

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Analýza zahoření skládek komunálního odpadu v ČR

**Diplomová práce**

Vedoucí diplomové práce: MUDr. Magdalena Zimová, CSc.

Diplomant: Jakub Skála

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Skála

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

**Analýza zahoření skládek komunálního odpadu v ČR**

Název anglicky

**Analysis of burning off municipal waste landfills in the Czech Republic**

---

**Cíle práce**

Cílem práce je srovnání metod používaných při likvidaci velkých požárů skládek komunálních odpadů v ČR a v zahraničí, a to z hlediska používaných metod, jejich účinnosti a vlivem na skládku jako takovou a životní prostředí. Mezi cíle práce bude patřit analýza příčin zahoření skládek komunálních odpadů. Výsledkem práce bude návrh metody prevence vůči nejobvyklejším příčinám vzniku požáru skládek tuhých odpadů, která by měla být dostatečně účinná, nenákladná a zároveň šetrná k životnímu prostředí.

**Metodika**

1. Základem práce bude zpracování literární rešerše. V rámci rešerše bude popsán stávající výzkum nejen z hlediska příčin, ale i z hlediska prevence proti zahoření skládky komunálního odpadu, její vliv na životní prostředí a veřejné zdraví.
2. Bude zpracováno porovnání hasebních metod v České republice s vybranými zahraničními státy.
3. V praktické části bude proveden rozbor údajů požárů skládek od roku 2006 do roku 2017, kde budou sledovány abnormality či vzorce ve vznícení skládek komunálního odpadu.
4. Výsledkem bude návrh metody prevence vůči nejobvyklejším příčinám vzniku požáru.

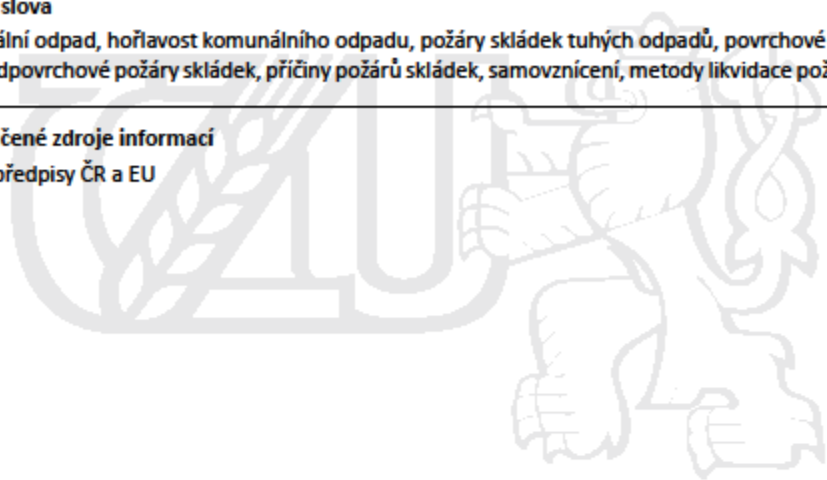
**Doporučený rozsah práce**  
cca 50 str.

**Klíčová slova**

Komunální odpad, hořlavost komunálního odpadu, požáry skládek tuhých odpadů, povrchové požáry skládek, podpovrchové požáry skládek, příčiny požárů skládek, samovznícení, metody likvidace požárů skládek.

---

**Doporučené zdroje informací**  
platné předpisy ČR a EU



---

**Předběžný termín obhajoby**  
2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**  
MUDr. Magdalena Zimová, CSc.

**Garantující pracoviště**  
Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020  
**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020  
**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**  
Děkan

V Praze dne 18. 06. 2020

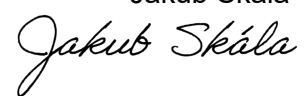
Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza zahoření skládek komunálního odpadu v ČR vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 29.6. 2020

Jakub Skála  


## Abstrakt

Cíle práce je analýza dat zahoření skládek komunálního odpadu, identifikace nejčastějších příčin zahoření skládek komunálních odpadů a případné navržení preventivních metod pro předcházení těchto požárů, které by bylo možné začlenit například do provozních řádů. Základem práce bude vypracování literární rešerše, ve které bude porovnáno použití hasebních metod na území Spojených států amerických a Kanady s Českou republikou. Cílem je identifikace nejúčinnějších metod, které budou zároveň šetrné k životnému prostředí.

## Klíčová slova

Komunální odpad, hořlavost komunálního odpadu, požáry skládek tuhých odpadů, povrchové požáry skládek, podpovrchové požáry skládek, příčiny požárů skládek, samovznícení, metody likvidace požárů skládek.

## Abstract

Main goals of the thesis are data analysis focused on municipal landfill fires, identifying the most common causes of ignition fires at municipal landfill and possibly proposing preventive methods to reduce these fires which can be integrate into for example operating rules. The basic of this thesis will be elaboration of literature review focused on comparison of extinguishing methods in the United States of America and Canada with Czech Republic and identification the most effective methods that will be also environmentally friendly.

## Key Words

Municipal waste, combustibility of municipal waste, fires of solid waste landfills, surface fires of landfills, subsurface fires of landfills, causes of landfill fires, autoignition, methods of disposal of landfill fires.

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	1
3. Metodika .....	1
4. Literární rešerše .....	3
4.1. Legislativa .....	3
4.2. Plán odpadového hospodářství České republiky .....	5
4.2.1. Cíle oběhového hospodářství.....	5
4.2.2. Strategické cíle odpadového hospodářství .....	6
4.3. Komunální odpad .....	6
4.3.1. Produkce komunálního odpadu v ČR.....	7
4.3.2. Složení komunálního odpadu.....	9
4.3.3. Složení směsného komunálního odpadu.....	12
4.4. Sklárky odpadu a jejich provoz .....	13
4.5. Protipožární ochrana .....	15
4.6. Nejčastější příčiny zahoření skládek komunálního odpadu.....	17
4.6.1. Skládkový plyn, jeho vznik a složení .....	20
4.7. Hoření odpadu .....	21
4.7.1. Způsob okysličování.....	22
4.8. Podmínky ovlivňující množství a složení produktů hoření.....	22
4.9. Šíření do okolí .....	23
4.10. Toxikologie produktů hoření.....	26
4.11. Toxické účinky zplodin hoření .....	26
4.11.1. Dráždivé účinky .....	26
4.11.2. Narkotické účinky.....	27
4.11.3. Blokování přenosu kyslíku .....	27
4.11.4. Mutagenní a karcinogenní účinky .....	27

4.12.	Expoziční testy .....	28
4.13.	Cesty šíření požáru.....	30
4.14.	Vliv hasiv na kontaminaci životního prostředí.....	30
4.15.	Taktika hašení skládek odpadu.....	32
4.16.	Metody likvidace požárů skládek .....	32
4.16.1.	Zaplavení ohnisek velkým množstvím vody, inertním materiálem nebo pěnou. 33	
4.16.2.	Injektáž vody do tělesa skládky.....	34
4.16.3.	Rozrušení skládky pomocí mechanických účinků proudů vody .....	35
4.16.4.	Postupné rozebírání těžkými mechanismy a zkrápění vytěženého materiálu 35	
4.16.5.	Zkropení nebo zaplavení povrchu skládky nad ohnisky požáru a následným zhutněním pomocí těžkých mechanismů.....	36
4.16.6.	Zavezení zeminou .....	36
4.17.	Porovnání metod v ČR s metodami v USA a Kanadě .....	37
4.17.1.	Delta Shake and Shingle site – Kanada.....	38
4.17.2.	USA – Iowa City Landfill & Recycling Center .....	39
4.17.3.	Česká republika.....	40
4.18.	Porovnání prevence s následky .....	42
5.	Výsledky práce .....	42
5.1.	Popis dat .....	42
5.2.	Použité testy.....	43
5.3.	Vlastní analýza dat.....	44
5.3.1.	Nejčastější příčiny zahoření skládek KO s využitím dat HZS.....	44
5.3.2.	Analýza závislosti zahoření na srážkách a venkovní teplotě.....	45
5.3.3.	Statistická analýza počtu požárů vzhledem k umístění v grafech .....	45
5.3.4.	Statistická analýza vlivu úhrnu srážek na počet požárů.....	49
5.3.5.	Statistická analýza vlivu průměrných teplot na počet požárů .....	52
6.	Diskuse .....	54

7. Závěr a přínos práce .....	55
8. Přehled literatury a použitých .....	58
9. Seznam obrázků .....	66
10. Seznam tabulek.....	66
11. Seznam grafů .....	66



# **1. Úvod**

Nejrozšířenější způsob nakládání s tuhými odpady v České republice je stále ukládání odpadů na skládky komunálního odpadu. Přibližně čtvrtina vzniklých tuhých odpadů končí na skládkách, i když se intenzivně pracuje na vývoji nových technologií pro zneškodňování odpadů, včetně regenerace některých jejich složek [66]. Velkoobjemové skládky jsou ekonomicky nejvýhodnější, neboť je možné investiční náklady při zakládání skládky rozdělit mezi větší objemy zneškodňovaného materiálu. Jedním z mnoha nebezpečí, které skládky pro člověka znamenají může být vznik požáru. [9]

Většinou se jedná o požáry velkého rozsahu, jenž se obtížně likvidují a vytvářejí velké množství jedovatých látek. Celá řada těchto polutantů má významný vliv na člověka či životní prostředí. Většina těchto látek bývá pak deponována ve vodě či půdě po velmi dlouhou dobu, případně se vlivem meteorologických podmínek rozšíří daleko od místa svého vzniku. [3]

Z celkového počtu požárů v ČR tvoří požáry odpadu značnou část, nicméně materiálová škoda je mizivá vzhledem k nulové ceně odpadu. [1] V této práci bych se rád zaměřil na požáry skládek komunálního odpadu, které představují stále rostoucí riziko pro zdraví lidí a životní prostředí.

## **2. Cíle práce**

Cílem práce je analýza dat zahoření skládek komunálního odpadu od roku 2006 do roku 2017, identifikace nejčastějších příčin zahoření skládek komunálních odpadů a případné navržení preventivních metod pro předcházení těchto požárů, které by bylo možné začlenit například do provozních řádů. Dále budou porovnány hasební metody, a to z hlediska jejich účinnosti, šetrnosti, ekonomické náročnosti a vlivu na skládku, životní prostředí a veřejné zdraví. Metody používané v ČR budou porovnány s metodami používanými v zahraničí – zejména v USA a Kanadě. Dalším výsledkem práce bude návrh hasebních metod, která by měla být dostatečně účinná, nenákladná a zároveň šetrná k životnímu prostředí.

## **3. Metodika**

Základem práce je zpracování literární rešerše. V rámci rešerše byl popsán stávající výzkum nejen z hlediska příčin, ale i z hlediska prevence proti zahoření skládky komunálního odpadu, její vliv na životní prostředí a veřejné zdraví. Dále bylo zkoumáno složení komunálního odpadu a podmínky, při kterých dochází k jeho vznícení či samovznícení.

Dále byly porovnány hasební metody České republiky s vybranými zahraničními státy (USA, Kanada). Tyto státy byly zvoleny na základě konzultačního doporučení vzhledem k jejich odlišnému typu financování hasičského sboru, existenci centrálního federálního úřadu v USA a velikosti celkového území obou států, které může vyústit k určitým extrémním situacím ať z hlediska rozlehlosti prostoru, které musí být jednotkami hasičů pokryt, či rozměrem skládkových těles.

Cílem bylo stanovit metodu, která by splňovala jistou šetrnost zásahu k životnímu prostředí, byla efektivní a nenáročná na lidské a finanční zdroje

Ve vlastní části práce byl proveden rozbor dat, které poskytl Hasičský záchranný sbor (HZS). Jednalo se o tabulku zásahů HZS v časovém období od roku 2006 do roku 2017, která obsahovala informace o době započetí a ukončení zásahu, jméno vlastníka skládky, místní identifikaci (obec a okres), hrubý popis požáru, co je zasaženo požárem (objekt, odpad, hromada pneumatik atd.) a výměru plochy, která byla požárem zasažena. Dále byl v tabulce uveden iniciátor, tedy informace o tom, čím být pravděpodobně požár vyvolán a co ho mohlo způsobit (nedbalost, nehoda, úmyslné jednání). Nicméně, tato tabulka nerozlišovala požár skládky od požáru budovy na zpracování odpadu, požáru v recyklační hale či požáru stroje na pozemku skládky, odpadkového koše nebo kontejneru. Bylo proto nutné celou tabulku upravit a doplnit informaci o typu a objektu požáru. Z jednotlivých záznamů, zejména z prvních let zkoumaného období, nebylo zcela zřejmé, co vlastně požár zachvátil. Z tohoto důvodu bylo nutné obdržaná data porovnat s dalšími validními zdroji (pozary.cz, ročenky HZS) a identifikovat objekt požáru na základě profesionálního odhadu a odborných diskusí s hasiči Středočeského kraje. Přibližně od roku 2008 byl zaznamenán značný posun v evidenci požárů, a proto je pravděpodobnost odhadu objektu v letech 2008 až 2017 vyšší než v letech 2006 až 2007. Pro analýzu dat byla použita pouze data požáru skládek.

Data byla analyzována pomocí kontingenčních tabulek a grafů. V rámci datové analýzy byly požáry zkoumány z hlediska geografického umístění, časového období a příčin vzniku. Na základě tabulky četnosti příčin požárů skládek a vzhledem k vysokému zastoupení samovznícení byla vytvořena hypotéza závislosti množství požárů v průběhu roku na klimatických a meteorologických podmínkách. Byly zvoleny proměnné průměrná teplota za daný měsíc (dále jen proměnná „teplota“) a průměrné množství srážek za daný měsíc (dále jen proměnná „srážky“).

K potvrzení a zkoumání závislosti množství požárů na meteorologické podmínky byla zvolena lineární regrese, která zkoumá aproximaci daných hodnot přímkou metodou nejmenších čtverců. Aby bylo možné tuto metodu použít, byla ověřena normalita dat pomocí

Shapiro – Wilkúv testu. Významnost modelů lineární regrese pro proměnnou teploty a pro proměnnou srážky byla určena pomocí F-testu, který využívá Fisherova rozdělení. F-test je založen na rozkladu rozptylu součtu čtverců odchylek od střední hodnoty. Testová statistika je tvořena poměrem dvou členů úměrných součtům čtverců, které odrážejí různé zdroje variability. Pokud nulová hypotéza není pravdivá, tak tyto součty čtverců jsou utvořeny způsobem, aby statistika měla vyšší tendenci. Významnost proměnných modelů lineární regrese byla stanovena na základě t-testu, který vychází ze situace, že má-li výběr normální rozdělení, pak průměr tohoto výběru má také normální rozdělení se stejnou střední hodnotou. Rozptyl nicméně není skutečně znám, pokud je nahrazen odhadem vznikne T rozdělení, které s rostoucím počtem stupňů volnosti konverguje k normálnímu rozdělení.

Dále byly ve vlastní části práce rozebrány jednotlivé příčiny požárů skládek a připojena doporučení pro snížení či omezení nežádoucího vlivu na vznik požárů skládek.

## **4. Literární rešerše**

### **4.1. Legislativa**

Česká republika se v současnosti řídí zákonem 185/2001 Sb., o odpadech. Předpisy Evropské unie jsou nejčastěji zapracovávány ve formě směrnic. Hlavní směrnicí pro oblast odpadů je Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851.

