pro svou obsažnost a periodickou aktualizaci zdá být jedinečným zdrojem informací.

Mým cílem bylo shromáždit české i zahraniční materiály, zabývající se z různých pohledů problematikou výbuchů, porovnat jejich informace s obsahem NFPA 921 a stanovit využitelnost všech těchto zdrojů pro připravovanou metodickou příručku. Výzkumnou otázkou pro mou práci bylo, zda jsou stávající podmínky pro výkon ZPP a jeho postupy v případech výbuchů pro vyšetřovatele HZS ČR dostatečné.

Mým dalším cílem pak bylo vypracovat podklad, využitelný pracovní skupinou MV-GŘ HZS ČR při tvorbě kapitoly nové metodiky týkající se vyšetřování výbuchů. Významnou částí při shromažďování informací pro zpracování tohoto textu byly

konzultace jednotlivých částí zkoumané problematiky s odborníky a terénními pracovníky z oblastí jednotlivých typů výbuchů (pyrotechniků, pracovníků plynárenské pohotovosti, revizních techniků plynových zařízení či tlakových nádob a odborníků Technického ústavu požární ochrany). Podstatným zdrojem informací byly rovněž Spisy o požáru jednotlivých případů výbuchů.

Společně s těmito činnostmi jsem zpracovával údaje o případech výbuchů s následným požárem v ČR z programu Statistické sledování událostí/Zprávy o zásahu (SSU/ZOZ) shromažďujícího údaje o všech zásazích jednotek HZS ČR v letech 2006 – 2012. Zpracované údaje o četnosti případů výbuchů, jejich typů, příčin, následků a dalších parametrů vytvořily obraz stavu a vývoje těchto případů v ČR, který byl zásadní pro strukturu a nasměrování vytvářeného textu i pro zhodnocení míry využitelnosti NFPA 921 v českém prostředí.

Ze zpracování dat z databáze SSU/ZOZ vyplynula tato důležitá zjištění: Počet případů výbuchů od roku 2006 kontinuálně stoupá, přičemž zcela dominantní oblastí výskytu všech typů výbuchů je v ČR, kromě nepočtených výbuchů prachů a elektrických zařízení, oblast bydlení. Pro všechny oblasti výskytu výbuchů (bydlení, průmysl, technická oblast a doprava) je jako příčina dominantní lidská nedbalost. Početně nejzřetelnější je pak tato dominance v oblasti bydlení. Nejčastějším typem výbuchů jsou jednoznačně výbuchy plynu a za nimi výbuchy par hořlavých kapalin. Ačkoli je však výbuchů par hořlavých kapalin v celkovém počtu o třetinu méně než výbuchů plynu, jsou zcela dominantní, co se týče počtu úmrtí jejich následkem a v přepočtu na počet případů i v počtu zraněných osob. Tato skutečnost je s největší pravděpodobností spojena s iniciací tohoto typu výbuchu bezprostřední lidskou činností. Tuto hypotézu potvrzuje i dominantní podíl nedbalostních příčin a vysoký počet tzv. aktivních iniciátorů (otevřený oheň, mechanická jiskra) u tohoto typu výbuchu.

Při analýze stávajících českých příruček pro výkon ZPP bylo zjištěno, že pozornost, která je v nich věnována problematice výbuchů, je minimální a nastiňující pouze základní informace ohledně rozdělení výbuchů. Detailnější informace ohledně teorie a fyziky výbuchů, včetně jejich působení jsou k nalezení v publikacích a materiálech s tématy protivýbuchové prevence či protivýbuchové ochrany staveb. Tyto

materiály nejsou ovšem cíleny na problematiku ZPP a informace v nich obsažené jsou obecného charakteru. Při komparaci v českých materiálech uvedených informací s NFPA 921 byly zjištěny rozporů hlavně v hodnotách uváděných v tabulkách s požárně technickými charakteristikami sledovaných látek a hodnot uváděných tlaků. Tyto rozdíly však většinou nejsou zásadní. V teorii výbuchů uváděné NFPA 921 jde pak o vynechání některých poznatků, vhodných pro porozumění fyzikálním dějům a jejich následkům.

Informace uvedené v NFPA 921 jsou při potřebné úpravě a zohlednění českých podmínek (např. materiálů, typů spotřebičů apod.) využitelné pro tvorbu textu české metodické příručky pro výkon ZPP. Při konfrontaci se statistickými výstupy učiněnými na základě zpracování dat z SSU/ZOZ však vystupují i nedostatky zpracování tématu NFPA 921. Metody a vyšetřovací postupy, kterým je v NFPA 921 věnována podstatná část kapitoly, jsou zde zaměřeny hlavně na případy výbuchů značných plošných a destruktivních parametrů. Tyto případy však v ČR tvoří jen mizivé procento z celkového počtu a u výbuchů menších rozměrů, zpravidla v domácnostech, jsou jen omezeně či zcela nevyužitelné. Vedle obsažených oddílů sledované kapitoly NFPA 921, věnovaných teoretickému úvodu do problematiky výbuchů, vhodných hlavně pro vytvoření celkového, obecného přehledu, chybí praktické, konkrétní informace, týkající se nejčastějších příčin a iniciátorů, rizikových činností, slabých prvků spotřebičů či plynových rozvodů apod. Konkrétní informace jsou zvláště potřebné u příčin výbuchů souvisejících s lidskou činností a nedbalostí. NFPA 921 je tím, spolu s českými stávajícími materiály, využitelná hlavně pro vytvoření obecného přehledu o rozdělení typů výbuchů a charakteru vytvořených stop jejich působením.

Vzhledem k těmto skutečnostem jsem došel k závěru, že informační základna a s ní i podmínky potřebné pro výkon ZPP a jeho postupy, nejsou pro české vyšetřovatele HZS ČR dostatečné. K zaplnění této mezery ve zpracování jednotlivých oblastí problematiky ZPP byl vypracován text uvedený ve výsledkové části mé práce, který poslouží jako podklad pro vytvoření kapitoly připravované metodické příručky, věnující se vyšetřování výbuchů.

Abstract

One of the activities conducted by state fire supervision authorities in regional HZS is the investigation of the cause of fires (ZPP). This activity is performed by members of the Fire Rescue Service, who are specifically assigned this activity, or fire prevention officers, who perform this activity in conjunction with their main employment.

One of the areas covered by ZPP is explosions, where fire is a frequent consequence. There are dozens of such cases in Czech Republic each year, requiring investigators to have very specific skills and knowledge. Experience and procedures used in the investigation of ordinary fires often have limited, if any, application in these cases. In an effort to conduct a quality, sound investigation, the investigator is forced to seek material and specialist information to gain a basic knowledge of explosions and their causes to enable him to understand the particular aspects of the concrete explosion.

Over the years, the subject of ZPP has been processed in the form of methodological manuals. Given that the most frequently used manual, which attempts to provide a comprehensive summary of ZPP, is now 25 years old, it's the intention of the MV-GŘ HZS ČR to create updated methodological material for ZPP, which will include a section devoted to the investigation of explosions. In addition to Czech sources, a major source of information for the creation of this material was the American handbook NFPA 921 – *Guide for Fire and Explosion Investigations*, whose comprehensiveness and periodic updates seem to be an excellent source of information.

My goal was to collect Czech and foreign material dealing with different aspects of explosions, to compare this information with the content of NFPA 921 and determine the usability of these sources for the planned methodological manual. The research question of my work was whether current conditions for ZPP and its procedures are adequate for Czech fire investigators in the case of explosions.

The next goal was to develop material usable by the MV-GŘ HZS ČR working group in the creation of the chapter of the new methodology on the investigation of explosions. An important part in the collection of information for the preparation of this

text was the consultation of individual parts of the topic with field workers and experts in individual types of explosions (pyrotechnicians, gas emergency workers, gas equipment and pressure tank inspectors, experts from the Technical Institute of Fire Protection). An important source of information was also files on fires in cases of explosions.

As well as these activities, I also processed data on explosions with subsequent fires in Czech Republic using the Incident Statistics/Response Reports (SSU/ZOZ) program, which holds data on all responses by Czech fire units in 2006–2012. Processed data on the frequency of explosions, their types, causes, consequences and other parameters created a picture of the state and development of these cases in Czech Republic, which was crucial to the structure and direction of the created text and an assessment of the degree of applicability of NFPA 921 in the Czech environment.

The following key findings emerged from data processed from the SSU/ZOZ database: the number of cases of explosions has continued to increase since 2006; the dominant area where all types of explosions occur in Czech Republic, not including countless explosions of dust and electrical equipment, is housing. In all areas where explosions occur (housing, industry, technical areas and transport) the dominant cause is human negligence. This is statistically most evident in housing. The most frequent types of explosions are clearly gas explosions, followed by explosions of flammable liquid vapour. Although explosions of flammable liquid vapour number only one third of the number of gas explosions, they dominate the number of deaths as a direct consequence and, in ratio to the number of cases, the number of injuries. This fact is probably associated with the initiation of this type of explosion by direct human activity. This hypothesis is confirmed by the dominant percentage of negligent causes and high number of so-called active initiators (open flame, mechanical spark) in these types of explosions.

When analysing current Czech manuals on ZPP, it was found that the amount of text devoted to explosions is minimal and only provides basic information on classifying explosions. More detailed information on the theory and physics of explosions, including their effects can be found in publications and materials on the

prevention of explosions and protecting buildings from explosions. However these materials are not targeted at ZPP and contain information of a general nature. When comparing the information provided in Czech material with NFPA 921, discrepancies were mainly found in the values of the technical thermal properties of monitored materials and pressure presented in the tables. However, most of these differences are not critical. The theory of explosions presented in NFPA 921 excludes information appropriate to an understanding of the physical processes and their consequences.

With the necessary modification, taking Czech conditions into account (e.g. materials, types of appliances, etc), the information contained in NFPA 921 is usable for the creation of the text of the Czech methodological manual for ZPP. However, when confronted with statistical outputs based on SSU/ZOZ data, the shortcomings of the topics covered by NFPA 921 emerge. The methods and investigative procedures, to which a significant part of the chapter in NFPA 921 is devoted, focus largely on explosions of considerable scope and destructive parameters. However these cases form a tiny percentage of the total number of explosions in Czech Republic and their application is limited or inapplicable for smaller explosions, generally in homes. Aside from the comprehensive sections of the monitored chapters of NFPA 921 containing a theoretical introduction to the topic of explosions, mainly suited as a general overview, there is a lack of practical, concrete information on their most common causes and initiators, risk activities, weaknesses of appliances or gas pipes, etc. Specific information is particularly needed on the causes of explosions associated with human activity and negligence. Thus NFPA 921, together with current Czech material, is primarily of use as a general overview on the classification of types of explosions and the nature of the traces such explosions leave behind.

In view of these facts, I have concluded that the information base and conditions required for ZPP and its procedures are not adequate for Czech fire investigators. The text presented in the results section of this work is designed to fill this gap in individual areas of ZPP and can be used as the basis for the creation of a chapter on the investigation of explosions in the planned methodological manual.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 20.5.2013

.....

Miroslav Šída

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Milošovi Bodlákovi za ochotu a vstřícnost při vedení mojí práce a rovněž všem dalším, kteří k jejímu vytvoření přispěli odbornou radou a osobní zkušeností. V neposlední řadě chci poděkovat mojí manželce za vytvoření podmínek, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

Obsah

	Úvod	13
1.	Teoretická část	14
1.1	<i>Legislativa ZPP</i>	14
1.2	<i>Výbuchy</i>	15
1.2.1	<i>Rozdělení výbuchů</i>	15
1.2.1.1	<i>Mechanické výbuchy</i>	16
1.2.1.2	<i>Chemické výbuchy</i>	17
1.2.1.3	<i>Lokalizované výbuchy</i>	17
1.2.1.4	<i>Nelokalizované výbuchy</i>	18
1.2.1.5	<i>Komplexní rozdělení výbuchů</i>	18
1.2.1.5.1	<i>Výbuchy plynů/výparů</i>	19
1.2.1.5.2	<i>Výbuchy prachů</i>	20
1.2.1.5.3	<i>Výbuchy výbušnin</i>	22
1.2.1.5.4	<i>Výbuchy tlakových nádob</i>	23
1.2.2	<i>Faktory ovlivňující výbuch</i>	24
1.2.3	<i>Účinky výbuchů</i>	26
1.3	<i>Statistické sledování událostí</i>	28
1.4	<i>NFPA 921 – Návod na vyšetřování požárů a výbuchů</i>	29
1.4.1	<i>NFPA</i>	30
1.4.2	<i>NFPA 921</i>	31
1.5	<i>České zdroje</i>	32
1.5.1	<i>Specializované materiály</i>	33
2.	Metodika a výzkumná otázka	36
2.1	<i>Metodika</i>	36
3.	Výsledky	37
3.1	<i>Statistická část</i>	37
3.2	<i>Vyšetřování případů výbuchů</i>	44
3.2.1	<i>Obecné metody vyšetřování</i>	44
3.2.1.1	<i>Svěddecké výpovědi</i>	45

3.2.1.2	<i>Ohledání místa výbuchu</i>	47
3.2.1.3	<i>Dokumentace ohledání</i>	49
3.2.1.4	<i>Odborná konzultace</i>	51
3.2.2	<i>Vyšetřování u jednotlivých typů výbuchů</i>	51
3.2.2.1	<i>Výbuchy plynů</i>	51
3.2.2.1.1	<i>Úniky plynu z podzemního plynovodu</i>	52
3.2.2.1.2	<i>Úniky plynu z nadzemního plynovodu</i>	55
3.2.2.1.3	<i>Spotřebiče</i>	58
3.2.2.2	<i>Výbuchy par hořlavých kapalin</i>	60
3.2.2.3	<i>Tlakové lahve a nádoby</i>	65
3.2.2.3.1	<i>Tlakové lahve s technickými plyny</i>	65
3.2.2.3.2	<i>Propan-butanové lahve</i>	69
3.2.2.3.3	<i>Topné kotle</i>	73
3.2.2.4	<i>Výbuchy prachů</i>	75
3.2.2.4.1	<i>Oblasti výskytu</i>	77
3.2.2.4.2	<i>Zdroje iniciace</i>	78
3.2.2.5	<i>Výbuchy výbušnin</i>	81
3.2.2.5.1	<i>Pyrotechnický materiál</i>	82
3.2.2.5.2	<i>Iniciační mechanismy</i>	83
3.2.2.5.3	<i>Epicentrum výbuchu</i>	84
3.2.2.5.4	<i>Vyšetřování místa výbuchu výbušniny</i>	85
3.2.2.5.5	<i>Důkazní materiál</i>	86
4.	Diskuze	88
4.1	<i>Statistické výstupy</i>	88
4.2	<i>Analýza zdrojů</i>	94
5.	Závěr	103
6.	Seznam informačních zdrojů	104
	Seznam tabulek	113
	Seznam obrázků	114

Seznam použitých zkratk

SPD – Státní požární dozor

ZPP – Zjišťování příčin vzniku požárů

PO – Požární ochrana

MV-GŘ HZS ČR – Ministerstvo vnitra-Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky

NFPA – Národní sdružení požární ochrany (National Fire Protection Association)

SIŘ GŘ HZS ČR – Sbírka interních aktů řízení generálního ředitele HZS ČR

BLEVE – Výbuch expandujících výparů vroucích kapalin (Boiling liquid expanding vapor explosion)

LPG – Zkapalněný ropný plyn (liquefied petroleum gas)

SSU/ZOZ – Statistické sledování událostí/Zpráva o zásahu

EČUD – Evidenční číslo události

IZS – Integrovaný záchranný systém

SPBI – Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství

ČVUT – České vysoké učení technické

TÚPO – Technický ústav požární ochrany

PB – Propan-butan

PTCH – Požárně technická charakteristika

DOPV – Dokumentace o ochraně před výbuchem

OKTE – Odbor kriminalistické techniky a expertiz

Úvod

Pracuji v rámci státního požárního dozoru (dále jen SPD) jako vyšetřovatel na úseku Zjišťování příčin vzniku požárů (dále jen ZPP). Tato činnost je cíleně zaměřena na případy požárů, nicméně problematika výbuchů je s touto činností úzce spojena. Samotný požár může být příčinou vzniku výbuchu, a velice často bývá výbuch, jako fyzikální jev, jeho iniciátorem. Každý výskyt výbuchu s následným požárem či naopak, je vždy pro příslušníka pro ZPP v jeho vyšetřování velice specializovaným problémem vyžadujícím množství specifických znalostí a zkušeností.

Ze strany orgánů činných v Požární ochraně (dále jen PO) i samotných vyšetřovatelů ZPP je proto, v této problematice, vyvíjena dlouhodobá snaha o doplňování a aktualizaci informací pro činnost ZPP. Nejvýraznější snahou na tomto poli je úsilí Ministerstva vnitra - Generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR (dále jen MV-GŘ HZS ČR) o zpracování nové metodické příručky, která by postihovala, pokud možno, celou šíři problematiky ZPP. Pro zpracování této příručky byla MV-GŘ HZS ČR vytvořena pracovní skupina, skládající se z velké většiny ze samotných vyšetřovatelů. Některé části problematiky ZPP již v minulých letech byly středem zájmu různých odborných prací (např. elektřina jako iniciátor vzniku požárů) a jsou tedy pro potřeby nové metodické příručky v různé míře zpracovány. Oblast výbuchů, jako iniciátor či následek požárů a předmět vyšetřování příslušníků pro ZPP, však v českých materiálech zpracována takřka není. Jedním z pramenů, který je pro svou komplexnost a periodickou aktualizaci, jako vhodný zdroj informací, středem pozornosti členů pracovní skupiny MV-GŘ HZS ČR, je i americká příručka *NFPA 921-Návod na vyšetřování požárů a výbuchů* s poslední aktualizací z r.2012. (1)

Cílem mojí práce bylo jednak vyhledat a shromáždit výstupy výzkumů, z různých úhlů zkoumajících problematiku výbuchů a analyzovat jejich praktickou využitelnost pro české vyšetřovatele HZS ČR a rovněž shromáždit poznatky a postřehy vycházející přímo z praxe vyšetřování požárů u případů výbuchů. Vyústěním této práce je pak podklad pro zpracování kapitoly nové metodické příručky pro ZPP pro tuto problematiku.

1. Teoretická část

1.1 Legislativa ZPP

Výkon státního požárního dozoru na úseku ZPP je legislativně zakotven a upraven v následujících předpisech:

- Zákon 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů, §24, §26, §31 a §35 ukládají HZS krajů, či Ministerstvu vnitra v závažných případech, povinnost šetřit příčiny vzniku požárů. (2)
- Zákon 238/2000 Sb., o HZS, §4 a §5, opravňuje provádět potřebná zjištění při získávání informací a jiných služebních úkonech ZPP. (3)
- Vyhláška 246/2001 Sb., o požární prevenci, §14, §50, §51 a §52 určuje míru a rozsah skutečností zjišťovaných při ZPP a předepsanou dokumentaci. (4)

Dalšími, interními, předpisy upravujícími činnost v oblasti ZPP jsou pak Sbírký interních aktů a řízení generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministerstva vnitra (SIAŘ GŘ HZS ČR a NMV), Dohoda o součinnosti Policie ČR a HZS ČR při vyšetřování požárů, Organizační řády HZS krajů a SIAŘe krajských ředitelů HZS krajů k činnosti ZPP.

Základním služebním předpisem pro příslušníky pro ZPP je SIAŘ generálního ředitele HZS ČR č.3/2011, který stanoví jejich jednotný postup při ZPP. Tento pokyn slouží příslušníkům pro ZPP jako základní metodická příručka. Předmětem šetření při ZPP je zejména: místo a doba vzniku, osoba, u které požár či výbuch vznikl, příčina vzniku požáru, včetně možných verzí, okolnosti mající vliv na šíření požáru, následky požáru (škoda, zranění, úmrtí) a porušení předpisů o PO. (5)

V případě potřeby jsou příslušníky pro ZPP z místa požáru odebírány vzorky pro požárně technickou expertizu ve specializovaných pracovištích. Příslušníci pro ZPP při výkonu své činnosti spolupracují s orgány činnými v trestním řízení či orgány státní správy. Výsledky a závěry činnosti ZPP jsou pak dokumentovány v podobě odborných vyjádření, které jsou součástí Spisu o požáru a slouží často k dalšímu řízení.

1.2 Výbuchy

Ačkoli nejsou výbuchy v České republice každodenní hasičskou realitou, jedná se přesto o události, které nejsou výjimečné. Každý rok dochází na území České republiky k případům výbuchů, které jsou charakteristické značnými škodami a zejména vysokou nebezpečností. Je tomu tak hlavně kvůli úzké souvislosti mezi výbušným dějem a lidskou činností. Výbuch je často spontánní reakcí na lidskou chybu, opomenutí či zanedbání bezpečnostních předpisů a každoročně si tyto případy vybírají daň v podobě lidských životů či různě závažných zranění. Z tohoto důvodu, a rovněž z důvodu častých materiálních škod nezřídka zvýšených povýbuchovými požáry, jsou výbušné děje přirozeným objektem pozornosti vyšetřovacích orgánů jak z řad Policie ČR tak orgánů činných v PO. Jedná se, nicméně, o natolik specializovanou a charakteristickou oblast, že je pro pracovníka pověřeného vyšetřováním daného případu výbuchu nezbytná znalost a osvojení si faktů ohledně fyzikálního a chemického pozadí samotného výbušného děje.

Fyzikálně lze výbuch popsat jako náhlou oxidaci nebo rozkladnou reakci vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně. (6) Jedná se o přeměnu chemické či mechanické energie na energii kinetickou se vznikem a uvolněním tlakových plynů. Vznik a prudký únik plynů je primárním kritériem pro výbuch. (1) Tento fakt je stěžejní pro vyšetřování výbuchu, neboť působením těchto tlakových plynů vzniká většina stop, které má vyšetřovatel na místě výbuchu k dispozici. Výbuch na bázi hoření je za určitých podmínek možný všude tam, kde je přítomen hořlavý plyn, páry nebo mlhy hořlavých kapalin nebo jemné částice tuhé, oxidace schopné látky a kde je zároveň přítomen dostatečně silný iniciační zdroj. (6)

1.2.1 Rozdělení výbuchů

Základním rozdělením výbuchů je jejich dělení na **typ mechanický** a **typ chemický** s několika dílčími typy. Tyto dva základní typy výbuchů se liší zdrojem či mechanismem vzniku tlaku při výbuchu. (1) Podle SIAŘ GŘ HZS ČR, tedy základního

služebního předpisu, kterým se ZPP řídí, se za požár nepovažuje (a tedy není předmětem vyšetřování SPD) fyzikální výbuch a výbuch výbušniny, pokud nedojde k hoření okolního materiálu. (5)

1.2.1.1 Mechanické výbuchy

Mechanickým výbuchem je myšlen výbuch jako čistě fyzikální reakce, jíž dojde k roztržení skladové nádoby vlivem vysokého tlaku. Nejčastějším dílčím typem mechanického výbuchu je tzv. BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion) – neboli Výbuch expandujících výparů vroucích kapalin. Jedná se o nádoby obsahující kapaliny pod tlakem při teplotách přesahujících jejich atmosférický bod varu. Pokud teplota kapaliny a výparů (a tím i tlak) uvnitř nádoby či nádrže např. působením požáru vzroste na hodnotu, kterou již nádoba nemůže konstrukčně vydržet, dojde k explozi, při níž dojde k prudkému vypaření jejího obsahu. Pokud je obsah nádoby hořlavý, dochází téměř vždy k požáru. Ke vznícení výparů dochází buď od původního zdroje tepla, které výbuch způsobilo, nebo jinými iniciátory jako žhavou střepinou či vlivem nějakého elektrického zdroje. Příkladem BLEVE bez účasti hořlavých kapalin je např. výbuch parního kotle. (1, 7)

BLEVE může být způsobeno jednak zvýšením vnitřního tlaku vnějším tepelným působením, ale i snížením pevnosti nádoby erozí materiálu, korozí, čistě mechanickým vnějším poškozením nádoby nebo také často jejím přeplněním či zablokováním odvzdušňovacího ventilu. U nádob roztržených bez vnějšího tepelného vlivu dochází, poklesem tlaku k destabilizaci do toho okamžiku rovnovážného stavu tlaku mezi kapalinou a parami nad ní, následně prudkému varu kapaliny v celém jejím obsahu a rychlému vypařování. U BLEVE z tohoto zdroje je vzniklá energie jen asi 1/10 energie uvolněné při roztržení nádoby s kapalinou nad teplotní mezi přehřátí. (1, 7)

K tomuto typu mechanického výbuchu může dojít jak ve velkých nádobách typu průmyslových nádrží či cisteren tak v malých jako aerosolové spreje či jednoduché zapalovače. (1)

1.2.1.2 Chemické výbuchy

Na rozdíl od mechanického výbuchu, při chemickém výbuchu vzniká plyn s vysokým tlakem v důsledku exotermické reakce, při níž se mění základní chemická povaha paliva. Při chemických výbuších mohou reagovat pevné hořlavé látky nebo směsi paliva a okysličovačů. Nejčastějšími jsou tzv. postupové reakce plynů, par či prachů smíšených se vzduchem. Jedná se o reakce hoření s rozpoznatelným čelem plamenného hoření, při němž dochází k postupnému vstupu paliva do reakce. (1)

Nejčastějším typem chemického výbuchu je tzv. explozivní hoření, charakteristické hořením uhlovodíkového paliva (jak plynů, tak prachů) ve směsi se vzduchem. Při tomto typu výbuchu dochází k velkým tlakům vlivem rychlého hoření paliva a prudkému vývinu velkého množství zplodin hoření a horkých plynů. (1)

Podle rychlosti postupu čela plamenného hoření se rozlišuje **deflagrace** a **detonace**. Při deflagraci je rychlost reakce menší než rychlost zvuku v dosud nezreagovaném palivu. Při detonaci je tato rychlost vyšší. (1, 8)

Dalším způsobem rozdělení výbuchů je jejich dělení na výbuchy **lokalizované** a **nelokalizované**.

1.2.1.3 Lokalizované výbuchy

Lokalizované výbuchy se vyznačují zejména centralizovaným epicentrem výbuchu, tj. kráterem nebo prostorem s největší škodou, nacházejícím se v místě iniciace výbuchu. Z epicentra bývají působením expanze plynů vymrštěny zde přítomné materiály (ejekta) od prachových částic po velké kusy. Přítomnost centralizovaného epicentra je známkou soustředěného zdroje paliva, které bylo umístěno v jeho kontaktní či těsné blízkosti. Výbuchová epicentra mohou být různých velikostí a tvarů, podle mohutnosti a síly explodujícího materiálu. Jejich průměr se pohybuje, podle velikosti zdroje, od několika centimetrů po několik metrů. Pro lokalizované výbuchy jsou charakteristické vysoké hodnoty tlaku a vysoká intenzita jeho vzrůstu. Pro vytvoření

tohoto typu výbuchu je zpravidla zapotřebí nadzvukové rychlosti výbušné reakce (detonace). (1)

Lokalizované výbuchy mohou být způsobeny jen explozivním palivem se specifickou konfigurací. Patří sem výbušniny, těsně uzavřené hořlavé plyny a páry hořlavých kapalin, tlakové kotle a BLEVE v malých nádobách jako jsou plechovky nebo sudy. (1)

1.2.1.4 Nelokalizované výbuchy

K nelokalizovaným výbuchům dochází nejčastěji, když jsou hořlavé látky v době výbuchu rozptýlené nebo dispergované. Intenzita vzrůstu tlaku je v těchto případech mírná z důvodu podzvukové výbušné rychlosti (deflagrace). Nejčastěji jsou nelokalizované výbuchy tvořeny hořlavými plyny jako zemní plyn či LPG, protože bývají často uzavřeny ve velkých nádobách a nádržích, což jejich výbušnou rychlost snižuje. Dalšími typy paliv tvořících nelokalizované výbuchy jsou výpary z kalužin hořlavých kapalin a prachy. U výparů z kalužin hořlavých kapalin zabraňuje vytvoření lokalizovaných sedel velká plocha a podzvuková výbušná rychlost. U výbuchů prachů fakt, že k nim většinou dochází v prostorech s poměrně velkým rozptylem (obilná síla, továrny na zpracování materiálů, uhelné doly apod.), což rovněž snižuje rychlost jejich výbušné reakce. (1, 8)

1.2.1.5 Komplexní rozdělení výbuchů

V českých materiálech zabývajících se činností ZPP je ve snaze o komplexní rozdělení tematiky výbuchů nejčastěji použito rozdělení orientované zejména na druh paliva přítomného u explozivní reakce (9, 10) :

- výbuchy plynů
- výbuchy par hořlavých kapalin
- výbuchy prachů
- výbuchy výbušnin

- výbuchy tlakových nádob, včetně kotlů a potrubí

1.2.1.5.1 Výbuchy plynů/výparů

Výbuchy plynů, či výparů hořlavých kapalin patří mezi ty vůbec nejčastější. Plynné směsi paliva se vzduchem jsou nejspodněji zapalitelným palivem, které je schopné způsobit výbuch. Běžné jsou zde teploty vznícení od 370 do 590°C a minimální zápalná energie od 0,25 mJ. (1)

Důležitým faktorem je objemová hmotnost. Prudké výbuchy plynů s objemovou hmotností vyšší než vzduch (LPG) jsou častější než u plynů s nižší objemovou hmotností (zemní plyn). Plyny a výpary těžší než vzduch (tj. s objemovou hmotností vyšší než 1,0) mají tendenci téci a shromažďovat se v nižších polohách zatímco plyny a výpary lehčí než vzduch stoupat a shromažďovat se ve vyšších polohách. Tento fakt je důležitý zejména pro identifikaci zdroje úniku paliva. Větší pohyblivost a tendence stoupat vzhůru u plynů a výparů lehčích než vzduch, je rovněž důvodem menšího nebezpečí jejich iniciace a následné výbušné reakce. Pohyb plynu a jeho hromadění, se často projevuje vznikem vícečetných výbuchů (tzv. sekundární výbuchy). Tyto výbuchy jdou tak rychle po sobě, že svědkové výbuchu často zaznamenávají jen jeden. Primární výbuchy nemusí být přítom prudší než sekundární. Vliv objemové hmotnosti plynů a výparů bývá snížen při současné činnosti tepelných a klimatizačních zařízení, působením větru na budovu či teplotními rozdíly. Největší je vliv objemové hmotnosti na pohyb plynů v prostředí bez pohybu vzduchu. (1, 6)

Podle koncentrace hořlavého plynu ve vzduchu jsou určovány tzv. meze výbušnosti.

Dolní mez výbušnosti – spodní hranice koncentrace paliva ve vzduchu, pod níž již k výbuchu nedochází.