Zákon 185/2001 Sb. upravuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů, pro nakládání s odpadem, ochranu životního prostředí, lidského zdraví a trvale udržitelný rozvoj. Zákon též definuje odpad a zacházením s ním následovně: „odpad je každá movitá věc, které se člověk zbavuje nebo má v úmyslu se zbavit a náleží do skupiny odpadů dle přílohy č.1 tohoto zákona. Osoba je povinna zbavit se movité věci, jestliže jí nepoužívá k původnímu účelu a věc ohrožuje životní prostředí nebo byla vyčleněna na základě zvláštního právního předpisu (např. zákon o ochraně spotřebitele).“ [2]

Dle zákona o odpadech, lze označit odpadové hospodářství jako: „aktivitu zaměřenou na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy a kontrolu těchto činností.“ [2]

Jako původce odpadu je dle zákona označena jednak každá fyzická či právnická osoba oprávněná k podnikání u které dochází při provádění činnosti ke vzniku či úpravě odpadů. Jako původce chápeme také obec. Obec se původcem (a současně majitelem) stává v okamžiku kdy fyzická osoba nepodnikající odloží odpad na místě k tomu určeném. Za původce odpadu, lze tedy označit kohokoliv, při jehož činnosti vzniká odpad.[2]

Zákon o odpadech též stanovuje pravidla pro nakládání a hierarchii nakládání s odpady, které je podle zákona definováno jako shromažďování, výkup, sběr, přeprava, doprava, skladování, obchodování, využití a odstranění odpadu. Každá skupina odpadů vyžaduje specifické nakládání na základě svých vlastností a rizika pro životní prostředí. [2]

Zákon také upravuje působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství, práva a povinnosti osob a definuje níže uvedené základní pojmy:

- Komunální odpad je definován jako „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.“ [2]
- Odpad podobný komunálnímu je určen jako „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů“ [2]
- Odstranění odpadů je definována „činnost, která není využitím odpadů, a to i v případě, že tato činnost má jako druhotný důsledek znovuzískání látek nebo energie“ [2]

V odpadovém hospodářství je nutné dodržovat hierarchii způsobu nakládání s odpady.

Obrázek 1. Hierarchie nakládání s odpady. CAO H [85]



Dalším legislativním dokumentem České republiky je Nařízení vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 [74]. Tento

strategický dokument obsahuje plán s cíli, kterých je nutné dosáhnout, a s opatřeními, která je mají umožnit. Strategické cíle pro období 2015-2024:

- „Předcházení vzniku odpadů a snižování měrné produkce odpadů.“[74]
- „Minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadů a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí.“[74]
- „Udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“.“[74]
- „Maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství.“[74]

Nařízením vlády č. 352/2014 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 se bude podrobněji zabývat následující kapitola.

## **4.2. Plán odpadového hospodářství České republiky**

Vláda České republiky vydává Plán odpadového hospodářství České republiky (POH ČR) pro dané období ve formě nařízení vlády, ve kterém stanovuje cíle pro nakládání s odpady a definuje opatření, se kterými chce těchto cílů dosáhnout. Současný strategický dokument je vydán na období 2015 – 2024 a musí se jím řídit plány odpadového hospodářství jednotlivých krajů a obcí. Zda se daří naplňovat strategický rámec uvádějí tzv. hodnotící zprávy, které vydává Ministerstvo životního prostředí (MŽP) ve spolupráci se svými resortními organizacemi.[74]

Stěžejním bodem strategického plánu pro tuto práci je nakládání se směsným komunálním odpadem. Směsným komunálním odpadem (SKO) rozumíme odpad, který je výsledkem po vytrídění materiálů ve využitelných složkách, nebezpečných a biologicky rozložitelných odpadů. Je zařazen v Katalogu odpadů pod kódem 20 03 01. Dle strategického plánu je energetické využití určeno jako prioritní nakládání s SKO, čímž dojde k omezení jeho uložení na skládky. Při energetickém využití se výrazně zmenší množství odpadu, které je třeba zneškodnit, a současně vznikne určité množství energie, kterou můžeme dále využít. [74]

### **4.2.1. Cíle oběhového hospodářství**

Evropská Komise v roce 2015 představila akční plán oběhového hospodářství a předložila úpravy všech odpadových směrnic, aby bylo minimalizováno využívání nových zdrojů a snížilo se množství produkovaných odpadů. Změny legislativy byly poprvé publikovány v Oficiálním věstníku Evropské unie 14. června 2018

Novelizované směrnice se týkají recyklace komunálních odpadů, skládkování a recyklace obalových odpadů. V současné době je recyklováno přibližně 38% komunálního

odpadu. Do roku 2025 má být recyklace komunálních odpadů navýšena na 55%, do roku 2030 na 60% a v roce 2035 by recyklace komunálního odpadu měla tvořit 65%. [75]

#### 4.2.2. Strategické cíle odpadového hospodářství

Dle Plánu odpadového hospodářství ČR jsou Strategické cíle odpadového hospodářství závazné a současně slouží pro zpracování plánů odpadového hospodářství krajů, rozhodovací činnost příslušných obcí, krajů či správních úřadů jako podklad. Princip závazné části je založen na principu postupování podle hierarchie nakládání s odpady. [74]

Priority budoucího rozvoje a strategie jsou rámcově určeny politikou životního prostředí ČR, evropskými požadavky, závazky ČR a reálnými potřebami, které jsou určovány ze stávajícího stavu odpadového hospodářství (OH) v ČR. Prostřednictvím předcházení vzniku odpadu a využívání odpadu jako zdroje se EU snaží přiblížit k recyklační společnosti. To mimo jiné znamená, že používání recyklovaného materiálu by mělo být podporováno členskými státy EU a, je-li to možné, státy by neměly podporovat skládkování nebo spalování recyklovatelných materiálů. [78]

Hierarchie nakládání s odpady, cíle oběhového hospodářství, legislativní vymezení pojmů či strategické cíle jsou nástroje, které mají za cíl snížit produkci komunálního odpadu a optimalizovat oběhové hospodářství. Produkované množství komunálního odpadu má rostoucí trend nejen v ČR, ale ve většině dalších zemí světa [66].

### 4.3. **Komunální odpad**

Jedná se o směsici různých odpadů, které pochází z činností producentů odpadů na území obce. Činnosti mají souvislost se spotřebou domácností, službami (které obec zajišťuje pro své občany) a z odpadů výrobních činností.[2]

Za komunální odpad (KO) se dle rozhodnutí Komise 753/2011/EU považuje odpad z domácností a podobný odpad, jenž je svým složením srovnatelný s výše zmíněným odpadem z domácností, kromě odpadu z výroby a odpadu ze zemědělství a lesnictví. V komunálním odpadu je tak zahrnut všechen odpad, který vznikne na území obce během činnosti fyzických osob (skupina 20), odpad vyprodukovaný subjekty zapojenými do obecního systému sběru (úřady, školy, drobný živnostníci), včetně odděleně sbíraný komunální odpad řazený do skupiny 15 01. [2]

Směsným komunálním odpadem (SKO) rozumíme odpad, který je výsledkem po vytřídění materiálově využitelných složek, nebezpečných a biologicky rozložitelných odpadů. [74] Většinou část komunálního odpadu tvoří domovní odpad. Jeho složení je silně závislé na místě jeho vzniku a způsobu vytápění. Jako ilustrativní případ lze uvést rodinný

dům vytápěný tuhými palivy, který má až třikrát větší množství (kg) odpadů na obyvatele než bytový dům s dálkovým vytápěním a až dvakrát vyšší množství odpadu než rodinný dům vytápěný plynem či tekutými palivy. [65]

#### 4.3.1. Produkce komunálního odpadu v ČR

Produkce komunálního odpadu se liší podle lokality vzniku. Celkově je produkce KO závislá na životní úrovni obyvatelstva, nastaveném systému separovaného sběru a ochotě třídit využitelné složky odpadu [65].

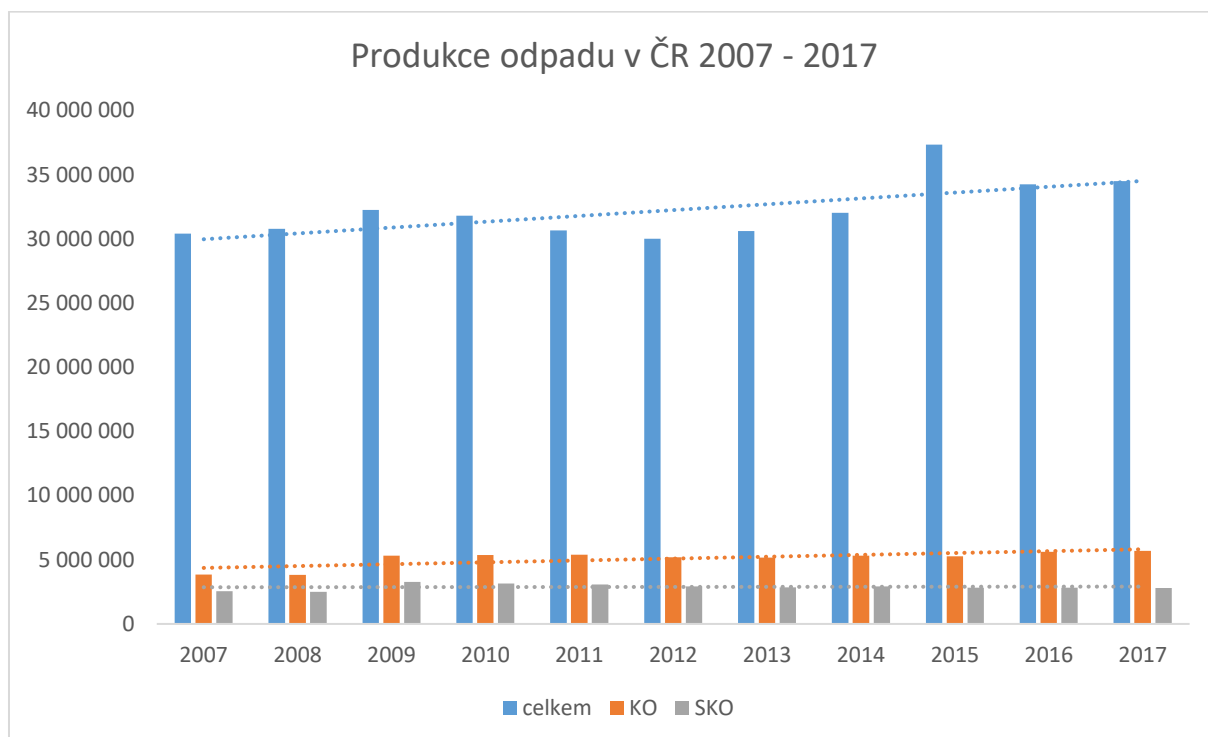
Tabulka 1 obsahuje celkové množství produkce odpadů v tunách a z toho množství komunálního odpadu v tunách a směsného komunálního odpadu v tunách za období 2007 a 2017 na území České republiky. [66]

*Tabulka 1. Produkce odpadů, KO a SKO v ČR. Autor, zdroj CENIA [66]*

Rok	Celkem (tuny)	KO (tuny)	SKO (tuny)
2007	30 403 456	3 846 431	2 545 457
2008	30 781 807	3 812 335	2 506 083
2009	32 267 286	5 324 244	3 283 971
2010	31 811 245	5 361 883	3 142 929
2011	30 672 123	5 388 058	3 067 683
2012	30 023 111	5 192 784	2 932 787
2013	30 620 616	5 167 805	2 859 659
2014	32 028 422	5 323 947	2 936 012
2015	37 338 298	5 274 126	2 836 836
2016	34 242 076	5 612 416	2 820 913
2017	34 512 615	5 690 585	2 800 624

Za rok 2017 dosáhla ČR celkové produkce odpadů ve výši 34 512 615 tun. Jedná se o nárůst o 270 539 tun oproti roku 2016. Produkce komunálního odpadu narostla oproti roku 2016 o 78 170 tun a množství směsného komunálního odpadu kleslo o 20 290 tun. [66]

Graf 1: Produkce odpadů, KO a SKO v ČR. Autor, zdroj CENIA [66]



Na výše uvedeném grafu lze vidět, že celkově produkce odpadů vykazuje rostoucí trend. Dále se zvyšuje podíl komunálního odpadu v celém sledovaném období. Podíl SKO v první polovině sledovaného období lehce stoupá, ale v posledních letech sledovaného období opět klesá.

Pro lepší představu byla vytvořena Tabulka 2, která zobrazuje podíl KO na celkové produkci, podíl SKO na celkové produkci a podíl SKO na KO. Komunální odpady se podílejí na celkové produkci odpadů průměrně 15 %. SKO se podílí zhruba 9 % a tvoří asi 57% obsahu KO. Podle uvedených dat lze určit, že podíl SKO na KO konstantně klesá, zatímco podíl KO a SKO na celkové produkci odpadu kolísá ve sledovaném čase.



Tabulka 2: Podíl produkce KO a SKO na celkové produkci odpadů. Autor, zdroj CENIA [66]

	Podíl celkové produkce KO na celkové produkci odpadů (v %)	Podíl celkové produkce KO na celkové produkci všech odpadů (v %)	Podíl celkové produkce SKO na celkové produkci KO (v %)
2007	12,65	8,37	66,18
2008	12,39	8,14	65,74
2009	16,50	10,18	61,68
2010	16,86	9,88	58,62
2011	17,57	10,00	56,93
2012	17,30	9,77	56,48
2013	16,88	9,34	55,34
2014	16,62	9,17	55,15
2015	14,13	7,60	53,79
2016	16,39	8,24	50,26
2017	16,49	8,11	49,22

#### 4.3.2. Složení komunálního odpadu.

Níže uvedená data pocházejí ze společnosti EKO-KOM, která se mimo jiné zabývá skladbou směsného komunálního odpadu produkovaného českými domácnostmi. Rozbory SKO probíhají každé dva roky. Počet analyzovaných vzorků v roce 2018 je 121 z 16 různých lokalit. Každá lokalita má oddělenou analýzu pro sídlištní, městské a venkovské zástavby. [79]

Rozbor spočívá v ručním roztřídění vzorku odpadu do 11 předem definovaných skupin podle zákona o odpadech, které jsou uvedené v tabulce 3. Pro níže uvedený rozbor bylo použito síto s velikostí ok 40x40 milimetrů. Skupinu takzvané podsítné frakce tvoří všechny odpad menších rozměrů jako jsou drobné plasty, útržky papíru, drobná suť, popeloviny, drobné kousky bioodpadu (tráva, listí) apod. Spalitelná frakce je tvořena veškerými odpady,

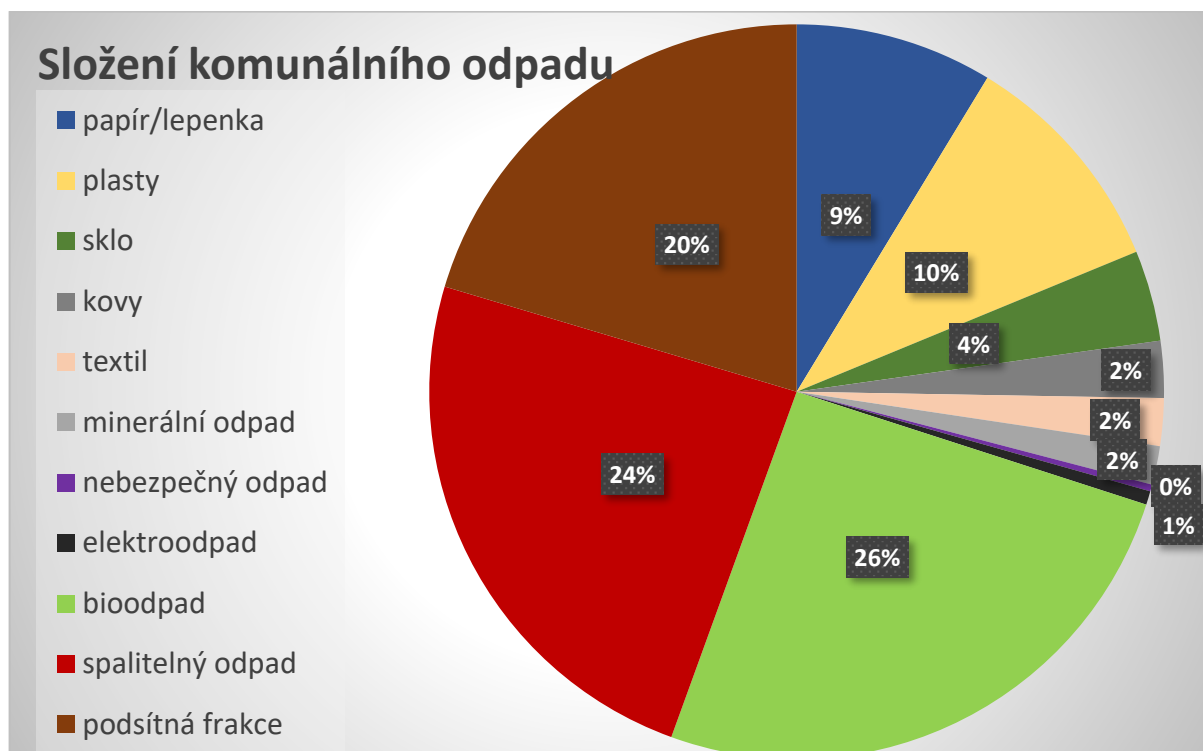
kteře neprojdou sítím a nelze je zařadit do některé definované skupiny. Primárně se jedná o hygienické odpady (papírové utěrky a kapesníčky, hygienické vložky, dětské pleny, zubní kartáčky, houbičky na nádobí atd.) či útržky textilu, jednorázové rukavice, obuv, dřevěné úlomky nábytku nebo jiných výrobků, gumové výrobky apod. Odpad v těchto dvou skupinách je v současné situaci netříditelný a nerecyklovatelný. [79]