Horní mez výbušnosti - horní hranice koncentrace paliva ve vzduchu, nad níž již k výbuchu nedochází. (6)

Výbuchy, které vznikají na dolní či na horní hranici výbušnosti mají menší prudkost, než výbuchy, ke kterým dochází v optimální oblasti koncentrace paliva

s oksyločvadlem a která se nachází mezi těmito dvěma mezemi. Důvodem je menší rychlost plamenů a z toho plynoucí menší intenzita nárůstu tlaku. Tyto výbuchy mají obecně tendenci způsobovat menší škody. (1)

1.2.1.5.2 Výbuchy prachů

K výbuchu prachu může dojít v prostředí, kde se nachází jemně dělený pevný materiál rozptýlený ve vzduchu. K tomuto jevu dochází u širokého spektra materiálů. Jedná se o materiály zemědělské produkce jako obilný prach, piliny; nebo uhlíkaté materiály jako kamenné a dřevěné uhlí; chemické látky jako aspirin či kyselina askorbová; mořidla a pigmenty; plasty nebo pryskyřice. K výbušným dějům může dojít, v rozptýlené formě, i u materiálů, které jsou za běžných okolností brány jako nehořlavé, např. kovy jako hliník, hořčík nebo titan. (1, 9)

Jedním z důležitých kritérií pro intenzitu nárůstu tlaku u těchto výbuchů je velikost prachových částic rozptýleného materiálu. Obecně platí, že čím jsou částice menší, tím prudší je výbušná reakce. Důvodem toho je větší celková povrchová plocha, vystavená plamennému hoření. Nebezpečná výbušná koncentrace může nastat, je-li průměr částic 0,5mm, nebo méně. Některé materiály mohou, i při větších rozměrech částic, reagovat jako prach (např. peří). (6, 9)

Dalším z kritérií významně ovlivňujícím vznětlivost a následnou prudkost výbušné reakce je koncentrace prachu ve vzduchu. Podobně jako u hořlavých plynů a výparů se u prachů určuje dolní mez výbušnosti, tedy minimální koncentrace prachu ve vzduchu, potřebná pro vznik postupovou reakci hoření. Oproti plynům a výparům se však u prachů neuvádí horní mez výbušnosti. Stejně jako u plynů a výparů je však intenzita vzrůstu tlaku u výbuchu prachu vyšší pokud se jeho koncentrace nachází v optimální oblasti. Při nízké, anebo naopak vysoké koncentraci je intenzita vzrůstu tlaku nízká. (1)

Specifickým faktorem u prašných materiálů jako paliv výbušných reakcí je jednak vlhkost a pak přítomnost hořlavých plynů. Při zvyšující se vlhkosti částic prachu se zvyšuje i minimální energie potřebná pro jeho vznícení. Nad mezní hodnotou

vlhkosti se prachová suspenze nevznítí. Při přítomnosti i malého množství hořlavého plynu nebo par hořlavých kapalin se velmi prudce snižuje dolní mez výbušnosti směsi daného hořlavého prachu. K výbušné reakci pak může dojít, i když není dosaženo jak dolní meze výbušnosti daného prachu, tak daného plynu. Rovněž prachy, které nejsou při obvyklých podmínkách výbušné, se při malé příměsi plynu stávají výbušnými. (6)

Výbuch prachu může být iniciován, podobně jako hořlavé plyny a výpary, otevřeným plamenem, doutnajícím materiálem, vláknem žárovky, elektrickým obloukem, svařováním či řezáním, jiskrami, výbojem statické elektřiny, horkým povrchem nebo samovznícením. Minimální zápalná energie je nicméně u plynů a par nižší než u prachů. Zápalné teploty se pro většinu prachů pohybují v rozmezí od 320 do 590°C, přičemž prach rozptýlený ve vzduchu (aerosol) má obecně vyšší zápalnou teplotu, než ten samý prach ve vrstvě (aerogel). (1) Za vrstvu prachu schopnou šířit požár se považuje již vrstva 1mm. (10)

Vícečetné výbuchy jsou u výbuchů prachů velice časté, neboť primárním výbuchem shoří, v optimálních podmínkách, maximálně polovina rozvířeného materiálu. Primárním výbuchem je navíc zviřen prach dosud usazený ve vrstvách a tím je přidáno palivo výbuchu sekundárnímu, který tak většinou bývá mohutnější než primární. (1, 6)

Samostatnou částí pak jsou výbuchy směsi hořlavých plynů, par hořlavých kapalin nebo hořlavého prachu se vzduchem na volném prostranství. Dochází k nim při vytvoření oblaku v mezích hořlavosti paliva a jeho následné iniciaci. Při určitém množství výbušné směsi může dojít až k detonaci a podobným účinkům výbuchu jako u kondenzovaných výbušnin. Rozdíl tlaků plynů při detonaci směsi plynu se vzduchem (do 2 MPa) a detonaci kondenzovaných výbušnin (více než 10^4 MPa) je pouze v epicentru výbuchu a jeho nejbližším okolí. Detonaci vždy předchází stadium deflagračního hoření, kdy postupně rychlost šíření plamenného hoření převyší rychlost zvuku. Z dosavadních zkušeností vyplývá, že nebezpečí přechodu do detonace hrozí až při úniku 2 – 5 tun plynů nebo par do volné atmosféry s výjimkou vodíku a jeho směsí s jinými hořlavými plyny (CO, CH₄ aj.), kdy je nebezpečí detonace již od úniku 100Kg. (1, 7)

1.2.1.5.3 Výbuchy výbušnin

Výbušninou je obecně myšlena každá chemická látka, směs nebo zařízení, jejímž primárním účelem je výbuch. V odborné terminologii jsou pod výbušninou myšleny výbušná zařízení (granát, trhavina s rozbuškou). Pro výbušné látky a směsi je používán termín výbušina. Výbušiny se dělí na třaskaviny, trhaviny, střeliviny a pyrotechnické slože. (1, 11)

Třaskaviny se rovněž nazývají primární či iniciační výbušiny, protože jsou zpravidla využívány coby primární složka nálože v roznětkách či rozbuškách, určená k iniciaci trhaviny. Jedná se o snadno vznítitelné látky a směsi s vysokou citlivostí a detonační reakcí.

Trhaviny jsou naopak výbušiny s malou citlivostí, pro kterou je nutná jejich iniciace primární výbušninou s třaskavou směsí. Jsou charakteristické detonací. Vlivem vysoké intenzity vzrůstu tlaku a extrémně vysokého detonačního tlaku (okolo 6,9 MPa) dochází při jejich iniciaci k vytvoření tříštivého účinku (brizance). Pro vysokou brizanci jsou využívány k trhacím pracím v lomech a dolech a rovněž jako náplň vojenské munice. Charakteristické jsou pro ně centralizované krátery a lokalizované škody v blízkosti epicentra.

Střeliviny jsou charakteristické deflagací, poměrně malou intenzitou reakce a nízkým tlakem při jejich iniciaci. Podobně jako trhaviny jsou méně citlivé na mechanické impulsy, ale značně citlivé na impulsy tepelné. Jejich charakteristickou reakcí je explozivní hoření. U některých střelivin, jako dvousložkového bezdýmného prachu, může dojít za specifických podmínek až k detonačním tlakům. Může se tak stát v podmínkách, kdy uzavření výbušniny umožňuje vytvoření dostatečné rychlosti reakce, kdy je zdroj reakce velmi silný nebo kdy je hoření nestabilní. Využívají se v nábojích pro značný vývin plynů jako výmetná náplň.

Pyrotechnické slože jsou výbušné materiály složené z paliva výbuchu a oxidovadla, které výbušný děj upravuje. Patří sem např. výbušky, dýmovnice či prostředky zábavní pyrotechniky. Jsou charakteristické deflagračním průběhem reakce.

Velmi se liší účinky pevných (kondenzovaných) výbušnin a výbušnin v difúzní fázi (palivo – vzduch). Rychlost hoření pevných výbušnin je ve srovnání s výbušninami v difúzní fázi (zpravidla deflagrace), velmi vysoká. Tlak se nemůže v celém objemu výbušné látky vyrovnat a nastává působení extrémních tlaků v blízkosti výbušiny, zatímco tlak a poškození se vzdáleností od místa iniciace rychle klesá. (1)

1.2.1.5.4 Výbuchy tlakových nádob

Průběh výbuchu a jeho dosažené hodnoty u tlakových nádob jsou vedle jejich obsahu ovlivněny zvláště jejich objemovou velikostí a tvarem. Nádoby rozlišujeme na kubické a podlouhlé, přičemž pro každou z těchto kategorií platí odlišné parametry výbuchu. U kubických nádob platí tzv. kubický zákon popisující závislost intenzity vzrůstu tlaku v nádobě na jejím objemu. Obecně platí, že s rostoucím objemem intenzita vzrůstu výbuchového tlaku klesá. Má se za to, že kubický zákon má platnost u směsí plynů a par hořlavých kapalin se vzduchem od objemu nádoby 5 litrů a u směsí prachu a vzduchu od objemu nádoby 40 litrů. Maximální výbuchový tlak se s rostoucím objemem nemění. U hořlavých plynů a par je dosahováno až 1 MPa a u hořlavých prachů až 1,3 MPa. (1, 6)

Kubický zákon u podlouhlých nádob a u potrubí neplatí. Maximální výbuchové hodnoty se zvyšují s rostoucí délkou a projevuje se směrové šíření výbuchového tlaku. I u materiálů reagujících obvykle deflagračním hořením se může, vlivem podlouhlého tvaru, změnit rychlost šíření plamene na detonační rychlost s radiálními tlaky až 3 MPa a osovými tlaky (kolmé na osu potrubí) až 9 MPa. (6)

Průběh výbuchu v kubických i podlouhlých nádobách se však podstatně liší od výbuchů v potrubí, kde bývá délka mnohem větší než průměr. U potrubí otevřeného z jedné strany je průběh a účinek výbuchu závislý na místě iniciace paliva v trubce. Pokud je palivo iniciováno na otevřeném konci, šíří se plamen palivem poměrně normální rychlostí danou směsí paliva a veškeré palivo shoří. Při postupu plamene potrubím jsou zplodiny stačovány a k jejich vytlačování je potřeba stále větší energie. Dochází ke kmitání směsi v potrubí a narůstání rychlosti šíření plamene za současného

nárůstu tlaku. U dostatečně dlouhého potrubí, lze dosáhnout jeho roztržení uprostřed, i když je z obou stran otevřené. (1, 6, 8)

Pokud je palivo iniciováno na uzavřeném konci potrubí je nárůst rychlosti hoření směrem k otevřenému konci a tím i tlaku rychlejší. Vzniklé zplodiny, čítající cca sedminásobek objemu neshořelé směsi, vytlačují před sebou palivo z potrubí. Tato vypuzující rychlost se přičítá k normální rychlosti hoření paliva a tvoří 80 – 90% celkové rychlosti. V potrubí přitom shoří jen asi 1/7 paliva. Rychlost čela plamene prudce narůstá až dosáhne tzv. turbulentního proudění, které podstatně zvětší povrch hoření a tím i jeho rychlost. Při dostatečně dlouhém potrubí dosáhne rychlost detonačních hodnot (tato vzdálenost je určena druhem paliva a průměrem potrubí) s přiměřeným radiálním a osovým tlakem. U potrubí malých průměrů může tak dojít k detonačním rychlostem i na krátkých vzdálenostech. (6, 8)

Při oboustranně uzavřeném potrubí je zabráněno úniku nezreagované směsi před čelem plamene, a proto zreaguje celá směs. Při stejné výbuchové rychlosti jsou tak tlaky vyšší než u jednostranně otevřeného potrubí, přičemž šíří-li se detonace proti pevné překážce, dochází k zabrzdění plynů na nulovou rychlost a vzniku odrazové rázové vlny s extrémními tlaky. (6)

1.2.2 Faktory ovlivňující výbuch

Kromě faktorů ovlivňujících průběh a účinky výbuchů charakteristických pro jednotlivé skupiny paliv a popsanych v jejich oddílech, rozeznáváme ještě zejména tyto faktory:

- turbulence
- charakter uzavíracího prostoru
- poloha a vydatnost zdroje hoření
- větrání

Turbulence, jako druh pohybu uvnitř směsi paliva charakteristický vysokou rychlostí proudění a neuspořádaností částic, je faktorem velmi zvyšující plochu výbušného hoření a jeho rychlost, a tím i intenzitu nárůstu tlaku. Turbulence může být

způsobena ventilací prostor a je ovlivňována tvarem prostor či nádob, nebo přítomností překážek ve směru proudění. Pod vlivem turbulentního proudění může dosáhnout velkých hodnot intenzity nárůstu tlaku při výbuchu i relativně chudá směs paliva. (1, 8)

Charakter uzavírajícího prostoru – tvar nádoby či místnosti, kde dojde k iniciaci výbušné směsi, její velikost, objem, konstrukce, provedení aj. jsou dalším faktorem výrazně ovlivňujícím průběh a účinky výbušné reakce. Obecně platí, že čím menší je objem nádoby či místnosti, tím je intenzita nárůstu tlaku větší a výbuch prudší. U kubických místností lze využít tzv. kubický zákon (viz oddíl 2.1.5.4. Výbuchy tlakových nádob). Prostory typu dlouhých, úzkých chodeb lze naopak přirovnat k zvětšenému modelu podlouhlých tlakových nádob. (1, 6)

Poloha a vydatnost zdroje hoření – ideální poloha místa iniciace směsi paliva, z hlediska maximálních hodnot intenzity nárůstu tlaku při výbušné reakci, je uprostřed ohraničující konstrukce či stěn nádoby. V případě polohy iniciátoru u stěny konstrukce dochází k dřívějšímu ochlazení čela hoření přestupem tepla do materiálu uzavírající konstrukce a tím ztrátě energie intenzity nárůstu tlaku a zmenšení prudkosti výbuchu.

Při nízké iniciační energii se některé směsi paliva se vzduchem ani nedají iniciovat. S rostoucí iniciační energií pak roste zejména hodnota intenzity nárůstu výbušného tlaku. Iniciační zdroje s velkou energií (např. rozbušky nebo výbušná zařízení) mohou značně zvýšit rychlost nárůstu výbušného tlaku a za příhodných podmínek přeměnit deflagraci na detonaci. (1)

Větrání - V provozech s rizikem výbušných reakcí bývají konstrukce vybaveny tzv. protivýbuchovým zařízením sestávajícím z konstrukčních otvorů odvádějícím tlak výbuchu a chránícím tak samotnou konstrukci budovy před zničením. Stejně tak při výbuších plynů, par či prachů má odvětrání nádoby či místnosti značný vliv na charakter způsobených škod. Při deflagračních tlacích (hodnoty do 820 kPa) je účinek tlakové fronty významně ovlivněn množstvím, polohou a velikostí větracích otvorů. Charakter odvětrání místnosti (okna, dveře) může ovlivnit, zda dojde jen k pohybům, posunutím stěn a stropu nebo k jejímu kompletnímu zničení. Při odvětrání tlaku lze očekávat škody i mimo místnost iniciace a to zejména v prostoru proti větracím otvorům. (1)

Při detonačních tlacích je zpravidla účinek odvětrání omezený až nulový. Je to způsobeno vysokou rychlostí tlakové fronty, kdy výrazné omezení intenzity tlaku jeho odvětráním není možné. (1)

1.2.3 Účinky výbuchů

Na účinky výbuchů, jejichž působením vznikají všechny stopy, se kterými následně vyšetřovatel HZS ČR pracuje, již navazuje přímo činnost ZPP. Proto je porozumění jejich působení pro vyšetřovatele velice důležité.

Účinky výbuchu jsou závislé na mnoha faktorech – typu, množství a konfiguraci paliva, velikost a tvar nádoby nebo konstrukce (potrubí, nádrž, místnost), typ a pevnost přítomných materiálů, typ a kapacita větrání, množství a charakter překážek tlakové vlny apod. Charakter těchto účinků lze pak rozdělit na:

- účinky tlakové vlny
- tepelné účinky
- účinky střepin
- seismické účinky

Účinky tlakové vlny – Produktem výbušné reakce je velké množství rychle expandujících plynů, které se pohybují od místa vzniku. Tyto plyny a vzduch, který je jimi tlačěn tvoří tlakovou frontu primárně odpovědnou za zranění a škody spojené s výbuchem. U výbuchů rozeznáváme přetlakovou a následnou podtlakovou fázi. (1)

Přetlaková část je tvořena tlakovou frontou pohybující se od místa iniciace výbuchu. Je mnohem silnější než podtlaková a jejím působením vzniká většina výbušným tlakem způsobených škod. Podtlakovou fází tvoří vzduch rychle se vracející do oblastí iniciace výbuchu, kde byl expanzí vzduchu vytvořen prostor s nízkým tlakem. Podtlaková fáze je mnohem slabší než přetlaková a u výbuchů plynů a par nemusí být vůbec zpozorovaná či při vyšetřování detekovatelná. (1)

V ideálních podmínkách je tvar tlakové fronty kulový, stejnoměrně se šířící od svého zdroje. V reálných podmínkách však dochází, vlivem tvaru prostředí a překážek šíření k modifikaci tvaru, směru i síly tlakové fronty. Směr působení tlakové fronty

může být změněn jejím odrazem od pevných překážek a rovněž může být jejich vlivem zesílen nebo oslaben (podle charakteru překážky) její účinek. V závislosti na úhlu dopadu je možné zvýšení přetlaku na odrazové ploše až na osminásobek. (1) V zásadě každá překážka bránící ventilaci výbušného tlaku (vybavení, nábytek, konstrukční prvky) může způsobit jeho nárůst. (8)

Při přechodu tlakové fronty do vrstvy vzduchu s výrazně jinou teplotou může dojít k jejímu ohybu či lomu. Teplotní inverze tak může způsobit ohnutím soustředění účinku tlaku na zem kolem centra výbuchu. (1)

Síla účinku tlakové fronty a tedy rozsah škod není závislý jen na celkové míře uvolněné energie, ale hlavně na rychlosti jejího uvolnění. Při menší intenzitě nárůstu tlaku (deflagrace) je kompenzována a ovlivněna primárním narušením slabších částí konstrukce (okna a spoje), nebo otvory v nádobě či stavební konstrukci, které odvětrávají část výbušného tlaku, a tvoří poškození typu vyboulení či posunutí. U výbuchů s velkou intenzitou nárůstu tlaku (detonace), jsou poškození ohraničujících konstrukcí většího rázu a trosky jsou vymrštěny do větších vzdáleností, přičemž odvětrávací otvory nejsou ke kompenzaci výbušného tlaku dostačující. (1)

Hodnota nárůstu výbušného tlaku je výslednicí tlaku vyvinutého postupujícím čelem plamene a úbytkem tlaku ventilací. V místnostech a prostorech s minimální či nulovou ventilací může i pomalé hoření způsobit velký nárůst tlaku. V zásadě k nejnižšímu tlaku dochází, pokud je místo iniciace blízko místu možné ventilace, nebo na okraji plynovzdušného oblaku. (8)

Tepelné účinky – Explosivním hořením je uvolňováno velké množství energie, kterou jsou ohřívány zplodiny hoření a okolní vzduch na vysoké teploty. Tato energie má potenciál iniciovat hoření okolních materiálů a způsobovat tak sekundární škody a zranění. Velký vývin tepla je charakteristický pro chemické výbuchy, přičemž dosažené hodnoty jsou závislé na charakteru paliva a rychlosti výbušného hoření. U deflagračních výbuchů dochází k nižším teplotám, ale s delší dobou účinku. Naopak u detonačních výbuchů dochází k vývinu velmi vysokých teplot, které však trvají jen krátkou dobu. (1)

K tepelným účinkům počítáme i „ohnivou kouli“ u BLEVE, způsobenou vznícením oblaku hořlavých par, s níž je spojena i tepelná radiace o vysoké intenzitě a

krátké době trvání a také explozí vymrštěné hořící či žhavé materiály, schopné iniciovat vznik sekundárního požáru i ve velkých vzdálenostech od místa vzniku výbuchu. (1)

Účinky střepin – Materiál nádob, kontejnerů či konstrukcí zadržujících tlakovou frontu, může být při jejich roztržení vlivem explozivní reakce, odmrštěn do značných vzdáleností, kde je schopen způsobit sekundární poranění a škody. K těmto škodám může patřit přerušení elektrického vedení, porušení plynovodního potrubí či poškození dalších nádob a kontejnerů s nebezpečným obsahem. Lze tak způsobit vznik sekundárních požárů a výbuchů, které podstatně zvýší rozsah škod a také zkomplikují následné vyšetřování. (1, 8)

Vzdálenost dopadu vymrštěných částí je závislá jednak na mohutnosti exploze, ale i na úhlu jejich vymrštění, možnosti odrazu, jejich váze a aerodynamickém tvaru. (1)

Seismické účinky - Dochází k nim při šíření tlakové vlny či při pádu vysoce hmotných objektů. Jejich působením dochází k přenášení lokalizovaných zemních otřesů, které mohou způsobit jak další poškození budov, tak i poškození podzemní infrastruktury (plyn, voda). (1)

1.3 Statistické sledování událostí

Jedinečným zdrojem informací, nezbytných pro orientaci v případech výbuchů, jejich typech, četnosti a vývoji na území České republiky je program Statistické sledování událostí/Zpráva o zásahu (SSU/ZOZ). (12) Tento program vznikl v roce 1992 a slouží k zaznamenání a následné archivaci všech událostí, na kterých se svým zásahem podílely jednotky HZS ČR. Toto zabezpečení statistického sledování jednotlivých aspektů všech požárů a mimořádných událostí s účastí jednotek PO, je jednou ze základních povinností HZS kraje, která je mu uložena zákonem o PO. Na jeho základě byl vydán SIAŘ GŘ HZS ČR a NMV č.10/2006, kde jsou stanovena pravidla statistického sledování událostí a dokumentace o vedení zásahu. (13)

V SIAŘ GŘ HZS ČR a NMV č.10/2006 jsou rovněž rozpracovány všechny varianty pro správné zadávání informací do programu. Byl rovněž vydán systém

číselníků, zajišťujících uložení jednotlivých informací pod danými kódy a umožňujících tak zpětnou kontrolu. Součástí zadávacího programu SSU a modulu SSU pro vyhledávání událostí jsou také filtry, jejichž pomocí lze jednotlivé parametry statisticky hodnotit. Parametrů zadávaných ke každé události je přitom velké množství. Každé události je přiřazeno tzv. Evidenční číslo události (EČUD), které je jedinečné a slouží jako číslo jedací. V programu SSU/ZOZ jsou sledovány základní údaje událostí jako adresa, datum a čas, ale i mnoho dalších parametrů ohledně počtu a činnosti přítomných jednotek HZS, spolupráci složek IZS, použitých hasivech a technice, únicích nebezpečných látek, počtech ztrát na životech a zdraví obyvatel, jejich evakuaci a hmotných škodách, informace týkající se budov a objektů či stavu PO apod. V neposlední řadě pak jsou zde zadávány i údaje o příčinách událostí včetně určení odpovědnosti a následném trestněprávním řešení. (13)

První údaje o události jsou do programu zadávány velitelem zásahu a v případě požárů (a tedy i výbuchů s následným požárem) v druhém sledu doplněny vyšetřovateli ZPP. Kompletní údaje o události jsou následně postoupeny ke kontrole garantovi SSU, který je po kontrole z hlediska kompletnosti schválí, uzavře a připraví k odeslání na GŘ HZS ČR.

1.4 NFPA 921 – Návod na vyšetřování požárů a výbuchů

Při záměru MV-GŘ HZS ČR o vytvoření komplexního metodického materiálu pro vyšetřování příčin vzniku požárů, který by měl aktualizovat stávající české metodické materiály, byla jako možný významný zdroj informací identifikována americká metodická příručka NFPA 921 – Návod na vyšetřování požárů a výbuchů. Zájem o využití informací z tohoto materiálu ve smyslu získání výsledků a nových poznatků současného vědeckého výzkumu pro konkrétní oblast ZPP, byl vyjádřen v SIAŘ GŘ HZS ČR č. 47/2008 v bodu č.8 oddílu „Příležitosti optimalizace výkonu SPD zjišťováním příčin vzniku požárů. (14)

1.4.1 NFPA

NFPA (National Fire Protection Association) je mezinárodní nezisková organizace, která byla založena r.1896 a klade si za cíl minimalizovat náklady spojené s požáry, nebo dalšími riziky každodenního života tím, že stanovuje a publikuje technické normy a vytváří další druhy pomocných materiálů, provádí výzkum a podporuje a provádí v daných oblastech vzdělávání a výcvik. Působí rovněž na základě své klasifikace, jako certifikační orgán pro osobní ochranné prostředky. Členy NFPA je více než 70 000 subjektů z téměř 100 zemí celého světa, což činí z NFPA jednoho z předních zástupců požární prevence a autoritu v oblasti veřejné bezpečnosti. NFPA stojí za více než 300 technickými normami a soubory pravidel vytvořenými s cílem minimalizovat možnost vzniku nebo případné následky požárů a jiných nežádoucích událostí stanovením kritérií pro objekty, pracovní procesy a činnosti, instalace, výroby a jejich využívání v USA i mnoha jiných zemích. (15)

Materiály vytvářené NFPA jsou různého druhu, lišící se svou formou a hlavně právní závazností. **Návody**, mezi něž spadá i NFPA 921, jsou dokumenty, jejichž charakter je čistě poradní a informativní. Informace, které jsou v nich obsaženy, mohou být využívány pouze jako nezávazná opatření. Návod může obsahovat i závazná ustanovení (např. kdy je možné jej použít), ale jako celek se nehodí k uvedení v zákoně. **Norma** je dokument, v jehož hlavním textu jsou pouze závazná ustanovení a svou formou je vhodný pro závazné odkazy v jiných normách, kodexu, nebo je vhodný k převzetí do zákona. Obsahuje i nezávazná opatření, která jsou však uváděna pod čarou, stranou hlavního textu nebo v příloze. **Kodex** je norma tvořená rozsáhlým souborem opatření, týkajících se širokého spektra záležitostí, které jsou nezávisle na jiných normách a kodexech vhodné pro převzetí do zákona. Doporučený postup je dokument se stejnou strukturou a obsahem jako norma či kodex, který ale obsahuje pouze nezávazná opatření. (1,16)

Pro práci na technických normách a návodech vytvořila NFPA více než 200 komisí v několika divizích, čítajících přes 6000 externích odborníků. Proces tvorby spočívá v společném hlasování členů daných komisí pro jednotlivé návrhy na úpravy a

revize. Jednou z divizí NFPA je rovněž divize pro vyšetřování požárů, jejíž činností je shromažďování, analyzování a následné informování o konkrétních zkušenostech z jednotlivých požárů založených na přímém vyšetřování. Tyto informace jsou publikovány formou zpráv, odborných článků či bulletinů. Informačně se přitom snaží NFPA postihovat celou šíři problematiky požárů včetně zdrojů a příčin, vývoje požárů a jejich šíření, detekce a možného potlačení, chování materiálů při požáru nebo reakce osob na událost a při záchranných pracích apod. (15)

1.4.2 NFPA 921

NFPA 921 – *Návod na vyšetřování požárů a výbuchů*, je dokument, jehož účelem je poskytnout vodítko a doporučení pro systematické a bezpečné vyšetřování nebo analýzu požárů a výbuchů. Svou formou a snahou o srozumitelnost usiluje o to být pomocí jak pro státní orgány pověřené výkonem ZPP, tak pro civilní pracovníky vedoucí vyšetřování pro pojišťovny či pro soudní účely. Zároveň ale NFPA 921 usiluje svým charakterem o nastavení měřítko pro vyšetřování a zkoumání požárů, jako činnosti založené na vědeckém přístupu. Přebírá zkušenosti učiněné vyšetřovateli přímo u jednotlivých případů požárů, získané při simulacích, cvičeních a výzkumu a je uváděna jako přední metodická příručka pro přímé určení příčin, zdrojů, odpovědnosti i prevence požárů a výbuchů. NFPA 921 je charakteristická svým důrazem na praktickou využitelnost v terénu a solidním fyzikálně technickým informačním uvedením do problematiky. Svými informacemi se snaží o vytvoření pracovního rámce či nástinu činností, podle něž je možné uskutečnit účinné vyšetřování události, zaměřené na její příčinu a vznik. Přesné závěry vyšetřování s uvedením příčin mohou být pak základem pro předcházení budoucím požárům a výbuchům a tím k ochraně životů, zdraví a majetku obyvatel. (15)

Znění NFPA 921 je každé tři roky aktualizováno a dokument je nově publikován s tím, že nové vydání je nadřazené všem starším. V současné době je nejnovějším zněním sedmé vydání odsouhlasené technickou komisí a vydané na sněmu pro stanovení norem v prosinci 2010 s datem účinnosti 3. ledna 2011. Při zpracování této

práce bylo k analýze použito páté vydání NFPA 921, které bylo zpracováno technickou komisí a projednáno NFPA na jejím listopadovém technickém zasedání v Reno, NV. Bylo vydáno Radou pro standardizaci 16. ledna 2004 s datem účinnosti 5. února 2004. Současný nejnovější text NFPA 921 z r.2011 byl použit ke komparaci textu vydaného v r.2004 aby bylo eliminováno použití neaktuálních údajů. (1,16)

1.5 České zdroje

NFPA 921 není pochopitelně jediným možným zdrojem informací pro vytvoření zamýšlené metodické příručky pro vyšetřování požárů a výbuchů. Již od roku 1960, kdy začalo zakotvování činnosti ZPP do systému požární prevence vznikaly logicky snahy o zaznamenání zkušeností učiněných při vyšetřování. Nejprve příslušníky požární prevence HZS krajů, kteří byli první v rámci nově vzniklých Inspekcí požární ochrany touto činností pověřováni a posléze příslušníky pro tuto činnost přímo vyčleněnými.