Data pocházející z výkazů obcí jsou zpracovávány v systému EKO-KOM. Na základě výsledků studie dojde k odhadu složení SKO pro celou ČR. Směsný komunální odpad je velmi heterogenní materiál, nelze tedy hovořit o definitivní či neměnné skladbě. Tuto proměnlivost prezentuje v tabulce 3 směrodatná odchylka, neboť v každém okamžiku a na každém místě se skladba komunálního odpadu bude odvíjet od velké řady neuchopitelných faktorů. Údaje v závorce ve sloupci „Výskyt materiálu“ reflektují směrodatnou odchylku. [79]

*Tabulka 3: Průměrná hmotností skladba domovního SKO v ČR v roce 2018 z EKOM-KOM a.s. [79]*

Skupina	V. průměr [% hm.]	medián [% hm.]	sm. odch. [% hm.]	Výskyt materiálu [tis. t]
papír/lepenka	8,7	7,3	3,5	181 (±73)
plasty	10,1	10	2,9	210 (±61)
sklo	4	3,8	2,2	83 (±46)
kovy	2,5	2,3	1,1	52 (±23)
textil	2,1	1,5	1,8	43 (±37)
minerální odpad	1,7	1,1	1,9	36 (±39)
nebezpečný odpad	0,3	0,2	0,3	6 (±7)
elektroodpad	0,6	0,4	1,1	13 (±22)
bioodpad	25,6	25,4	9,4	532 (±195)
spalitelný odpad	24,1	23,6	7	501 (±146)
podsítná frakce	20,4	18	10,9	424 (±227)
CELKEM	100	100		2079

Graf 2: Složení komunálního odpadu. Autor, zdroj EKO-KOM [79]



Na skládky komunálního odpadu jsou ukládány zejména tuhé odpady z domácností, uliční odpady a smetky, odpad ze zahrad a parků, odpad ze služeb, malých výroben, škol a úřadů. Roztříštěnost původců nasvědčuje o značné různorodosti odpadů, jejichž charakteristika se navíc může měnit v průběhu skládkování vlivem vzájemných kontaktů a působeními biologických či chemických procesů. Jak již bylo zmíněno, složení skládkovaného odpadu je závislé na ročním období a typu zástavby, ve které je odpad produkován. Komunální odpad je z hlediska spalovacích procesů považován za směs hořlavých materiálů, popela a vlhkosti. Obsah vlhkosti je zhruba 15 – 70%. Vyšších hodnot bývá dosahováno zejména v letních měsících vlivem zvýšeného množství rostlinných zbytků. Výhřevnost komunálního odpadu je zhruba 9,15 MJ/kg .[70]

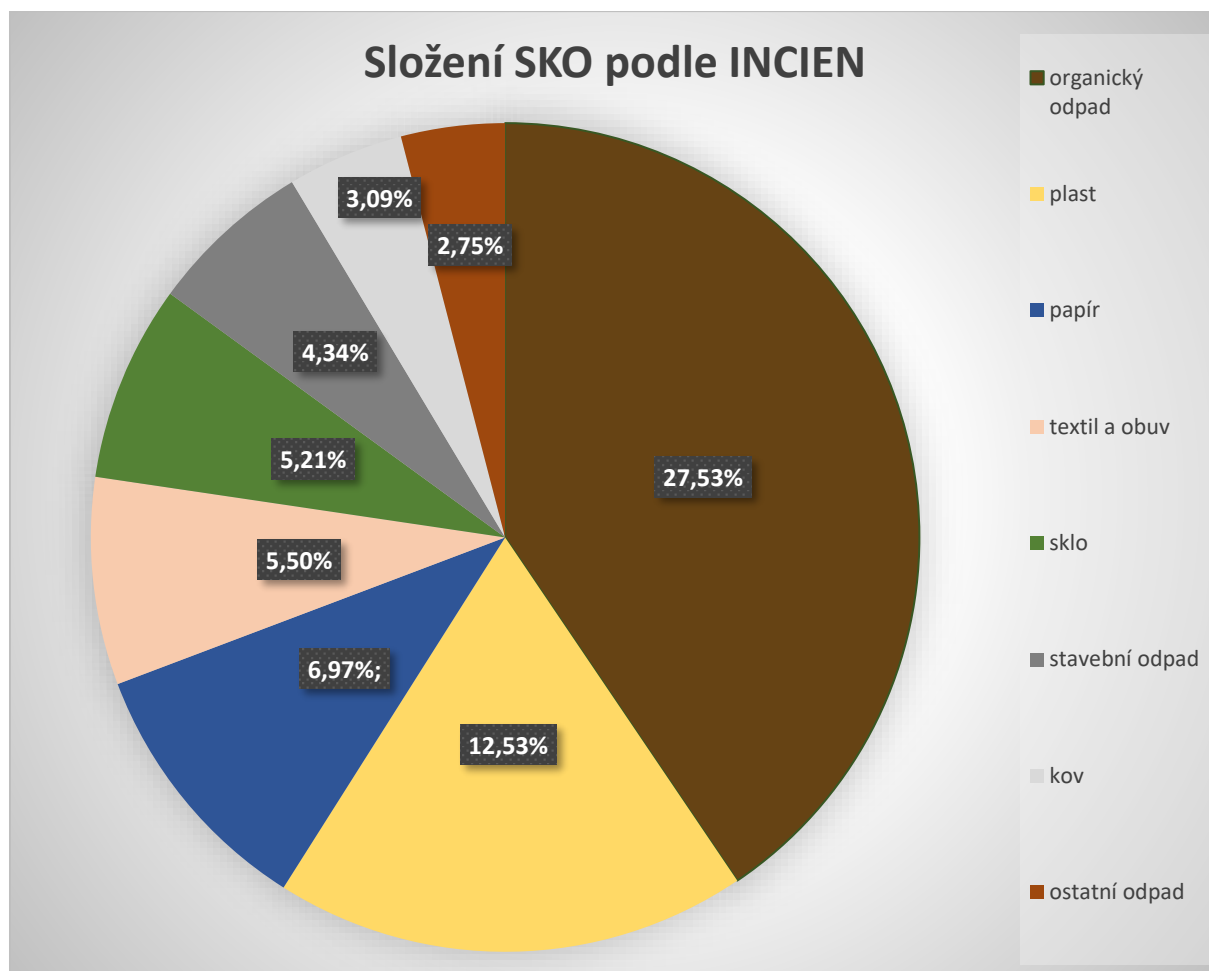
Na skládkách ukládaný komunální odpad také obsahuje malé množství nebezpečného odpadu. Jsou to zejména obaly se zbytky kyselin, rozpouštědel, hydroxidů, fotochemikálií, pesticidů a jiných nebezpečných látek. Dále tento odpad často obsahuje zářivky (nebo jiný odpad obsahující rtuť), akumulátory, baterie, elektrické či elektronické zařízení s různým obsahem nebezpečných látek. Ty pak často mohou zapříčinit samovznícení komunálního odpadu či silně ovlivnit průběh požáru na skládce. Vzhledem ke svému složení je komunální odpad hořlavá nehomogenní směs. Vzhledem k relativně vysokému obsahu textilu, papíru, plastů a jiných hořlavých látek v odpadu je potřeba pouze zdroje zapálení a přístup vzdušného kyslíku, aby odpad hořel. [27]

### 4.3.3. Složení směsného komunálního odpadu

V roce 2017 byla provedena fyzická analýza a rozbor směsného komunálního odpadu nevládní neziskovou organizace INCIEN (Institut cirkulární ekonomiky). Podle této studie se SKO skládal z téměř 68% složek, jenž lze vytrídřit, a tvoří jej z největší části organický odpad (27,53%), plast (12,53%), papír (6,97%), textil a obuv (5,50%), sklo (5,21%), stavební odpad (4,34%), kov (3,09%) a ostatní odpad (2,75%). Zbýlých přibližně 32% složek SKO nelze dále využít.

Při téměř dokonalém vytrídření všech složek by bylo možné snížit obsah SKO. To by znamenalo značnou finanční úlevu pro jednotlivé samosprávy a potenciální nárůst odměn od autorizované společnosti EKO-KOM. [80]

Graf 3: Složení komunálního odpadu. Autor, zdroj INCIEN [80]



#### 4.4. Skládky odpadu a jejich provoz

Skládka je zařízení zřízené podle zvláštního právního předpisu 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, které je provozované ve třech navazujících fázích. První fáze slouží k ukládání odpadu pod nebo nad úroveň terénu. Druhá fáze se týká případného využívání odpadů při rekultivaci a uzavírání skládky. Poslední třetí fází je péče o skládku po jejím uzavření. [2]

Skládka tuhých odpadů bývá tvořena tělesem skládky a místem skládky. Jako těleso skládky je považováno konstrukční vrstvy spolu s uloženým odpadem. Místem skládky je prostor, kde je umístěno těleso skládky a další objekty pro manipulaci s uloženými odpady, průsakovými vodami a skládkovým plynem. [7]

Proti úniku skládkových výluhů slouží soustava těsnících materiálů a jejich mechanická ochrana. Samotné těsnění je tak soubor technických bariér, kterými se zabraňuje uvolňování látek do okolí skládky. Soustavy musí být dostatečně rezistentní, aby odolali vystavení trvalých účinků vod, povětrnostním vlivům, přirozenému sedání skládky, činnosti živočichů, člověka a rostlin. [7] Základním požadavkem na vlastnosti soustav jsou dlouhodobá nízká propustnost, schopnost snášet bez porušení deformace podloží a dlouhodobá chemická odolnost vůči skládkovému výluhu. Cílem soustav je zastavit pronikání kontaminace do okolí. Součástí soustav je fóliové těsnění, které musí být vzhledem k materiálu chráněno proti vysokým teplotám. V současné době je jedinou faktickou ochranou fólie vůči destruktivním teplotám drenážní štěrková vrstva. Někteří provozovatelé se snažili tuto vrstvou nahradit plastovou drtí. [8]

Veškeré skládky KO jsou budovány jako těsné, což znamená, že veškeré vody (srážkové a výluhy) zůstávají v tělese skládky. Pomocí odvodňovacího systému jsou tyto vody odváděny do jímek. Odváděná kapalina je kontaminovaná látkami z tělesa skládky a má různé stupně agresivity. Z tohoto důvodu je naprosto nevhodná k jakémukoliv dalšímu využití a je nutné ji zlikvidovat. Zpravidla je součástí každé skládky uzavřený vodovodní obvod, jenž má za úkol čerpat tuto kontaminovanou vodu z jímky a rozstříkavat jí na těleso. Tím dochází k odparu vody, a proto není znečištěnou vodu odvážet a průmyslově likvidovat. [2]

Těleso skládky bývá od okolí odděleno kombinací zemního těsnění, ve většině případech se jedná o jílu, a pomocí speciální fólie. Aby fólie nebyla narušena UV zářením či mechanickým poškozením, používá se pro její ochranu netkaná geotextilie. Aby se zabránilo vniknutí povrchových vod do tělesa, používají se obvodové příkopy. [7]

Výčet povinného vybavení skládky pokračuje technologií na zachycení skládkového plynu. Odplyňovací systém se většinou skládá ze sběrné sítě, umístěné přímo v tělese

skládky, svodné sítě a zařízení pro využití nebo zneškodnění plynu. Plyn vzniká při anaerobním rozkladu biologických složek odpadu. Odplynění skládky předchází úniku plynu do okolí, tvoření vnitřního přetlaku a zabraňuje samovznícení či výbuchům plynu. Odplyňovací soustava vzniká postupně tak, jak se zaplňuje skládka, nebo se po dokončení skládky do tělesa umístí systém vrtů a odváděcí systém se položí na povrch skládky [7]. Skládkový plyn hraje majoritní roli ve vzniku podpovrchových požárů a může mít velký vliv na šíření požáru povrchového. Systém odplynění skládky bývá zpravidla zakončen technologií pro likvidaci skládkových plynů, které tvoří kogenerační jednotka a zásobník na skládkový plyn. Spalováním plynu vytváří kogenerační jednotka elektrickou energii a odpadním teplem se podílí na vytápění objektů v areálu skládky (šatny, kanceláře, třídící linky, garáže, sklady, apod). [61]

Každá skládka musí být vybavena manipulačním prostorem pro převzetí odpadů, váhou pro kontrolu hmotnosti předávaného odpadu, provozními a sociálními objekty a vybavením pro ochranu zdraví a požární ochrany. Mezi provozně – technická zařízení dále patří příjezdová cesta v prostoru skládky.[2]

Velké množství odpadů včetně některých stavebních či průmyslových se stále zneškodňuje pouze skládkováním. Ekonomicky nejvýhodnějším typem skládky jsou velkoobjemové skládky. Při větším objemu zneškodňovaného odpadu mají počáteční investice rychlejší návratnost, sníží se měrný náklad na uloženou jednotku, daleko lépe se využije dané lokality a dojde k lepšímu využití mechanizace. [7]. Nicméně při vzniku požáru jsou to právě velkoobjemové skládky, které způsobují velké riziko kontaminace životního prostředí. [9]

Umístění (či rozšíření/navýšení) skládky musí být v souladu s územním plánem. Je-li v souladu, zřízení skládky či její změna se povoluje v rámci územního řízení (§77, §79, §92, případně §81 stavebního zákona). U skládek tuhého komunálního odpadu se příslušným stavebním úřadem nevydává územní souhlas, to je zakázáno §96 odst. 1 stavebního zákona. [86]

Stavební řízení, jehož výsledkem je stavební povolení, navazuje na územní rozhodnutí v souladu s § 109 až § 115 stavebního zákona. [86]

Užívání stavby (nebo její části) je možné na základě rozhodnutí místně příslušného stavebního úřadu. Dle § 124 stavebního zákona úřad povolí zkušební provoz nebo vydá podle § 122 kolaudační souhlas. Je-li to nezbytně nutné může stavební úřad vydat podle § 123 stavebního zákona před dokončením stavby časově omezené užívání stavby. [86]

Dále je v souladu s § 33 zákona 76/2002 Sb. o integrované prevenci a omezení znečištění (zákon o integrované prevenci) ve znění pozdějších předpisů, vydáno příslušným

krajským úřadem tzv. Integrované povolení, které je pro provoz zařízení tohoto typu nezbytné. V tomto povolení je uveden celkový popis zařízení, používané technologie a závazné podmínky jeho provozu. Provozovatel je povinen předložit provozní řád, který v rámci řízení o vydání integrovaného povolení schvaluje kraj. [25]

Během tohoto procesu schvalování provozního řádu se k této dokumentaci nevyjadřují zástupci HZS krajů, ani formou nezávazného stanoviska. V praxi se tak lze setkat s provozním řádem, který je schválen krajským úřadem, ačkoliv podmínky a požadavky na zabezpečení požární ochrany neodpovídají reálné situaci či jsou uvedeny velmi vágně a nekonkrétně formulovány, v horším případě neodpovídají či jsou dokonce přímo v rozporu s předpisy o požární ochraně (zákon č. 133/85 Sb. o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů, vyhláška 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)).