Snaha o zmapování problematiky ZPP logicky vedla k úsilí o vytvoření komplexního materiálu, který by ve formě příručky obsahoval celou její šíři. Prvními takovými materiály byly *Metodika vyšetřování požárů a výbuchů*, vydaná r.1969 Univerzitou Karlovou (17) a několik let poté metodika P. Pokorného: *Zisťovanie príčin vzniku požiarov*, vydaná r. 1975 v Bratislavě. (18) Na tyto práce následně navázal v r. 1984 Ing. J. Štefek příručkou *Zjišťování příčin požárů*. (19) O rok později se J. Štefek podílel v kolektivu spolupracovníků pod vedením Kpt. Ing. M. Kotlára na vydání, zatím z hlediska používanosti, nejúspěšnější komplexní příručce: *METODIKA pro činnost inspekcí požární ochrany při ZPP*. (20) Některé nadčasové části dnes již 25 let staré práce jsou i dnes využívány vyšetřovateli jako zdroj informací a zkušeností. Konkrétně výborně zpracované kapitoly ohledně úmyslných zapálení či iniciace požárů cigaretou, nebo oddíly věnující se samovznícení a také obsažné tabulky požárně technických charakteristik jednotlivých látek. (20)

S postupem let si nicméně vyšetřovatelé uvědomovali stárnutí tohoto materiálu a potřebu jeho aktualizace a doplnění o nové zkušenosti a poznatky, které si zatím

nacházely místo v skromnějších pracích zaměřených jen na vybrané části problematiky ZPP. Další snaha o aktuální celistvý materiál vyšla od MV a GŘ HZS ČR vydáním souhrnných prací kolektivu autorů: *Zjišťování příčin vzniku požárů I* v r. 2000 (21) a *Zjišťování příčin vzniku požárů II* v r. 2005. (22) Formou šlo o materiály s možností doplnění listů o nové poznatky. Obsahem se jednalo o takřka zopakování informací z Kotlárova díla s doplněním v některých málo řešených oblastech (např. odběr vzorků). Forma metodických listů k jednotlivým oblastem ZPP v druhém díle této příručky vedla k přílišné stručnosti. V mnoha částech se jedná jen o uvedení základních a obecných informací dané problematiky. (22)

Problematika výbuchů, která spadá, vzhledem k častému vzniku požárů jejich příčinou, rovněž do činnosti ZPP, je v českých příručkách zmíněna jen v Kotlárově *METODICE* a v II. díle *Zjišťování příčin vzniku požárů*. Kotlárovo dílo je v představení této problematiky jednoznačně obsažnější a informativnější. I tak je zde tomuto tématu věnováno pouze 8 stran a to včetně požárně technických charakteristik plynů, par a prachů. Jednotlivé typy výbuchů jsou zde, spolu se základní fyzikou výbuchů jen stručně představeny a charakterizovány několika větami. Některé další informace (tlakové lahve s propan-butanem, těkavé látky při pokládání koberců) jsou ještě dohledatelné v jiných částech příručky, věnovaným jiným tématům ZPP. I přes tuto stručnost se jedná o kvalitní a použitelný úvod do problematiky. (20) Metodický list II. dílu *Zjišťování příčin vzniku požárů* celou problematiku výbuchů zhušťuje do dvou stran obecných informací, z praktického hlediska málo využitelných. (22)

1.5.1 Specializované materiály

Každá ze zkoumaných oblastí, v nichž dochází k výbuchům: plynovodní vedení, tlakové lahve, výbušniny, hořlavé prachy a páry hořlavých kapalin, je v různé míře zpracována ve specializovaných materiálech, přičemž tyto materiály obsahují v různé míře i informace využitelné při samotném vyšetřování výbuchů popisované oblasti.

Komplexnější pohled na výbuchy lze nalézt v materiálech věnujících se protivýbuchové prevenci. Zde vyčnívá zejména *Protivýbuchová prevence* J. Damce,

vydaná v r. 1998 Sdružením požárního a bezpečnostního inženýrství (SPBI). V úvodní části této publikace jsou výborně nastíněny fyzikální děje, k nimž při výbuchu dochází, faktory ovlivňující jeho vývoj a rovněž přehled častých iniciátorů. (6) Dalším odborným zdrojem informací jsou zpracované přednášky k tématu protivýbuchové prevence, dostupné na internetových stránkách Projektu celoživotního vzdělávání v oblasti protivýbuchové ochrany staveb zaštitěného Českým vysokým učením technickým v Praze (ČVUT). Zpracovány jsou zde přednášky ze seminářů českých odborníků protivýbuchové prevence jako Doc. Ing. J. Damce, Doc. Ing. B. Janovského či Doc. Ing. D. Makovičky zahrnující množství informací o výbušných dějích různých typů výbuchů, zejména prachů, par hořlavých kapalin a plynů.

V oblasti výbuchů hořlavých prachů je podobně informativní *Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství*, zpracovaná kolektivem autorů a vydaná SPBI v r. 1999. (23) Spolu s oblastí prevence je zde uvedeno i mnoho informací spojených s konkrétními případy výbuchů hořlavých prachů společně se statistickými výstupy a postřehy ohledně příčin těchto výbuchů.

V oblasti úniků a výbuchů plynu je mnoho důležitých informací zpracováno v učebních textech jako učebnici *Plynová zařízení* Ing. J. Bartoše z r. 1990 (24) a *Plynárenská technologie* Ing. M. Macháčka z r. 1990 (25), či *Příručky pro montážní pracovníky odběrních plynových zařízení* Ing. P. Prágera z r. 1994. (26) Problematice bezpečného využití plynu zejména v soukromém sektoru je věnována dvoudílná publikace Ing. J. Pertlíka *Rozvod a použití plynu I a II* z r. 1996. (27, 28)

Výše zmíněné materiály se v omezené míře dotýkají i problematiky tlakových nádob a lahví. Ta je velmi kvalitně zpracována v publikaci Ing. V. Kratochvíla: *Tlakové lahve z hlediska požární bezpečnosti*, vydané SPBI v r. 2010. (29) Samostatnou oblast propan-butanu pak řeší obsažná publikace Ing. Z. Příbyla a Ing. J. Buchty: *Bezpečné používání propan-butanu v průmyslu, laboratořích a domácnostech*, vydané v r. 1995. (30)

Vedle těchto publikací existuje ještě celá řada zdrojů, počínaje odbornými periodiky v čele s časopisem 112, v němž lze k tématu výbuchů nalézt nejrůznější články, od laboratorních zkoušek a výzkumu po popisy a výstupy ze skutečných

případů. Jedinečným zdrojem informací jsou samozřejmě Spisy o požáru a Odborná vyjádření zpracovaná vyšetřovateli ke konkrétním případům vyšetřovaných výbuchů. Mnoho jednotlivostí a podrobností o materiálech a technologiích lze najít na internetových stránkách věnovaných tématům jako svařování, stavebnictví pyrotechnika, požární prevence a dalším.

2. Metodika a výzkumná otázka

Cílem mé práce bylo vypracovat návrh metodického materiálu, který by sloužil jako pomoc ve vytvoření kapitoly komplexní metodické příručky pro výkon ZPP. Tuto příručku v současné době připravuje pracovní skupina MV GŘ HZS ČR, jejímž jsem členem. Kapitola mnou navržená ošetřuje v rámci široké problematiky ZPP činnost vyšetřovatelů u případů výbuchů.

Druhým cílem bylo stanovit využitelnost americké normy NFPA 921, a to konkrétně jejích částí, které jsou zaměřeny na problematiku výbuchů, v ČR. Tato norma je komplexním, periodicky aktualizovaným materiálem využívaným vyšetřovateli v USA u případů požárů a výbuchů.

Výzkumnou otázkou pro mou práci bylo, zda jsou stávající podmínky pro ZPP a jeho postupy v případech výbuchů dostatečné pro vyšetřovatele požárů HZS ČR. Tuto otázku jsem posuzoval ve smyslu kvalitativně a dostupností dostatečné informační základny, nezbytné vyšetřovateli pro kvalitní a fundované zpracování konkrétních případů výbuchů.

2.1 Metodika

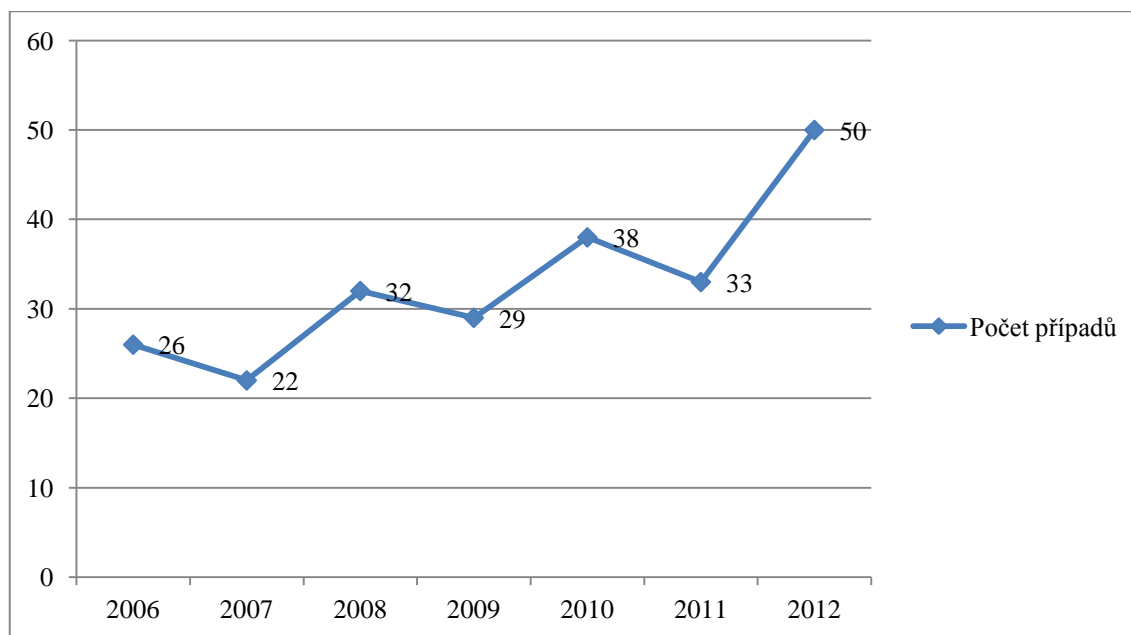
Základem pro zpracování cílů práce byla rešerše dostupných českých i zahraničních zdrojů informací o problematice výbuchů, přičemž velice důležitou součástí těchto zdrojů byly konzultace tématu s odborníky jednotlivých oborů a jejich praktické zkušenosti. Tyto zdroje byly následně analyzovány za účelem extrakce informací a údajů využitelných pro výkon ZPP a porovnávány s informacemi a údaji NFPA 921.

Současně byly zpracovávány data z programu SSU/ZOZ, do nějž se shromažďují údaje ohledně všech případů, k nimž vyjížděly jednotky HZS ČR. Výstupem tohoto zpracování bylo vypracování statistických grafů a tabulek mapujících výskyt, četnost a další parametry výbuchů v ČR v letech 1996 – 2012.

Shromážděné informace byly následně zpracovány do formy textu, který bude využit ke zpracování kapitoly připravované metodické příručky pro výkon ZPP.

3. Výsledky

3.1 Statistická část



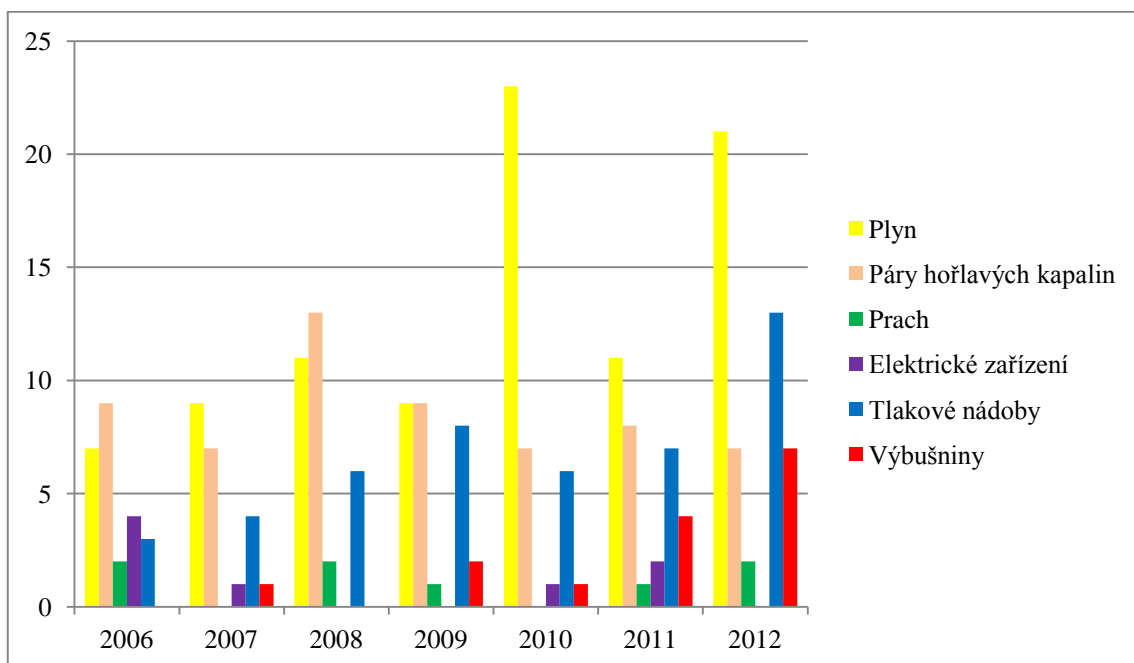
Obrázek 1 Vývoj případů výbuchů v ČR v letech 2006 – 2012

Zdroj: (12)

Tabulka 1 Sumarizace škod

	Počet případů	úmrť	zranění	Škody (tis Kč)
2006	26	3	25	27,982
2007	22	1	19	35,761
2008	32	2	39	34,754
2009	29	5	30	10,223
2010	38	3	26	24,429
2011	33	3	28	2,856
2012	50	4	59	35,878
součet	230	21	226	171,883

Zdroj: (12)



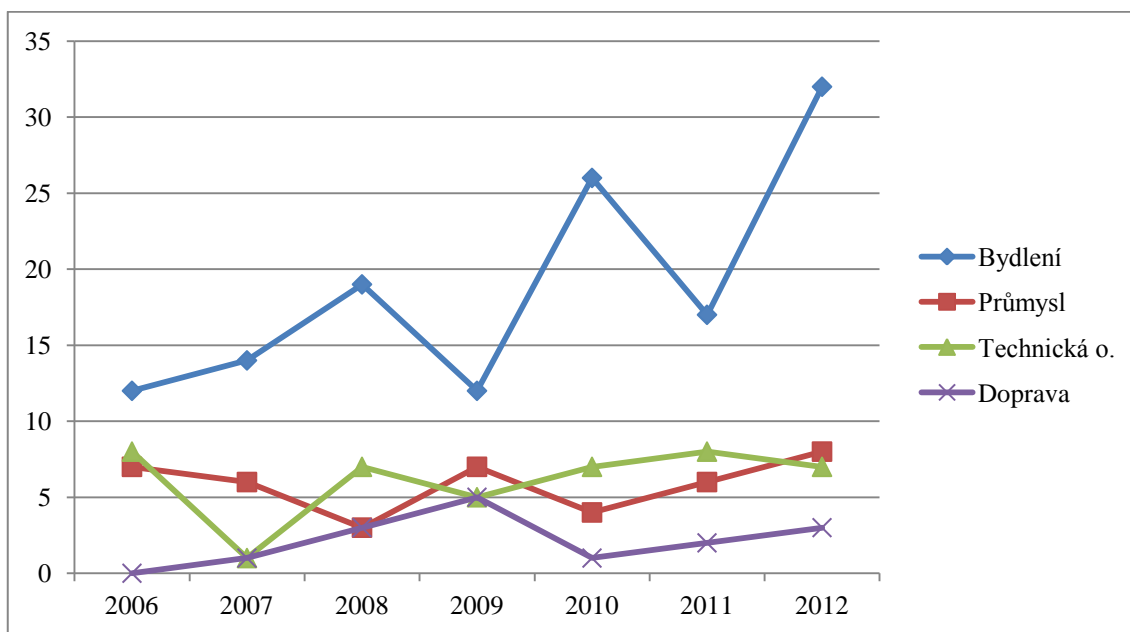
Obrázek 2 Vývoj typů výbuchů

Zdroj: (12)

Tabulka 2 Škody způsobené jednotlivými typy výbuchů

	Počet případů	Úmrtí	Zranění	Hmotné škody (tis.Kč)
Plyn	91	5	96	70,208
Páry hořlavých kapalin	60	13	71	22,088
Prach	8	0	1	12,200
Elektrické zařízení	8	0	1	20,778
Tlakové nádoby	47	2	36	17,489
Výbušniny	15	2	19	25,174

Zdroj: (12)



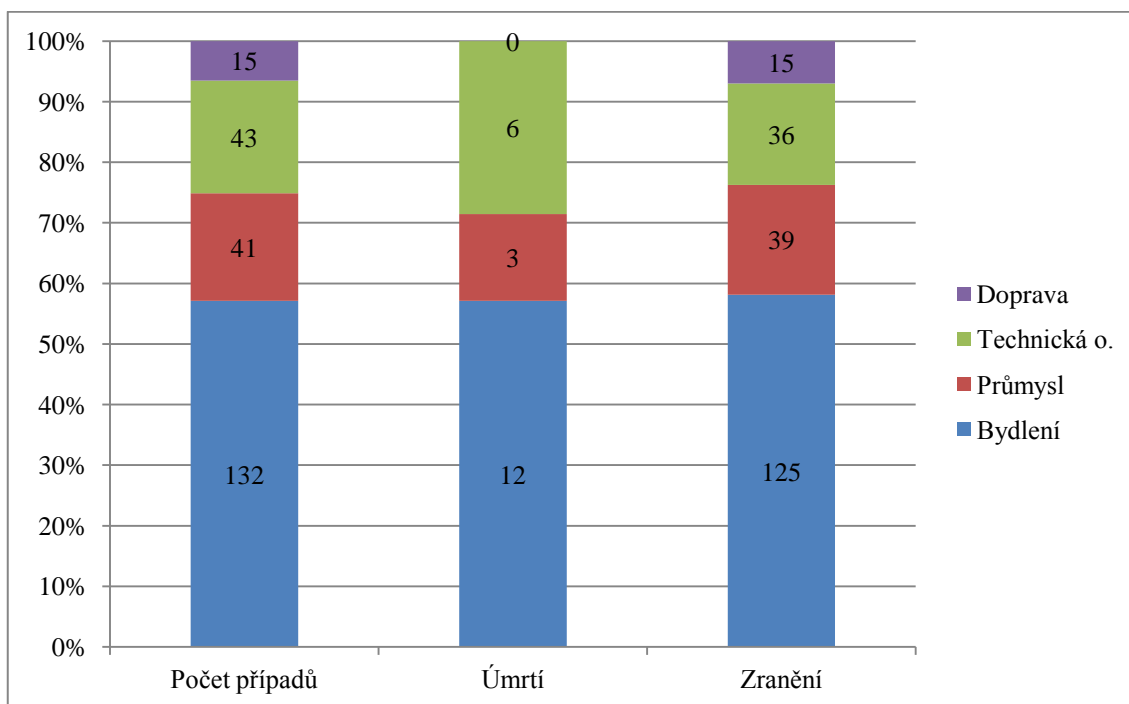
Obrázek 3 Vývoj výskytu výbuchů v jednotlivých oblastech

Zdroj: (12)

Tabulka 3 Rozložení typů výbuchů do oblastí výskytu

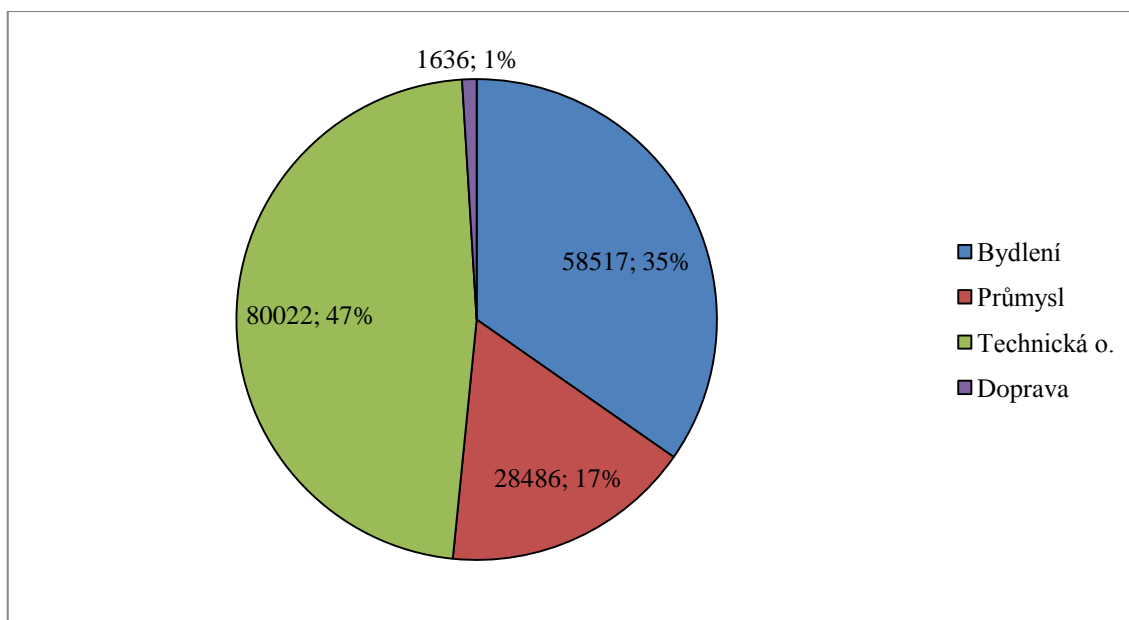
	Bydlení	Průmysl	Technická oblast	Doprava
Plyn	66	9	11	5
Páry hořlavých kapalin	28	16	11	5
Prach	0	6	2	0
Elektrické zařízení	0	3	5	0
Tlakové nádoby	30	2	7	4
Výbušniny	6	4	5	0
Součet	130	40	41	14

Zdroj: (12)



Obrázek 4 Procentuelní rozložení škod do oblastí výskytu

Zdroj: (12)



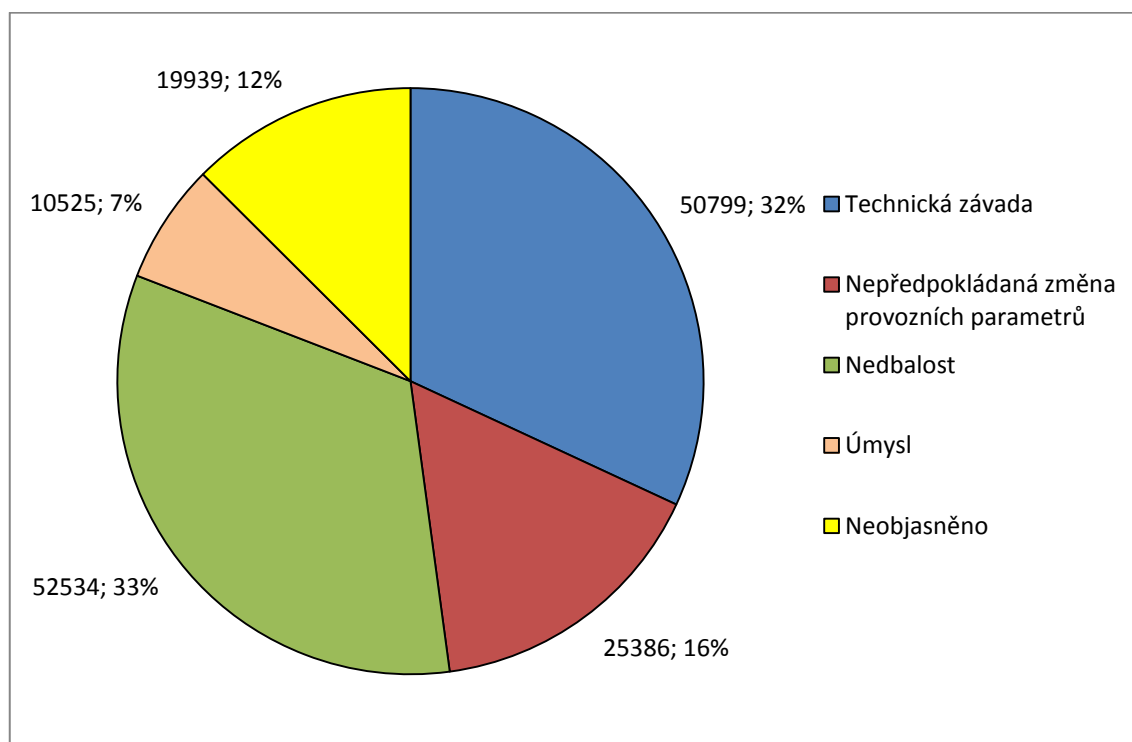
Obrázek 5 Rozložení materiálních škod (tis.Kč)

Zdroj: (12)

Tabulka 4 Příčiny výbuchů v jednotlivých oblastech

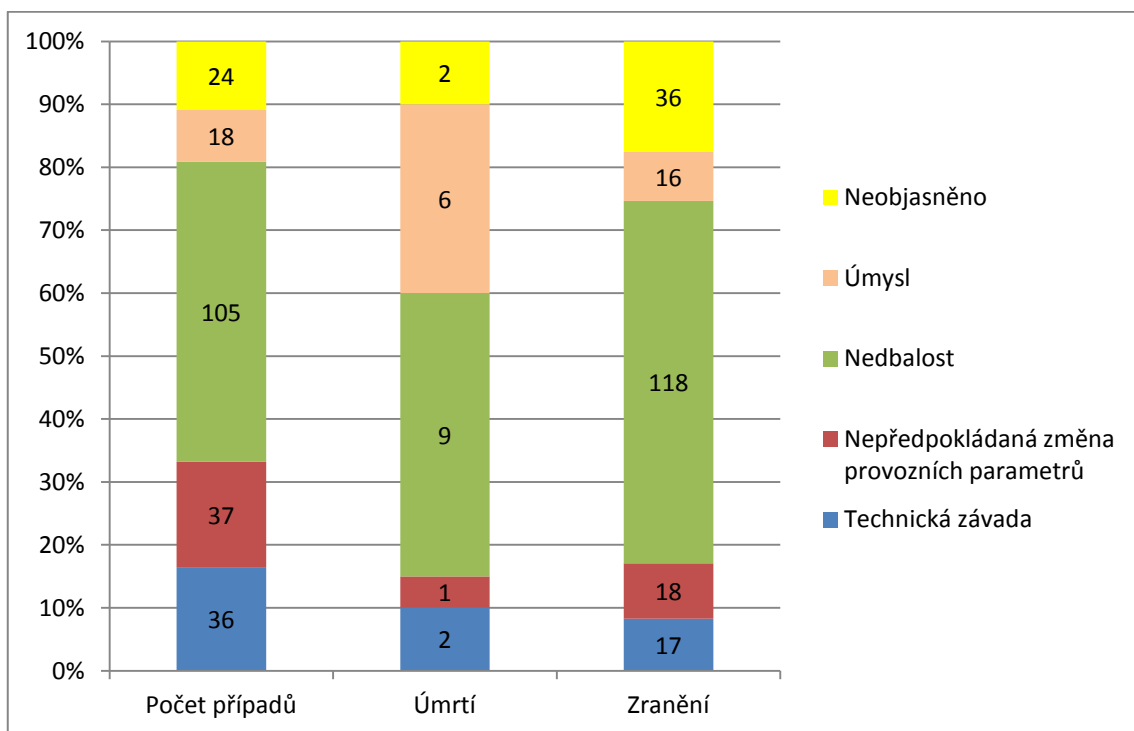
	Technická závada	Nepředpokládaná změna provozních parametrů	Nedbalost	Úmysl
bydlení	21	15	65	14
průmysl	5	12	14	0
technická o.	7	10	19	2
doprava	3	0	7	2

Zdroj: (12)



Obrázek 6 Rozložení hmotných škod jednotlivých příčin (tis.Kč)

Zdroj: (12)



Obrázek 7 Rozložení lidských škod jednotlivých příčin

Zdroj: (12)

Tabulka 5 Typy výbuchů a jejich příčiny

	Technická závada	Nepředpokládaná změna provozních parametrů	Nedbalost	Úmysl	Neobjasněno
Plyn	15	11	43	5	16
Páry hořlavých kapalin	3	12	36	7	3
Prach	0	3	3	0	1
Elektrické zařízení	5	1	0	0	1
Tlakové nádoby	11	10	20	2	3
Výbušniny	0	3	6	3	2

Zdroj: (12)

Tabulka 6 Iniciátory jednotlivých typů výbuchů

	Plyn	Páry hořlavých kapalin	Prach	El.zařízení	Tlakové nádoby	Výbušniny
Otevřený oheň	22	11	-	-	7	2
Hořáky	12	6	-	-	2	-
El.energie	14	9	-	4	6	-
Statická el.	2	3	-	-	-	-
Jiskra	8	11	3	-	14	-
Horký povrch	6	3	2	1	6	2
Sálavé teplo	1	3	-	-	3	-
Neobjasněný iniciátor	20	10	1	1	5	4
Jiné	3	3	2	-	3	6

*Zdroj: (12)***Tabulka 7 Neobjasněné příčiny a iniciátory**

	Neobjasněná příčina	Neobjasněný iniciátor	Úmrtí	Zranění	Škoda (tis.Kč)
bydlení	11	16	0	17	10,925
průmysl	8	13	2	15	7,403
technická	3	9	0	2	1,601
doprava	2	4	0	2	10
součet	24	42	2	36	19,939

*Zdroj: (12)***Tabulka 8 Iniciátory pro jednotlivé oblasti**

	Otevřený oheň	hořáky	elektřina	Statická elektřina	jiskra	Horký povrch	Sálavé teplo	sváření
bydlení	22	18	15	1	22	11	3	2
průmysl	0	2	6	3	7	2	0	2
technická	4	0	8	1	8	7	0	2
doprava	6	0	4	0	0	0	1	1

Zdroj: (12)

3.2 Vyšetřování případů výbuchů

Tato část je věnována vypracovanému textu, založenému na syntéze informací a dat z českých i zahraničních zdrojů, využitelný k vytvoření potřebné kapitoly připravované metodické příručky. Stěžejními pro vypracování tohoto textu, věnujícímu se obecně formám vyšetřování výbuchů i konkrétně vyšetřování u jejich jednotlivých typů, byly praktické, terénní zkušenosti odborníků ze zkoumaných oblastí, kde k výbuchům dochází.

Následující část je zaměřena na aspekty vyšetřování požárů, ke kterým došlo následkem různých typů výbuchů. Jednotlivé typy výbuchů – výbuchy plynů, par hořlavých kapalin, prachů, tlakových nádob a zařízení a výbušnin mají své charakteristické projevy a specifika, která jsou nutná při vyšetřování zohlednit. I přes tyto odlišnosti jsou jim však některé projevy společné a tím i činnosti vyšetřovatele při jejich hodnocení. Samotné cíle vyšetřování se od běžného vyšetřování požáru neliší. Konkrétně jde o zjištění:

- Místa vzniku
- Paliva a způsobu iniciace
- Příčiny
- Stanovení odpovědnosti

Úvodní oddíl této části bude proto věnován těm metodám vyšetřování, zdrojům informací a způsobům ohledání místa výbuchu, které jsou u všech výše vyjmenovaných typů výbuchů stejné. Ke shromažďování těchto postupů a pomůcek prakticky využitých k objasnění jednotlivých případů výbuchů bylo, vedle NFPA 921, využito zejména Spisů o požárech konkrétních případů.

3.2.1 Obecné metody vyšetřování

Velké procento případů požárů způsobených výbuchem je, hlavně co se týče typu výbuchu, poměrně snadno objasnitelných jasnou souvislostí s činnostmi výbuchu předcházejícími (lepení koberců pomocí těkavých lepidel, výkopové práce u

plynovodu) a látkami a materiály na místě přítomnými, a zároveň vyloučením paliv a materiálů, které se na místě výbuchu prokazatelně nenacházely. Tato skutečnost je dána rovněž tím, že většina výbuchů nezpůsobí destrukční jevy na velké ploše ani rozsáhlé požáry. Epicentrum výbuchu je tím snadno lokalizovatelné a zjištěním materiálů v epicentru přítomných i zjistitelný typ výbuchu. I u výbuchů u nichž není komplikované zjistit jeho palivo, může v dalším kroku nastat nesnadné objasňování iniciátoru výbuchu a jeho příčiny (technická závada, nedbalost) a z toho plynoucí odpovědnost za vzniklé škody. Iniciátor výbuchu zůstává často neobjasněn, rovněž z důvodu nemožnosti jednoznačně vyloučit elektrický výboj, nedopalek cigarety a jiné možné, ale těžko prokazatelné iniciátory.

Téměř každoročně ovšem dochází k případům výbuchů, při nichž dochází k destrukcím celých budov a objektů a následným rozsáhlým požárům. Samotné identifikování místa vzniku si zde nezřídka vyžádá ojedinělé vyšetřovací metody, zahrnující vytvoření celého vyšetřovacího týmu ve spolupráci se specializovanými odborníky.

3.2.1.1 Svědecké výpovědi

Jedním z nejrozšířenějších a zároveň nezastupitelných zdrojů informací, využitých takřka při každém vyšetřování požárů a výbuchů, je výslech svědků a zúčastněných osob. Bez tohoto zdroje informací by mnoho případů muselo zůstat spolehlivě neobjasněných anebo by jejich objasnění bylo velmi ztíženo. Výslechnutí svědků je natolik klíčovou činností pro další postup ve vyšetřování výbuchů a požárů, že si bez diskuse zaslouží zvýšenou pozornost. Rozsah této práce dovoluje zmínit jen základní praktické zkušenosti a metody.

Komplexní výslech svědků a bezprostředně zúčastněných osob, je zpravidla se všemi náležitostmi potřebnými k učinění zápisu veden příslušníky Policie ČR a to většinou s určitým časovým odstupem od vzniku události. I pokud je tento odstup jen několikahodinový, získání přímých informací bezprostředně po výbuchu či požáru je často nenahraditelné. Pokud je zúčastněný schopen podávat informace, zpravidla je pod

dojem události ochoten říci i informace, které po opětovném nabytí duševní stability má důvod skrývat a nezřídka je při následném výslechu popře.

Svědky mohou být rovněž osoby, které nejsou zainteresovány danou událostí a jenom procházely kolem. Je nezbytné podchytit takové osoby, než opustí místo události a zjistit alespoň jejich jméno a kontaktní telefonní číslo, pro možnost dalšího upřesnění informací. Výslechy dětí lze provádět pouze za přítomnosti jejich zákonných zástupců (netýká se pouze informační komunikace na místě události). Samostatnou kapitolou je pak vytěžování informací od zasahujících příslušníků jednotek HZS.

V komunikaci se svědky by si měl každý vyšetřovatel osvojit a znát základní psychologické přístupy a způsoby interakce při vedení výslechu a vyhodnocení obdržených informací k maximalizaci zisku. Mezi základní pravidla vedení výslechu patří zejména: nechat svědeckou osobu mluvit bez přerušování a klást dotazy až po souvislé výpovědi, mít předem ujasněnou představu bodů, ke kterým se má osoba vyjádřit a vyvarovat se sugestivních otázek navádějících k určité odpovědi (31). K základním schopnostem vyšetřovatele při komunikaci se svědeckou osobou patří:

- schopnost orientačního odhadu osobnosti
- schopnost laického posouzení relevantnosti výpovědi
- schopnost klást otázky
- schopnost motivovat ochotu podávat informace
- schopnost komunikovat s osobou ve stresu

Přestože pro jednání a komunikaci či přímo výslech svědka nejsou z hlediska psychologie pro množství proměnných konkrétní návody a schémata, jako všeobecně nejúčinnější psychologický postup pro úspěšné vytěžení svědka události či zainteresované osoby uváděn empatický lidský přístup a zdvořilost s projevovanou akceptací dané osoby (31). I bez univerzálních návodů lze však mít pro vytěžování svědeckých osob u výbuchu či požáru sestavený určitý výčet základních otázek, které se u většiny případů opakují. Tyto otázky jsou zaměřeny v největší míře na získání informací o charakteru využití objektu, činnostech bezprostředně předcházejících výbuchu, přítomných osobách a jejich pohybu, materiálech, zařízeních a jejich poloze

atd. Tato pomůcka může vyšetřovateli napomoci nezapomenout v množství vjemů na důležité jednotlivosti. (19)

3.2.1.2 Ohledání místa výbuchu

Další nezbytností u každého případu je samotné ohledání požářiště. Pro případy výbuchů je specifické, že ohledání neprobíhá jen na území zasaženém požárem, ale je nutné tuto oblast rozšířit i o okolní prostor vystavený dopadu trosek a materiálů vymrštěných výbušným tlakem. První činností by tedy mělo být ohraničení vyšetřovaného prostoru bezpečnostní páskou a spolu s příslušníky Policie ČR zamezení vstupu nepovolaných osob. Pro toto vymezení je uváděn vnější obvod ve vzdálenosti $1\frac{1}{2}$ násobku nejvzdálenější nalezené trosky. (1)

Pro postup a směřování ohledání je důležité zejména prvotní určení typu výbuchu (plyn, výbušnina aj.), podle nějž se liší sledované a hledané skutečnosti a změny na materiálech a konstrukcích. Při ohledání, během něhož nezřídka ještě probíhají dohašovací práce, je nezbytná komunikace s velitelem zásahu a zasahující jednotkou. Zvláště pokud vyšetřovatel usuzuje z prvotního ohledání a získaných informací na určitý typ výbuchu je důležité komunikovat se zasahujícími příslušníky o předmětech a podobě možných stop a potřebě zadokumentování těchto stop předtím než s nimi bude manipulováno. Při příjezdu na místo výbuchu by měl vyšetřovatel cíleně získat od zasahující jednotky informace o činnostech (zvláště invazivního charakteru), které byly na místě výbuchu prováděny před jeho příjezdem a těch, které velitel zásahu plánuje. Informace o přemístění trosek, poloze či podobě trosek před jejich manipulací během likvidačních a záchranných prací může být důležitým vodítkem pro další vyšetřování.

Nejčastěji probíhá ohledání samotným vyšetřovatelem (výbuchy malých rozměrů). U případů větších výbuchů (s větší zasaženou plochou, či rozsáhlým územím dopadu trosek), je potřeba týmová spolupráce, která by měla být řízena jednou osobou. Taktika ohledání sestává zpravidla ze statické fáze – *orientačního ohledání*, při němž

vyšetřovatel nabývá představu o rozsahu události, objektů či prostoru a analyzuje první údaje svědčící o charakteru výbuchu. Následujícím krokem je *ohledání detailní*. (32)

Způsob ohledání je volen podle charakteru a rozsahu vyšetřovaného prostoru. Může jít o **způsob koncentrický** – spirálovitý postup od vnějšího okraje prostoru k jeho středu (od méně poškozených částí po nejvíce). Opačný **způsob excentrický**, vhodný např. pro dohledávání částí určitého materiálu, který byl původně v epicentru výbuchu. **Frontální způsob** rojnicí, nebo **rajónový způsob**, kdy je území rozděleno do úseků či sektorů. Často je nutnost použít pro maximální efektivitu více způsobů. (1, 32)

Odlišnost ohledání místa výbuchu od ohledání prostého požáru spočívá zejména ve vyhledávání a posuzování působení a následků tlakového působení na materiály a konstrukce. Tyto výbušným tlakem vytvořené destrukce, deformace a posuny jsou vyhodnocovány v první řadě za účelem určení místa vzniku výbuchu – tzv. epicentra. Pro správné vyhodnocení povýbuchových stop je nezbytné orientovat se v základních fyzikálních mechanizmech chování tlakových vln při kontaktu s překážkami. Je nutné ovládat možnosti změn směru, odrazů a interferencí v závislosti na tvaru a poloze překážky, druhu výbušné reakce (detonace, deflagrace) a ventilaci výbušného přetlaku stavebními otvory.

Určení epicentra či místa iniciace výbušné směsi probíhá při znalosti těchto faktorů přirozeným skládáním tzv. silových vektorů – tj. předpokládaných směrů a sil působení tlakových vln na překážku. Poškození materiálů a konstrukcí zahrnuje nižší škody: posunutí, vyboulení stěn nebo jejich porážení bez poškození, nadzvednutí podlah a střeš, vyražení oken (někdy bez rozbití skel), obecně větší trosky odhozené na malou vzdálenost a vyšší škody: rozboření konstrukce, stěny, střechy a konstrukční prvky rozpraskané a pobořené, vytvoření malých trosek a jejich odhození na velkou vzdálenost. Tyto indicie musí být samozřejmě zasazeny do celkového obrazu spolu se znalostí způsobu výbušné reakce daného paliva a jeho předpokládaného množství. (1)

Při některých typech výbuchů, zvláště nelokalizovaných (plyny, prachy, páry hořlavých kapalin) nemůže být často epicentrum stanoveno konkrétněji než na určitou místnost či její část.

Tabulka 9 Orientační posouzení hodnot výbušného tlaku

P m (kPa)	Účinek
do 0,5	Žádné poškození
0,5 – 1	Malé poškození okenních výplní (pouze část, praskliny skel bez vysypání trosek apod.)
1 – 2	Větší poškození okenních výplní, dílčí vysypání trosek skel
2 – 5	Částečné poškození rámu dveří a oken, porušení omítky a vnitřních dřevěných příček
5 – 20	Zničení oken, poškození lehkých staveb a běžných zděných staveb
10 – 30	Částečné rozrušení staveb převážně přízemní zástavby rodinných domů
20 – 30	Značné rozrušení městských vícepodlažních staveb

Zdroj: (33)

U některých případů musí vyšetřovatel řešit obtížnou otázku, zda k výbuchu došlo až následkem požáru, či naopak. Kromě svědeckých výpovědí je pro objasnění této otázky uváděna možnost analýzy výbuchem odhozených trosek, zejména střepin skla. Na těchto materiálech jsou hledány stopy ohoření či sazí, svědčící o požáru, který probíhal již před výbuchem. Čisté části materiálů, které se před výbuchem prokazatelně nacházely v místě požáru, svědčí naopak o primárním výbuchu. Analyzovány mohou být rovněž stopy tečení tavných materiálů (plasty, hliníkové plechy) a jejich opětovné ztuhnutí v souvislosti s jejich polohou. Například tepelným působením požáru stékající plast na stojícím objektu vytvoří jiné stopy, než pokud byl daný objekt již výbuchem poražen k zemi. (1)

3.2.1.3 Dokumentace ohledání

Ohledání místa výbuchu postupuje vždy společně s jeho dokumentací. Podobně jako při ohledání je i při fotografické dokumentaci potřeba zachytit nejprve místo výbuchu v celkových pohledech, dokumentujících charakter objektu či prostoru a jeho zasazení do okolí. Celkový pohled by měl umožňovat vytvoření představy o členění objektu a vzájemných rozměrových poměrech. (32) Vhodné je rovněž zaznamenat

osoby přihlížející záchranným a likvidačním pracím, a to zejména při zvláštních okolnostech vzniku výbuchu nevylučujících úmyslnou iniciaci. Následně jsou zaznamenávány polodetaily, dokumentující jednotlivé objekty či trosky a jejich polohy vůči okolí. Naposled pak detailní dokumentace poškození a stop (nejlépe s přiloženým měřítkem), spolu s dalšími podrobnostmi potřebnými pro vytvoření celkového obrazu události. (32) U rozlehlých a složitých ploch je pro celkovou orientaci využít výškovou techniku a nafotit plochu z výšky.

Fotografická dokumentace je dynamická činnost, která probíhá souběžně s ohledáním. Objekty a materiály, jež mají být předmětem zkoumání, by měli být zdokumentovány bez předchozí manipulace s číselným značením. Rovněž při odkrývání vrstev sesutého materiálu je vhodné jednotlivé odkryté vrstvy dokumentovat. (1, 8, 32)

Při ohledání místa výbuchu a jeho okolí vyvstává často nutnost vytvoření orientačního náčrtku prostoru, do něž jsou zaznamenávány jednotlivé nalezené předměty a materiály zkoumané z hlediska souvislosti se vznikem výbuchu. Identické materiály, pocházející ze stejného objektu by měli být v náčrtku označeny stejně. (1, 8)

V případě potřeby je u orientačně složitějších objektů, či objektů rozsáhleji zasažených výbuchem a požárem (ale nejen u nich), možnost využít dokumentaci sférickou kamerou Spheron, kterou vlastní a provozuje TÚPO Praha. Jedná se o kameru, která je, společně s obslužným programem R2S, schopna vytvořit digitální sférický snímek v záběru 360°. Tento snímek je, díky rozlišení kamery, vysoce detailní. V PC pak snímek umožňuje interaktivní procházení nasnímaným objektem spolu s měřením vzdáleností a možností přibližování objektů a detailů do snímku přidaných. (34) Tato kamera již byla využita u některých větších případů požárů: Tržnice SAPA, levé křídlo Průmyslového paláce na pražském výstavišti, AKUMA v Mladé Boleslavi. Byla rovněž využita k virtuální dokumentaci továrního objektu při výbuchu a požáru v pardubické Synthesii.

Jedním z nejprůkaznějších, ale jen vyjíměčně se vyskytujících dokumentačních a informačních zdrojů je videozáznam průmyslové a bezpečnostní kamery. Se systémem kamerového sledování objektů se můžeme často setkat u průmyslových a administrativních objektů, ale stále více je používán i na veřejných prostranstvích

obytných městských čtvrtí. Monitorovány jsou frekventované křižovatky, parkoviště i jiné zájmové prostory. Kamery monitorovacího systému jsou většinou umístěny ve vyšších polohách a často zabírají i někdy značnou část okolí. Vyšetřovatel by na místě případu neměl zapomenout na tuto možnost a cíleně přítomnost kamer zjišťovat.

Videozáznam průmyslové kamery například podstatnou měrou napomohl ve vyšetřování explozivního hoření při údržbě na dopravním letadle v monitorovaném hangáru pražského ruzyňského letiště.

3.2.1.4 Odborná konzultace

Výbuch může být způsoben technickou závadou přístroje či zařízení, nebo chybou v technologickém postupu jak v průmyslové a technické oblasti, tak i v domácnostech. Konzultace se specialisty dané problematiky je někdy nutností. Odborníci specializující se na daný proces či zařízení mají detailní informace a často nikde neuvedené zkušenosti ohledně závad, slabostí a možností vzniku havarijní situace vlivem různých závad a také velice často ohledně lidských chyb a nedbalosti.

Pro potřeby vyšetřovatele případu výbuchu může být využito odborných znalostí statiků či odborníků přímo na odolnost materiálů a konstrukcí na výbušné tlaky, plynárenské a elektrikářské pohotovosti, revizních techniků tlakových nádob a zařízení, pyrotechniků, preventistů požární ochrany, lékařů, chemiků a dalších. (1)

3.2.2 Vyšetřování u jednotlivých typů výbuchů

3.2.2.1 Výbuchy plynů

Úniky plynu mají největší podíl na celkovém počtu případů výbuchů. Takřka výhradně se jedná o zemní plyn a propan-butan. Důvodem tohoto faktu je logicky jejich běžné, všeobecné používání ve všech oblastech. V současné době je, díky kompletní plynofikaci, jako topný plyn využíván výhradně zemní plyn, propan-butan z podzemních či nadzemních zásobníků či lahví je k tomuto účelu využíván ojediněle

v odlehlých oblastech, kam by zavedení zemního plynu nebylo ekonomické. V této části se chci věnovat problematice úniků zemního plynu a únikům propan-butanu následně v části věnované tlakovým nádobám a zařízením. Informace pro tuto část jsem čerpal zejména z konzultací s odborníky z Pražské plynárenské a.s. panem Michalem Zavadilem, vedoucím odboru provozu distribuční soustavy a panem Ivo Kultem, vedoucím odboru pohotovosti. Dále bylo pro zpracování této části využito odborné literatury věnující se této problematice.

Spotřebitelskou plynovodní síť lze rozdělit na podzemní část, kterou vlastní a provozuje distributor plynu, a domovní či objektový plynovod, za který nese zodpovědnost jako vlastník majitel objektu. Domovní plynovod je zakončen odběrným plynovým zařízením. (35)

3.2.2.1.1 Úniky plynu z podzemního plynovodu

Spotřebitelská podzemní plynovodní síť je tvořena středotlakým a nízkotlakým potrubím zakončeným regulátorem a hlavním uzávěrem plynu v objektu. Odhadem odborníků je v současné době cca polovina spotřebitelského plynovodního potrubí tvořena ocelovým potrubím, přičemž stále probíhá jeho plánované nahrazování potrubím plastovým. S touto výměnou bylo započato v 90tých letech minulého století, přičemž při velkém stavebním rozmachu těchto let docházelo v nové výstavbě již rovnou ke kladení plastového potrubí. V malých obcích a vesnicích je již plyn veden zpravidla v plastových rozvodech. Komplikovanější je výměna v městských aglomeracích, kde je ještě občas možné narazit na, dnes již nevyhovující litinové potrubí. Historickým urbanistickým vývojem vznikla v podzemí měst komplikovaná síť infrastruktury. Orientace v plynovodním vedení, materiálech a trasách není v plánech jednoznačná. Úpravy, výměny a rozšiřování sítě bylo v různých obdobích různě dokumentováno, přičemž zpravidla největší nedostatky v dokumentaci a plánech vykazují úpravy kolem 70tých let minulého století. Dynamikou výstavby městských částí vznikla komplikovaná plynovodní síť, kdy v jedné ulici může být hned několik různětlakých vedení z odlišných materiálů.

Ocelové zůstaly některé páteřní středotlaké rozvody a rovněž prostupy skrz zdi objektů jsou tvořeny ocelovým potrubím, přičemž plastové potrubí končí zhruba 1m před objektem. Kombinované plastové a ocelové potrubí není výjimkou a jejich spoje jsou řešeny speciálními přechodovými spojkami, na nichž dosud nebyly zjištěny žádné závady.

Výměna ocelového potrubí distribučními společnostmi vychází z harmonogramu obnovy a jsou zde zejména upřednostňovány části vedení, u nichž bylo při kontrolách detekováno určité množství unikajícího plynu, či u kterých byl jiným způsobem (výkopové práce) zjištěn prehavarijní stav. U ocelového potrubí spočívá přirozené nebezpečí v úbytku materiálu korozi. K té dochází přirozenými chemickými pochody vyvolanými půdní vlhkostí nebo jejím agresivním složením a rovněž podzemním vedením elektrického proudu. Podzemní rozvody elektrické energie nebo bludné proudy vytvářejí v půdě klasickou oxidačně redukční reakci, při níž se kovové potrubí plynovodu chová jako rozpouštějící se anoda. Přítomnost bludných proudů a korozivní stavy potrubí jsou často nalézány v blízkosti kolejové dopravy nad plynovodem. (25)

K zabránění korozivních stavů byl vypracován systém pasivní (izolace, ochranný obal) a aktivní (katodická ochrana) ochrany. (24)

Kontroly plynovodů jsou prováděny plánovaně – celá místní síť 1x ročně tzv. čichacím vozem. Souběžně probíhají i pochůzkové kontroly pomocí detektorů metanu, včetně vnitřků budov, pokud zde potrubí ještě patří distribuční společnosti. Přestože používané detektory nejsou většinou schopné identifikovat jaký druh plynu s obsahem metanu je detekován, plynárenští pracovníci jsou schopni poznat čichem „svůj“ plyn a odlišit ho například od bahenního (rovněž metanového) plynu, vycházejícího většinou z kanalizace. To je dáno tím, že každá z distribučních společností používá k odorování plynu trochu odlišnou látku.

U rozlehlějších oblastí, kde je plynovod veden pod volným prostranstvím (pole), je ke kontrolám využívána, vedle kontrolních pochůzek, i leteckých kontrol identifikujících úniky plynu podle pásů uhynulé vegetace či plodin. (1)

Materiál plastového potrubí byl zprvu uváděn jako nepropustný. Nicméně provozem bylo zjištěno, že i přes tento vysokomolekulární polyetylen dochází k tzv.

prolínání plynu. Ačkoli jsou hodnoty tohoto úniku nepatrné, v tzv. číhačkách (kontrolních dutých sondách, kterými je plynovod osazován) dochází po jejich otevření k detekci úniku plynu. Pro relevantní měření je tedy potřeba číhačku nechat odvětrat. (24)

U ocelového potrubí jsou zaznamenávány úniky plynu nejčastěji v závitových spojích. Korozí a porušení těsnosti má zde souvislost s přechodem vlhkého svítíplynu na suchý zemní plyn a následné vysychání koudele, dříve běžně používané jako těsnění závitových spojů. Úniky z těchto netěsnících spojů nicméně zpravidla nejsou velké.

Větším problémem, co se týče množství uniklého plynu, je rovněž časté porušení potrubí (ocelového i plastového) vlivem povrchových stavebních prací. K porušení potrubí dochází nejčastěji výkopovými pracemi za pomoci těžké techniky. Výsledkem může být jak utržení celé přípojky s masivním únikem plynu tak jen narušení spojů různého rozsahu. (28) Tyto úniky jsou zpravidla pracovníky bezprostředně zaznamenány a vyrozuměna plynárenská pohotovost. Masivní únik plynu je rovněž zaznamenán průtokovými čidly v regulačních stanicích s následným zareagováním bezpečnostních uzávěrů. Tato čidla jsou monitorována 24 hodinovým dispečinkem. (36)

Při výkopových pracích nemusí neopatrností dojít jen k porušení potrubí, ale rovněž jen k odhalení izolace či porušení izolačního asfaltového nátěru. Nekryté potrubí pak je vystaveno korozním vlivům a jeho celostní porušení je jenom otázkou času.

Malé úniky plynu nemusí být vůbec zaznamenány. K tomu může dojít například složením půdy (jílovitá zemina), vysokým obsahem vlhkosti v zemině nebo zmrzlou půdou. Při průchodu zeminou může rovněž dojít k absorpci odorantu a tím ke snížené možnosti identifikace zemního plynu, který je sám o sobě bez zápachu. Plyn může cestovat podél potrubí a může být zaznamenán až stovky metrů od místa úniku. Pod zemí může rovněž vnikat do neutěsněných sklepních prostor či jiných dutých míst (kanalizace, sloupky veřejného osvětlení) a tvořit zde výbušné koncentrace s možností následné iniciace. (1, 37)

3.2.2.1.2 Úniky plynu z nadzemního plynovodu

Nadzemní plynovod zahrnuje plynovodní vedení od hlavního uzávěru plynu po koncové odběrné zařízení. Převažující míra havarijních událostí se týká hlavně plynovodního vedení v obytných objektech. Zatímco podzemní plynovod podléhá údržbě distribučních společností, u domovních nadzemních plynovodů leží za jejich stav na majitelích objektů, kteří by měli zajistit každoroční kontrolu plynovodu v celé jeho délce revizním technikem. V případě zjištěného, i malého, úniku při natlakování potrubí a následné detekci konkrétního místa úniku detektorem by pak měla následovat jeho oprava. Skutečností je, že většina majitelů tyto preventivní kontroly zanedbává a dává tak možnost vzniku skutečných havarijních situací. (35)

V naprosté většině se v domovních plynovodech jedná o ocelové potrubí, a to buď svařované, nebo opatřené závitovými spoji. U svařovaných potrubí se zpravidla úniky plynu objevují jen u připojení hlavních uzávěrů, či plynoměrů. Zde se jedná většinou o stárnutí materiálu, a to nikoli potrubí, ale těsnících prvků uzávěrů či plynoměrů. Pokud nejsou prováděny pravidelné kontroly, dochází po čase k vymáčknutí utaženého těsnění a drobnému propouštění plynu. Tyto úniky jsou snadno ošetřitelné prostým dotažením spoje. Tyto drobné úniky nejsou zpravidla bezprostředně detekovatelné čichem, při delším úniku a možnosti kumulace v dutých prostorech může dojít (nejčastěji ve sklepech), k nahromadění plynu až do koncentrace přesahující spodní mez výbušnosti.

K této možnosti dochází zpravidla ve sklepních prostorech, které jsou nevyužívané, či zcela zastavěné odloženými věcmi znemožňujícími přístup k hlavnímu uzávěru. Kontrolní orgány se k těmto problémovým místům nemohou vůbec dostat a dány majitelem do pořádku jsou tyto prostory často až po požáru či jiné události.

Stav těchto prostor bývá často takový, že do nich nájemníci objektu vůbec nechodí a pokud je zároveň ve sklepě, vlhkost je vytvořeno ideální korozivní prostředí pro postupující narušování plynovodního vedení a jeho součástí, spolu s možností následného hromadění unikajícího plynu.

Zatímco u svařovaných spojů ocelového potrubí bývají úniky pouze u napojení uzávěrů a plynoměrů, u potrubí spojovaného závitovými spoji dochází k únikům ve všech spojích. Podobně jako u podzemního potrubí zde dochází zemním plynem k vysušení koudelky coby původního těsnícího prvku ve šroubovaných spojích a ztrátě těsnících vlastností. Úniky v těchto spojích bývají zpravidla drobné a při možnosti hromadění se v objektech zaregistrované obyvateli objektu. V současné době je zhruba polovina ocelového plynovodního potrubí vedena ve zdi. Při porušení potrubí vlivem stavebních úprav (vrtání apod.), je zpravidla únik plynu zaznamenán okamžitě zvukem unikajícího plynu a zaregistrováním odorantu a je bez prodlení vyrozuměna plynárenská pohotovost.

Plynárenská pohotovost vyjíždí ročně k tisícům nahlášených úniků plynu, z nichž v 90% jde skutečně o únik. Okolo 80% těchto výjezdů se pak týká o únik na nadzemním plynovodu a to většinou v obytných objektech. Ze zkušeností pracovníků plynárenských pohotovostí se zde jedná spíše než o úniky z koncových spotřebičů (průtokových ohřívačů, sporáků či kotlů) o úniky na potrubí domovního plynovodu, většinou nezávažného charakteru.

Závažnost úniku je na místě zhodnocena pracovníky plynárenské pohotovosti podle místa a intenzity detekovaného úniku a zařazena do kategorií podle předpisu TPG 913 01 – *Kontrola těsnosti a činnosti spojené s problematikou úniku plynu na plynovodech a plynovodních přípojkách*. Úniky na nadzemním plynovodu jsou zde rozděleny do tříd PI, PII a PIII. Třída úniku PI je charakterizována naměřenou koncentrací vyšší než 5 obj% vně objektu. Uvnitř objektu jde o jakoukoli koncentraci v místě, kde i tento únik může způsobit kumulaci plynu (duté prostory). Úniky třídy P1 jsou odstraňovány neprodleně. Úniky třídy PII netvořící koncentrací či místem úniku bezprostřední nebezpečí jsou odstraňovány do 6 měsíců a třídy PIII do 12 měsíců. U tříd PII a PIII se jedná o nepatrné úniky charakterizované spíše jako prolínání (permeace) než Únik pod tlakem. (38) Při detekci úniku plynu z domovního plynovodu může být pracovníky plynárenské pohotovosti plynová přípojka do domu uzavřena a vydán zákaz užívání plynovodu do provedené opravy. Stává se však, že majitel objektu tento zákaz

nereflektuje a uzávěr plynu otevře. O každém výjezdu a detekovaném úniku a následných opatřeních je vedena podrobná dokumentace. (37)

Nejjednodušší cestou opravy drobných úniků na domovním plynovodu je jeho přetěsnění napuštěním těsnicí emulzí (Pragotēs), která však garantuje zamezení únikům jen cca na dva roky.

Okolo 10% jsou domovní plynovody tvořeny měděným potrubím. K použití měděného potrubí dochází zpravidla při výměně za ocelové u kompletních rekonstrukcí objektů či v nové výstavbě a plynofikaci. Ačkoli je toto potrubí dražší, je využíváno pro svůj vzhled a zejména pro snadné sestavení dílů lisováním či pájením. Tyto spoje jsou pak podobně bezproblémové jako svařované u ocelového potrubí. Velkým problémem, souvisejícím s vyšší hodnotou tohoto materiálu, se však ukazují krádeže dílů potrubí. Dochází k nim na snadněji dostupných či veřejně přístupných místech objektů a jsou svou povahou nesmírně nebezpečné, neboť při nich dochází k velkým, nekontrolovaným únikům plynu s možností rychlého vytvoření výbušné koncentrace. Tyto případy se přitom stále množí.

I při rekonstrukcích domovních plynovodů však není výjimkou, že dojde k novému potrubí připojení starého, nevyhovujícího plynoměru. K nebezpečným únikům plynu rovněž dochází při tzv. černých odběrech – tj. při překlenutí domovního či bytového plynoměru. K těmto překlenutím dochází na různě kvalitativních úrovních a možnost úniků plynu ve sklepích a stoupačkách je zde vysoká. (38)

Plastovým plynovodním potrubím jsou domovní plynovody tvořeny zatím jen výjimečně.

Při vyšetřování výbuchu plynu v obytných objektech by se měl vyšetřovatel, co se týče plynovodního potrubí po odběrné zařízení, zaměřit na tyto body: Po majiteli by měl vyžadovat dokumentaci provedených kontrol. Tzn. 1x ročně kontrola a jednou za 3 roky revize se zkouškou těsnosti. Měl by se zaměřit na typ potrubí a jeho spojů. Zvláštní pozornost by měla být věnována stavu a funkčnosti hlavního a bytových uzávěrů, stejně jako plynoměrů co se týče stáří a neodborných úprav (překlenutí). Stopy manipulace s plynoměrem mohou být znát na jejich šroubení a okolí. U měděného plynovodního potrubí by se měl zaměřit na možnost chybějících dílů a to zvláště na snadno

přístupných místech. Vyšetřovatel by měl mít na paměti, že místo úniku plynu může být desítky metrů, či několik poschodí vzdálené od místa jeho iniciace. Měl by zohlednit charakter plynu (zemní plyn je lehčí než vzduch a stoupá, Propan-butan v neplynofikovaných oblastech je těžší a drží se při zemi) a možnosti migrace plynu v objektu (větrání). (1)

3.2.2.1.3 Spotřebiče

Nejčastějšími plynovými spotřebiči ohrožujícími možnostmi úniku plynu jsou plynové průtokové ohřivače a sporáky. Jen vyjíměčně dochází k těmto únikům u nových spotřebičů, vyrobených podle současných bezpečnostních nároků a vybavených kvalitními bezpečnostními prvky. K únikům dochází zpravidla u starších spotřebičů. Známy jsou v tomto ohledu zejména 15 – 20 let staré, ale dosud nezřídka se vyskytující, karmy typu Mora 371, 370 s termočlánkem a PO 35 s bimetalovým proužkem jako jisticími prvky. Podobně známé jsou v tomto ohledu plynové kotle typu Mora 673, 674 a 676. (Způsoby úniků plynu u plynových kotlů jsou popsány v oddíle *Topné kotle*).