#### **4.5. Protipožární ochrana**

V ústavním pořádku České republiky je zakotveno základní právo na ochranu života, zdraví a majetkových hodnot. Dle čl. 1 ústavního zákona č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky je stát garantem ochrany životů, zdraví a majetkových hodnot. [1]

Ochrana životů, zdraví a majetku před požárem je soustavou velkého množství vzájemně působících faktorů. Mezi základní faktory patří stanovení a plnění úkolů o opatření v oblasti předcházení požárů, připravenost k hašení požárů a zabránění jejich šíření, jakož i vlastní činnost při hašení požárů. Požární prevence je nedílnou součástí tohoto systému a do určité míry ovlivňuje úspěšnost jednotlivých prvků i systému jako celku. [1]

Systém ochrany životů, zdraví a majetku je, stejně jako jeho působnost při výkonu státní správy v jednotlivých oblastech státem chráněných zájmů, kodifikován v právním řádu České republiky. Základním principem a významnou součástí systému ochrany je předcházení rizikům, tedy prevence. Systém prevence je koncipován tak, aby jeho jednotlivé složky byly schopné plnit stanovené úkoly samostatně. Činnost příslušných orgánů probíhá koordinovaně. [1]

Ústředním orgánem v oblasti požární ochrany je Ministerstvo vnitra, jehož součástí je generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. Stanovené úkoly státu zabezpečují na příslušných úrovních hasičské záchranné sbory krajů a v přenesené působnosti orgány krajů a orgány obcí. [1]

Mezi hlavní funkce generálního ředitelství HZS ČR patří organizace a řízení výkonu státní správy v úseku požární ochrany. Její základní součástí je plnění úkolů v oblasti požární prevence. Jedná se zejména o:

- analýzu existujícího prostředí a sledování vývojových trendů, jenž souvisejí se zajištěním požární prevence,
- zpracování koncepčních programů, metodických řízení a usměrňování vývoje v oblasti požární prevence,
- výkon státního požárního dozoru,
- řízení a kontrolu plnění úkolů na úseku požární prevence u HZS krajů,
- plnění úkolů ústředního správního úřadu v oblastech státem chráněných zájmů na úseku požární prevence,
- součinnost s dalšími ministerstvy a jinými ústředními správními úřady při přípravě, tvorbě a realizaci opatření k zajištění požární prevence.

Hasičské záchranné sbory krajů zabezpečují plnění prevence, která je součástí výkonu státního požárního dozoru. Jedná se především o:

- požární kontroly,
- stavební prevenci,
- schvalování posouzení požárního nebezpečí,
- zjišťování příčin vzniku požárů,
- zpracování koncepce rozvoje požární ochrany v kraji,
- zpracování ročních zpráv o stavu požární ochrany v kraji,
- zpracování podkladů k vydání právních předpisů pro příslušné správní orgány kraje a okresní úřady v oblastech vymezených zákonem o požární ochraně,
- kontrola plnění nařízení orgánů kraje a okresních úřadů vydaných na úseku požární ochrany,
- koordinace zabezpečování požární ochrany v kraji,
- zabezpečování preventivně výchovné, propagační a ediční činnosti na úseku požární ochrany podle zaměření stanoveného Ministerstvem vnitra.

Protipožární ochrana skládky je součet pasivních a aktivních požárních ochranných stavebních objektů. Pasivní ochranou se rozumí konstrukční a dispoziční řešení staveb. Pod pojmem aktivní ochrana se rozumí schopnost včas a účinně detekovat, snižovat či účinně likvidovat vznikající požár. [1]

Během výkonu státního požárního dozoru, ve vazbě na zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon, ve znění pozdějších předpisů), se HZS nejčastěji setkává se skládkami tuhého komunálního odpadu. [6]



#### **4.6. Nejčastější příčiny zahoření skládek komunálního odpadu**

Příčiny můžeme rozdělit do dvou základních kategorií, a to příčiny povrchových a podpovrchových požárů. Je zřejmé, že se zmíněné příčiny budou lišit podle roční doby a podle místa vzniku. [28]

Nejčastější příčiny povrchových požárů v zimních měsících jsou žhavé částice, které jsou svezeny spolu s běžným odpadem. Jedná se zejména o odpad pocházející z menších obcí, kde nelze vyloučit výskyt žhavých či doutnajících materiálů (popel z kotlů či kamen). Pomocí lisu dojde ve sběrném vozidle ke zhutnění těchto částic spolu s ostatním odpadem, kde v tomto stavu (bez přístupu kyslíku) mohou být transportovány až na skládku, aniž by bylo zjevné jakékoliv hoření. Při vykládce může dojít ke vzniku požáru díky přístupu vzdušného kyslíku. [34]

Druhou nejčastější příčinou povrchových požárů je odhození nedopalku cigarety. Do prostoru skládky by neměl být umožněn vstup nepoučených a cizích osob. Většina zařízení je navíc oplocena, tudíž tato příčina padá na hlavy zaměstnanců a řidičů, kteří tak porušují provozní řád a návazné bezpečnostní předpisy. [1]

Zahoření skládky může vzniknout i v případě nedodržení technologické kázně. Obvykle se jedná o využití postupů, které jsou v rozporu s provozním řádem. [6]

Vzhledem k různorodosti odpadů na skládce KO, nelze vyloučit výskyt kabelů, přístrojů či jiných odpadů s obsahem drahých kovů. Zahoření může vzniknout nedbalostním jednáním ze strany osob, které tyto kovy chtějí dále využít. Nejčastěji se jedná o požáry vzniklé opalováním kabelů. Na to jsou nejideálnější pneumatiky, neboť stabilně hoří teplotou okolo 800°C. Opalování pryže při takto vysokých teplotách je velmi efektivní, nicméně velmi často dochází k tomu, že takovýto oheň se vymkne kontrole. Požár o takovéto teplotě nelze uhasit pomocí obvykle dostupných prostředků. [1]

Mezi další příčiny vzniku požárů patří technické závady na strojních zařízeních. Tato příčina by byla možná minimalizovat použitím správné techniky a její pravidelnou údržbou. [1]

Ze příčin požáru nelze vyloučit ani úmyslné založení požáru. Toto riziko lze snížit oplocením skládky, instalací kamerového systému a zajištěním ostrahy areálu. [6]

V případě vzniku podpovrchových požárů lze vyloučit všechny výše uvedené příčiny povrchových zahoření. Zde se jedná o jednu jedinou příčinu, kterou může takovýto požár vzniknout, a tou je samovznícení nedostatečně zhutnělého odpadu. K samovznícení dochází, když do tělesa skládky vnikne vzdušný kyslík, který nastartuje anaerobní procesy,

ktelé souvisí se vznikem tepla. Jedná se o samozahřívání látek, kdy teplo, které vzniklo procesy bakteriologického rozkladu, není dostatečně rozptýleno či odváděno do okolí. Teplota pak může dosáhnout mezní hranice samovznícení uložených odpadů nebo skládkových plynů. Nachází-li se někde v blízkosti zdroje tepla odpad, který je náchylný k samovznícení, je více než pravděpodobné zahoření odpadu uvnitř tělesa skládky. [35]

V případě podpovrchového samovznícení nemůžeme opomenout ani jeden z typů samovznícení, kterými jsou: fyzikální, chemické a biologické nebo případně jejich kombinace. V praxi bohužel nelze vyloučit, že byl na skládku uložen chemicky aktivní či hořlavý materiál, který nezbytně nemusí samovznícení vyvolat, ale může k němu významně dopomoci. [35]

V případě **fyzikálního samovznícení** se s největší pravděpodobností bude jednat o zvýšenou teplotu okolí či adsorpci plynů a par za přítomnosti katalyzátoru. Pro lepší představu lze uvést jako příklad samovznícení uhlí, kde první fáze samovznícení probíhá právě adsorpcí par na povrchu uhelné hmoty. V prostoru skládky se s větším množstvím uhlí s největší pravděpodobností nesetkáme, avšak se zvýšenou teplotou okolního prostředí v tělese se bohužel setkáváme poměrně běžně. Proto i tzv. tepelné samovznícení řadíme mezi fyzikální samovznícení. Tepelné samovznícení vzniká při teplotě okolo 100 °C, která dlouhodobě působí na své okolí a má za následek postupnou oxidaci materiálu. K tepelnému samovznícení jsou náchylné především vláknité organické materiály. [38]

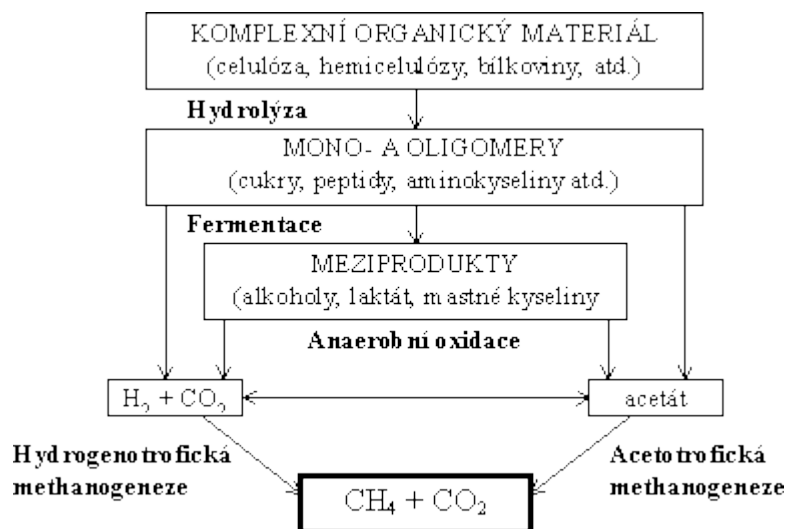
U **chemického samovznícení** bývá příčinou exotermická reakce. To znamená, že chemická energie z vazeb se uvolňuje do okolí. Pokud teplo není dostatečně odváděno, může dojít k samovznícení reagujících či přítomných hořlavých látek v okolí exotermické reakce. Nejčastěji se jedná o vysychavé oleje či výrobky z těchto olejů. Tyto oleje obsahují dvojnásobné vazby, které vážou kyslík, a který způsobuje jejich tvrdnutí a huštění. Při exotermické reakci dochází k uvolnění velkého množství tepla, které se akumuluje, a následně vede k samovznícení skládky. [36]

Podmínkou pro **biologického samovznícení** je nerovnoměrné rozložení vlhkosti, jakost organických materiálů a činnost bakterií. Dochází k němu zejména u organického odpadu, který je uložen ve větších tepelně izolovaných a krytých celcích. Svou rozkladnou činností zvyšují bakterie teplotu svého okolí až na 75 °C. Jednoduché rostlinné látky se při této teplotě začínají rozpadat a vzniká uhlík, který následně dále oxiduje za vzniku dalšího tepla. Uhlík pak funguje jako uhlí – oxiduje a tím zvyšuje teplotu, vzniká další uhlík a uvolňují se další látky. Samovznícení nastává až okolo 250 – 300 °C [39]

V tělese skládek dále dochází k přirozenému jevu tzv. anaerobnímu rozkladu (anaerobní digesce), ten přímo souvisí s biologickým samovznícením a zahořením podzemního požáru skládky. [37] Anaerobní rozklad můžeme rozdělit do 4 hlavních fází:

- Hydrolýza – zde dochází, působením extracelulárních enzymů, k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny. Jedná se především o mastné kyseliny a alkoholy. Během hydrolýzy je uvolňován vodík a oxid uhličitý. Kyslík spotřebovávají aerobní organismy a současně je vytlačován produkovaným  $\text{CO}_2$ . [20]
- Acidogeneze – acetogenné bakterie fermentují organické kyseliny a alkoholy, taktéž za vzniku vodíku a oxidu uhličitého.
- Acetogeneze – během tohoto procesu pokračuje rozklad kyselin a alkoholů, současně vzniká kyselina octová.
- Methanogeneze – methanogenní bakterie, které jsou striktně anaerobní organismy (ne nepodobné těm nejstarším organismům na Zemi), produkují z kyseliny octové, vodíku a oxidu uhličitého methan. [36]

Obrázek 2: Průběh čtyřfázové anaerobní fermentace. Překlad, Nordberg (1996) [69]



Anaerobní digesce vede k cílené výrobě bioplynu. V praxi se používají především mezofilní procesy (cca 38 °C). Výhodou procesů prováděných při vyšších teplotách je vyšší účinnost hygienizace odpadu. Anaerobní fermentace organické hmoty jako svůj hlavní produkt na skládkách komunálního odpadu vytváří skládkový plyn. Jediný rozdíl mezi skládkovým plynem a bioplynem tvoří zejména obsah hořlavé látky. Skládkový plyn ho obsahuje řádově méně metanu než bioplyn. Srovnání bioplynu a skládkového plynu je uvedeno v Tabulce 4. [40]

Tabulka 4: Průměrné složení skládkového plynu a bioplynu. Autor, zdroj BIOPROFIT [4]

	H <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)
Skládkový plyn	1	1	3	46	49
Bioplyn	1	0	0	38	61

Složení obou plynů obsahuje vysoký podíl metanu (CH<sub>4</sub>), který se v případě bioplynu používá pro energetické využití a v případě skládkového plynu se jedná o nežádoucí produkt anaerobních procesů. [4]

V naprosté většině podpovrchových požárů dochází k nedokonalému spalování nebo pomalé oxidaci látek. Proces hoření za malého přístupu vzdušného kyslíku se nazývá pyrolýza, která probíhá velmi pomalu a za nižších teplot, než je u hoření obvyklé. [40]

Problémem u podpovrchových požárů je především jejich detekce – mohou probíhat týdny či měsíce bez zjevných příčin. Nezjištěný podzemní požár může způsobit nahromadění zplodin z nedokonalého hoření v tělese skládky. Jde především o oxid uhelnatý, který je hořlavý a toxický, a může silně ovlivnit zdraví osob pohybujících se v prostoru zařízení. [34]

Jednou z možností identifikace podzemního požáru je slabý kouř vycházející z nějaké části zařízení. Další možností detekce je měření koncentrace oxidu uhelnatého ve skládkovém plynu či monitorování teploty plynů odváděných z tělesa skládky. Tyto postupy při detekování požáru se osvědčili například při monitorování již uzavřených skládek v USA [34] a při monitoringu bioplynových stanic. [4]

#### 4.6.1. Skládkový plyn, jeho vznik a složení

Pro zasahující hasiče je z hlediska bezpečnosti důležité znát vlastnosti skládkového plynu, které ovlivňují průběh požáru, a to především jeho výbušnost a toxicitu. Rizika vyplývající z přítomnosti skládkového plynu nehrozí na skládce, kde není ukládána organická složka. [6]

Během biologického procesu některých látek, které jsou uloženy v tělese skládky vzniká skládkový plyn. Tento plyn se primárně skládá z methanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu uhličitého, přítomen je i dusík a kyslík. Tyto plyny se však podílí na složení velmi mizivou měrou ve srovnání s methanem a oxidem uhličitým (Tabulka 4). Bylo zjištěno, že pokud skládka

obsahuje i železné kovy, nejsou ve skládkovém plynu přítomny sirovodíky ( $\text{H}_2\text{S}$ ), které jsou toxické. [40]

Velmi odlišná je objemová hmotnost hlavních složek. Objemová hmotnost u methanu je  $0,7168 \text{ kg/m}^3$ , avšak oxid uhličitý má objemovou hmotnost  $1,9768 \text{ kg/m}^3$ . Tento zřetelný rozdíl má za následek velmi výrazné změny měrné hmotnosti při různém složení plynu. Měrná hmotnost je tak v počáteční fázi rozkladu odpadu vyšší díky vyššímu obsahu  $\text{CO}_2$ . V následující fázi je jen o něco málo lehčí než vzduch a dosahuje hmotnosti  $1,13$  až  $1,25 \text{ kg/m}^3$ . Při proudění skládkového plynu se neseperují jeho jednotlivé složky. Pokud se však jeho pohyb zpomalí nebo zastaví, dojde k separaci na lehký a těžký skládkový plyn. Lehká varianta skládkového plynu je bohatší na methan a tím pádem se jedná o silnější podpurný element podzemního zahoření skládek.[40]

Jedním z toxických nebezpečí pro zasahující složky je obsah sulfanu ve skládkovém plynu, jehož výskyt je v běžných podmínkách velmi nízký. Nicméně, pokud hovoříme o jedno druhových skládkách či o skládkách bez obsahu kovového odpadu nebo o skládkách s velkým obsahem síry, tak v těchto případech bude obsah sirovodíku v přítomném skládkovém plynu silně toxický. [40]

Silně zastoupenou složkou ve skládkovém plynu je oxid uhličitý. Tento plyn není klasifikován jako toxický, ale má negativní dopad na člověka, pokud je obsažen ve vzduchu. Zatížení okolní atmosféry tímto plynem nastává hlavně v uzavřených prostorách. Koncentrace vyšší než  $2,7\%$  má za následek zhoršení respirace, snížení tepové frekvence a krevního tlaku. Při koncentraci nad  $6\%$  dochází u člověka k bezvědomí do několika minut a koncentrace nad  $9\%$  vede k ohrožení života. [40]

Vlastnosti skládkového plynu výbušnost a zápalnost jsou určeny množstvím metanu v celkovém množství směsi s inertními plyny a vzduchem. Při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a tlaku  $101,3 \text{ kPa}$  je stanovena dolní mez výbušnosti  $5\%$  a horní hranice  $15\%$  celkového objemu směsi. Zápalná teplota směsi je  $540^\circ\text{C}$ . Přejít mezi hořením a výbuchem je přímo závislý na teplotě a složení směsi. U směsi, která obsahuje  $7\% - 9\%$  metanu a  $14\% - 18\%$  kyslíku, může nejnáze dojít k deflagraci. [70]

#### **4.7. Hoření odpadu**

Způsoby hoření odpadu závisí především na jeho okysličení, na uvolňovaných produktech hoření a cestami šíření požáru uvnitř tělesa skládky či na jejím povrchu. Složení a množství produktů hoření závisí na druhu hořlavých látek, množství kyslíku a teplotě

hoření. Zjistit tyto skutečnosti je velmi důležité zejména pro vyhodnocení správného postupu a zajištění správné ochrany zasahujícím hasičům.[6]

#### 4.7.1. Způsob okysličování

Hoření je možné pouze za předpokladu určitého poměru hořlaviny (paliva) ve směsi odpadu a vzduchu (či jiného okysličovadla). Mezi vznětlivostí nazýváme body koncentrace hořlaviny, které se pohybují na obě strany od stechiometrického poměru vzduchu a paliva, přičemž dolní mez vznětlivosti je nejnižší podíl paliva v objemových % směsi odpadu a horní mez je tedy podíl nejvyšší. Na skládkách nastávají podmínky, aby probíhali procesy hoření nad i pod ideálním poměrem. Tyto podmínky jsou zejména závislé na místě vzniku požáru, tedy jedná-li se o požár povrchový, jenž je ovlivněn povětrnostními vlivy či o požár podpovrchový jenž probíhá pod vrstvou ztuhlého odpadu. [70]

Kyslík, jenž nacházíme v molekule hořlaviny, se v produktech hoření nachází v podobě vody, oxidů uhlíku a aldehydů. V některých případech se však také kyslík vyskytuje v nátěrových hmotách, tmelech na bázi nitrocelulózy a barvivech (bezbarvé nátěry na dřevo, karosářské tmely apod.). V těchto případech se vyskytuje v nitro skupinách  $\text{NO}_2$  a účastní se tepelného rozkladu hoření jako oxidační prostředek. [71]

### 4.8. Podmínky ovlivňující množství a složení produktů hoření

Druh a množství produktů hoření závisí na řadě faktorů, především na chemickém složení spalované látky, na typu hoření, podmínkách přístupu vzduchu a teplotě. Produkty hoření obsahují jak organické, tak anorganické složky. V případě plamenného hoření plastů (organické sloučeniny uhlíku) jsou přítomny anorganické sloučeniny uhlíku (oxid uhličitý a uhelnatý) [59]. Většinou bývají přítomny i alifatické a aromatické uhlovodíky. Je-li přítomen kyslík dochází k oxidačním procesům za vzniku kyslíkatých organických látek. Podle chemické struktury spalovaného materiálu nacházíme ve zplodinách další organické látky či sloučeniny obsahující síru, dusík a halogeny. [41]

Složení zplodin je značně závislé na teplotě hoření. Při teplotách okolo 300–400 °C obsahují zplodiny poměrně málo produktů hoření, a jejich koncentrace bývá nízká. Naproti tomu střední rozsah teplot (400–700 °C) se vyznačuje velmi značným množstvím produktů a jejich vysokou koncentrací. Při teplotách nad 700 °C klesá počet a množství produktů hoření, nicméně se zvyšuje obsah látek, jenž nepodléhají tepelnému rozkladu [31]. Obecně lze tvrdit, že při nižších teplotách nedochází k oxidačním ani štěpným reakcím. Kupříkladu při hoření polymerních látek můžeme očekávat vznik monomerní látky (termogradací polymethylmethakrylátu vzniká monomerní methylmethakrylát, termogradací polystyrenu

styren...). Nižší teploty, lze primárně očekávat při požárech v uzavřených prostorech, kde vlivem odčerpání kyslíku dojde k udušení požáru, rovněž při uhašení/udušení dochází k doutnání bez přítomnosti plamene. [10]

Jak již bylo zmíněno, množství kyslíku má značný vliv na vznik a skladbu produktů hoření. Složení při použití spalování za přístupu kyslíku se velmi liší ve složení oproti spalování bez přístupu kyslíku. Je proto potřeba zcela jinak přistupovat k požáru uzavřených objektů (kde se předpokládá menší množství O<sub>2</sub>) a zcela jiné složení látek lze očekávat u otevřených prostranství. Obecně, lze tvrdit, že při dostatečném množství kyslíku termogradační proces směřuje ke vzniku oxidačních produktů [32]. Mezi nerozšířenější prvky můžeme považovat uhlík. Při dostatečném množství kyslíku dochází k jeho přeměně na oxid uhličitý. Nicméně, s poklesem kyslíku se transformuje na oxid uhelnatý. Při nedostatku kyslíku rovněž dochází k nárůstu koncentrace PAHs. [40] U organických látek dochází při přítomnosti kyslíku k oxidačním reakcím za vzniku kyslíkatých sloučenin (například nedokonalá oxidace alkenů za vzniku aldehydů či karboxylových kyselin. Kdybychom chtěli posoudit toxicitu produktů hoření vzniklou termickým rozkladem v závislosti na koncentraci kyslíku, lze obecně tvrdit, že s klesajícím množstvím kyslíku roste toxicita. [31]

#### **4.9. Šíření do okolí**

Produkty hoření se řadí mezi významné polutanty, jenž znečišťují životní prostředí. Jejich zdrojem mohou být topeniště domácností, spalovací motory nebo velké požáry. Řada produktů hoření na sebe vážou či samy jsou látky, které mají vliv na zdravý člověka či životní prostředí. [42]

V současné době dochází k produkci řady syntetických látek, které při hoření uvolňují různé druhy toxických látek. Vznik těchto látek většinou závisí na okolních podmínkách jako jsou teplota hoření či obsah kyslíku v atmosféře, nicméně stejně důležité jsou fyzikálně – chemické vlastnosti jednotlivých látek. Na šíření těchto látek má zásadní vliv meteorologická situace (síla a směr větru, vertikální stálost atmosféry...). Negativní účinky na člověka a/nebo životní prostředí se mohou projevit až s odstupem času formou různých onemocnění či zdravotních komplikací. Mnohé z těchto látek jsou navíc poměrně stálé a jsou schopny kontaminovat životní prostředí po řadu let. [42]

V průběhu hoření dochází u každé látky k chemickým změnám, především k přeměně jejich rozpadem či reakcemi mezi látkami. Dle skupenství můžeme produkty hoření rozdělit do 3 kategorií: pevné, kapalné a plynné. [43]

Pevné části zůstávají ve formě popelec na místě hoření, či ve formě sazí jsou unášeny do ovzduší. [34]

Kapaliny, nejčastěji ve formě pyrolýzního oleje, odtékají z místa požáru nejsou-li zachytávány do jímek zařízení. Nejvyšší množství kontaminované vody vzniká při hašení, kdy tato použitá kapalina vyplavuje polutanty a unáší je do nejbližších vodních toků. Takto znečištěná voda obsahuje zejména vyplavené zbytky, olejové látky (pyrolýzní olej) a také rozpustné polární látky, zejména soli těžkých kovů, alkoholy, fenoly, aldehydy, karboxylové kyseliny atd. Ve výsledcích rozborů vod z požáru pneumatik se často vystupuje fenolů, aromatických uhlovodíků, PAHs a dalších kyslíkatých, dusíkatých a sirných látek [29]. Odtékající voda rovněž obsahuje hasiva (pěnidla, smáčedla), která se používají k snadnější likvidaci požáru. Během velkých požárů se spotřebuje až tisíce litrů hasiv. Nejběžněji vyskytující se polutanty povrchových vod z požárů syntetických materiálů je dle US EPA a jejich pravděpodobné zdroje: [30]

*Tabulka č. 5: Látky vznikající termogradací s uvedenými zdroji a četností zastoupení.*

*Sikora [31]:*

Látky	Počet	Zdroj
PCBs a 2-chlornaftalen	7	Polyvinylchlorid
Halogenové alifatické uhlovodíky	26	Polyvinylchlorid, polytetrafluoretylen
Ethery	7	Polyoxymethylen, hasiva
Monocyklické aromatické uhlovodíky	12	Polyvinylchlorid, pryže
Fenoly a kresoly	11	Polykarbonát
Estery kyseliny ftalové	6	Polyethylentereftalát
PAHs	16	Pryže
Nitrosoaminy a další dusíkaté látky	4	Pryže (pneumatiky = přísady a polyamidová vlákna)

Látky, které mají nízký bod varu se za vysokých teplot odpařují ve formě páry či aerosolu a jsou spolu s kouřem unášeny do atmosféry. Jako druhé dělení, lze látky kategorizovat podle stupně oxidace na zplodiny dokonalého a nedokonalého hoření. Při dostatečném množství kyslíku vzniká řada kyslíkatých látek (oxidy dusíku, uhlíku...), naopak



při jeho nedostatku dochází k částečné oxidaci nebo jen ke fragmentaci polymerních řetězců. [45]

Šíření produktů hoření do okolního prostředí probíhá celkem třemi cestami. Plyny a páry se v kouři šíří do okolí. Vlivem stoupavé tendence teplého vzduchu jsou vzhůru unášeny i drobné částičky a saze, jež mohou nést další látky. Část produktů hoření klesá a vniká do půdy, odkud se dále šíří do půdy, či je vyplavována vodou. [46]

Do půdy se látky dostávají prostřednictvím vody, jak hasební, tak následných dešťových srážek. Spálené zbytky po hoření často zůstávají na místě a překryty další půdou či dalším odpadem. V některých případech (je-li zvolena tato metoda hašení) se rovnou používá zemina, čímž dochází ke zvýšení její kontaminace, tyto látky pak mohou pronikat do kořenového systému nebo jsou vlivem výluhu odváděny do spodních vod. Některé látky jsou pak schopny setrvat v půdě po mnoho let. [47]

Velký požár spotřebovává více kyslíku, ten získává z okolního vzduchu, požár tak „nasává“ okolní vzduch, který pak, jak již bylo řečeno, vlivem tepla stoupá rychle do výšky. Kouř obsahující směsi plynných látek (par VOC, sazí apod.) se pohybuje podle povětrnostních podmínek v horních vrstvách atmosféry a bývá schopen se rozptýlit až do vzdálenosti až několika kilometrů. Právě díky proudům vzduchu směřujícím k požáru a následně vzhůru (již znečištěného), bývá koncentrace naměřená v těsné blízkosti hoření téměř nulová. [48]

Obecně lze rizika rozdělit dle jednotlivých vlastností materiálů, tyto rizika jsou uvedeny ve vyhlášce č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. Produkty hoření z těchto odpadů mají stejné, či obdobné efekty (především dráždivost, toxicitu, karcinogenita, teratogenitu, mutagenitu), vyznačují se schopností se dále šířit a akumulovat v životním prostředí. Především po požárech skládek jsou v okolní půdě nalezeny koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (PAHs), polychlorovaných bifenyly (PCBs) a těžkých kovů [8].

Velmi opomíjený, a hlavně těžko vyčíslitelný je vliv požárů skládek na životní prostředí. Z hlediska vlivu na ochranu ovzduší a životního prostředí se často jedná mimořádné události velkého rozsahu, je proto nutné zvolit nejvhodnější postup k posouzení vlivu na stav životního prostředí a vliv na zdraví obyvatel [6].

Chemická struktura syntetických polymerů hraje zásadní roli ve výsledném složení produktů hoření. Štěpení u vulkanizovaných pryží, nerozvětvených řetězců polyolefinů, či polymerů obsahující halogeny často probíhá odlišným způsobem [60]. Termogradaci ovlivňuje podmínkami a způsobem provedení polymerace, molekulovou hmotností, tvarem a

prostorovým uspořádáním makromolekul polymeru [50]. Významný vliv na složení produktů hoření mají ostatní aditiva a přísady: změkčovadla, maziva, pigmenty, plniva, ztužovadla, stabilizátory, retardéry hoření apod. [49]

#### **4.10. Toxikologie produktů hoření**

Hovoříme-li o působení látek vznikajících v průběhu hoření z hlediska toxikologického, za ohrožení osob zodpovídají zejména látky s narkotickými a dráždivými účinky. Takovéto látky představují menší část spektra více než 400 sloučenin, které byly identifikovány ve zplodinách hoření plastů (polyethylenu, polystyrenu, terpolymeru ABS, polyvinylchloridu, polyesteru, polyamidu a lehčených polyurethanů [51].

Během požáru dochází k několika toxickým vlivům na organismus. Mezi nejběžnější můžeme jmenovat účinky oxidů uhlíku, především oxidu uhelnatého, který vzniká při nedokonalém spalování. Jako skutečně toxické látky může uvést zejména kyanovodík. Ten je charakteristický pro hoření materiálů typu vlna, peří, hedvábí, a hlavně syntetické polymery (polyakrylonitril, polyamid, polyurethan...). Toxicita organických látek vznikající během hoření je velmi odlišná. Mezi nejvýznamnější skupinu patří perzistentních organických látek, která setrvávají v životním prostředí dlouhodobě a mají schopnost bioakumulace (označuje růst koncentrace chemické látky v organismu. Dochází k ní obvykle v rámci tzv. potravní pyramidy, kdy se v každé trofické (potravní) úrovni zvyšuje koncentrace látky v organismu díky konzumaci organismů nižší trofické úrovně). [26]

Laboratorní zkoušky stanovení toxicity nemohou poskytovat údaje o toxickém nebezpečí, jenž by odpovídalo skutečným situacím, ke kterým dochází během požáru, především proto, že průběh uvolňování je závislý na mnoho proměnných a vzájemně propojených faktorech. Nicméně, laboratorní zkoušky mají obrovský význam – provádějí se za definovaných podmínek, je možné vzájemné srovnání výsledků stanovení toxicity jednotlivých zkoušených materiálů. V každém případě slouží tyto laboratorní rozborů pro odhad nebezpečí při skutečných požárech [52].