U průtokových ohřivačů s bimetalovým proužkem dochází časem u tohoto prvku ke stárnutí, únavě materiálu a ztrátou pružnosti k nefunkčnosti, Spojovací ústrojí u tohoto typu rovněž podléhá korozi a následné ztrátě pohyblivosti převodového táhla zajišťujícího uzavření přívodu plynu při zhasnutí plamene. (26)

U průtokových ohřivačů se revizní technici často setkávají s cíleným vyřazením termočlánku, stářím zhoršujícího svou funkci a periodicky způsobujícího zhasínání plamene a uzavírání přívodu plynu. Při vyřazení tohoto bezpečnostního prvku připojeného na bezpečnostní termostat a spalinové čidlo dochází při zhasnutí plamínku (např. průvanem) k nekontrolovanému úniku plynu s možností následné iniciace.

Další častou příčinou úniku plynu u průtokových ohřivačů je porucha membránového ventilu, jehož funkcí je zastavení přívodu plynu při zastavení průtoku vody. Při poruše membrány nedochází při malém průtoku vody k uzavření plynu a ten uniká i při zhasnutí plamínku. Při následném zapnutí vody dojde k opětovnému zapálení

plamínku a iniciaci nahromaděného plynu. K úniku může rovněž dojít při závadě na trysce či v místě napojení spotřebiče k plynovodu (např. při sejmutí karmy a opětovném neodborném připojení po malování či stavebních úpravách). (24)

Spolu s chodem průtokových ohřívačů a plynových kotlů je spojeno nebezpečí hromadění oxidu uhelnatého (CO). Oxid uhelnatý je smrtelně nebezpečný svou toxicitou a z toho plynoucí možnosti otravy, ale rovněž svou výbušností, ačkoli je výbušný až od 12,50 obj.%, zatímco okamžité bezvědomí a následná smrt nastává již při 1,28 obj.%. (39)

K hromadění CO dochází hlavně při nefungujícím odtahu spalin spotřebičů, či naopak nedostatečném přísunu kyslíku. Odtah spalin může být znemožněn neprůchodností komínového tělesa, či vytvořením podtlaku vlivem např. silného odsavače par nebo ventilátoru v jiné části bytu. Komínový efekt může být rovněž zrušen specifickými klimatickými podmínkami – velké teplo, změna tlaku, inverze, které zabrání oxidu uhelnatému jen o 0,8 obj.% lehčímu než vzduch ve stoupání odvodem spalin. Tyto podmínky jsou zpravidla zaznamenány pracovníky plynárenských pohotovostí zvýšenou výjezdovostí. Dalším důvodem pro vývin CO je nevhodná instalace a umístění spotřebiče v místě, kde není dostatečný přívod kyslíku. Spalováním dochází k poklesu kyslíku pod 16 obj.% a následkem toho k vysoce nedokonalému spalování. Detektory CO jsou osazovány jen dražší spotřebiče. Vzhledem k tomu, že jejich používání není povinné, nacházejí se spíše v komerčních prostorách, zatímco v domácnostech jen vyjímečně. (27, 40)

Nebezpečí úniku plynu u sporáků je, podobně jako u průtokových ohřívačů, spojeno se staršími spotřebiči. Zatímco u nových jsou bezpečnostní prvky jako tepelná pojistka či přívodní hadice s protipožární odolností již povinností, starší spotřebiče je často nemají. (41) Tím je umožněn únik plynu při zhasnutí plamene hořáku průvanem či vzkypěním připravovaných potravin. U letitých sporáků rovněž dochází k opotřebení mosazných uzávěrů a poruše jejich těsnosti.

U všech spotřebičů by se měl vyšetřovatel soustředit vedle zjišťování způsobu jejich používání a funkčnosti jejich ochranných prvků také na polohu ovládacích prvků (otevřeno/zavřeno) a jejich stav zdokumentovat.

3.2.2.2 Výbuchy par hořlavých kapalin

Výbuchy způsobené iniciací par hořlavých kapalin zasahují do všech oblastí, kde jsou tyto látky používány. Dochází k nim hlavně v domácnostech a s nimi spojenými službami a činnostmi, ale i v průmyslu a komerční sféře. Po výbuších plynu je to nejčastější typ výbuchu a vzhledem k tomu, že charakter výbuchu par hořlavých kapalin se od výbuchu plynu prakticky neliší, bývají často zmiňovány dohromady. (8)

Co se týče následků v podobě smrtelných či jiných úrazů jsou však nejnebezpečnější, což je důsledek jejich časté bezprostřední návaznosti na lidskou činnost. Ve většině případů je tak vyšetřování výbuchů par hořlavých kapalin nekomplikovanou záležitostí co se týče určení typu výbuchu a vyřešení otázky, zda požár předcházel výbuchu či nikoli. Klíčovým je při tomto vyšetřování většinou výslech přítomných osob, jejichž činností často k výbuchu došlo. Často se ovšem stává, že výslech může být učiněn až po zdravotní stabilizaci svědka a provádí jej příslušníci Policie ČR. Vyšetřovatel by se měl s příslušníkem provádějícím následný výslech předem domluvit ohledně vyšetřovaných verzí příčiny vzniku výbuchu a požáru a směřování výslechu.

Komplikace mohou nastat při určení iniciátoru výbuchu. Ze statistického šetření vyplývá, že počet neobjasněných iniciátorů je u tohoto typu výbuchu vysoký, což je dáno častou přítomností hned několika z nich na místě výbuchu a nemožností jejich jednoznačného vyloučení. Komplikace rovněž nezřídka nastávají při určení odpovědnosti za způsobení výbuchu, pokud se v místě výbuchu pohybovalo a vykonávalo činnost více osob. Vedle nekomplikovaných případů může samozřejmě dojít i k složitým případům s množstvím vyšetřovaných verzí.

Míra požárního nebezpečí hořlavých kapalin je zpravidla určována teplotou vzplanutí dané kapaliny (v ČR jsou čtyři třídy nebezpečnosti s teplotními hranicemi 21°C, 55°C, 100°C a 250°C). Míra nebezpečnosti hořlavých kapalin ve smyslu výbušnosti jejich par je dána jejich těkavostí (výparností) a mezemi výbušnosti. (42) Výparnost hořlavých kapalin (která úzce souvisí s bodem varu dané kapaliny) velmi často závisí na okolních podmínkách – teplotě a vzdušné vlhkosti. Všeobecně se

kapaliny lépe vypařují v suchém a horkém počasí. (43, 44) Lze říci, že výbušnou atmosféru může vytvořit jakákoli vypařující se hořlavá kapalina. Obecně pak platí tyto vztahy pro určení těkavosti hořlavých kapalin:

Tabulka 10 Posouzení míry těkavosti hořlavých kapalin

Bod varu	Těkavost látky
40 – 70 °C	Velmi těkavé látky s vysokou tenzí par
70 – 90 °C	Středně těkavé látky
100 a více °C	Málo těkavé látky s nízkou tenzí par

Zdroj: (43)

Další šíření par hořlavých kapalin je závislé na jejich hustotě. U většiny par hořlavých kapalin je jejich průměrná hustota větší než hustota vzduchu, přičemž platí, že čím je hustota par větší, tím rychleji klesají dolů a šíří se do stran. Hustota je dána tlakem par kapaliny, který závisí na teplotě. Páry s menší hustotou než vzduch stoupají vzhůru. U rozlitých hoř. kapalin záleží dále na velikosti jejich výparné plochy. (10)

Nejpoužívanější a na celkovém počtu výbuchů par se nejvíce podílející hořlavé kapaliny jsou ředidla a organická rozpouštědla a benzín. Výbuchy par těchto látek tvoří okolo 85% všech případů.

Tabulka 11 PTCH vybraných hořlavých kapalin

Látka	Teplota vzplanutí °C	Hustota Kg.m ³	Bod varu °C	Dolní mez výbušnosti obj.%	Horní mez výbušnosti obj.%
Automobilový benzín	-20	720	30	0,7	8
Technický benzín	-11	680-720	90	0,8	7
Toluen	4	866,9	33	1,3	6,7
Aceton	-18	790,8	56	2,2	13
Ethanol	13	789,3	14	3,6	19
Ethylacetát	2	881	77,1	3,5	6,8
o-xylen	17	880,2	137	1	7

Zdroj: (42)

Benzín – je používán jako palivo v zážehových spalovacích motorech (automobilový benzín), nebo jako rozpouštědlo pro čištění povrchů či ředění nátěrových hmot (technický benzín). Zatímco automobilový benzín je (v soukromém sektoru) zpravidla skladován v garážích, kůlnách a sklepech, technický benzín lze nalézt prakticky všude, včetně obytných prostor. Větší počet případů se nicméně týká automobilového benzínu, a to pro jeho skladované a používané objemy.

Benzín je těkavější než nafta (bod varu 163°C) a jeho páry těžší než vzduch. Proto se jeho páry drží při zemi a vyplňují zahloubené prostory (jímky, montážní jámy apod.). Pro jeho schopnost explozivního hoření je nejčastější látkou používanou pro výrobu zápalných lahví, při pokusech o úmyslné zapálení cizího majetku. Při použití skleněné lahve jsou vodítkem pro vyšetřovatele nalezené střepty, při použití plastové lahve, která působením požáru zcela zmizí, je možné za pomoci policejního psa na vyhledávání akceleračních hoření identifikovat stopy použité zápalné látky v místě přípravy materiálu pachatelem, či okolo objektu (nejčastěji automobil) a pod ním v místech kde by se neměla vyskytovat (stopy benzínu v místech, kde není palivová soustava vozidla, popř. benzínové stopy na vozidle s naftovým motorem).

V oblasti údržby vozidel se lze setkat s výbuchem benzínových výparů v souvislosti se svařováním či broušením na motocyklových či automobilových palivových nádržích. I při jejich vyprázdnění zůstává vnitřní prostor nádrže vyplněn palivovými výparů, které výše zmíněné práce spolehlivě iniciují. Naprosto bezpečná není tato činnost ani po propláchnutí nádrže.

Nejčastějším iniciátorem benzínových par je podle statistického šetření broušení s vývinem mechanických jisker. K iniciaci tímto způsobem dochází nejčastěji v garážích či jiných prostorech, kde jsou prováděny údržbářské práce na motorových dopravních prostředcích (autoservisy), a kde je zároveň benzín v nádobách skladován. K vývinu par dochází zpravidla při rozliti či přečerpávání paliva, nebo nedokonalém uzavření skladovacích nádob. Mezi další iniciátory v podobných prostorech patří svařování, a to jak produkováním jisker či elektrického oblouku, tak tvorbou horkého povrchu, na němž je svařováno. U několika případů byl rovněž iniciátorem výbuchu benzínových par horký povrch halogenových či jiných svítidel. Dalšími

zaznamenanými iniciátory jsou elektrické jiskry od autoelektriky či rozpojovací elektrický oblouk a otevřený oheň (zapalovač, hořáky).

K explozivnímu hoření par rozlitého paliva došlo rovněž v několika případech výbojem statické elektřiny, zpravidla indukovanou textilním materiálem. Pokud je statická elektřina jako iniciátor výbuchu jednou z vyšetřovaných verzí, je nutné odebrat dotýcným pracovníkům jejich pracovní oděv a podrobit ho expertize na odborném pracovišti, zaměřené na tuto možnost. Kromě oděvu došlo k iniciaci benzínových par i textilním filtrem vzduchotechniky či kobercem ve vozidle.

Podobně jako u palivových nádrží motorových vozidel dochází občas k výbuchu par benzínu, ale i jiných těkavých látek, při rozbrušování či svařování na prázdných sudech od těchto látek. Jednou z občasných, ale ne vyjímečných, iniciací benzínových par i par ředidel, je jejich použití pro snazší zapálení paliva v kotlích na tuhá paliva. Při polití paliva benzínem či ředidlem však dochází k velmi rychlému odparu těkavých složek látek a následné zapálení otevřeným ohněm se tak týká hlavně výparů s následnou explozí. V souvislosti s těmito případy je nutné poznamenat, že naprostá většina výbuchů par hořlavých kapalin je spojena s nedbalostí či porušením bezpečnostních předpisů při manipulaci s těmito látkami. Většinou se jedná o neodstranění iniciačních zdrojů z blízkosti manipulace s hořlavinami. Tyto nedbalosti dominují zvláště v soukromém sektoru a domácnostech. V průmyslových provozech a skladech, kde se tyto látky vyskytují je zpravidla lepší povědomí o rizicích s nimi spojenými, a také normami upravené způsoby manipulace a ochrany.

Ředidla – tyto látky jsou tvořeny organickými rozpouštědly a jsou využívány k ředění nátěrových hmot a lepidel, k čištění a odstraňování starých nátěrů. Nejčastějšími rozpouštědly jsou: toluen, aceton, ethanol, ethylacetát a xylen. Tyto látky jsou rovněž součástí mnoha barev a nátěrových hmot, lepidel a tmelů. Odhaduje se, že polovina ze 100 000 tun nátěrových hmot použitých ročně v ČR, je tvořena těkavými organickými látkami, které unikají do ovzduší. (45) Vzhledem k této ekologické zátěži je mezinárodně vyvíjena snaha o nahrazení rozpouštědlových nátěrových hmot a lepidel za vodouředitelné bez organických rozpouštědel. Důvody pro stále ještě běžné

používání rozpouštědlových přípravků jsou spojeny s jejich výhodami – vodouředitelné laky a nátěrové hmoty mají např. až trojnásobně delší dobu vytvrzení a jsou rovněž náročnější na aplikaci.

Iniciačních zdrojů je, podobně jako u benzínu, široké spektrum a jsou do značné míry totožné. Rozdílná častost jejich výskytu je spojena s odlišnými činnostmi, ke kterým jsou ředidla používána a jiným typem prostor. Ty souvisí s charakterem používání nátěrových hmot a barev a používáním lepidel (zpravidla se jedná o lepení podlahových krytin – PVC, koberců, korku atd.). Většinou se tedy jedná o jejich použití ve vnitřních prostorech obytných a komerčních budov.

Nejčastějším iniciátorem par vzniklých těmito činnostmi je otevřený oheň. Většinou se jedná o plamínek na plynových průtokových ohřivačích a kotlích, či oheň nebo žhavý materiál v topeništích kotlů a topidel na tuhá paliva (nutno zkontrolovat, zda v topidlech nebylo současně s prováděným pokládáním koberců či natěračskými pracemi zatápěno). Dalšími iniciátory jsou hořáky spotřebičů a v neposlední řadě i plamen zapalovače při kouření (tato příčina je z pochopitelných důvodů viníky nejčastěji zapírána). Znamky kouření při práci s těkavými látkami (čerstvé nedopalky, plný popelník) by měly být, jakkoli se tato příčina nesnadno dokazuje, vyšetřovatelem vždy hledány.

Podobně jako u benzínových par byla i u par ředidel zaznamenána iniciace od mechanických jisker vzniklých při broušení a svařování, od horkých povrchů svítidel a při zatápění v topidlech na tuhá paliva. Zvláštní postavení mají ve výskytu nehod souvisejících s manipulací s těkavými látkami chemické provozy (výbuchy par hořlavých kapalin byly zaznamenány hlavně při laboratorních činnostech) a varny drog.

Případy výbuchů par hořlavých kapalin byly také zaznamenány u zkapalněného metanu, čpavku, kyseliny chlorovodíkové a lihu. O výbuších par hořlavých kapalin se dá hovořit také u zkapalněného propan-butanu a dalších zkapalněných plynech v tlakových nádobách. Tyto případy jsou popsány v oddíle věnujícím se tlakovým lahvím.

3.2.2.3 Tlakové lahve a nádoby

Výroba a distribuce technických a topných plynů je v ČR zajištěna množstvím soukromých firem a stejně tak výroba distribuce, údržba, plnění a kontrola lahví a nádob, v nichž jsou tyto plyny skladovány a přepravovány. Z hlediska četnosti využívání a z toho plynoucího počtu případů výbuchů se v rámci tlakových nádob takřka výhradně jedná o tlakové lahve s technickými plyny kyslíkem, acetylenem a vodíkem a tlakové lahve s propan-butanem. V samostatné části jsou pak popsány nejčastější příčiny výbuchů kotlů a to jak plynových tak na tuhá paliva.

Při tvorbě této části byly rovněž využity zkušenosti pracovníků TÚPO Praha a revizních techniků tlakových nádob firmy Intopl.

3.2.2.3.1 Tlakové lahve s technickými plyny

Do skupiny technických plynů patří plyny či plynné směsi využívané průmyslově, v komerční i soukromé oblasti k mnoha různým účelům. Z hlediska četnosti a potencionálního nebezpečí ve smyslu profesionálního používání i používání soukromými osobami a rovněž ve smyslu možnosti výbuchu tlakového obalu, či úniku média a jeho následné iniciace se jedná zejména o plyny využívané pro svařování: acetylen, vodík a kyslík.

Tlakové lahve pro technické plyny jsou zpravidla bezešvé vyráběné z hlubokotažného 4mm ocelového plechu. Vodní objem těchto lahví je 10, 20, 40 a 50l., přičemž pro kyslík, acetylen a vodík převažuje plnění do 40l a 50l lahví. Hrdlo tlakových lahví je uzavřeno tlakovým ventilem, jenž bývá šroubován strojně, velkou silou na konický závit, což zaručuje jeho odolnost vůči tlaku. Tyto lahve jsou značeny na límci vyraženými informacemi o výrobcí, roku výroby, hmotnosti prázdné lahve, typu plynu apod. Každá lahev má své identifikační číslo, podle kterého by mělo jít vyhledat u majitele její historii a platnou odzkoušenost. (25, 46) Tyto informace jsou hluboko vyraženy a zpravidla jsou čitelné i u tepelně deformovaných či působením

vnitřního přetlaku roztržených lahví, zatímco barevné orientační značení může vnějším tepelným působením zcela zmizet.

Provozní prohlídku je provozovatel tlakové lahve povinen zajistit jednou ročně. Nejdéle po 5 letech pak má povinnost zajistit u lahve vnitřní revizi. Kontroly se rovněž týkají tlakoměrů (1x za 3 měsíce a jednou za dva roky porovnáním s ocejkovaným tlakoměrem revizního technika) a pojistných ventilů (1y za měsíc). O těchto kontrolách je provozovatel povinen vést pravidelné kontrolní zápisy do provozního deníku tlakové nádoby. (47)

Mezi možnosti poškození tlakových lahví patří: Mechanické poškození – jedná se o vnější působení nárazem cizího tělesa do lahve, nebo způsobené jejím pádem. K pádům tlakových lahví při manipulaci s nimi běžně dochází, většinou bez následků. Po pádu lahve a zvláště pokud při něm dojde k nárazu do tlakového či redukčního ventilu je nutné před dalším provozem funkci těchto prvků zkontrolovat vzhledem k možnosti porušení jejich těsnosti. (48) Při zvláště nešťastných pádech může dojít k uražení ventilu s následným nekontrolovaným únikem plynného obsahu lahve.

Koroze – Může jít o povrchovou, bodovou až strukturální korozi. Všeobecně je zakázáno používat lahve neoznačené, zkorodované, či takové, u kterých je zjištěn velký hmotnostní úbytek. Zakázáno je rovněž používat lahve zcela prázdné a rovněž používanou lahev zcela vyčerpat. U každé lahve by měl být zanechán tlak minimálně 0,5 barů, který má zabránit vniknutí vlhkého vzduchu do vnitřního prostoru lahve a následnému korozivnímu působení. (48)

Tepelné působení – Jedná se o nejčastější způsob porušení integrity tlakových lahví. Toto teplo může být jak vnitřní – např. při zpětném zášlehu svařovacího plamene, kdy se oheň může dostat do vnitřního prostoru lahve, nebo častěji vnějším působením. Tlakové lahve nesmí být při skladování, přepravě či používání vystaveny přímému působení slunečního záření ani umístěny v blízkosti přímého zdroje tepla (ve skladovacích prostorech je zakázáno používat tepelné zdroje na tuhá či kapalná paliva). (48). Při zahřívání dochází k zvýšení tlaku plynu v lahvi až po kritickou mez, kdy je překročena odolnost materiálu a dochází k roztržení lahve. Tato fyzikální expanze

nastává u všech plynů. Další vývoj závisí pak na druhu uniklého plynu, okolnostech jeho úniku a možné iniciaci. (1, 7)

K destrukci (výbuchu) tlakové lahve vnitřním přetlakem nedochází zpravidla v místě ventilu lahve. Při praktických zkouškách byla tato eventualita (vytržení lahvového ventilu) zaznamenána jen u kyslíkových lahví, u nichž naopak nedocházelo k destrukci pláště. (49) U ostatních tlakových lahví dochází zpravidla k oddělení patky lahve a podélnému roztržení pláště lahve, při němž je plech často narovnan téměř do roviny. Při praktických zkouškách bylo zjištěno, že k úniku plynu před destrukcí lahve dochází takřka vždy u směsi acetylenu s kyslíkem, naopak u samotného acetylenu jen někdy a u lahví s obsahem vodíku dochází rovnou k výbuchu. Nehledě na médium došlo k roztržení lahve nejčastěji mezi 4 – 11 minutou přímého působení ohně. U tlakových lahví s acetylenem může být výbušný děj uspišen pohybem lahve respektive dodáním směsi kinetické energie. (29)

Většina kovových tlakových lahví je vybavena tzv. pasivními pojistnými prvky, přičemž součástí konstrukce ventilů kyslíkových, acetylenových a vodíkových lahví jsou plastová těsnění, která se při zvyšujícím se tlaku plynu v lahvi vlivem zahřívání poruší a umožní únik plynu z lahve. Zejména u acetylenových lahví však dochází k tomu, že porušené těsnění nedovoluje svým průměrem dostatečný únik a snížení tlaku (rovněž to závisí na intenzitě ohřevu lahve) a po určité době dochází stejně k destrukci pláště lahve s masivním výronem plynu. (49)

Tlakové lahve s technickými plyny jsou osazovány tzv. redukčními ventily umožňujícími upravení tlaku plynu v lahvi na tlak pracovní a kontrolu stavu plynu v lahvi. Přímý odběr plynu z lahve bez redukčního ventilu je pro nesnadnou kontrolu výstupního tlaku zakázán. Technické závady jsou u těchto zařízení vyjíměčné. (29) K únikům plynu skrze redukční či lahvový ventil dochází tak spíše stárnutím a opotřebením materiálu. Nejčastější příčiny úniku plynu z tlakových lahví spočívají v samotném provozu lahví spojeném s lidskými chybami či nedbalostí.

Redukční ventily jsou pro každý druh plynu specifické. Liší se konstrukcí (redukční ventil pro acetylen s třmenem) stoupáním závitů šroubení, či opačným směrem závitů (levotočivý závit u hořlavých plynů). Korozivní plyny (chlorovodík,

fluorovodík) mají místo redukčního ventilu ventil jehlový. (50) I přes tuto snahu o znemožnění záměny redukčních ventilů pro různé plyny se lze setkat se zakázaným použitím přechodového prvku mezi lahvovým a redukčním ventilem umožňujícím použít jiný redukční ventil pro nevhodný plyn. Rozdílnou konstrukcí ventilu pak může docházet k chybnému ovládní výstupního tlaku plynu a možným únikům.

Redukční ventily pro kyslík, acetylen a vodík tvoří zpravidla manometr ukazující tlak plynu v lahvi, tlakoměr odebíraného plynu a výpustný a pojistný ventil. K úniku plynu z tlakové lahve může dojít nedovřením lahvového ventilu. Ten je opatřen značným počtem závitů a je nezbytné ho zcela dotáhnout. K malým únikům může docházet již při nedotažení ventilu o několik otáček, přičemž např. vodíku pro malou velikost molekul stačí nepatrná netěsnost. Revizní technici zpravidla vylučují možnost samovolného otevření dotaženého ventilu vedoucímu k úniku plynu např. otěrem kohoutu o jiný materiál.

K úniku šroubením redukčního ventilu může dojít při porušení gumového těsnění stářím, či nečistotami (písek) nanesenými do šroubení při osazování ventilu. U kyslíkových lahví je pro nebezpečí explozivní chemické reakce zakázán kontakt šroubení ventilů lahve s tukem. (50)

Většina úniků plynu a jeho následné iniciace při provozu tlakových lahví s technickými plyny souvisí se svařováním plamenem. Nejčastěji jsou pro tuto činnost využívány směsi kyslíku s acetylenem či s vodíkem. Základním nebezpečím při této činnosti je, co se týče bezpečnosti tlakových lahví, možnost zpětného zášlehu svařovacího plamene. Nejčastěji k němu dochází při náhlém poklesu tlaku dodávaného plynu (pod 70 m/s). Plamen se dostává do svařecí pistole (hořáku) a hadicí přes redukční ventil do vnitřního prostoru lahve. Dalšími příčinami zpětného zášlehu jsou nečistoty v hořáku, odlet okuje do ústí hořáku, použití starých a poškozených pistolí, nebo při jejich přehřátí (teplota nad 350°C je teplotou vznícení acetylen-kyslíkové směsi). Zpětné zášlehy jsou podstatně omezeny pojistnými prvky (např. zpětnými klapkami) umístěnými v hořácích, držadlech pistolí či v hadicích, zabráňujícím šíření plamene v opačném směru. (47) Při svařování je doporučeno hlídat občasným dotekem

teplotu používané lahve, zda se nadměrně neohřívá vlivem zpětného zášlehu, či zvýšeným odběrem plynu (přehřátí exotermní reakcí uvolňování acetyleny). (51)

Body, které by měl vyšetřovatel u případu výbuchu tlakové lahve využívané ke svařování ověřit, jsou poloha lahve a délka přívodní hadice. Lahve by se měly při sváření nacházet ve vzpřímené poloze. Zejména to platí u acetyleny, kdy při polohách pod 30° dochází k vyplavování acetonu do redukčního ventilu, projevující se tekutinou v tlakoměrech ventilu a drobnými zášlehy, výbuchy plamene. S acetylenovou lahví lze proto po předchozí přepravě pracovat až po 1 hodině, pokud nebyla lahev přepravována ve stoje a pokud nebyla před prací položena. (47, 51)

Často porušována je též povinnost délky přívodní hadice do hořáku s minimální délkou 5m, nezbytná pro včasné zareagování při vniku plamene do přívodní hadice. Po skončení svařování se stává, že daná osoba uzavře přívod plynu na hořáku, ale lahvový ventil zůstává otevřený. Natlakovaná hadice je pak snadno porušitelným článkem svařecí soupravy vnějším působením a možným zdrojem následného úniku plynu.

Jednou z nebezpečných (a zakázaných) činností je domácí přepouštění plynu, zpravidla z větší lahve do menší. Pro tuto činnost existují bezpečné profesionální propojovací hadice. V praxi nicméně dochází k přepouštění jakýmkoli propojením lahví, které má dotyčný právě k dispozici. Únik plynu je zde spíše pravidlem než výjimkou. Nebezpečné je zejména přepouštění acetyleny, který je pro svůj velký rozsah výbušné koncentrace ve směsi se vzduchem snadno iniciovatelný jakýmkoli přítomným zdrojem zápalné teploty. (52)

3.2.2.3.2 Propan-butanové lahve

V ČR je směs propanu s butanem nejrozšířenějším a nejvyužívanějším plynným médiem co se týče manipulace s tlakovými nádobami širokou veřejností. Ačkoli je plnění, údržba a kontrola tlakových lahví s PB zajištěna množstvím profesionálních provozovatelů, jejich masové používání logicky stojí za vysokým procentem nehod souvisejících s využíváním tohoto plynu, od požárů způsobených iniciací unikajícího plynu po samotné výbuchy tlakových nádob.

Propan i butan jsou v přirozené podobě téměř bez zápachu a proto jsou, podobně jako zemní plyn, odorizovány pro zaregistrování jejich přítomnosti. Oba plyny jsou těžší než vzduch a proto při úniku zůstávají při zemi a vyplňují uzavřené prostory odspodu (možnost kumulace ve sklepech), popřípadě se vlivem ventilace přesouvají do jiných částí prostor. (53) Při malém úniku (např. vlivem netěsnícího či pootevřeného ventilu) neprojevujícího se charakteristickým syčivým zvukem, nemusí být plyn tvořící vrstvu u země i přes přidávaný odorant z různých důvodů zaregistrován a snadno může dojít k jeho iniciaci.

Propan-butanové lahve jsou svařované z hlubokotažných ocelových plechů s náplněmi 0,4kg, 1kg, 2kg, 5kg, 10kg a 33kg. PB lahve s náplní 0,4kg – 2kg se používají připojeny k přenosným zařízením (např. vaříčům) a připojeny jsou buď napevno či přívodní hadicí. (26) Tyto lahve nemají zpravidla žádný pojistný prvek v podobě přetlakového ventilu. Při jejich nadměrném zahřátí a zvýšení tlaku plynu v lahvi nad únosnou mez dochází vždy k roztržení (výbuchu) lahve. Informace o tlakové nádobě jsou u těchto lahví uvedeny na patce lahve. (29)

PB lahve s plněním 5kg – 33kg jsou vyráběny s ochranným límcem pro ruční uzavírací ventil na horním dně. Na tomto límci jsou rovněž vyraženy technické informace. Nejrozšířenějšími jsou lahve s plněním 10kg, používané hlavně v domácnostech, zatímco lahve s plněním 33kg se používají hlavně pro průmyslové odběry, či zásobování domovních plynovodů v neplynofikovaných oblastech. (26)

Úniky plynu u lahvových ventilů spočívají v možnosti úniku u vřetene ventilu v otevřené poloze, či v samotném netěsnícím ventilu. Podobně jako acetylenové a vodíkové lahve mají i ventily 10kg a 33kg PB lahví pojistný prvek v podobě plastového těsnícího kroužku umožňujícího svým porušením únik plynu z lahve při nadměrném vnitřním tlaku. Redukční ventil je u PB lahví používán pro vyšší průtoky ($10\text{m}^3/\text{h}$) a vyšší výstupní tlaky (provozní tlak PB v kapalném stavu 0,2 – 0,8 MPa je pomocí ventilu redukován na konzumní – tj. 3 kPa). U redukčního ventilu může dojít k porušení vnitřní pojistky zabraňující úplnému vyšroubování vřetene ventilu. (29) Podobně jako u redukčních ventilů technických plynů může dojít k úniku plynu vlivem nedotaženého nebo vadného těsnění.