#### **4.11. Toxické účinky zplodin hoření**

##### **4.11.1. Dráždivé účinky**

Sloučeniny s dráždivým účinkem nacházíme téměř ve všech zplodinách. Jejich zdrojem jsou zejména látky, které při hoření uvolňují kyselé páry. Mezi takového typické látky můžeme zařadit polyvinylchlorid, polytetrafluoethylen či ethylvinylacetát [59]. Kontakt se zplodinami způsobuje podráždění nebo až poleptání sliznic, dýchacích cest, kůže či očí. Dráždění mohou způsobovat i látky reaktivní, hlavně reakce s proteiny či alkylačním nebo

acylačním mechanismem. Dráždivá bývají i organická rozpouštědla, neboť odstraňují tukové složky, a tedy snižují ochrany schopnost kůže. [43]

Látky ve zplodinách mohou mít řadu dráždivých účinků, které jsou buď smyslové nebo pulmonální (plicní). Smyslové dráždění působí primárně na oči a sliznice horních cest dýchacích s širokým spektrem projevů – od mírného nepohodlí po těžké bolesti a dezorientaci. Plicní dráždění může způsobit až edém plic. Efekt dráždivých látek spolu s toxickým nebezpečím ještě není úplně objasněn, ale je více než zřejmé, že tyto látky svými účinky ztěžují únik z ohroženého prostoru. Mezi hlavní dráždivé látky, které se vyskytují ve zplodinách hoření patří zejména kyslíkaté organické sloučeniny (akrolein, formaldehyd, halogenovodíky a oxidy dusíku). Dráždivý oxid siřičitý vzniká při hoření látek obsahující síru (vulkanizovaná pryž) [10].

#### 4.11.2. Narkotické účinky

Látky s narkotickým účinkem mohou způsobit změnu stavu, ve kterém osoby nemusí být schopny vnímat pocit nebezpečí. Mezi tyto látky se řadí i ty jenž mohou způsobit náhlou ztrátu vědomí či selhání centrálního nervového systému. Tyto látky jsou v produktech hoření obsaženy velmi často, nicméně jejich koncentrace nebývá příliš vysoká. Tyto účinky vznikají rozpouštěným narkoticky účinných látek v tukové vrstvě membrán, což bývá příčinou zpomalení či potlačení funkcí nervového systému. Organismus se poměrně dobře dostává do původního stavu, takže narušení je reverzibilní. Inhalačně takto působí látky jako ethery či aromatické uhlovodíky. Například hořící polyoxymethylen (POM) obsahuje značnou část etherů. Všechny látky účinkují narkoticky, pokud dosáhnou narkoticky účinné koncentrace dřív, než způsobí účinky toxické [53].

#### 4.11.3. Blokování přenosu kyslíku

Pro většinu organismů je transport kyslíku důležitý. Jeho přenos často blokují jedy a škodliviny, které s kyslíkem přímo reagují a snižují dostupné množství nebo interagují intenzivněji s vazbou jeho nosiče, kam se navazují silněji, právě než molekula kyslíku. [54]

#### 4.11.4. Mutagenní a karcinogenní účinky

Jako mutagenní látky označujeme takové látky, které způsobují změnu v genetické informaci buněk. Mutace jako pojem je obvykle spojena se změnami v zárodečných (genetických) buňkách, které jsou spojeny se zásahem mutagenní látky. Mutageny založené na chemické bázi mohou indukovat mutace genové, chromozómové nebo genomové. Závažnost následků vyžaduje určení mutagenity látek. [24].

Tabulka 6: Klasifikace karcinogenních látek podle IARC. Autor, zdroj IARC [83].

Skupina	Účinek látky
1	Karcinogenní pro člověka
2A	Pravděpodobně karcinogenní pro člověka
2A	Potenciálně karcinogenní pro člověka
3	Neklasifikovaný jako karcinogen pro člověka
4	Pravděpodobně nekarcinogenní pro člověka

Tabulka 6: Klasifikace karcinogenních látek podle DFG, Autor, zdroj DFG [84]

A	Jednoznačně prokázaný karcinogen v pracovním prostředí
A1	Podle zkušeností způsobuje zhoubné nádory
A2	Dosud při experimentech se zvířaty za podmínek srovnatelných s pracovní expozicí jednoznačně prokázané karcinogenní účinky
B	Podezřelý karcinogenní potenciál

Otevřené požáry pneumatik se vyznačují nejvyšší hodnotou mutagenních vzdušných emisí, zejména z důvodu obsažení 1,3-butadienu, aromatických uhlovodíků a PAHs. Choi (2002) tvrdí, že mutagenita u požáru pneumatik je 16krát vyšší než u požárů ze dřeva [23].

#### 4.12. Expoziční testy

Hodnocení přímých toxických účinků zplodin se provádí většinou pomocí testů na pokusných zvířatech. Jsou doporučeny především krysy či myši, které bývají vystaveny působením zplodin hoření po určitou dobu [410]. Dle parametru LC<sub>50</sub> (letální koncentrace) se hodnotí reakce zvířat, což je statisticky vypočítaná koncentrace zplodin hoření z údajů o citlivosti na koncentraci, která má 50% smrtící účinky u pokusných zvířat daného druhu za stanovení podmínek [22].

Při zhodnocení nebezpečí se klade důležitá otázka, zda výsledky stanovené toxické vydatnosti zplodin hoření na organismu pokusných zvířat (hlodavců), je použitelné na lidský organismus. Nicméně, tato otázka byla podrobena výzkumu a bylo zjištěno, že kvalitativní odezva hlodavců na toxické zplodiny je více než podobná reakce lidského organismu. Mortalita je v obou případech způsobena látkami s narkotickými účinky. V rámci kvantitativního vztahu pro narkotické plyny byla zjištěna velmi dobrá korelace mezi lidskými a pokusnými organismy [53].

Vedle analýzy ovzduší lze využít pro posouzení expozice ohrožených osob i vyšetření biologického materiálu. Toxiny či jejich metabolity se stanovují v krvi, moči, vlasech, moči či vydechovaném vzduchu. Pro potřeby vyšetření je nutné znát hladinu toxické látky, kdy ještě nevyvolává poškození. Výsledky těchto expozičních testů závisí i na plicní ventilaci, fyzické námaze, resorpci kůže a trávicím traktu. [55]

Pro sestavení a užití expozičních testů je potřeba znát toxikokinetiku, kterou látka má v lidském organismu [21].

Mezi nejdůležitější a zároveň nejčastější cestou vstupu toxických látek ze zplodin hoření. Dobře rozpustné plyny, páry a aerosoly se rozpouštějí v respiračním traktu. Větší či méně rozpustné částice, které se zachytí v dýchacích cestách, se pohybem řasinkového epitelu dostávají do nosohltanu, kde následně mohou být spolknuty a resorbovány v trávicím ústrojí. Toxický účinek závisí na hmotnosti, která roste s třetí mocninou průměru. Nebezpečné jsou tedy velmi jemné částice, které se dostanou do alveolů, i větší částice. Významnou roli u látek rozpouštějících se na lipidech a současně ve vodě hraje perkutánní resorpce. Tyto látky jsou primárně kapalné a při požáru se odpařují a posléze kondenzují na kůži. Z důvodu přítomnosti těchto látek je zapotřebí během požárů používat i ochranný oděv, a nejen dýchací přístroj. Během experimentálních testů a teoretických výpočtů bylo zjištěno, že šance 60 %, že se většina látek zachytí v plicích. Množství zadržené látky je přímo úměrné plicní ventilaci [20].

Podle Caux (2002), která zkoumala expozici PAHs během požáru u 43 hasičů stanovením 1-hydroxypyrenu a kyseliny mukonové v moči do 20 hodin po vystavení vlivu požáru. Kontrolní vzorky byly odebrány po 4 dnech, kdy se hasiči neúčastnili žádného zásahu. Z výzkumu vyplynulo, že 38 % překračovalo běžnou hodnotu 0,32  $\mu\text{mol/mol}$  kreatinu. Nejvyšší naměřená hodnota 1-hydroxypyrenu byla 3,6  $\mu\text{mol/mol}$  kreatinu. Dále mělo 6 hasičů obsah kyseliny mukonové vyšší než 1,1  $\mu\text{mol/mol}$  kreatinu. Tato koncentrace zhruba odpovídá koncentraci benzenu 1ppm. Z toho vyplývá, že expozice PAHs byla vyšší než v normálním prostředí i při použití ochranných prostředků. [18]

Bernardo (2010) provedla ekotoxikologické testy zbytků z požáru skládky odpadů. Testy byly provedeny na bioindikátoru *Vibrio fischeri* a vykazovaly hodnoty EC50 (30 min) = 1 % (v/v), tedy vysokou toxicitu. [19]

#### **4.13. Cesty šíření požáru**

U povrchových požárů je směr šíření ovlivněn zejména místem jeho vzniku, tedy zda došlo iniciaci na rovné ploše či v části svahu (požár má tendenci šířit se primárně vzhůru), a meteorologické podmínky (srážky, vlhkost, směr a síla větru). Při intenzivním působením větru se rychlost šíření požáru po povrch enormně zvyšuje, je proto třeba aby hasební práce probíhali v co nejkratším možném čase. [1]

U podpovrchového požáru skládky je uvolňován hustý a bílý kouř, zpravidla doprovázený typickým zápachem. Ten je způsoben rozkladem látek při nízkých teplotách (500 – 550°C). Vnitřní šíření je ovlivněné množstvím kyslíku obsaženým v odpadu. Vlivem zhutnění se teplota může zvýšit v místě koncentrace metanu a je zde možnost rychlého rozšíření ohně či výbuch. [1]

Na vícepruhových, nelegálních či špatně řízených skládkách je šíření ovlivněno i nerovnoměrným rozložením odpadů (hořlavých materiálů) v tělese skládky. [1]

#### **4.14. Vliv hasiv na kontaminaci životního prostředí**

Při kontaminaci životního prostředí má velký vliv i použití hasiv, které, zejména při požárech polymerů či pryží, značně urychlují proces hašení. Při hašení velkých otevřených požárech však dochází k použití velkého množství těchto hasiv, a to může negativně působit na životní prostředí. [56]

Vzhledem k poptávce spíše směrem k technologické nenáročnosti, účinnosti a také ekonomické výhodnosti se ne zcela dostatečně zohledňují možné environmentální vlivy. Podíl se rozprostírá jak na odběratele, tak i na dodavatele. Odběratel parametry pro environmentální šetrnost zkrátka nepožaduje a dodavatel velmi často není schopen tyto vlastnosti prokazatelně dokázat. Tyto parametry pěnidel jsou zjistitelné z bezpečnostních listů, na kterých je uvedena toxicita pro vodní organismy, biologická odbouratelnost, CHSK, BSK5, způsob likvidace náhodně uniklých pěnidel a jejich následné zneškodnění. [57]

Mimo možných úniků hasiv je třeba upozornit na schopnost pěnidel a smáčedel snižovat povrchové napětí kapalin, zejména při likvidaci mimořádných událostí či požárů, kdy je možný únik hořlavých kapalin do vod a kontaminace půdy. Tuto schopnost vykazují hlavně sloučeniny založené na tenzidech, mezi které patří i zmíněná pěnidla. Snižování povrchového

napětí kapalin pak vede k větší rozpustnosti ropných látek ve vodním prostředí zvyšuje průsak těchto emulgovaných látek do půdy a spodních vod [15].

To vede ke zvýšení nákladů na případnou likvidaci ekologických následků těchto mimořádných událostí. A právě zde vyvstává potřeba účinného a rychlého zásahu pro co nejmenší množství použitého hasiva, především kvůli omezení úniku vzniklých vodních emulzí do půdy a vod a co nejnižší vývin kouře, a tedy i zplodin hoření škodlivých pro životní prostředí. [60]

Balog (2004) uvádí, že tradiční směsi v pěnidlech, tedy tenzidy, ethylglykoly, butyldiglykoly, propylenglykoly, alkylnpolyglykosidy a nonylalkoholy, mohou působit problémy zejména z hlediska toxicky aktivních látek, respektive jejich rozklad produktů, který je nejvíce nebezpečný pro vodní organismy. Chemické látky, v komparaci se s produkty hoření, mají toxicitu relativně nízkou. Problémy přicházejí až se sekundární toxicitou. Produkty zpravidla mají dlouhou dobu biologické odbouratelnosti v životním prostředí. [13]

Pěnidla se mohou dělit do několika skupin:

- Proteinová pěnidla (P)
- Proteinová pěnidla tvořící vodní filmy (FFFP)
- Fluoroproteinová (FP)
- Standardní syntetická pěnidla (S, SYNDET, HI – EX)
- Syntetická pěnidla tvořící vodní film (AFFF)
- Pěnidla odolávající alkoholu/pro hašení polárních kapalin (AR)
- Pěnidla třídy A

Z výše jmenovaných můžeme jako nejpoužívanější označit pěnidla třídy A a syntetická pěnidla. Jako velmi málo používaná můžeme označit proteinová pěnidla. [17]

Běžné složení těchto hasiv je voda či proteinový hydrolyzát s příměsí uhlovodíkové aktivní látky (2 – 5 %), fluorované povrchově aktivní látky ( 1 – 3 %), organické rozpouštědlo, které je mísitelné s vodou (10 – 20 %), polysacharid (0,4 – 3 %) a troiblokový fluoropolymer (0,3 - 2 %). [13]

Přírodního původu jsou proteinová pěnidla, nicméně velká koncentrace jejich rozkladných produktů (amoniak) má neblahý vliv na život ve vodních prostředích. Mimo to obsahují sloučeniny zinku, jenž jsou ve taktéž ve velkých koncentracích toxické a současně velmi rezistentní proti rozpadu v běžném prostředí. [17]

Pěnidla, která tvoří na povrchu kapalin film se skládají z tenzidů (30 – 80%) a mohou obsahovat dalších až 20% perfluorovaných tenzorů. Takovéto sloučeniny se jen velmi těžko

rozkládají a některé z nich bychom mohli označit za nerozložitelné. Degradční produkty přísad do pěnidel tak bývají často stabilnější a toxičtější než samotné přísady. [13]

Jak již bylo řečeno, fluorované a povrchově aktivní látky snižují povrchové napětí vody, avšak vysoké povrchové napětí je velmi důležité pro život vodních organismů. Jakmile se sníží vodní napětí na  $50 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$  dojde k úmrtí celé vodní fauny. [16]

Coulson (2000) popsal další přísady v hasících pěnách jako je d-limonen, 1-dodekanol, 2-methyl-2, 4 – pentandiol a 1 – tetradekanol [14]. McGee (2002) identifikoval n-oktanol, kyselinu 2-ethylkapronovou, dodekan a n-dekanol. Nicméně se tyto látky v reálných vzorcích nepotvrdili. [16]

#### **4.15. Taktika hašení skládek odpadu**

Vhodný taktický postup zvolený při zásahu závisí mimo jiné na parametrech požáru i zařízení. Je velmi důležité vzít v úvahu především druh a skupenství převážně hořícího materiálu a jeho výhřevnost. Ta určuje množství tepla, které se uvolní během hoření odpadu a na uvolněném množství tepla závisí množství hasební vody pro vázání vznikajícího tepla. Výhřevnost též ovlivňuje intenzitu hoření, neboť vyšší hodnota výhřevnosti znamená, že daleko více tepla dopadá zpět na povrch materiálu. [72]

Během prvního průzkumu je nutné odlišit plochu, která byla zasažena a plochu skládky, která ještě požárem zasažena nebyla. Podobně je tomu u množství odpadu, je zapotřebí zjistit, zda udávané množství je jeho hmotnost či objem, tento faktor je rozhodující při různém kompaktování odpadu, na kterém jsou závislé další parametry požáru. [6]

Volba vhodného postupu je pak dále ovlivněna dopady požáru a jeho hašení na životní prostředí, zdravý a majetek. Negativním dopadem bývá únik kontaminované vody do vodotečí a spodních vod, je-li použito nadměrné množství vody. Je-li tato voda jímána není vhodná k dalšímu hašení pro její korozivní vlastnosti, které by mohli ohrozit nasazenou techniku. Dopady nevhodně zvoleného postupu na složky životního prostředí se většinou projeví v rámci dnů až několika měsíců.[1]

#### **4.16. Metody likvidace požárů skládek**

Charakteristikami pro požáry odpadů jsou obtížně přístupná ohniska, většinou uložená hluboko pod povrchem odpadu, šíření požáru skrytými cestami a dutinami, vznikem toxických zplodin, nedokonalým hořením a silným vývinem kouře. Vzhledem k tomu, že na skládkách nebývají přístupné zásahové cesty přibývá navíc komplikace s pohybem k ohnisku po povrchu tělesa skládky. Během tohoto pohybu hrozí neustále riziko propadnutí do vyhořelé dutiny (kaverny), či poškození techniky (proříznutí hadic či pneumatik apod.).



Bohužel, většina zařízení nemá dostatečné zásoby hasební vody, což ústí v logistický problém s její dopravou. Vzhledem k nedostupnosti ohniska, různorodosti materiálů a jejich tvaru bývá účinnost standardních hasiv relativně malá. Zásah bývá pro hasiče časově i fyzicky velmi náročný. Zasahujícím při zásahu hrozí neustále riziko propadnutí, popálení, otravy či poranění s možným následným vznikem infekce. [32]

Postup likvidace je vždy závislý na charakteru odpadu, jeho mocnosti a typu požáru. Podle typu (povrchový či podpovrchový) se volí postup likvidace. V České republice se zasahuje podle dokumentu „Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy“ metodický list č. 26 „Požáry skládek tuhých odpadů“. Velitel zásahu musí vyhodnotit situaci namíste a dále postupovat dle výše zmíněného dokumentu, ve kterém jsou specifikovány termíny a pojmy ze zákona 185/2001 Sb. o odpadech a charakterizovány nebezpečí při likvidaci a charakteristiky požáru. Po příjezdu se průzkumem zjistí rozsah požáru a charakter hořícího materiálu. Detailní složení nelze zpravidla zjistit, i když si lze od pracovníků či provozovatele skládky vyžádat informace o složení uloženého odpadu. Dále je třeba vzít v úvahu možnost ohrožení obyvatelstva zplodinami z hoření, které se šíří v závislosti na meteorologických podmínkách. Zda hrozí nebezpečí znečištění povrchových vod a kam bude odtékat hasební voda. Zjistit možnosti pro dodávky hasební vody, nástupních ploch a zásahových cest. A konečně, je-li to nutné, varovat či evakuovat obyvatele. Jakmile jsou tyto prvotní úkony zajištěny je možné přistoupit k likvidaci požáru. Ze všeho nejdříve je nutné zamezit plamennému hoření, kvůli přístupu k ohniskům požáru. Je-li ohnisko přístupné je možné použít některý z hasebních postupů. Zpravidla se zaplavuje velkým množstvím vody s možným použitím smáčedel, nebo zavezením inertním materiálem (popílky, zemina...), hašení pomocí pěny se provádí zejména při požáru pneumatik. Dále je možné dopravit vodu do tělesa skládky pomocí injektáže či rozrušit těleso skládky pomocí proudů vody, nebo těleso rozebrat pomocí těžké techniky a vytěžený materiál zkrápnět vodou. Mezi používané způsoby likvidace ještě patří zaplavení či zavezení povrchu tělesa (zpravidla nad ohnisky) a následným zhutněním pomocí těžké techniky. [6]

#### 4.16.1. Zaplavení ohnisek velkým množstvím vody, inertním materiálem nebo pěnou.

Zaplavení ohnisek lze provádět v případě že se odpad nachází v jímce či prohlubni a bude tedy zamezeno, aby hasební voda odtékala mimo těleso skládky. Pro lepší zatečení vody k ohnisku, lze použít smáčedla. Tento způsob však znamená obrovskou spotřebu vody i při relativně malém požáru skládky. Může dojít k přílišnému namáhání odvodňovacího systému skládky a k ohrožení vodoteče či podzemní vody vsakem hasební a skládkové

vody. Tento způsob je velice nevhodný pro podloží s vysokou propustností (písky, šterky atp.) Čím více se bude zemina vlivem působení požáru prohřívát, tím více usnadní vsakování do podložního materiálu. [1]

Inertní materiály jako jsou například popílky, které nemají nebezpečnou vlastnost a při běžných klimatických podmínkách nedochází k žádným závažným změnám (fyzikálním či chemickým) a reakcím. U použití inertních materiálů se jedná především o logistický problém, neboť je třeba přemístit dostatečné množství materiálu v co nejmenším možném čase. Dále vyvstává problematika, jak transportovat tento materiál do ohniska (hašení reaktoru elektrárny v Černobylu pomocí vrtulníků). Naopak nespornou výhodou je velmi malý dopad této metody na životní prostředí (nedochází k žádnému prosakování a následné kontaminaci vod), použití je však omezeno především velikostí plochy zasažené požárem.[6]

Zaplavení ohnisek požáru pomocí pěn (středních a těžkých) se používá především u požáru pneumatik. Tento postup je náročný na množství jednotek provádějící zásah u velké plochy požáru, neboť z důvodu účinné aplikace je třeba aby byla pěnou pokryta celá hořící plocha v malém časovém intervalu od začátku do konce aplikace s nutností stále udržovat určitou vrstvu pěny z důvodu její degradace působením požáru. V praxi je velmi častým problémem vybavenost jednotek prostředky, které zásah hasící pěnou umožňují a jsou schopny pěnu dodat i do středu zasažené plochy (v závislosti na její velikosti). Jedná se zejména o dobrovolné jednotky, ty často postrádají i zásoby hasící pěny. Přiblížení se k ohnisku větších požárů bývá zpravidla znemožněno vysokou intenzitou sálavého tepla. Tento postup vykazuje stejný problém s odpadní vodou jako výše zmíněný případ. Voda zde vzniká degradací pěny tepelným působením požáru. [1]

#### 4.16.2. Injektáž vody do tělesa skládky

Jak napovídá sám název, jedná se postup pro hašení požáru uvnitř tělesa skládky. Speciální proudnice o délce asi 1,5 m, která je opřena otvory pro vytékání vody se smáčedlem, se zasouvá do povrchu skládky. U řízených skládek by měly být vrstvy odpadu překrývány inertním materiálem (zeminou, inertním odpadem atp.), je-li tedy zápichová proudnice použita včas, požár se nestihne rozšířit do velké hloubky. Tento postup je nejvhodnější, pokud hoří svrchní vrstva (cca do 2 metrů). Jedná-li se o požár nelegálních skládek, či skládek, které nemají vrstvy odpadu odděleny inertním materiálem nelze tento postup aplikovat s vysokou účinností. [73]

Je-li hloubková proudnice zavedena v těsné blízkosti ohniska nemá tento postup až tak velkou spotřebu vody (proudnice má průtok 100 l/m při 0,2 MPa), není náročná na množství

sil či prostředků. Její problém tkví v tom, že není v povinné výbavě zásahových vozů, tudíž v případě potřeby nemusí být okamžitě k dispozici. [73]

#### 4.16.3. Rozrušení skládky pomocí mechanických účinků proudů vody

Tento postup je vhodný pouze při požáru na povrchu skládky nebo při hoření jen malé vrstvy odpadu. Odpad je tak pomocí proudů vody přemisťován po povrchu zařízení. Využívá se především proudů B a C, přičemž nejvyšší mechanické účinky má proud B. Tento způsob je velmi náročný na množství prostředků a sil, neboť pro manipulaci s proudem B jsou zapotřebí nejméně tři hasiči, které je nutné často střídát, kvůli manipulaci s proudem a velmi stíženému pohybu se zavodněným vedením po povrchu skládky. [32]

Pro získání požadovaných mechanických účinků je zapotřebí enormní množství vody, přičemž pro vlastní hašení je využita je velmi malá část. Přebytečná voda silně zatěžuje odvodňovací systém skládky a hrozí rizika kontaminace spodních vod a vodotečí. Tuto metodu je nutné zvážit vzhledem k velikosti skládky a možnosti zajištění dodávek takového množství vody a dostatek mužstva. Technické prostředky pro tento typ zásahu se naprosto běžně vyskytují ve výbavě zásahových vozů. [6]

#### 4.16.4. Postupné rozebírání těžkými mechanismy a zkrápění vytěženého materiálu

Typ zvolené techniky se odvíjí od druhu zasaženého odpadu, je-li složen z menších částí, je vhodnější využít kompaktor či universální dokončovací stroj (UDS). Je-li však odpad z větší části soudržný postačí nakladač s hydraulickou rukou či drapákem. Během provozu je nutné stroje ochlazovat, aby nedošlo k poškození (pneumatiky, tlakové hadice atd.). [6]

V první řadě jen nutné zjistit, zda povrch, po kterém se bude těžká technika pohybovat je dostatečně stabilní. U podpovrchových požárů často vnikají kaverny (dutiny po vyhořelém materiálu) a hrozí nebezpečí propadnutí. Rozebírání tělesa skládky je třeba zahájit z návětrné strany, pro případ otočení větru je nutné vybavit posádku vozu ochranou dýchacích cest. Při odkrytí ohniska je nutné počítat se silným nástupem plamenného hoření, neboť ohnisko většinou žhne při nedostatku vzduchu. Hořící odpad se musí přeložit či transportovat pomocí nákladních vozů na místo, kde probíhá dohašování odpadů pomocí vodních proudů. [1]

Jedná se o vhodný způsob pro hašení většiny tuhých odpadů, při velkém množství je tento postup velmi zdlouhavý a je proto zapotřebí rozebírat skládku na více místech současně, jestliže to dovolují množství sil a prostředků a přístupové cesty. Tento způsob je aplikován na většinu rozsáhlých požárů skládek. [32]

#### 4.16.5. Zkropení nebo zaplavení povrchu skládky nad ohnisky požáru a následným zhutněním pomocí těžkých mechanismů.

Zkrápění a zaplavování je zpravidla prováděno vodními proudy B a C. Pokud by se zaplavilo celá zasažená plocha bude přebytečná voda pravděpodobně prosakovat a bude hrozit možnost kontaminace vodních zdrojů. Výhodnější je tak zvolit zkropení hořícího povrchu, čím se sníží dopady na ŽP způsobené zbytnělou hasební vodou. Poté se provede zhutnění odpadu pomocí techniky v místě, kde probíhá hoření, tím se zamezí přístupu kyslíku k ohniskům, která nebyla uhašena pomocí vodních proudů. Jako vhodnou techniku ke zhutnění, lze uvést skládkový kompaktor či buldozer. I po zhutnění však může pod povrchem probíhat hoření, je proto třeba ponechat na místě jednotku jako požární hlídku. Tento způsob hašení je velmi nebezpečný pro těžkou techniku, neboť se při zhutňování bude pohybovat po velmi rozmáčeném povrchu a opět hrozí nebezpečí propadnutí. V případě uvíznutí bývá takřka nemožné tuto techniku, vlivem její vysoké hmotnosti vyprostit či bezpečně ukotvit vyprošťovací techniku na zvodnělém povrchu. Hrozí též ztráta techniky vlivem působením tepla z požáru není-li dostatečně chlazena. [34]

#### 4.16.6. Zavezení zeminou

Tato metoda hašení spočívá v pokrytí celého povrchu skládky inertním materiálem, který se následně zhutní tak, aby se omezilo přístupu vzduchu k ohnisku požáru. V první fázi je třeba zajistit, aby se navážecí technika mohla bezpečně pohybovat po povrchu skládky, aniž by hrozilo riziko uvíznutí či propadnutí. Mocnost vrstvy po celé ploše by měla tvořit alespoň 30 až 50 centimetrů. [1]

Před použitím tohoto postupu je nutné zvážit jaké množství zeminy bude potřeba navézt, jak bude dopravena na místo a z jakého zdroje. U řízených skládek bývá k dispozici zemina na proložení vrstev odpadu. Chceme-li zavést prostor 100m<sup>2</sup>, tedy čtverec o straně 10 metrů ve vrstvě o mocnosti 50 cm potřebujeme množství které neveze zhruba 8 nákladních automobilů, u plochy 10 000m<sup>2</sup> se bude jednat o přibližně 770 nákladních vozů. Je tedy zapotřebí zvážit ekonomické hledisko tohoto postupu, vzhledem k velikosti povrchu skládky a případně zajistit příjezdové komunikace. [34]

I po zavezení celého povrchu zeminou je možné že uvnitř tělesa bude stále probíhat požár, je tedy zapotřebí ponechat na místě jednotku, jako požární hlídku, která bude případně hasit odkrývající se ohniska po propadu navážky. Právě propady činí vstup osob na

těleso skládky velice nebezpečným. Nicméně tento postup lze označit jako velice šetrný k ŽP neboť při něm nevzniká žádná hasební voda. [6]

#### **4.17. Porovnání metod v ČR s metodami v USA a Kanadě**

V použitých metodách likvidace či v postupu v zahraničí není patrný velký rozdíl oproti ČR. Podle FEMA (Federal Emergency Management Agency) a jejich vydaného dokumentu LANDFILL FIRES – THEIR MAGNITUDE, CHARACTERISTICS, AND MITIGATION, hovoříme o likvidaci na In-situ (tedy přímo v prostoru nebo v tělese skládky) nebo Ex-situ (tedy mimo těleso a prostor skládky. Mezi metody ex – situ patří zejména vykopání hořících částí a jejich následné uhašení mimo těleso skládky a následné navrácení zpět do tělesa skládky. Tento postup je nazývaný jako overhaul, volně přeloženo jako generální oprava, či přepracování. Mezi metody in-situ řadíme zavezení a utěsnění povrchu skládky, injektáž inertních plynů, kryogenní metodu (injektáž tekutého dusíku), injektáž vody či pěny. Metoda použití inertního plynu (dusík nebo oxid uhličitý) funguje na principu vytlačení kyslíku z tělesa skládky. Pro její účinnost je nutné, aby byla celé skládka neprodyšně zakryta a odpad byl dokonale zhutněn. Tuto metodu, lze tedy využít pro likvidaci požárů na uzavřených skládkách či na zařízeních, kde je jímání skládkový plyn energeticky využíván. Zejména v těchto případech by nebylo vhodné těleso otvírat pomocí těžké techniky vzhledem ke vzniku možných poškození. [3]

V USA dojde ročně v průměru k 1 354 100 požárům (medián 1 345 250), z toho průměrně 8 300 je požár skládky. K požárům dochází především v letních měsících, kdy je vyšší pravděpodobnost spontánního vznícení. Zhruba 64 % požárů vzniká v odpadních nádobách a na skládkách komunálního odpadu, nicméně do těchto dat jsou zahrnuty i požáry automobilů a techniky, stavebních součástí a okolní vegetace. Okolo 50 % požárů není ani tato skutečnost hlášena a u 40 % je předpokladem žhářství. Každý rok je usmrceno zhruba 89 hasičů během zásahů.[3]

Mezi jednoznačně patrný rozdíl, je zřejmé, že metoda zaplavení ohniska velkým množstvím vody není doporučena. Voda podporuje anaerobní rozklad v tělese skládky a tím zvyšuje teplotu a produkci metanu, který znesnadňuje následnou likvidaci požáru. Dále zatěžuje odvodňovací systém skládky a zvyšuje riziko znečištění podzemních vod v případě, že je požárem narušena těsnící fólie a izolační vrstva. [34]

#### 4.17.1. Delta Shake and Shingle site – Kanada

Skládku Delta Shake and Shingle site v Britské Kolumbii poblíž Vancouveru v listopadu 1999 zachvátily plameny. Skládku sloužila pro ukládání stavebního a demoličního odpadu, zejména dřevěný odpad, stavební suť, asfaltové a izolační hmoty. Kouř a zplodiny vycházeli ze skládky po několik týdnů, nicméně k identifikaci, že se jedná o požár došlo v okamžiku, kdy oheň prohořel na povrch skládky a zachvátit odpad o objemu 170 000 m<sup>3</sup>. [62]

Provozovatel se snažil uhasit požár vlastními prostředky za pomoci těžké techniky, kdy oddělil hořící části skládky od ostatních, prozatím nezasažených, částí. Nicméně toto počínání vedlo ke zhoršení, neboť tímto umožnil zvýšený přísun kyslíku k ohnisku požáru [63].