Další možnosti úniků jsou spojeny s manipulací s lahvemi a činnostmi pro které jsou tyto lahve využívány. K úniku může dojít při připojování redukčního ventilu k lahvovému ventilu, pokud se dotyčný před odšroubováním slepé matky nepřesvědčí (z důvodu PB jako hořlavého plynu má matka levý závit), že je lahvový ventil uzavřený. Rizikový okamžikem u nepoučeného uživatele, je výměna „prázdné“ lahve za plnou. Při této činnosti je nutné počítat se zbytkovým plynem v lahvi a před výměnou odstranit z bezprostředního okolí možné iniciační zdroje. Známé jsou i případy, kdy při výměně PB lahví došlo omylem k odšroubování lahvového ventilu a následné iniciaci uniklého plynu.

Zbývající obsah PB v lahvi nelze zjistit nasazením tlakoměru na lahvový ventil, neboť tlak v lahvi nezávisí u PB tolik na obsahu jako na teplotě a složení směsi. Tlak v lahvi je zajišťován propanem a ten je rovněž při otevření lahve přednostně vypouštěn. Tlak zbývajícího, převažujícího butanu ve vyčerpané lahvi je nízký, ačkoli hmota plynu může být ještě značná a pro následný únik a iniciaci dostatečná. Jediná možnost měření obsahu PB v lahvi je zvažení lahve, přičemž tara prázdné lahve je vyražena na patici či límci lahve. (26)

PB je dodáván v letní a zimní směsi, které se liší obsahem propanu pro snazší vypařování v zimě. Zimní směs má min. 55% propanu oproti 30% propanu v letní směsi. (26)

K vývinu plynu z kapalné fáze dochází odpařováním při uvolňování tlaku. Výparné teplo si přitom kapalný PB odebírá z okolí a tím dochází k ochlazení lahve. Při velkém odběru dochází k ojínění lahve, přičemž výše ojínění zůstává ještě nějaký čas po odběru zřetelná a je ukazatelem stavu hladiny kapalného PB v lahvi. Při nadměrném ochlazení nastává zastavení odparu. Pokud k tomu dojde, je nutné uzavřít lahvový ventil, aby při odstavení spotřebiče či výměně lahve nedošlo při opětovném zahřátí podchlazené lahve k výparu a nekontrolovaném úniku plynu. (26)

PB lahve nesmějí být naplněny zcela, pouze na hmotnost vyraženu na plášti lahve. Důvodem je silná roztažnost propan-butanu při zahřátí lahve. Z tohoto důvodu je rovněž zakázáno urychlovat vývin plynu zahříváním lahve. Zvýšenou pozornost je třeba

rovněž věnovat nebezpečí ponechání lahví tepelného působení slunečního záření. Povrchová teplota lahve nesmí přesáhnout 40°C.

Ve svařování se PB pro nižší teploty plamene oproti acetyleno-kyslíkovým a vodíko-kyslíkovým směsím využívá pro svařování nízkotavných kovů a slitin, při pájení a kyslíkovém řezání. Velmi často se PB používá k rozehrívání asfaltových izolací či jinému nahřívání materiálů (např. mosazných spojů pro jejich uvolnění, nevyjímaje zátky plynového potrubí). Při těchto činnostech je, podobně jako u svařování technickými plyny, slabým místem přívodní hadice, její vadné zapáskování, či možnost jejího porušení při uzavření přívodu plynu v hořáku a neuzavření lahvového ventilu. PB lahve by měly být, při jejich používání, ve vzpřímené poloze, aby nedocházelo k úniku kapalné fáze PB do ventilu a následným komplikacím. (47) Praktické zkoušky ukázaly rovněž spojitost polohy tepelně namáhané lahve se způsobem následného destruktivního jevu. U lahví ve vertikální poloze obvykle dochází nejprve k úniku plynu ventilem (cca u poloviny zkoušených lahví) a po čase k roztržení lahve, zatímco u lahví v horizontální poloze došlo vždy rovnou k destrukci lahve a následnému explozivnímu hoření plynovzdušného oblaku. (29)

Způsob roztržení pláště lahve je podobný s ocelovými lahvemi pro technické plyny. Zpravidla dochází k oddělení vrchní a spodní části lahve blízko sváru a střední část pláště se rozvine takřka do obdélníkového tvaru. Při těchto výbuších nastává často fragmentace pláště lahví a vymrštění fragmentů až do vzdálenosti desítek metrů. (29) Pokud dojde k roztržení tlakové lahve (PB i s jinými plyny) uvnitř objektu, je nutné oddělit sekundární škody (např. poškozená elektroinstalace, přerušené kabelové vedení) způsobené vymrštěnými fragmenty pláště lahve, od škod či anomálií, které by mohl vyšetřovatel vyhodnotit jako iniciátor výbuchu uniklého plynu.

Nejmenšími tlakovými nádobami pro PB (nepočítáme-li běžné užívání propanu a butanu jako výtlačné složky ve sprejích) jsou kartuše. I přes jejich relativně malý obsah (50 – 700g) dochází k případům úniků plynného média a následnému explozivnímu hoření, či roztržení nádoby s poraněním osob v jejich blízkosti. Kartuše jsou hojně využívány zejména pro turistické vaříče či svítidla. Nejpoužívanějšími typy jsou C 206 – 190g a CV 270 – 230g. Vyšetřování u výbuchů kartuší, či z nich uniklého

plynu, spočívá podobně jako u PB lahví s větším obsahem zejména ve zjišťování způsobu a okolností manipulace s kartuší bezprostředně jejímu výbuchu. Zvláště se pak jedná o vystavení kartuše tepelnému působení slunce, či jiného zdroje tepla a okolnostem výměny kartuší u spotřebiče. (30)

V následující tabulce jsou uvedeny požárně-technické charakteristiky v této práci zmíněných plynů, které jsou důležité z hlediska výbuchů.

Tabulka 12 PTCH vybraných plynů

	Meze výbušnosti ve směsi se vzduchem (obj.%)	Meze výbušnosti ve směsi s O ₂ (obj.%)	Molární hmotnost (g/mol)	Teplota vzplanutí (°C)
Propan	2,12 – 9,35	2,3 – 55,0	44,096	470
Butan	1,86 – 8,41	1,8 – 49,0	58,123	500
Acetylen	2,3 – 81,0	1,5 – 92,0	26,037	305
Vodík	4,0 – 74,5	4,0 – 95,0	1,007	560
Oxid uhelnatý	12,5 – 74,2	-	28,010	609
Zemní plyn	4,4 – 17,0	-	0,0164	537
Vzduch	-	-	28,96	-

Zdroj: (29, 39, 54)

3.2.2.3.3 Topné kotle

Samostatnou kapitolou ve výbuších tlakových nádob jsou výbuchy plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva. Zásadní podíl v této kategorii mají svým počtem výbuchy kotlů na tuhá paliva. U plyných kotlů se častěji jedná o iniciaci unikajícího plynu, než o primární destrukci kotle.

K výbuchu může dojít přehřátím kotle se zvýšením tlaku páry v otopné soustavě, které se, při absenci fungujících bezpečnostních prvků, projeví roztržením expanzní

nádoby, povolením těsnění či destrukci jiné části soustavy. Ačkoli je tento výbuch svým charakterem fyzikální, způsobený párou, energií výbuchu může dojít u plynových kotlů k porušení přívodu plynu, jeho úniku a následné iniciaci, nebo u kotlů na tuhá paliva k destrukci topeniště a rozmetání žhavého obsahu do okolí.

Oba typy kotlů bývají vybaveny podobnými bezpečnostními prvky – bezpečnostním přetlakovým zařízením s termostatovým ventilem, dochlazovací smyčkou a pojišťovacím ventilem pro odpuštění přetlaku pokud k ochlazení systému dochlazovací smyčka nestačí. (26) Podobně jako u jiných spotřebičů bývají v tomto i jiných ohledech problémy se staršími typy kotlů, zejména typů Mora 673, 674 a 676.

V praxi se revizní technici nejčastěji setkávají se špatně provedenou instalací, či se špatnou obsluhou. Častým problémem je zazátkování pojišťovacího ventilu (umístěném zpravidla na nejvyšším místě zdroje, nebo na výstupním potrubí před uzavírací armaturou) slepou maticí v případech častého odpouštění přetlaku ze systému (z pojišťovacího ventilu odkapává voda). Tento bezpečnostní prvek bývá rovněž špatně nainstalován, kdy je osazen až za uzavírací armaturou. Při uzavření kohoutu tak dochází k vyřazení pojišťovacího ventilu z provozu a možnosti nárůstu teploty a tlaku v systému až k dosažení kritických hodnot pro odolnost materiálu či spojů.

K většině evidovaných výbuchů kotlů s následným požárem dochází u kotlů na tuhá paliva. Nejčastější příčinou je zanedbání údržby topidla a odvodu spalin či používání nevhodného paliva. Pokud majitel neprovádí povinné kontroly komínového zařízení nebo jsou tyto kontroly prováděny nedostatečně, dochází k ucpávání odtahu spalin (nános sazí je nejčastěji zaznamenán v koleni potrubí vedoucího do komínového tělesa), nedostatečné ventilaci a tím k nedokonalému spalování paliva. Nedokonalé spalování má za následek ukládání dehtu v kotli a zplynatění paliva. Přehřátím kotle a přetlakem zplynatělého paliva může dojít k výbuchu kotle a vymrštění žhavého obsahu do okolí. Může též dojít k iniciaci nahromaděného oxidu uhelnatého jiskrou z topeniště.

Význačnou měrou dochází k ukládání dehtu a nečistot v kotli, a tím zhoršení jeho funkce, při používání nevhodného paliva (např. pilin namočených v použitém oleji). Při výbuchu kotle by se měl vyšetřovatel dívat jak po pojistných prvcích otopného systému, či známkách zanedbání údržby, tak po většinou u kotle připravených

palivech. Bezprostředně po výbuchu a požáru zpravidla nemá majitel tolik duchapřítomnosti, aby tyto stopy odstranil, k čemuž ovšem může při poskytnutí času dojít v následujících dnech. Samozřejmostí by mělo být vyžadování potvrzení o provedených revizích.

3.2.2.4 Výbuchy prachů

K výbuchům hořlavých prachů dochází takřka výhradně v průmyslových provozech a zařízeních různých odvětví věnujících se obrábění či úpravě velké škály materiálů. V soukromé oblasti dochází k těmto nehodám jen vyjíměčně. Důvodem je pochopitelně neporovnatelná míra výskytu všech podmínek, které jsou pro tento druh výbuchu nezbytné, tj. paliva, okysličovadla a iniciačního zdroje.

Výbušným prachem je definován jakýkoli prach, který je schopen ve směsi se vzduchem vytvořit výbušnou atmosféru, přičemž se nemusí jednat o masu prachu podobné zrnitosti, ale i o prach jako součást materiálu o větší velikosti částic (např. kusové uhlí + uhelný mour). (55) Maximální velikost částic schopných tvořit výbušné směsi je udávána 0,5mm. Často se jedná přímo o finální produkt, ale rovněž může být výbušný prach výchozí surovinou, meziproduktem či výrobním odpadem. Síla nakupené vrstvy prachu, která je při zviření celého svého objemu v běžných prostorách dostatečná k vytvoření výbušné atmosféry je 1mm. Jako nebezpečné množství směsi v uzavřeném prostoru bez ohledu na jeho velikost je již 10 dm³, přičemž s menší velikostí prostoru toto minimální množství klesá. (9, 56)

Ve formě prachu hoří (v případě rozptýlené pracho-vzduchové směsi jde o explozivní hoření dosahující ve vhodných podmínkách až detonačních rychlostí) téměř všechny látky s výjimkou látek čistě anorganických (jako vápenec či oxidy a soli kovů). Z kovových prvků jsou z hlediska výbušnosti prachů nebezpečné hliník s nejvyšší rychlostí nárůstu výbušného tlaku a dále hořčík, titan, zinek a železo. Z nekovových pak hlavně síra s velmi nízkou teplotou vznícení a uhelný prach. Co se týče organických, přírodních látek, je jejich výbušnost ve formě prachu takřka naprostá. Z hlavních se jedná o senné a obilné prachy, škrob, mouky, cukr, kakao, čaj koření, tabák, sušené

mléko, kávu, velkou škálu dřevěných prachů, prachy vláknitých látek, které často tvoří elektrostatické výboje a mají nízkou spodní mez výbušnosti – len, bavlnu, buničinu, koudel, konopí. Rovněž sem patří prachy z finálních produktů jako barviv, léčiv, plastů či mýdlové prachy. (9,10)

Nejdůležitějšími požárně-technickými parametry, co se týče výbušnosti prachů, jsou:

- Dolní mez výbušnosti (horní mez se zpravidla neuvádí, neboť při proměnlivosti koncentrace v jednotlivých částech již zvířeného hořlavého prachu se koncentrace nad horní mezí může v okamžiku změnit na výbušnou).
- Maximální výbuchový tlak.
- Rychlost nárůstu výbušného tlaku po iniciaci.
- Konstanta výbušnosti – vypočítává se z předchozích hodnot a podle ní jsou pak jednotlivé prachy tříděny do tříd výbušnosti od nejméně nebezpečných (St 1) po nejnebezpečnější (St 3).
- Teplota vznícení usazeného prachu.
- Teplota vznícení zvířeného prachu. (55)

V odborné literatuře je všeobecně uváděna nutnost přihlížet k laboratorně stanoveným parametrům pro jednotlivé prachy pouze jako k orientačním hodnotám. V konkrétních případech se mohou tyto hodnoty v různé míře lišit v závislosti na velikosti a tvaru částic, míře vlhkosti, přítomnosti přísad a příměsí apod. S rostoucí velikostí prachových částic (tj. s klesající velikostí absolutního povrchu všech částic) se maximální výbuchové parametry snižují a iniciace je nesnadnější. (9)

Nebezpečí výbuchu prachů se týká mnoha různých průmyslových odvětví a technologických procesů. Základní prašné činnosti s rizikem vytvoření výbušné atmosféry jsou pro mnohé z nich totožné. Jedná se zejména o odsávání prachů. Často se jedná o centrální odsávání vedoucí značnou délkou od různých strojů a zařízení do cyklonů nebo sil. Další činností je doprava prašného materiálu pásy a podavači, spojená s násypy do technologických zařízení, skladových prostor, přepravních obalů či dopravních prostředků. Mezi nebezpečné činnosti patří dále mletí, drcení a prosévání sypkých hmot a sušení. Specifickým okamžikem pro možnost ukládání prachových

vrstev či jejich víření je odstavování a spouštění výrobních, obslužných nebo obráběcích zařízení a strojů. V mnoha případech se při vyšetřování zjistilo, že k výbuchu a požáru (nebo naopak) došlo důsledkem opravářských či údržbářských činností v prostoru provozu, zejména přitom jednalo o svařování a řezání plamenem. Zkušenosti z případů výbuchů v ČR i v zahraničí ukázaly, že okolo 1/3 všech případů souvisela příčina vzniku výbuchu prachů s nedbalostí, lehkovážností a porušením technologických postupů. (9, 23, 55)

3.2.2.4.1 Oblasti výskytu

Energetický průmysl – V elektrárenských a teplárenských provozech představuje nebezpečí manipulace s hnědým a černým uhlím a stále více rovněž s biomasou jako palivem. Rizikové jsou zde zejména technologické procesy mletí paliva a jeho pneumatická doprava do kotlů. Výbušná atmosféra může být vytvořena v místech přesypů materiálu, pásové dopravy a v zásobnících, kde dochází k otěru kusového uhlí. Z pohledu výbušnosti prachů je pro vyšší maximální výbuchový tlak a rychlost nárůstu výbušného tlaku nebezpečnější hnědé uhlí. (57)

Zemědělský a potravinářský průmysl – Před samotným skladováním prachových materiálů v silech, či jejich plnění do přepravních obalů a vozidel, prochází tyto materiály celou řadou mechanických zařízení, dopravníků, korečkových výtahů a míchadel, v nichž dochází ke tření a možnosti vytvoření iniciačního zdroje. Uložení materiálu rovněž často předchází sušící procesy s vysokými déletrvajícemi teplotami. K možnosti žhnutí materiálu dochází jak v sušičkách, tak v silech vlivem uložení příliš horkého materiálu. Zejména se zde jedná o kukuřici, vojtěšku, olejniny (slunečnice, řepka, sojové boby) a sušené mléko. Pro tuto příčinu se ukázaly jako rizikové změny složení materiálů zpracovávaných stejnou provozovnou – mléko s jiným obsahem tuku, sušení vlhčího obilí.

Ze zaznamenaných případů výbuchů prachů se v potravinovém a zemědělském odvětví jednalo hlavně o cukr, mouku, škrob, sušené mléko, čaj, koření a tabákové

výrobky. Část případů výbuchů se též týkala činností spojených s výrobou krmných směsí – šrotováním a míchacím zařízením. (23, 57)

Dřevozpracující průmysl a kovoobrábění – Nejčastější příčiny výbuchů prachu v těchto odvětvích byly spojené se systémem odsávání prachu od strojů, s cyklonovými odlučovači a filtry a s frézováním, soustružením a broušením. (57)

Textilní průmysl – Podobně jako v předchozím případě i v textilním průmyslu nejčastějším místem iniciace textilního prachu (často prachu z nylonových vláken) byl systém odsávání. (57)

Nanášení práškových a nátěrových hmot – Rizikovým místem je rekuperace práškových barev v prostoru cyklonových odlučovačů a filtrů. (57)

Zpracování odpadů – Nebezpečnými činnostmi z hlediska koncentrací hořlavých prachů je drcení, mletí a následná doprava tříděného papírového, dřevěného a plastového odpadu při procesu recyklace a hlavně při procesu výroby alternativních tuhých paliv. (57)

3.2.2.4.2 Zdroje iniciace

Ke zdrojům iniciace patří:

Horký povrch – jedná se zejména o teplo součástí zařízení a materiálů a jejich přehřátí vzniklé třením při poruše či poškození (např. zadřené ložisko). Může rovněž dojít ke kontaktu zvířeného prachu s horkou částí stroje nebo topidla v prostoru provozovny. (23)

Nasátí žhnoucího materiálu do odsávacího systému. Může se jednat o cigaretu, jiskry nebo hořící či doutnající materiál. (23)

Mechanická jiskra – Při analýze výbuchů prachů v potravinářském a zemědělském průmyslu byl tento iniciátor vyhodnocen jako jeden z nejčastějších. Může se jednat o jiskry vzniklé v zařízení při poruše či odchylce od technologického postupu dotykem kovu o kov či jiný materiál, výše zmíněná jiskra při svářečských pracích v prostoru provozovny, nebo předmět, který se nedopatřením dostal do kontaktu

s otáčejícími se či pohybujícími se částmi zařízení. Jednou z možností je i předmět nasátý do systému odsávání prachu a jeho kontakt s potrubím. (23)

Elektrický iniciátor – Závady na elektroinstalaci s možností vzniku žhavých částí vodičů s poškozenou izolací a možností elektrických oblouků, jiskřící el. Zařízení. Patří sem i výboj statické elektřiny, ke kterému dochází třením materiálu o stěny potrubí či filtračního odlučovače (filtrační textilie), či při přesypávání materiálu. (23)

Odlišit zda se v konkrétním případě jednalo o požár způsobený výbuchem prachu nebo naopak, je někdy ze zanechaných fyzických stop nemožné. Výbuchy prachů jsou charakteristické sekundárními výbuchy, které většinou bývají silnější a víc destruktivní než primární výbuchy, které je iniciovaly. Při těchto výbuších dochází často k silným účinkům tlakových vln, nezřídka s detonačními rychlostmi. (1, 56) Destrukce objektu a rozmetání materiálů mohou stopy ohnisek hoření předcházejícího výbuchu zcela znehodnotit.

Velmi důležitým bodem ve vyšetřovacím postupu je zde opět kvalitně a důsledně (a pokud možno neodkladně) provedený výslech přítomných svědků a pracovníků ohledně činností a okolností, které výbuchu bezprostředně předcházely.

Jedním z častých a specifických způsobů vzniku požárů s možností následného zvíření a výbuchu hořlavých prachů je jejich samovznícení. (23) Dochází k němu u velkého množství prašných materiálů a to buď chemickou cestou reakcí se vzdušným kyslíkem (uhelný prach), s vodou (dřevěný prach) s olejem (železné piliny, textilní prach i jiné nasákové materiály), anebo biologickou cestou postupným zahříváním působením chemické reakce a mikroorganismů (senný a obilný prach). Dalšími prachy se sklonem k samovznícení jsou mýdlové prášky, drcený korek, gumový odpad, rybí moučka, cukr, tabák aj. (20) Z materiálů v potravinářském a zemědělském průmyslu byly jako velmi náchylné k samovznícení testováním vyhodnoceny slunečnicový a řepkový prach, středně náchylnými prachy z ječmene, sladu a kukuřice a málo náchylnými pšeničný prach a pšeničná a kukuřičná mouka. (23)

Při ideálních podmínkách (vlhkosti, velkém povrchu pro oxidaci + malém pro odvod tepla, přístupu vzduchu a dostatečné zhutnělosti materiálu) mohou k samovznícení stačit i teploty okolo 50°C. K zahřívání a následnému nepozorovanému

žhnutí zpravidla dochází uvnitř nakupených vrstev. Průvodními znaky, které mohou být zaznamenány pracovníky provozu, a které mohou být pro vyšetřovatele ukazatelem pro zvážení příčiny vzniku požáru a výbuchu prachu jeho samovznícením jsou: slehávání skladovaného materiálu, únik vodní páry ze skladovaného materiálu a její kondenzace na chladných površích, zápach pálení (u biologických materiálů kvašení až pražení) a zvýšená teplota. (23)

Z analýz výbuchu prachů v různých provozech a zařízeních vyplývá, že podobně jako u jiných typů výbuchů k nim spíše dochází u starších zařízení než nových. Nejde přitom jen o zavádění nových technologických postupů do starých provozů, ale nejsou výjimkou i dlouholeté, zaběhlé provozy fungující dosud bez nehody.

Provozovatelé zařízení a provozů, ve kterých se vyskytují výbušné látky, jsou před uvedením zařízení do provozu povinni vypracovat tzv. Dokumentaci o ochraně před výbuchem (DOPV). (57) Existenci této dokumentace dozoruje Státní úřad inspekce práce a je vyžadována při tematických kontrolách požárních preventistů. Zkušeností kontrolních orgánů a pojišťoven je velice často nedostatečné zpracování tohoto materiálu. DOPV je zpravidla provozovatelem zadáno k vypracování firmám, které však většinou jen vypíší dotýcnou legislativu a zkonstatují obecná fakta, aniž by došlo ke skutečné analýze konkrétních rizik daného provozu s vypracováním plánu potřebných opatření. V souvislosti s touto praxí je často zjištěna značná nevědomost ohledně rizik spojených s prací v provozech s přítomností hořlavých prachů a povědomí o nutné ochraně. Dalšími, často zjištěnými nedostatky, jsou chybějící průvodní a technická dokumentace k zařízení a hlavně absence adekvátních bezpečnostních zařízení zamezujících vzniku či omezujících následky výbuchu prachu v rizikových technologiích. Vyjimkou bývají hlavně provozy, kde již v minulosti k výbuchu prachu došlo. Lepší všeobecné povědomí o rizicích a rovněž bezpečnostní vybavení (protivýbuchové membrány a klapky, skrápěcí a automatické zhasací zařízení) bývají zpravidla v provozech zpracovávajících uhlí. (9)

Součástí DOPV by měla být identifikace rizika: zda jsou v provozu hořlavé látky (prachy), zda mohou se vzduchem či jiným oksylichovadlem vytvořit výbušnou směs a

zda jsou přítomné v množství dostatečném k vytvoření výbušné koncentrace. Na základě této analýzy dochází ke stanovení zón pro jednotlivé prostory.

- Zóna 20: výbušná atmosféra je přítomná stále.
- Zóna 21: výbušná atmosféra je příležitostně přítomná i za normálního stavu.
- Zóna 22. Vytvoření výbušné atmosféry je nepravděpodobné (náhodné zvíření prachu). (58)

Pro každou z těchto zón jsou pak podle druhu ohrožení, provozních podmínek a typu prostor určena technická (bezpečnostní zařízení) a organizační (školení zaměstnanců) opatření s cílem minimalizovat vznik, popřípadě následky výbuchu. Tato dokumentace by měla být při vyšetřování výbuchu prachu samozřejmým předmětem zájmu vyšetřovatele.

Při vyšetřování případů požárů s následným či předchozím výbuchem prachů naráží vyšetřovatel většinou na potřebu množství specifických, technických znalostí. Z toho důvodu je vítaná možnost využít odborná pracoviště pro asistenci u konkrétních případů. V ČR je to zejména státem akreditovaná zkušebna a laboratoř pro zkoušení vlastností průmyslových prachů v Ostravě – Radvanicích.

3.2.2.5 Výbuchy výbušnin

Následující problematika vyšetřování požárů následkem výbuchů výbušnin, stejně jako informace k tomuto tématu, obsažené v NFPA 921, byly konzultovány s příslušníky Pyrotechnické služby Policie ČR pplk. Ing. Jiřím Ekrtem a kpt. Ing. Karlem Čadilem.

Ačkoli není případů požárů způsobených výbuchy výbušnin, oproti jiným typům výbuchů, velké množství, jsou charakteristické vysokou nebezpečností a obětmi na životech zejména pro povahu svých příčin. Ty jsou často spojeny s úmyslnou iniciací s kriminálními motivy. Pyrotechnická služba Policie ČR eviduje v současné době mezi 100 až 200 případy výbuchů ročně přičemž (podobně jako u požárů), je jejich variabilita velmi široká. Mezi nejčastějšími příčinami se setkávají policejní pyrotechnici s výbuchy úmyslně způsobenými se záměrem poškodit cizí majetek či ohrozit jinou osobu na

životě. K nedbalostním příčinám většinou dochází u amatérských výrobců výbušnin při manipulaci s látkami nebo při rozebírání staré munice. Výjimkou nejsou ani sebevražedné úmysly pomocí výbušnin.

Možnost následného požáru při výbuchu výbušnin je značná, jakkoli k němu z různých příčin (rozložení hořlavého materiálu či jeho nedostatek), nedochází vždy. Požár je logickým nebezpečím z hlediska vysokých teplot, které jsou při výbuchu vyvinuty. Může být způsoben jak žhavou korunou plynů prudce uvolněných reakcí tak střepinami a žhavým materiálem vymrštěným z místa výbuchu a jeho následným kontaktem s hořlavou látkou.

3.2.2.5.1 Pyrotechnický materiál

Z výše uvedených třaskavin, trhavin a střelivin jsou pro svou vysokou účinnost a bezpečnější manipulaci používány nejčastěji trhaviny. Podle chemické vazby jsou děleny na:

- Nitroestery – citlivější, vysoce brizantní a výkonné (např. nitroglycerin, pentrit, etylenglykolnitrát)
- Nitrolátky – středně výkonné, stabilnější (např. TNT, tetril, kyselina pikrová)
- Nitraminy – (např. hexogen, oktogen)

Nejčastějšími materiály, se kterými se v ČR setkávají, jsou průmyslové trhaviny a vojenské, ženijní náloživo, přičemž množství možností získání těchto materiálů je z jejich zkušeností veliké. Důvodem je objem těchto prostředků a množství slabých, málo kontrolovaných míst v jejich distribuci a používání.

Oproti profesionálním výbušninám, amatérsky vyráběné výbušniny (nejčastěji organické peroxidy ACP a HMTD) nepodléhají žádné kontrole. Jejich výroba je v mnoha případech velmi jednoduchá a výrobní postupy dostupné na internetu. Jednotlivé látky a směsi pro jejich výrobu nejsou blíže evidovány, neboť se jedná o látky běžně zakoupitelné v komerčním prodeji (např. pevný líh, peroxid vodíku, nafta či dusičnatá hnojiva). (59)

Tyto látky jsou nazývány prekurzory výbušnin a jejich dostupnost se stala jedním z předmětů pozornosti v *Akčním plánu pro posilování bezpečnosti výbušnin* vypracovaném Komisí evropských společenství v r.2007. Ve *Sdělení komise o posilování bezpečnosti výbušnin* byly vyjmenovány prekurzory s prioritní pozorností.

Tabulka 13 Prekurzory výbušnin

Aceton	Kyselina citronová	Peroxid vodíku	Chlorečnan draselný a perchlorát
Dusičnan amonný (hnojivo)	Hexamin	Kyselina dusičná	Dusičnan draselný
Dusičnan amonný (technický)	Kyselina chlorovodíková	Nitromethan	Chlorečnan sodný
			Kyselina sírová

Zdroj: (60)

Nalezení většího množství těchto látek v objektu, kde došlo k výbuchu, může být spolu s dalšími indikátory pro velitele zásahu či pro vyšetřovatele HZS impulzem k vyrozumění pyrotechniků Policie ČR. Samozřejmostí by to pak mělo být při nalezení vybuchlé i nevybuchlé vojenské munice.

3.2.2.5.2 Iniciační mechanismy

Vzhledem k tomu, že profesionální rozbušky s elektronickým časováním jsou méně dostupné, je iniciace trhavin v amatérských podmínkách zajištěna podomácku vyrobenými zážehovými či elektrickými rozbuškami. Ty jsou nazývány primárními výbušninami a jsou zpravidla tvořeny snadno iniciovatelnou třaskavinou ve spojení s malým množstvím trhavin. Tyto rozbušky iniciují výbuch sekundární výbušnin - trhavin zášlehem plamene z palníku, který je vytvořen z odporového můstku a na něm nanesené pyrotechnické složce. Spínač elektrického proudu do rozbušky může být připojen na spínače osvětlení či může být amatérsky vyroben a nastaven na vnější mechanický podnět (např. kolíček, u kterého dojde k sepnutí kontaktů při vytažení izolačního materiálu). (61)

Časovací zařízení pro plánovanou iniciaci může být zhotoveno v těchto případech nejjednodušeji např. z ručičkových hodin s kontakty na rafičkách. Jedním z nejsnazších způsobů bez rozbušky je obnažené vlákno žárovky v kontaktu s výbušninou reagující na prosté otočení vypínačem. (61) Dalším způsobem iniciace je použití zápalné šňůry (zápalnice). Je tvořena zpravidla žílou černého prachu opatřenou textilním nebo plastovým obalem. V amatérských podmínkách je často využito zápalnic vyjmutých ze složí zábavní pyrotechniky. Čas iniciace je zde závislý na délce zápalnice nebo je prodloužen jednoduchými prostředky jako omotáním hořící svíčky či cigarety. (61)

Při identifikaci či podezření velitele zásahu či vyšetřovatele HZS na výbuch výbušniny musí tento neprodleně informovat Policii ČR o nutnosti vyslání pyrotechnické výjezdové skupiny Policie ČR, do jejichž působnosti každá taková událost spadá. Vedle nalezení pyrotechnického materiálu jsou dalšími vodítky pro velitele zásahu a vyšetřovatele HZS zejména centralizované epicentrum výbuchu spolu s charakterem škod a střepinový efekt. (1)

3.2.2.5.3 Epicentrum výbuchu

Vzhledem k tomu, že výbuchy výbušnin patří do kategorie lokalizovaných výbuchů, je jako hlavní vodítko k jejich identifikaci ohraničené epicentrum výbuchu způsobené enormní reakční rychlostí výbušnin s detonačními účinky, zpravidla z objemově menšího zdroje. Zvláště oproti výbuchům plynů, kde epicentrem bývá často určena celá místnost, kde k výbuchu došlo. V praxi ovšem někdy dochází k případům, že i přes použití výbušniny není snadné epicentrum výbuchu přesně lokalizovat. Stává se tak například, pokud je výbušnina umístěna na nebo uvnitř výbuchem zcela zničených kusů nábytku. Epicentrum je charakterizováno místem se znatelně vyšším poškozením oproti svému okolí, které se se vzdáleností rychle snižuje. (1) Platí zde, že výbušný tlak klesá se čtvercem vzdálenosti. Charakter poškození záleží na materiálu, na kterém byla výbušnina umístěna (např. ohraničené, spálené místo na dřevěných površích či kráter s rozdrčeným betonem či zeminou). Tato epicentra mohou mít rovněž

rozdílný tvar podle tvaru obalu výbušniny, podlouhlý u trubkových bomb či nezřetelný u výbušniny uložené v zavazadle.

Na použití výbušniny lze rovněž usuzovat na základě charakteru škod vzniklých výbuchem v jeho nejbližším okolí. Detonační reakce, vlastní trhavinám, se projeví poškozením materiálů jako rozštěpením, rozdrčením a rozbořením, které vypovídají o extrémních tlacích a neodpovídají nelokalizovaným výbuchům plynů, par a prachů. V příručkách *Military Explosives* a *Explosives and demolitions*, vydaných Ministerstvem obrany USA je možno nalézt tabulky ekvivalentních hodnot hmotností a účinnosti pro různé, jak průmyslové tak vojenské trhaviny. Vzhledem k rozdílnosti dynamiky chemických reakcí mezi **pevnými výbušninami a plyny a párami** však není možné podobně hodnotit účinek jejich ekvivalentního množství navzájem. (11, 62)

Dalším vodítkem pro identifikaci výbuchu výbušnin je jejich střepinový efekt. Při detonačním tlaku trhavin dochází zpravidla k fragmentaci obalu výbušnin, které jsou často pro dosažení vyšší účinnosti loženy v materiálu kladoucím odpor tlakové frontě. Tyto části nádob, konstrukcí či kontejnerů (střepiny) jsou často malých rozměrů a vymrštěny z epicentra výbuchu zanechávají charakteristická poškození (perforace) ve stavebních i jiných materiálech. Stopy značného výbuchového tlaku (vymrštění skla do vzdálenosti, roztrhané materiály) spolu s perforacemi plechů střepinami mohou být vodítkem k rozlišení výbuchu výbušniny v automobilu od výbuchu pneumatik či výbuchu vodíkových plynů unikajících z požárem degradované autobaterie.

Pro použití výbušniny mohou svědčit i vícečetná řezná poranění osoby, která se v blízkosti výbuchu nacházela. Samotné střepiny jsou běžně nalézány jak v konstrukcích ohraničujících epicentrum výbuchu, tak (při otevřených prostorech) ve kmenech stromů a zemině. V městské zástavbě bývají střepiny nacházeny na střeších, balkonech či v okapech, nebo v jiných domech.

3.2.2.5.4 Vyšetřování místa výbuchu výbušniny

Práce pyrotechniků na místě výbuchu spočívá ve sběru informací od přítomných svědků, ve vyhodnocení poškození konstrukcí a materiálů a jejich pohybu vlivem

tlakové vlny a v zajištění důkazního materiálu. Zasahující hasiči s vyšetřovatelem HZS mohou být v těchto činnostech pro policejní pyrotechniky důležitou pomocí. Svou činností na místě výbuchu a v jeho okolí však mohou při neznalosti jednotlivostí práce na místo povolaných policejních pyrotechniků jejich následující zásah zkomplikovat.

Vzhledem k tomu, že příslušníci pyrotechnického útvaru Policie ČR jsou na místo požáru následkem výbuchu povoláni zpravidla až v průběhu či po proběhlém hasební zásahu, má velitel zásahu a zvláště vyšetřovatel HZS neopakovatelnou možnost vyslechnout svědecké osoby bezprostředně po požáru. V době příjezdu pyrotechniků se již tyto osoby nemusí nacházet na místě. Informace podané svědky bývají u případů výbuchů často klíčové pro vytýčení verzí příčiny výbuchu a následného požáru. Pro policejní pyrotechniky mají hodnotu svědectví o průběhu výbuchu, jeho prudkosti a charakteru, svědectví o pohybu osob a přítomnosti materiálů a předmětů na místě výbuchu, včetně jejich přesné polohy. Důležitá mohou být svědectví o osobách na místě přebývajících, jejich socializaci s okolím a jejich činnostech.

Relevantními informacemi mohou být pro policejní pyrotechniky i výpovědi o charakteru zvukového efektu výbuchu (dutá tlumená rána nebo ostrý třesk) a barvě kouře po výbuchu, která může být svědectvím o látkách přítomných ve výbušné reakci. Např. narezlý dým je charakteristický pro dusičnan amonný, světlost a tmavost kouře svědčí o tzv. kyslíkové bilanci, množství oxidličovadla ve směsi. Dalším údajem, který může být pro pyrotechniky zajímavý je množství kouře.

3.2.2.5.5 Důkazní materiál

Činnost policejních pyrotechniků při zajišťování důkazního materiálu, sestává často z hledání drobných částí iniciačního mechanismu či schránky výbušniny, nezřídka (v případě volného prostoru) rozsetého výbušným tlakem po značné ploše. Těmito částmi mohou být například vytypované fragmenty materiálu (trubka, nádoba, zavazadlo), dráty, baterie či jiné části časovacího mechanismu. U těchto mechanismů je

důležité, jak daleko byly vzdálené od nálože, přičemž s rostoucí vzdáleností se zvyšuje i možnost nalezení jejich zbytků.

Každý nález je důležité zadokumentovat, co se týče polohy, vzdálenosti a směru od epicentra a je sledováno zejména rozesetí totožných materiálů. Shromážděný materiál je následně detailně analyzován a jsou z něj vytrženy části s možnou souvislostí se vznikem výbuchu.

K důkaznímu materiálu patří rovněž odebrané vzorky a stěry, které jsou následně laboratorně analyzovány na přítomnost specifických látek. Stěry jsou odebírány z epicentra, z jeho okrajových částí a z místa nesouvisejícího s výbuchem pro ujištění, že případný chemický nález je spojen jen s epicentrem a má souvislost s výbuchem. Chemické stopy jsou odebírány i z dalších nalezených materiálů a střepin. V souvislosti s touto činností je nutné zmínit, že vzhledem k těkavosti některých látek tvořících výbušninu (např. organických peroxidů), detekovatelných jen několik hodin, je potřeba povolání pyrotechnických specialistů neodkládat.

Stopou zcela specifickou pro úmyslné použití výbušninu je stopa zápalnice na povrchu v blízkosti epicentra. Tuto stopu tvoří tepelné působení plamene postupujícího zápalnou látkou zápalnice v kontaktu s podložkou. „Otisk“ zápalnice může být, vedle pevných materiálů, znatelný při cíleném hledání i na pískových či travnatých površích.

Při zjištění či podezření na výbušninu jako příčinu vzniku požáru a povolání policejních pyrotechniků, je potřeba, pokud je to možné, přizpůsobit tomuto faktu další vedení zásahu. Zejména co se týče kontroly a zamezení přílišného pohybu osob jak v prostoru epicentra, tak i v oblasti dopadu materiálu odhozeného tlakovou frontou a rovněž minimalizace aktivit v tomto prostoru. Při dohašovací činnostech a odklizení poškozených předmětů mohou být snadno odneseny nebo přemístěny i důkazy důležité pro vyhodnocení události pyrotechnickými příslušníky.

Pro odebírání stěrů a vzorků je zase velkou komplikací požární voda, která může tyto stopy zcela znehodnotit. V místě epicentra přitom zpravidla nedochází k primární iniciaci požárů, což je způsobeno prudkým poklesem tlaku a tudíž i teploty při extrémním rozpínání tlakové fronty plynů.

4. Diskuze

4.1 Statistické výstupy

Pro zpracování statistického přehledu vývoje případů výbuchů s následným požárem v ČR a jejich jednotlivých parametrů, byly použity údaje zadávané veliteli zásahů a vyšetřovateli do programu SSU/ZOZ z let 2006 – 2012, týkající se pouze případů výbuchů. Ačkoli samostatná kategorie pro výbuch není v programu vytvořena, lze tyto jednotlivé případy vytřídit nastavením filtru. Komplikací je však v tomto případě nestejné zadávání informací do programu veliteli zásahů, kteří ne vždy označí daný případ jako výbuch (např. u případů explozivního hoření), ale jen jako požár. Rovněž je v tomto i jiných případech problémem snaha o jednoduché pojmenování často variabilních událostí, kde je sloučeno více typů ohrožení či typů zásahů. Z tohoto důvodu nemusí být, i přes značnou snahu o dohledání všech případů výbuchů, následná sumarizace případů naprosto kompletní.

Do statistiky nejsou zahrnuty případy výbuchů, při kterých sice zasahovaly jednotky HZS, ale nedošlo k požáru (fyzikální výbuch nebo výbuch výbušniny). Tyto případy nespádají podle SIAŘ GŘ HZS ČR č.3/2011 do událostí vyšetřovaných státním požárním dozorem.

Do celkových součtů případů a jejich jednotlivých parametrů ve vypracovaných tabulkách a grafech nejsou občas pro přehlednost započteny některé případy (např. nedošetřované případy) či některé jejich parametry, které se za sledované období vyskytly jen jednou a neměly by pro statistické vyhodnocení celkového obrazu vyvídací hodnotu. Do sumárních údajů materiálních škod v jednotlivých tabulkách a grafech nebyla rovněž zahrnuta škoda vzniklá při explozivním hoření par hořlavých kapalin a následném požáru dopravního letadla r.2012 v Praze (škoda 0,5 mld), při jejímž zahrnutí by byla výsledná statistická výpověď těchto tabulek a grafů zavádějící.

Obrázek č.1 (s. 37) popisuje počty výbuchů z let 2006 – 2012. Jsou zde zahrnuty případy výbuchů, které byly iniciátorem následného požáru, ale i případy, kde

výbuch nastal až účinkem požáru. Případy zahrnuté do tohoto grafu jsou tedy hlavně výbuchy, na základě jejichž zaregistrování byla svědky povolána jednotka HZS a nedošlo k nim až při samotném hasebním zásahu. Z tohoto grafu je zřejmý nárůst výbuchů spojených s požárem na území ČR. I když se celkové počty případů v jednotlivých letech mohou zdát malé a nárůst nijak dramatický je potřeba brát v potaz charakter těchto událostí. Každý jednotlivý případ výbuchu je charakteristický vysokou nebezpečností pro přítomné osoby a také často citelnými hmotnými škodami. Nárůst počtu těchto případů je proto hoden pozornosti, i pokud jde řádově o jednotlivé události.

Tuto skutečnost dokládá i **Tabulka č.1.** (s. 37) Při konfrontaci celkového počtu případů výbuchů s celkovými počty obětí na životech, zranění a materiálních škod vyplývá, že k obětem na životech dochází v 9% případů výbuchů, na každý případ připadá zraněný člověk a průměrná hmotná škoda se v případě výbuchů pohybuje kolem 750 000 Kč. Nárůst počtu obětí a zraněných je z tabulky méně patrný než nárůst počtu samotných případů.

Poměrně vyrovnaná výše materiálních škod z jednotlivých let je způsobena skutečností, že celkovou roční škodu značnou měrou tvoří mimořádné případy s velmi vysokou škodou:

- r.2006, Praha, výbuch plynu v restauraci – 20 mil.Kč
- r.2007, Týnec nad Sázavou, výbuch kogenerační jednotky pro výrobu elektrického proudu – 20 mil.Kč;
- r.2012, Nučice, výbuch v chemické laboratoři – 20 mil.Kč

Obrázek č.2 (s. 38) ukazuje zastoupení jednotlivých typů výbuchů, co se týče paliva výbuchu a jeho zdroje, v jednotlivých letech.

Nejvíce zastoupeným typem výbuchu jsou **výbuchy plynu**, přičemž většinou se jedná o propan-butanový plyn unikající z tlakové nádoby, či zemní plyn unikající z plynovodního řádu s následným nahromaděním a iniciací nějakým vnějším zdrojem. Na grafu je zřetelný nárůst tohoto typu výbuchu spolu s nárůstem celkového počtu případů výbuchů. Mezi dalšími plyny se jedná např. o koksárenský plyn nebo CO. Další početnou kategorií jsou **výbuchy par hořlavých kapalin**. Zpravidla se jedná o páry

z benzínu, ale zastoupeny jsou zde i výpary lepidel či jiných chemických látek. Tyto dva typy výbuchů tvoří 65% z celkového počtu případů.

Kategorie **výbuchů prachu** a **výbuchů elektrických zařízení** nejsou početně výrazněji zastoupeny. U Elektrických zařízení se jedná většinou o kondenzátory, trafostanice či elektromotory. U kategorie **výbuchů tlakových nádob** se jedná, pro jejich rozšířené používání, hlavně o tlakové lahve se zkapalněnými uhlovodíkovými plyny, ale jsou sem zahrnuty i jiné tlakové nádoby jako třeba plynové kotle či kotle na tuhá paliva. Kategorie **výbuchů výbušnin** je tvořena klasickými výbušninami a rovněž výbuchy snadno vznětlivých chemických látek (např. fosfor).

Za pozornost stojí lehký nárůst výbuchů tlakových nádob, ale zejména nárůst případů použití výbušnin, přičemž se zde nejedná o výrobky zábavní pyrotechniky.

V **Tabulce č.2** (s. 38) jsou uvedeny škody na životech, zdraví a majetku, způsobené jednotlivými typy výbuchů. Jedním ze zajímavých údajů, vyplývajících z Tabulky č.2 vysoký počet ztrát na životech a zdraví, způsobený výbuchy par hořlavých kapalin, zejména v poměru k počtu těchto případů. Zatímco počet zraněných přesahuje, podobně jako u výbuchů plynu či výbušnin, celkový počet případů, počet usmrcených zde dosahuje nesrovnatelně vyšších hodnot. V poměru k počtu případů jde o 22% smrtelnost těchto výbuchů! Vysvětlením je charakter tohoto paliva a způsob jeho iniciace, který je velice často přímo spojen s činností člověka, a to v bezprostřední blízkosti.

Překvapivý je relativně nízký počet obětí na životech u výbuchů tlakových nádob a zejména, vzhledem k jejich počtu, u výbuchů plynu. Vysvětlením je rovněž, jako u předešlého údaje, charakter iniciace výbuchu. V tomto případě menší angažovanost přímé lidské činnosti jako prostředek iniciace.

Poměr výše škod u těchto typů výbuchů odpovídá jejich četnosti: tj. vysoká škoda u výbuchů plynu a nízká u výbuchů par hořlavých kapalin. U výbuchů elektrických zařízení a výbušnin může klamat skutečnost, že jejich souhrnná škoda je u každého typu tvořena téměř v celkové výši pouze dvěma případy se škodou 20 mil.Kč.

Pro **Obrázek č.3** (s. 39) bylo nutné rozdělit případy výbuchů do několika oblastí vzniku. Oblast **Bydlení** zahrnuje prostory domů a budov sloužících výhradně pro

bydlení, a to včetně rekreačních chat, marigotek, či jiných provizorních obydlí. Oblast **Průmyslu** sestává z objektů a prostor, kde probíhá výrobní proces, včetně skladů a dalších prostor pro výrobu nezbytných. Patří sem rovněž rozestavěné budovy, coby objekty stavebního průmyslu. **Technická oblast** je podpůrnou oblastí pro bydlení a zahrnuje tedy prostory strojoven, technologické prostory, výměníky, trafostanice apod. Patří sem také oblast služeb tj. obchody, restaurace či čerpací stanice. Oblast **Dopravy** se předně týká objektů automobilové dopravy, ale patří sem i objekty dopravy železniční a letecké. Z obrázku č.3 je zřejmé, že oblast Bydlení je v počtu výbuchů zcela dominantní. Následují jí podobně početně zastoupené oblasti Průmyslu a Technických prostor. Nejnižší výskyt případů je v oblasti dopravy.

Tuto skutečnost dokládá i rozložení typů výbuchů do jednotlivých oblastí v **Tabulce č.3.** (s. 39) Kromě málo zastoupených výbuchů prachu, elektrického zařízení je oblast Bydlení pro všechny typy výbuchů dominantní. U výbuchů par hořlavých kapalin lze ještě sledovat poměrně vyvážené rozložení případů do tří hlavních oblastí. U výbuchů plynu a tlakových nádob je však dominance výskytu v oblasti Bydlení zcela zřetelná.

Na **Obrázku č.4** (s. 40) je znázorněno procentuelní rozložení celkového počtu výbuchů, obětí na životech a zdraví. Na **Obrázku č.5** (s. 40) je pak vidět procentuelní rozložení celkových materiálních škod do jednotlivých oblastí. I přes bezkonkurenční počet výbuchů v oblasti Bydlení nedosahují zde vzniklé škody výše škod vzniklých v Technické oblasti. Průměrná škoda na jeden případ zde činí 1,8 mil.Kč. V oblasti Bydlení oproti tomu je výše škody na jeden případ 0,44 mil.Kč. V oblasti Průmyslu je to 0,7 mil.Kč a v Dopravě 0,1 mil.Kč.

Tabulka č.4 (s. 41) znázorňuje čtyři nejčastější příčiny výbuchů. Počty případů výbuchů vzniklých z těchto příčin jsou zde za sledované sedmileté období sumarizovány a rozděleny do jednotlivých oblastí výskytu. K těmto příčinám patří **technická závada** – jedná se zde jak o konstrukční závady, vady materiálů, ale i závady vzniklé opotřebením. Příbuzná kategorie příčin je **nepředpokládaná změna provozních parametrů**. Tato kategorie zahrnuje závady na technologii, čili postupu

používání zařízení či objektu a týká se rovněž např. předmětů ve stroji apod. Dalšími příčinami jsou **nedbalost** a **úmyslná iniciace**.

Z tabulky č.4 je zřejmé, že nejčastější příčinou výbuchů (a to ve všech oblastech), je nedbalostní jednání. V oblasti Bydlení je tato příčina zcela dominantní nad ostatními příčinami. V ostatních oblastech není tento rozdíl tak extrémní, zvláště proti sobě podobným příčinám technické závady a nepředpokládané změny provozních parametrů. Nedbalostí se zde rozumí jak přímé zanedbání bezpečnostních předpisů a nesprávné používání, tak nedostatečné zohlednění přítomných podmínek a faktorů či podmínek, které nastat teprve mohou, a které je při dané činnosti nutno reflektovat.

Obrázky č.6 a 7 (s. 43) znázorňují, jakou měrou se jednotlivé příčiny výbuchů podílejí na vzniklých lidských i materiálních škodách. Tyto grafy dokládají fatální důsledky nedbalosti jako nejčastější příčiny výbuchů a zároveň faktoru odpovědném za největší oběti na životech a zdraví obyvatel a největší ztráty materiálních hodnot jejich následkem. V obětech na životech následuje nedbalostní příčiny úmyslná iniciace, což je dáno vysokým procentem případů osob se sebevražedným úmyslem v této kategorii.

V oblasti materiálních škod jsou pak hned za nedbalostními příčinami technické závady. V poměru k počtu výbuchů vzniklých na základě jednotlivých příčin jsou pak technické závady, coby příčina hmotných škod, závažnější. Na třetím místě figuruje příčina nepředpokládaných změn provozních parametrů.

Hodným pozornosti je pro vyšetřovatele rozhodně podíl neobjasněných případů na lidských i materiálních ztrátách. V celkovém počtu případů přesahují neobjasněné případy přes 10% hranici. Rovněž procentuelní hodnoty úmrtí a zranění, které se z celkového počtu týkají neobjasněných případů, nejsou zanedbatelné.

Tabulka č.5 (s. 42) ukazuje početní zastoupení příčin výbuchů u jejich jednotlivých typů. Údaje z této tabulky jsou dokladem výše zmíněného objasnění velkého počtu úmrtí a zranění u výbuchů par hořlavých kapalin. Výrazný počet nedbalostních příčin u tohoto typu výbuchu ukazuje na skutečnost, že jeho vznik je zpravidla iniciován bezprostřední činností člověka v blízkosti paliva. Vystavení osoby tlakovým a tepelným účinkům je v takovém případě neúčinnější. Zajímavý je také počet nedbalostních příčin u výbuchů tlakových nádob, který se vyrovnává součtu

případů vzniklých na základě technických závad či nepředpokládaných změn provozních parametrů. Neobjasněné příčiny jsou nejčastěji zaznamenány u výbuchů plynu.

V **Tabulce č.6** (s. 43) jsou zpracovány konkrétní iniciátory výbušných dějů spolu s jejich výskytem u jednotlivých typů výbuchů. Do kategorie **Otevřený oheň** spadá jak přímý plamen zapalovače či zápalky, tak i v několika případech nedopalek cigarety a rovněž výbuchy způsobené svářením či nahříváním materiálů. Do kategorie **Hořáky** jsou počítány malé hořáky a kahany charakteristické pro oblast Bydlení. **Elektrická energie** soustřeďuje iniciátory typu elektrický zkrat, oblouk či elektrickou jiskru. Samostatnou kategorií je výboj **Statické elektřiny**. Kategorií **Jiskra** je míněna jiskra mechanická nebo jiskra z topeniště. Zbývajícími iniciátory jsou **Povrchové teplo** a **Sálavé teplo**.

Souhrny výskytu iniciátorů u jednotlivých typů výbuchů identifikují jako hlavní (i když ne příliš výrazně) Otevřený oheň. U výbuchů plynu jsou případy rozvrstveny poměrně plynule mezi téměř všechny typy iniciátorů. Vysoké číslo je, také díky velkému počtu těchto výbuchů, u neobjasněného iniciátoru.

U výbuchů par hořlavých kapalin je zřejmá převaha tzv. aktivních iniciátorů souvisejících s bezprostřední činností člověka (otevřený oheň, mechanická jiskra či zapnutý hořák), oproti těm pasivním (sálavé teplo nebo horký povrch). Vysoké číslo u elektrického iniciátoru je způsobeno zejména několika případy iniciace par automobilového paliva autoelektrikou. Počet neobjasněných iniciátorů je zde rovněž vysoký.

Vysoký počet výbuchů vlivem jisker v kategorii tlakových nádob je tvořeno takřka výhradně výbuchy plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva, které jsou do této kategorie zahrnuty. Hodnoty u většiny ostatních iniciátorů se už spíš týkají přímého tepelného působení na tlakové lahve. Poměrně vysoký počet výbuchů tlakových nádob způsobených elektrickým iniciátorem ukazuje na skutečnost, že se často jedná o explozivní hoření paliva, prudce unikajícího z nádoby spíš než o její roztržení.

Jiný iniciátor u výbuchů výbušnin je většinou tvořen chemickou reakcí výbušné látky. V poměru k malému počtu případů výbuchů výbušnin s následným požárem je i zde počet neobjasněných iniciátorů vysoký.

Přehled neobjasněných případů v souvislosti s oblastmi jejich výskytu je vypracován spolu se škodami s nimi spojenými v **Tabulce č.7.** (s. 43) Z této tabulky je znatelná souvislost neobjasněných případů s neidentifikovaným iniciátorem, jehož určení ovšem není v některých případech pro objasnění celé události nepostradatelné. I bez jeho jednoznačného určení byla objasněna víc než polovina případů výbuchů.

Tabulka č.8 (s. 43) ukazuje rozčlenění jednotlivých iniciátorů do oblastí kde k výbuchům dochází. Ačkoli jsou v oblasti Bydlení aktivní všechny iniciátory, některé jsou pro tuto oblast podle výsledků tabulky č.8 zcela specifické: a to Otevřený oheň a Hořáky. Překvapivě vysoký výskyt je v oblasti Bydlení (oproti Technické oblasti a Průmyslu), u iniciátoru Jiskra. Tento údaj je vysvětlen do určité míry již zmíněnými případy výbuchů plynových kotlů a kotlů na tuhá paliva, kde je Jiskra výhradním iniciátorem.

Tyto statistické výsledky mi zejména zprostředkovaly celistvý obraz problematiky výbuchů v ČR. Porovnání četnosti některých parametrů vůči malému výskytu jiných mi pomohlo vytvořit si představu o potřebě nasměrování mé pozornosti při zpracování témat. Tento přehled byl rovněž důležitý pro dělení výbuchů, oblastí jejich výskytu či iniciátorů pro potřeby zpracovávaného materiálu. Ze skladby a četnosti výbuchů rovněž vyplynula jeho struktura.

Pro zprostředkování tohoto celistvého obrazu případů výbuchů v ČR jsem se snažil výrazné výstupy ze statistického šetření začlenit do zpracovávaného textu.

4.2 Analýza zdrojů

Při záměru vytvořit nový metodický materiál pro výkon ZPP v České republice, který by komplexně postihoval celé spektrum činností při vyšetřování požárů a výbuchů, není možné čerpat jen z jednoho zdroje. A to ani tak komplexního jakým se

zdá být NFPA 921. Ještě ve větší míře to platí, pokud se jedná o vyhledávání informací a údajů vztahujících se k detailnějšímu zkoumání jen vybrané části problematiky ZPP. Ještě před analýzou zahraničních zdrojů je samozřejmým postupem vyhledávání informačních zdrojů mezi českými materiály.

Jako první logický zdroj jsem zkoumal české materiály přímo se věnující problematice ZPP u požárů a výbuchů, a to zejména těch, které usilují postihnout problematiku ZPP v celé její šíři. Z těchto prací se tématu výbuchů dotýká jen *METODIKA pro činnost inspekcí požární ochrany při ZPP* kpt. Ing. M. Kotlára z roku 1985 a *Zjišťování příčin vzniku požárů II* vydaném MV GŘ HZS ČR v roce 2006, přičemž informace obsažené v druhém zmíněném zdroji jsou zcela nedostatečné. Kotlár přistupuje k problematice značně pečlivěji. Pouze několikastránkovým prostorem, věnovaným této části problematiky ZPP, jde však přesto jen o úvod do tématu. (20)

NFPA 921 je i vzhledem k tomu, že je v USA určena nejen pro oficiální vyšetřovací orgány, ale i pro veřejnost, charakteristická obsaženými popisy fyzikálně technických základů sledovaných témat svých kapitol. I u kapitoly věnující se výbuchům jsou v NFPA 921 detailně popsány základy teorie výbušných dějů. Jsou zde představeny jednotlivé typy výbuchů se svými charakteristikami, ačkoli jejich rozdělení není tak přehledné jako u Kotlára, který zase téměř nezmiňuje výbuchy tlakových nádob (zejména lahví). V NFPA 921 je téma tlakových lahví začleněno do oddílů věnovaných únikům plynu a tím (z pohledu statistiky výbuchů v ČR) obráno o svou samostatnou část (a větší pozornost), kterou si svým podílem na celkovém počtu výbuchů zaslouží.

Přestože je metodický materiál připravovaný MV GŘ HZS ČR určen pro interní použití na pracovištích vyšetřovatelů ZPP, a tedy směřován na osoby cíleně školené pro výkon ZPP, došel jsem k závěru, že uvedení těchto základních informací z teorie je opodstatněné. Společně se základními informacemi ohledně systému rozvodů plynu, konstrukcí tlakových lahví charakteristikami par hořlavých kapalin a dalšími, poskytují vyšetřovateli rámec dané problematiky. Přestože ze zpracovaných statistických údajů SSU/ZOZ vyplývá, že počty výbuchů mají stoupající tendenci, jedná se, vzhledem k počtu požárů pro příslušníky pro ZPP, o okrajovou činnost a i základní teoretické informace z této problematiky jsou tedy vyšetřovateli zapomínány.

Vyšetřování případů požárů vzniklých následkem výbuchu přitom klade vysoké nároky na teoretickou připravenost vyšetřovatele. I při přítomnosti specializovaných odborníků je velkou výhodou základní orientace v dané problematice. Ta umožní následně vyšetřovateli cílenou komunikaci se specialistou a kladení správných otázek. Bez znalostí těchto základů, a z toho plynoucí orientace v terénu dané oblasti, může být pro vyšetřovatele často nemožné vůbec stanovit vyšetřovací verze. I přes svou obsažnost nejsou informace NFPA 921, co se týče úvodu do jednotlivých oblastí výbuchů, kompletní. Některé oblasti (tlakové lahve či výbušniny) jsou zpracovány velmi obecně nebo podstatnou měrou chybí.

Vedle orientace v technických otázkách, týkajících se např. vytípaných zařízení a instalací předně v domácnostech, ale i v komerčním a průmyslovém sektoru, je takřka nezbytné mít přehled i v problematice požární a protivýbuchové prevence. Jde o znalosti normových požadavků a zákonných nařízení bezpečnosti práce pro manipulaci s materiály a činnosti s potenciálem vzniku výbušných stavů (např. skladování tlakových lahví, instalaci plynových spotřebičů nebo práce v prašném prostředí). Co se týče povědomí a znalostí v oblastech zákonných a normových povinností, týkajících se provozů s výskytem výbušných látek, či manipulace s nimi je tato potřeba u případů výbuchů ještě zřetelnější, než u požárů. Důvodem je, ze statistiky vyplývající, dominantní procento nedbalostních příčin u všech v této práci zmíněných typů výbuchů. Oddíl NFPA 921 21.13.2.2.1, týkající se získávání informací na místě výbuchu, poukazuje na potřebu zkoumání záznamů o údržbě, provozní a technické dokumentace, manuálů a jiných podobných dokumentů. (1)

Tato nit problematiky požární bezpečnosti a prevence se táhne takřka všemi kapitolami NFPA 921. Z těchto skutečností vyplývá důležitost této části výkonu ZPP jako součásti státního požárního dozoru. Vzhledem k faktu, že výkon ZPP je často vykonáván příslušníky HZS, kteří přišli z represivních složek a mají ohledně požární prevence jen základní znalosti, vidím jako velmi potřebné jejich cílené vzdělávání v této problematice. Velkou pomocí by bylo vytvoření materiálu zaměřeného na nejčastější nedostatky a porušování předpisů požární bezpečnosti, s kterými se kontrolní pracovníci prevence setkávají. Jen při přehledu týkajícího se povinností osob v daných činnostech

může vyšetřovatel identifikovat nedbalost a porušení bezpečnostních předpisů a nařízení, které mohly mít souvislost s vytvořením podmínek pro vznik výbuchu.

NFPA 921 velmi usiluje o praktičnost a terénní využití v ní uváděných poznatků. Teoretické popisy proto doplňují na ně navazující oddíly o účincích výbuchů a zanechaných stopách. Tyto informace Kotlárova *METODIKA* ani žádný jiný český materiál věnující se činnosti ZPP neuvádí.

Komparací pojetí vyšetřování výbuchů předkládaného v NFPA 921 se statistickými výstupy sumarizovaných údajů z SSU/ZOZ, jsem došel k následujícím závěrům. Údaje a poznatky v NFPA 921 v kapitole 21 *Výbuchy* se zpravidla týkají stop, zanechaných výbušnými ději, a to v největší míře výbušným tlakem. NFPA 921 podává rady k jejich interpretaci na místě výbuchu, včetně způsobů vedení vyšetřování a dokumentace. I když jsou zde místy uváděny i informace specifické pro jednotlivé typy výbuchů (plyn, prach, páry hořlavých kapalin atd.), většina informací ohledně vyšetřování je obecná, vztažitelná na všechny typy výbuchů. Spíše než ke konkrétním příčinám vzniku výbuchu se NFPA 921 vyjadřuje k lokalizaci epicentra výbuchu a určení způsobu výbuchu a jeho typu. Výsledkem je opět spíše obecné povědomí a základní informační vybavenost vyšetřovatele v problematice vyšetřování výbuchů, než podkrytí pestrosti příčin, či jejich opakování se u jednotlivých typů výbuchů.

Nedostatkem pro vyšetřovací postup u případů výbuchů v NFPA 921 je nulové zdůraznění důležitosti vytěžování informací od svědků a zúčastněných osob. NFPA 921 problematiku výsledků a získávání informací řeší v kapitole 13. *Zdroje informací*, nejsou zde však už uvedeny specifika informací, která je potřeba zohlednit u případů výbuchů. (1)

Dalším důležitým poznatkem bylo, že metody a vyšetřovací postupy uvedené v NFPA 921 jsou zaměřené a aplikovatelné hlavně u případů výbuchů značných plošných a destruktivních parametrů. Tyto případy výbuchů však v ČR tvoří jen mizivé procento z celkového počtu případů, i když se rovněž vyskytují – např. výbuch a požár v komplexu pardubické Synthesie. Vyšetřování těchto vyjimečných případů není navíc nikdy činností jen jednoho vyšetřovatele, ale je prací týmu složeného z dalších složek a odborníků. Z údajů, vzniklých na základě sumarizace dat z SSU/ZOZ vyplývá, že

naprostá většina případů se týká výbuchů zasahujících menší plochy (jedna místnost) s kratším dosahem destruktivních účinků. Většina vyšetřovacích metod z NFPA 921 je zde velmi omezeně, nebo zcela nevyužitelných, a naopak praktické, konkrétní informace pro daný typ výbuchu většinou chybí (slabé prvky spotřebičů, rozvodů plynu, riziková místa technologických procesů a činností, nejčastější příčiny a důvody).

Příčina této slabiny tkví v samotné formě NFPA 921 jako tištěného metodického materiálu, který se snaží vyjádřit ke všem oblastem činnosti ZPP u požárů a výbuchů. Detailní rozpracování každé jednotlivé oblasti by mělo za následek mnohadílnou publikaci, která by stejně musela podléhat aktualizacím a doplňování, což je ekonomicky nemožné.

Myšlenkou, která vznikla při úvahách o vytvoření aktuálního českého materiálu pro ZPP je vytvoření dvou typů materiálů. Tištěného, který by obsahoval základní informace o ZPP (organizace, legislativa, teorie, základní vyšetřovací postupy apod.). Druhým by měla být virtuální databáze, dostupná vyšetřovatelům na intranetu HZS ČR, ve které by se shromažďovaly konkrétní zkušenosti, postřehy a data pro specifické oblasti vyšetřování. Tento snadno doplnitelný a prostorově neomezený materiál je ideálním řešením s potenciálem stát se praktickým a hojně využívaným zdrojem zkušeností a informací pro vyšetřovatele z celé ČR.

Při rešerši dostupných zdrojů informací pro problematiku výkonu ZPP u případů výbuchů se jako nejdůležitější a prakticky nejvyužitelnější ukázaly osobní zkušenosti odborníků a terénních pracovníků, jejichž pracovní náplň souvisí s oblastmi vzniku výbuchů (pracovníci plynárenských pohotovostí, revizní technici plynových zařízení a tlakových nádob, pyrotechnici). Rovněž důležité byly zkušenosti vyšetřovatelů a jejich závěry, učiněné u konkrétních případů výbuchů a popsané v odborných vyjádřeních či odborných periodických (Alarm revue, 112) a zkušenosti odborníků z expertizních pracovišť (TÚPO, OKTE).

Dalšími materiály, obsahujícími informace využitelné při vyšetřování výbuchů, byly publikace, primárně se nezabývající tématem ZPP, ale zabývající se výbuchy z různých pohledů. Nejčastěji se jedná o publikace, periodika a internetové zdroje, věnující se tématům protivýbuchové prevence, protivýbuchové odolnosti staveb a

pyrotechnice. V těchto materiálech je kladen často velký důraz na detailní porozumění výbušným dějům, působení sil, které při nich vznikají a jejich působení na materiály a konstrukce. Využití těchto informací je zejména v obecné rovině, zprostředkující vyšetřovateli orientaci ve fyzikálním působení výbušných tlaků a teplot.

Ačkoli se NFPA 921 s českými materiály zpravidla v obecných a teoretických informacích shoduje, není tato shoda úplná. Některé informace se vzájemně liší nebo v NFPA 921 chybí.

V oddíle 21.4.1.4.2 NFPA 921 zmiňuje možnost odrazů tlakových vln od překážek s tím, že tímto odrazem může dojít k jejich zesílení či oslabení, aniž by tento úkaz vysvětlovala. (3) Tento jev je dobře vysvětlen v učebním textu Ing. B. Janovského na téma: *Působení vzdušných rázových vln na zařízení a osoby*, zpracovaném pro potřeby Katedry teorie a technologie výbušnin Univerzity Pardubice. Je zde popsána možnost interference vln při odrazu od překážky spolu s tlakovým působením těchto vln na osoby v různých polohách a vzdálenostech od překážky. (63) NFPA 921 rovněž mluví jen o tzv. tlakové frontě – tj. čele šířícího se výbušného tlaku, aniž by uváděla, že tlakových vln způsobených výbuchem je víc, což následně umožňuje jejich násobení a možný nárůst tlaku. (1) Tento proces vzniku rázových vln nabývá na hodnotě při posuzování poškození objektů či zranění osob tlakovou vlnou v blízkosti stěn či překážek, od nichž se vlny odrážejí.

Rozdíly mezi českými materiály a NFPA 921 se často týkají hodnot uváděných v tabulkách i textu. Dochází k nim téměř všude, kde se vyskytují číselné požárně technické charakteristiky (PTCH), ačkoli se zpravidla jedná o malé rozdíly – např. maximální velikost prachových částic, schopných výbušné reakce (0,42mm v NFPA 921 a 0,5 v českých materiálech) (1, 56), hodnoty mezi výbušnosti hořlavých plynů (rozdíly v řádu desetin obj.%), či hodnoty poškození budov a konstrukcí typické pro určité výbušné tlaky (tabulka 21.13.4.1.5) (1, 63). U některých hodnot jsou tyto rozdíly výraznější – např. předpokládaný maximální tlak, k němuž dochází v budovách při výbuších plynu (21 kPa u NFPA 921 oproti 15 kPa v českých materiálech), což může být způsobeno odlišností typických staveb v USA a ČR. (1, 33) Nejvýraznější rozdíly

pak jsou u teplot vznícení plynů, zejména propanu, butanu a vodíku, kde dosahují několika desítek °C. (1, 29)

Pro potřeby českého metodického materiálu bych se přidržel hodnot běžně používaných v evropských podmínkách.

U tabulek 21.13.4.1.5a a 21.13.4.1.5b věnujících se účinkům tlaku různých hodnot na organismus (a) a stavby (b) je potřeba poznamenat, že zde uvedené hodnoty jsou jen orientační a nemohou být generalizovány pro značné množství proměnných ovlivňujících výslednou odolnost jednotlivých osob či staveb. Vzhledem k tomuto faktu je pro vytvoření představy vyšetřovatele o rámcových hodnotách výbušného tlaku u vyšetřovaného případu dostatečná Tabulka č.9 (s. 49) uvedená Ing. D.Makovičkou v odborném časopise Stavební obzor. (1, 33)

V tabulce 21.13.4.1.5b uvádí NFPA 921 jednu ze základních hodnot pro posuzování tlaků výbuchů, poškození oken, ve velikosti 1kPa pro typický tlak pro porušení skla, zatímco některé české materiály uvádějí tuto hodnotu jako pro stejné poškození minimální. Faktem je, že zejména v posledních 25 letech došlo k značnému vývoji ve stavebnictví, co se týče nových materiálů a jejich použití. V současnosti se používají často menší, či dvojitá okna, což vede k větší odolnosti. Uvažovaná spodní hranice tlaku nutného pro poškození skla se z toho důvodu posunula až k 2kPa a typická okolo 5kPa. Důležitými faktory je rovněž tloušťka skla a velikost jeho plochy. (1, 63)

Pokud dojde k nutnosti přesně určit skutečnou odolnost určitého materiálu a hodnotu tlaku nutného k jeho destrukci, je nutná detailní laboratorní analýza odebraných vzorků defektoskopem k zjištění jeho složení a pevnosti, stejně jako způsobu spojení jednotlivých dílů (např. typ vyztužení betonu armaturami). (64)

U tabulky 21.8 (3) s PTCH hořlavých plynů je vhodné k mezím výbušnosti pro směsi plynů se vzduchem doplnit i hodnoty mezí výbušnosti směsí těchto plynů s kyslíkem, pro časté využívání u svařování. Hodnoty mezí výbušnosti se u některých plynů ve směsích s kyslíkem dramaticky mění.

Jako prakticky málo využitelnou a tudíž zbytečnou vidím tabulku 21.13.3.1 Typické charakteristiky výbuchů. (1) Ačkoli se snaží sumarizací projevů jednotlivých typů výbuchů poskytnout vyšetřovateli nástroj k vyloučení určitých typů výbuchů

neodpovídajících zjištěným projevům a stopám, lze tento postup použít jen v několika málo případech.

Co se týče jednotek pro uvádění tabulkové a další hodnoty, NFPA 921 počítá s používáním příručky i v zemích s metrickou soustavou a rovnou v tabulkách, či v textu pod čarou uvádí ekvivalentní hodnoty či převody stop, °K či psi (tlak na palec) na metry, °C a Pascaly.

Další poznámky vyplývající z analýzy českých zdrojů společně s NFPA 921 se týkají oblasti výbuchů plynu. Pro tuto oblast je, z hlediska příčin výbuchů, informativnější kapitola 9. Plynové topné systémy budov, oproti obecným informacím z kapitoly o výbuších. 9. Kapitola se obšírně věnuje tématu úniků plynu z plynovodního vedení a jeho následné iniciaci. V této kapitole jsou rovněž stručně zmíněny příčiny výbuchů vlivem úniku plynu z tlakových lahví. (1) Zde uvedené informace, týkající se způsobu rozvodů plynu, materiálů potrubí, používaných plynových spotřebičů a příslušné legislativy a technických norem je potřeba, pro použití v českém metodickém materiálu, upravit, aby odpovídaly podmínkám a situaci plynovodů v ČR.

Samotné příčiny úniků z potrubí a spotřebičů jsou s českými takřka totožné. Z výše zmíněného důvodu omezeného prostoru tištěného materiálu jsou však zde uvedené fakta příliš stručná.

V oddíle 9.9.7.1.1 je zmíněna možnost prostupu plynu, který unikl z podzemního plynovodu, základovým zdivem do vnitřního prostoru domů. (1) Tato možnost průniku plynu zdivem byla při konzultacích s plynárenskými odborníky odmítnuta, přičemž bylo uvedeno, že k průniku může dojít jen u špatně utěsněného prostupu plynovodní přípojky skrze zdivo do domu.

Z analýzy informací uvedených v kapitole NFPA 921, týkající se výbuchů, a při jejich komparaci s českými materiály vyplývá, že tyto informace jsou pro vytvoření českého metodického materiálu pro výkon ZPP u případů výbuchů využitelné. Tyto informace nemohou však být převzaty bez úprav a zohlednění českých podmínek. Z komparace se statistickými výsledky, vypracovanými na základě údajů z programu SSU/ZOZ zároveň vyplývá, že pro vytvoření informační základny pro české

vyšetřovatele HZS ČR k případům výbuchů, jsou informace NFPA 921 nedostatečné. Stejný, a v porovnání s NFPA 921 ještě hlubší, nedostatek, spočívající v přílišné obecnosti informací, byl zjištěn i u českých materiálů.

Z těchto zjištění vyplývá, že podmínky pro ZPP a jeho postupy v případech výbuchů nejsou pro vyšetřovatele HZS ČR dostatečné.

Informační základna, potřebná vyšetřovatelům k orientaci v problematice jednotlivých typů výbuchů a jejich příčin je příliš obecná a roztráštěná do množství zdrojů. Nejdůležitější, praktické informace, vycházející ze zkušeností pracovníků, pohybujících se v oblastech, kde k jednotlivým typům výbuchů dochází, jsou jen zřídka k nalezení v publikovaných odborných materiálech. Pro výkon ZPP u případů výbuchů tak jednoznačně chybí metodický materiál, v němž budou tyto informace shromážděny a zpracovány.

5. Závěr

Ve své práci jsem usiloval o zhodnocení přínosu americké normy NFPA 921, ale i českých stávajících zdrojů pro vytvoření kapitoly nového, českého, metodického materiálu, věnující se problematice vyšetřování požárů u případů výbuchů.

Oba tyto zdroje se po analýze ukázaly jako využitelné pro obecnou, teoretickou část tohoto materiálu, připravovaného MV GŘ HZS ČR, ale nedostatečné pro praktické využití vyšetřovateli u jednotlivých případů výbuchů. Spolu s touto skutečností byla zjištěna i nedostatečnost informační základny vyšetřovatelů HZS ČR pro výkon ZPP v této problematice.

Výsledkem mého úsilí o zaplnění této mezery je text uvedený ve výsledkové části této práce, založený na syntéze informací a dat z českých i zahraničních zdrojů, využitelný k vytvoření potřebné kapitoly připravované metodické příručky. Stěžejními pro vypracování tohoto textu, věnujícímu se obecně formám vyšetřování výbuchů i konkrétně vyšetřování u jejich jednotlivých typů, byly praktické, terénní zkušenosti odborníků ze zkoumaných oblastí, kde k výbuchům dochází.

Tato práce a její závěry budou poskytnuty pracovní skupině MV GŘ HZS ČR, která na přípravách nového metodického materiálu pracuje a budou využity při tvorbě její kapitoly, zabývající se vyšetřováním požárů u případů výbuchů.

6. Seznam informačních zdrojů

(1) NFPA 921, *Návod na vyšetřování příčin požárů a výbuchů*, 5. vyd. USA: Národní asociace požární ochrany, 2004, 328 s. ISBN-10: 9990030685

(2) ČESKO. Zákon České národní rady č. 133 ze dne 17. prosince 1985 o požární ochraně. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1985, částka 34, s. 674 – 691. Dostupný také z: http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=133/1985&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(3) ČESKO. Zákon č. 238 ze dne 28. června 2000 o Hasičském záchranném sboru České republiky. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 73, s. 3454 – 3460. Dostupný také z: http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=238/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(4) ČESKO. Vyhláška MV č. 246 ze dne 29. června 2001 o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 95, s. 5446 – 5472. Dostupný také z: http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=246/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(5) SIAŘ GŘ HZS ČR, pokyn č.3, kterým se stanoví *jednotný postup příslušníků HZS ČR při ZPP*, GŘ HZS ČR, 2011

(6) DAMEC, Jaroslav. *Protivýbuchová prevence*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1998, 185 s. ISBN 80-86111-21-0

(7) JANOVSKEÝ, Břetislav. Základní představy a mechanismy dalších typů výbuchu. In: *Protivýbuchová ochrana staveb; Pilotní seminář 1 - Vlastnosti výbušin a analýza charakteru výbuchového zatížení a jeho modifikací, Přednáška 6, Praha 14. února*

2007; *Sborník přednášek semináře* [online]. [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: http://pvoch.cvut.cz/ke_stazeni/

(8) BJERKETVEDT, D., BAKKE, J.R., van WINGERDEN, K. Gas explosion handbook. *Journal of hazardous materials*. 1997, vol. 52, no. 1, p. 1-150. ISSN 0304-3894.

(9) BURIAN, Stanislav. Výbušnost hořlavých prachů. *150 HOŘÍ*. 1998, č. 10, s. 14. ISSN 0862-8464

(10) DAMEC, Jaroslav. Přenositelnost charakteristik výbušnosti plyných a prachových směsí, zjištěných v laboratorních podmínkách na reálnou konstrukci. In: *Protivýbuchová ochrana staveb; Pilotní seminář 3 - Odezva stavebních konstrukcí při zatížení výbuchem a jejich ochrana, Přednáška 5, Praha 13. února 2008; Sborník přednášek semináře* [online]. [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: http://pvoch.cvut.cz/ke_stazeni/

(11) DEPARTMENT OF THE ARMY. *Military explosives*. In: *everyspec.com* [online]. Sep. 25, 1990. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: http://www.everyspec.com/ARMY/TM-Tech-Manual/TM_9-1300-214_9344/

(12) Statistické sledování událostí/Zpráva o zásahu. MV-GŘ HZS ČR [software]. [přístup 26. prosince 2012]

(13) SIAŘ GŘ HZS ČR a NMV, pokyn č.10, kterým se stanoví kterým se stanovují pravidla statistického sledování událostí a dokumentace o vedení zásahů, GŘ HZS ČR, 2006.

(14) SIAŘ GŘ HZS ČR, pokyn č.47, kterým se stanoví postup pro zajištění Optimalizace výkonu SPD při ZPP, GŘ HZS ČR, 2008.

- (15) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA: *National Fire Protection Association* [online]. © *National Fire Protection Association 2013*. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.nfpa.org/>
- (16) NFPA 921, *Guide for Fire and Explosion Investigation*. 7. vyd. USA: National Fire Protection Association, 2011, 341 s. ISBN-10: 1616657146
- (17) TITLBACH, Z. *Metodika vyšetřování požárů a výbuchů*. Praha: Univerzita Karlova, 1969
- (18) POKOJNÝ, P. *Zisťovanie príčin vzniku požiarov*. Bratislava: Alfa, 1975
- (19) ŠTEFEK, Jiří. *Zjišťování příčin požárů*. Frýdek-Místek: MV ČSSR, Střední odborná škola požární ochrany, 1984, 189 s.
- (20) KOTLÁR, M. *Metodika pro činnost inspekcí PO při ZPP I a II*. Praha: MV ČSSR, 1985, 211s.
- (21) KOLEKTIV AUTORŮ, *Zjišťování příčin vzniku požárů I*. Praha: MV GŘ HZS ČR, 2000.
- (22) KOLEKTIV AUTORŮ, *Zjišťování příčin vzniku požárů II*. Praha: MV GŘ HZS ČR, 2005.
- (23) KOLEKTIV AUTORŮ. *Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství*. Ostrava: SPBI, 1999, s.182, ISBN 80-86111-41-5.
- (24) BARTOŠ, Jaroslav. *Plynová zařízení pro III. ročník SOU*. Praha: SNTL, 1990, © České plynárenské podniky, koncern, 1990. s. 276.

- (25) MACHÁČEK, Miloslav. *Plynárenské technologie pro III. ročník II.díl*, Praha: SNTL, 1990, © České plynárenské podniky, koncern, 1990. s. 164.
- (26) PRÁGER, Prokop. *Příručka pro montážní pracovníky odběrných plynových zařízení I*. Praha: Cech odborníků plynových zařízení, © Ing. Prokop Práger, 1994. ISBN 80-85267-72-1.
- (27) PERTLÍK, Jiří. *Rozvod a použití plynu I*. Praha: GAS s.r.o., 1995, © GAS s.r.o., Praha 1995, s. 113.
- (28) PERTLÍK, Jiří. *Rozvod a použití plynu II*. Praha: GAS s.r.o., 1996, © GAS s.r.o., Praha 1996, s. 154.
- (29) KRATOCHVÍL, V., KRATOCHVÍL, M., NAVAROVÁ, Š., CHMEL, J. *Tlakové lahve z hlediska požární bezpečnosti*. Ostrava: SPBI. 2010, s. 155. ISBN 978-80-7385-070-8.
- (30) PŘIBYLA, Zdeněk, BUCHTA, Jiří. *Bezpečné používání propan-butanu (v průmyslu, laboratořích a domácnostech)*. Praha: CODEX Bohemia, 1995. © Zdeněk Příbyla, Jiří Buchta, Praha 1995. s. 266. ISBN 80-85963-02-7.
- (31) SPURNÝ, Joža. *Psychologie výslechu*. Praha: Portál, 2003, s.120. ISBN 80-7178-846-5.
- (32) CHMELÍK, Jan. *Ohledání místa činu*. Praha: MV GŘ HZS ČR, 1999, s. 93.
- (33) MAKOVIČKA, Daniel. Odezva konstrukce budovy a ohrožení jejích obyvatel výbuchem plynu. *Stavební obzor*. 2006, č. 7, s. 197. ISSN 1210-4027

(34) PEKAR, Vasil Silvestr. *Zjišťování příčin požárů v rámci státního požárního dozoru*. Ostrava: SPBI, 2011, s. 111. ISBN 978-80-7385-107-1.

(35) ČESKO. Zákon č. 458 ze dne 20. listopadu 2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 131, s. 7142 – 7189. Dostupný také z:

http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=458/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(36) GAS s.r.o. Přeprava a uskladnění zemního plynu. In: *zemniplyn.cz* [online]. © 2007 - 2010 GAS s.r.o. [cit. 2013-02-10]. Dostupné z:

<http://www.zemniplyn.cz/doprava/default.htm>

(37) TPG 913 01. Technická pravidla – *Kontrola těsnosti a činnosti spojené s problematikou úniků plynu na plynovodech a plynovodních přípojkách*. Praha: Český plynárenský svaz, © ČPS 2008, s. 31. ISBN 978-80-7328-148-9.

(38) HORNÁ, Marianna. Výbuchy zemního plynu. *150 HOŘÍ*. 1999, č. 9, s. 14. ISSN 0862-8467

(39) Bezpečnostní list: Oxid uhelnatý (CO). In: *airproducts.cz*. [online]. 1. února 2007. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z:

http://www.airproducts.cz/corporate/obecne/pdf/BL198R05_Oxid_uhelnaty.pdf

(40) BUCHTA, Jiří., BURIŠIN, Miroslav. Plynová zařízení v budovách. In: *tzb-info.cz*. [online]. 21. dubna 2008. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z:

<http://www.tzb-info.cz/4805-plynova-zarizeni-v-budovach-i>

(41) ČESKO. Nařízení vlády ze dne 9. prosince 2002, kterým se stanoví technické požadavky na spotřebiče plynových paliv. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2003, částka 9, s. 360 - 376. Dostupný také z:

http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=22/2003&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(42) ORLÍKOVÁ, Kateřina. Skladování hořlavých kapalin. In: H.V.K.L. PROPAG TEAM. *Bezpečnost technologických zařízení v prostorech s nebezpečím požárů a výbuchů*. Trutnov: H.V.K.L. PROPAG TEAM. 1996, s. 5 – 8.

(43) KRYKORKOVÁ, J. ČAPOUN, T. URBANOVÁ, D. Určování prioritních nebezpečných účinků látek I. Výbušnost a hořlavost. In: INSTITUT OCHRANY OBYVATELSTVA. *Informační zpravodaj*, 2004, č. 2, s. 33 - 45 [online].[cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <http://www.ioolb.cz/docs/publikace/ifzp22004.pdf>

(44) ZAPLETALOVÁ, Ivana. *Protipožární a protivýbuchová prevence technologických procesů II*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1987, © Ing. Ivana Zapletalová, s.107.

(45) MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, Statistická ročenka životního prostředí České republiky. In: *cenia.cz*. [online]. © 2008, MŽP. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/node/243>

(46) AMBROŽ, O., KANDUS, B., KUBÍČEK, J. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, ZEROSS svářečské nakladatelství, 2001, s. 395. ISBN 80-85771-81-0.

(47) ČSN EN 1968. Lahve na přepravu plynů - Periodická kontrola a zkoušení bezešvých ocelových lahví. Praha: Český normalizační institut, 2002, s. 44. Třídící znak 078534

- (48) ČSN 07-8304. Tlakové nádoby na plyny - Provozní pravidla. Praha: Český normalizační institut, 2003, s. 24. Třídící znak 078304
- (49) KRATOCHVÍL, Václav. Výbuchy kovových tlakových lahví. *150 HOŘÍ*. 2000, č. 1, s. ISSN 0862-8467
- (50) KOUTNÝ, Jiří. Zásady obsluhy redukčních ventilů. In: *svarinfo.cz*. [online]. 20. dubna 2009. [cit. 2013-02-19]. Dostupné z:
<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2009011001>
- (51) ČESKO. Vyhláška Ministerstva vnitra ze dne 31. března 2000, kterou se stanoví podmínky požární bezpečnosti při svařování a nahřívání živců v tavných nádobách. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 29, s. 1419 – 1428. Dostupný také z:
http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=87/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.
- (52) KOUTNÝ, Jiří. Přepouštění technických plynů na svařování. In: *svarinfo.cz*. [online]. 24. května 2008. [cit. 2013-02-02]. Dostupné z:
<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008042201>
- (53) MAGISTRÁT HL.M.PRAHY. *Informace určená veřejnosti v zóně havarijního plánování, Český plyn k.s. Plnírna Satalice*. Praha: Magistrát hl. m. Prahy, Informační leták, prosinec 2006.
- (54) Bezpečnostní list: Zemní plyn odorizovaný. In: *rwe.cz*. [online]. 1. prosince 2010. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z:
http://www.rwe.cz/cs/media/legislativa/VCP_BL_ZP_odorizovany_final.pdf?jis=20130416111013
- (55) PETRUS, J. Prevence a ochrana proti výbuchu prachu. In: *bozpinfo.cz*. [online]. 29. srpna 2006. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:

http://www.bozpinfo.cz/knihovnabozp/citarna/clanky/technickabezpecnost/vybuchy_prachu.html

(56) DAMEC, Jaroslav. Přenositelnost charakteristik výbušnosti plyných a prachových směsí, zjištěných v laboratorních podmínkách na reálnou konstrukci. In: *Protivýbuchová ochrana staveb; Pilotní seminář 1 - Vlastnosti výbušnin a analýza charakteru výbuchového zatížení a jeho modifikací, Přednáška 3 a 4, Praha, 14. února 2007; Sborník přednášek semináře* [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z:

http://pvoch.cvut.cz/ke_stazeni/

(57) CÁB, Stanislav. Nebezpečí výbuchu hořlavých prachů v průmyslu. In: *bozpinfo*. [online]. 11. února 2013. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z:

http://bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tema-bozpinfo/vybuch_prach130207.html

(58) ČESKO. Nařízení vlády ze dne 2. června 2004 o bližších požadavcích na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2004, částka 131, s. 7891 – 7899. Dostupný také z:

http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=406/2004&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

(59) MATYÁŠ, Robert. *Improvizované výbušiny*. In: 2. Mezinárodní pyrotechnický seminář, Praha, 2 -3. září 2003, sborník referátů, s. 100 - 121.

(60) KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ. Sdělení Komise o posilování bezpečnosti výbušnin. In: *eur-lex.europa.eu* [online]. 6. listopadu 2011. [cit. 2013-02-18]. Dostupné z:

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/cs/com/2007/com2007_0651cs01.pdf

(61) DEPARTMENT OF THE ARMY. *Improvised Munition Handbook*. Washington: Pentagon Publishing, June 1, 2004, p. 256. ISBN 10-0975900900.

(62) DEPARTMENT OF THE ARMY. *Explosives and Demolitions*. Washington: Pentagon Publishing, June 1, 2004, p. 186. ISBN 10-0975900951.

(63) JANOVSKEÝ. Břetislav. *Působení vzdušných rázových (tlakových) vln na zařízení a osoby*. Učební text, Katedra teorie a technologie výbušin, Univerzita Pardubice.

(64) KUPILÍK. Václav. *Hodnocení objektů zasažených požárem a výbuchem*. Praha: STAV-INFORM, duben 1994, s. 51. ISBN 80-85380-36-6.

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Sumarizace škod	37
Tabulka 2 – Škody způsobené jednotlivými typy výbuchů	38
Tabulka 3 – Rozložení typů výbuchů do oblastí výskytu	39
Tabulka 4 – Příčiny výbuchů v jednotlivých oblastech	41
Tabulka 5 – Typy výbuchů a jejich příčiny	42
Tabulka 6 – Iniciátory jednotlivých typů výbuchů	43
Tabulka 7 – Neobjasněné příčiny a iniciátory	43
Tabulka 8 – Iniciátory pro jednotlivé oblasti	43
Tabulka 9 – Orientační posouzení hodnot výbušného tlaku	49
Tabulka 10 – Posouzení míry těkavosti hořlavých kapalin	61
Tabulka 11 – PTCH vybraných hořlavých kapalin	61
Tabulka 12 – PTCH vybraných plynů	73
Tabulka 13 – Prekurzory výbušnin	83

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vývoj případů výbuchů v ČR v letech 2006 – 2012	37
Obrázek 2 – Vývoj typů výbuchů	38
Obrázek 3 – Vývoj výskytu výbuchů v jednotlivých oblastech	39
Obrázek 4 – Procentuelní rozložení škod do oblastí výskytu	40
Obrázek 5 – Rozložení materiálních škod (tis.Kč)	40
Obrázek 6 – Rozložení hmotných škod jednotlivých příčin	41
Obrázek 7 – Rozložení lidských škod jednotlivých příčin	42