Po započetí požáru uběhlo několik týdnů, kdy si obyvatelé Vancouveru začali stěžovat na narůstající nesnesitelný zápach a kouř vycházející ze skládky. 27. listopadu byl vyhlášen výjimečný stav a povolány hasičské jednotky. Požární jednotky provedli pomocí dostupných technologií zamezení přístupu vzduchu do požářiště, odebírání hořlavého materiálu a chlazení pod teplotu vznícení. Na výběr měli z několika možností: urychlení hoření odpadu, zakrytí skládky zeminou, zakrytí geomembránou, zaplavení skládky pomocí nedaleké řeky Fraser, injektáž oxidu uhličitého čímž by byl vytlačen kyslík z tělesa skládky, vykopání hořícího odpadu a jeho následné uhašení mimo prostor skládky. Myšlenka urychleného spalování byla opuštěna z obav o kvalitu ovzduší a možnosti nekontrolovatelného šíření požáru. Zakrytí skládky zeminou nebylo možné kvůli nestabilnímu povrchu skládky, který znemožňoval vjezd těžké techniky. U geomembrány panovala oprávněná obava, že dojde k jejímu roztavení dříve než k udušení plamenů. Zaplavení hořící skládky bylo také zavrženo z důvodu obav o její stabilitu a možnou kontaminaci vod. Injektáž oxidu uhličitého nebyla možná kvůli chybějícímu hornímu zakrytí, díky čemuž by se oxid uhličitý volně uvolňoval do atmosféry. Jako jediné reálné řešení bylo shledáno odtěžení hořícího odpadu a jeho následné uhašení mimo prostor skládky pomocí pěny a vody. [64]

V první fázi byly zahrnuty výkopy provedené provozovatelem, které neměli kýžený efekt oddělení ohně od odpadu, ale naopak bylo možné, aby se těmito výkopy dostávalo zvýšené množství kyslíku k ohnisku požáru. Jako další byla použita voda s příměsí pěnidla aplikovaná na povrch skládky, čímž došlo k jejímu ochlazení a bylo zmenšena míra vzniku hustého kouře a dalšího šíření požáru. Když se situace ohledně povrchového šíření stabilizovala došlo k nasazení těžké techniky a vykopání hořícího odpadu z tělesa skládky, jeho transport a uhašení mimo prostor skládky. Okolo místa, kde byl hořící odpad hašen byl zbudován příkop ke sběru vody, která byla následně přečerpána do jímky, z které byla opakovaně použita k hašení. Toto opatření vedlo k omezení kontaminace podzemních vod.

Na přilehlém pozemku byla vybudována dočasná skládka, která byla utěsněná PVC fólií a dvěma metry inertního materiálu, kam byl ukládán již uhašený odpad. Požár skládky byl zlikvidován za 2 měsíce a odpad z dočasného úložiště byl přesunut zpět na původní místo. Nově se ukládal do vykopaných buněk o rozměrech 4 x 40 x 75 metrů. Důkladně zhutnělý odpad byl zavezen ještě dvěma metry inertního materiálu. Jako příčina požáru bylo uvedeno samovznícení dřevěného odpadu uvnitř tělesa skládky. Náklady na výstavbu geotechnické bariéry a monitoring činili zhruba 2 400 000 kanadských dolarů. Likvidace spolu s opětovným přesunem odpadu zpět na skládku činily zhruba 1 600 000 kanadských dolarů. Celkem náklady přesáhly čtyři miliony dolarů. [62]

#### 4.17.2. USA – Iowa City Landfill & Recycling Center

V Spojených státech amerických dochází průměrně k 8400 požárům skládek každý rok (dle NIFRS – National Fire Incident Reporting System). Mnoho jich přesto zůstává nenahlášených. Podle statistik FEMA (Federal Emergency Management Agency) bývá nejčastější příčinou chemická reakce, reaktivní materiály, přetížení odplyňovacích systémů skládky, kouření, údery blesku, návoz žhavých částic spolu s odpadem. Malý povrchový požár skládky a recyklačního střediska ve městě Iowa City ve státě Iowa se během osmnácti hodin změnil v katastrofu masivních rozměrů. Oheň zasáhl území 9,5 akrů. Naprosto zničil odvodňovací systém a izolaci skládky. Začal v sobotu 26.5. 2012 a trval po další čtyři měsíce a vyžádal si sumu 3 miliony amerických dolarů. Firma Iowa City Landfill & Recycling Center zpracoval ročně 127 000 tun za rok, okolo 4 milionů tun bylo uloženo na skládce. Odplyňovací systém měl 70 vertikálních a 9 horizontálních plynových studní a spalování plynu na flérách při průtoku přibližně 850 kubických stop za minutu (asi 24 070 l za minutu). [81]

V 18:38 obdrželo hasičské oddělení Iowa City hlášení o kouři někde v okolí skládky, jednotky vyrazily. Na místě ale zjistili, že nemají klíče. Tudíž museli počkat na zaměstnance skládky, který jim otevře elektrickou bránu. Požárnický sbor (ICFD) vytyčil perimetr a stanovil hlídky. Mezitím zaměstnanci skládky začali hasičům vysvětlovat infrastrukturu skládky. Nebyl zřízen žádný velící post ani komunikační plán s požárníky. [81]

Mezi první problémy byla vzdálenost hydrantové sítě. Nejbližší hydrant se nacházel zhruba dvě míle (cca 3 km). Vzhledem k rozsahu požáru a vzdálenosti vody byl zvolen postup oddělení hořícího odpadu od zbytku skládky a zahrnutí zeminou. Druhý problém, kterému museli hasiči čelit byl nedostatek těžké techniky. Skládka disponovala pouze dvěma buldozery a dvěma kompaktory. Během noci odjeli hasičské vozy a stanovili se požární hlídky. Těžká technika pokračovala v zahrnování skládky. [82]

Na druhý den začíná na skládce foukat. Jedná se o velmi silný vítr z jihovýchodu. Oheň se za působení toho větru přesunul k dalším, prozatím nezasaženým, kazetám skládky a míří k plynovým studnám. V ranních hodinách byl zřízen velící post v městské radnici.

Ve 13:30 došlo k uvolnění zprávy pro tisk a veřejnost. Zpráva tvrdila, že emise jsou podobné jako z výfuku auta či taboráku, že vystavení chemikáliím v kouři není o moc horší než běžná denní expozice. [82]

Během prvních osmnácti hodin byla zasažena plocha 9,5 akrů. Vsakovací systém byl vlivem ohně zničen a došlo ke kontaminaci podzemní vody. Začínají se objevovat jezírka hořící tekutiny. Kouř putuje kilometry daleko, na zápach si stěžují lidé v okruhu 8 mil (cca 13 km). Začínají se objevovat první obavy o 40 let ukládaný odpad, respektive, jaký vliv na své okolí bude mít požár takovýchto rozměrů, který se zatím nedaří dostat pod kontrolu. Dále panuje obava o svoz odpadu. V okolí není jiná možnost ukládání. [81]

Objevuje se také obava z pyrolytického oleje. Z jedné pneumatiky vznikne zhruba 7,5 – 8 litrů oleje. Na zajištění prostoru skládky bylo použito 1,3 miliónů pneumatik. Bod vzplanutí pro pyrolytický olej je okolo 100 °C. Hoří pak teplotou okolo 400 °C a nelze proto hasit vodou. Z regionálního letiště byla přivezena speciální pěnová hasící cisterna. Olej pronikl do kanalizace a kontaminoval asi 10 mil potrubí (16 kilometrů). Začíná se se sběrem a odvozem oleje specializovanou firmou. [11] [12]

Jak již bylo zmíněno, oheň se podařilo dostat pod kontrolu po čtyřech měsících. Vyžádal si obrovské množství peněz a lidského úsilí, neboť na požár takovýchto rozměrů nebyli připraveni ani zaměstnanci, ani hasiči. Do té doby nemyslitelná představa se stala skutečností. V současnosti, lze v provozním řádu této skládky najít kontakty nejen na požárníky, hygieniky a kontrolory kvality ovzduší (což je běžné), ale přibyly kontakty na dodavatele těžké techniky, hasící pěny, spojovací techniky, cateringu, mobilních toalet a firem na zneškodňování nebezpečného odpadu. [82]

#### 4.17.3. Česká republika

V ČR se z ekonomických důvodů, kvůli ochraně materiálu nulové hodnoty, přistupuje vždy k nejméně nákladným metodám likvidace. [1]

Nejpoužívanější metodou je v současnosti ochlazení odpadu velkým množstvím vody. Vzhledem k nevybavenosti skládek hydrantovou sítí je nutné vodu na místo požáru většinou přivážet cisternami nebo pomocí čerpadel jí přivést z nejbližšího vodního zdroje. Tato voda je obohacena o malé množství pěnidla, které zvyšuje schopnost vody pronikat do nitra hořícího odpadu. Voda je jako hasební látka velmi levná, má vysoký chladicí efekt a bývá relativně



dostupná. Nevýhodou použití velkého množství vody je podpora anaerobních procesů v tělese skládky, voda vytlačuje metan na povrch skládky a velké množství vody neúměrně zatěžuje odvodňovací drenáž a izolační vrstvu a hrozí nebezpečí kontaminace okolí stečenou nebo prosáklou vodou. [34]

Zvýšením vlhkosti se podpoří biologické procesy a následným anaerobním rozkladem látek v odpadu skládky vzrůstá tvorba hořlavého skládkového plynu, který může znesnadnit likvidaci požáru, tím, že podpoří hoření. Použije-li se velké množství hasební vody dojde k vytlačení metanu z tělesa skládky na jeho povrch, kde může sabotovat snahu o likvidaci požáru. [4]

Jedná-li se o dlouhotrvající požár, může být k jeho likvidaci použito obrovské množství vody, může se jednat až o milióny litrů, takové množství je pro drenážní systém obrovská zátěž. Může dojít jeho zanesení, čímž může vyvstat nemalá komplikace s likvidací této vody, neboť ta je znečištěná výluhem ze skládky. Jímky na výluhové vody nebývají na takové množství dimenzovány. Z tohoto důvodu se v zahraničí nedoporučuje tento způsob likvidace. [3] [6]

Opětovné použití této protečené vody k hašení se nedoporučuje, z důvodu kontaminace různými látkami, které se do vody vylouhovali nebo na ní navázali během protečení skrz těleso. Tyto látky mohou poškodit hadice a čerpadla [6]. V případě, kdy by došlo k porušení těsnicí vrstvy žárem hrozí i kontaminace okolí stečenou nebo vsáknutou hasební či jinak kontaminovanou vodou. [34]

Z ekonomických důvodů se hašení pěnou používá většinou na požáry pneumatik. Dodáním pěnidla do vody a následné aplikaci dojde k zastavení přístupu ohně ke vzdušnému kyslíku. Nicméně, kvůli vysoké ceně pěny a nulovým chráněným hodnotám se k této formě při likvidaci odpadů moc nepřistupuje. Mezi další nevýhody pěny je její malá stálost a trvanlivost, rozpad nastává někde mezi 25 až 30 minutami. V praxi se přistupuje zejména co se týče odříznutí požáru od vzdušného kyslíku k zavezení ohniska zeminou a jejím zhutněním. Tato metoda je ovšem časově náročnější a také snižuje kapacitu skládky pro další ukládání odpadu. [59]

Lze tedy shrnout, že oproti zahraničí se v ČR hledí na zejména na ekonomickou stránku věci, a proto jsou voleny metody nejlevnější a nejdostupnější. Jedná se zejména o velké množství vody, která v lepším případě zůstane v tělese skládky v horším dojde k jejímu úniku do okolí kvůli namáhání některých inženýrských opatření skládky. Tomuto problému by se dalo jednoduše předejít použitím menšího množství vody. Vodou se smáčedly by mělo být zaplavováno pouze ohnisko požáru v hloubce skládky, nikoliv celý její povrch. Na ten by mělo být aplikované pouze takové množství vody, aby se povrch

dostatečně ochladil a zamezilo se hoření. Dále by měl následovat průzkum povrchu skládky pomocí termokamery, který může odhalit stále aktivní ohniska. Měření kamerou by mělo probíhat z ptačí perspektivy, tedy pomocí výškové techniky, nebo dronu, aby se jednotlivá ohniska přesně lokalizovala a nedošlo k ohrožení života či zdraví hasičů. Identifikovaná ohniska by se posléze vykopala (a uhasila mimo skládku) nebo zaplavila dostatečným množstvím vody. Následovalo by zavezení inertní zeminou a následné zhutnění. Tento postup by výrazně snížil spotřebu hasební vody a zatížení odvodňovacího systému a tím zamezil možnosti úniku kontaminované vody do okolí. [34]

#### **4.18. Porovnání prevence s následky**

Prevence vzniku požárů skládek je velmi důležitá, především vzhledem ke složitosti likvidace požáru a její vysoké ceně, nemluvě o škodách způsobených na ŽP. V případě vzniku požáru bývá likvidace následků složitá a likvidační či sanační náklady bývají poměrně vysoké. Mezi náročné požáry se řadí požáry v blízkosti osídlených oblastí, zdrojů pitné vody, přírodních toků či zemědělských polí. Během požáru může na špatně vedené skládce snadno dojít k porušení záchytných bariér a šíření nebezpečných látek do okolí. [6]

Bavíme-li se o podpovrchovém požáru skládky, bývá použití vody k hašení často omezené a v některých případech, kvůli možné kontaminaci podzemních vod i nemožné. Většinou je také těleso skládky nutné otevřít pomocí těžké techniky, aby bylo dostupné ohnisko požáru a mohlo se přistoupit k jeho likvidaci. Hrozí i porušení těsnících folií, izolační vrstvy skládky a následnému úniku kontaminovaných vod. [1]

## **5. Výsledky práce**

### **5.1. Popis dat**

Primární data poskytl Hasičský záchranný sbor. Jedná se o tabulku zásahů HZS v časovém období od roku 2006 do roku 2017, která obsahuje informace o době započetí a ukončení zásahu, jméno vlastníka skládky, místní identifikaci (obec a okres), hrubý popis požáru, co je zasaženo požárem (objekt, odpad, hromada pneumatik atd.) a výměru plochy, která byla požárem zasažena. Dále byl v tabulce uveden iniciátor, tedy informace o tom, čím být pravděpodobně požár vyvolán a co ho mohlo způsobit (nedbalost, nehoda, úmyslné jednání). Nicméně, tato tabulka nerozlišovala požár skládky od požáru budovy na zpracování odpadu, požáru v recyklační hale či požáru stroje na pozemku skládky, odpadkového koše nebo kontejneru. Bylo proto nutné celou tabulku upravit a doplnit informací o typu a objektu

požáru. Z jednotlivých záznamů, zejména z prvních let zkoumaného období, nebylo zcela zřejmé, co vlastně požár zachvátil. Z tohoto důvodu bylo nutné obdržená data porovnat s dalšími validními zdroji (pozary.cz, ročenky HZS) a identifikovat objekt požáru na základě profesionálního odhadu a odborných diskusích s hasiči Středočeského kraje. Přibližně od roku 2008 byl zaznamenán značný posun v evidenci požárů, a proto je pravděpodobnost odhadu objektu v letech 2008 až 2017 vyšší než v letech 2006 až 2007. Pro analýzu dat byla použita pouze data požáru skládek. Do tabulky bylo doplněno identifikačního čísla zařízení (IČZ) pro jednotlivá zařízení k ukládání odpadu, kvůli možnosti sledovat konkrétní zařízení i po změně majitele či přejmenování apod. (přidělené IČZ se nemění). Nicméně, je problematické určit například v případě požáru v areálu, kde se nachází skládka, kompostárna a zařízení pro zpracování odpadu, zda skutečně hořelo těleso skládky (není – li důkladně popsáno v tabulce HZS či jiných relevantních zdrojích). Je proto možné, že se ve skutečnosti jednalo o požár nějakého zařízení (kompostárna, třídíčka, drtička apod.), ale současnou metodou jsem chybně označil požár zařízení, jako požár skládky. Dále bylo přidáno hrubé prostorové umístění pomocí souřadnic GPS. Záměr byl vytvořit graficky znázornit do mapy jednotlivá místa požárů a případně intenzitu hoření v letech. Během testování, nicméně bylo zjištěno, že souřadnice ve většině vzorků neodpovídají umístění zařízení. V lepším případě provozovatel označil sídlo společnosti, ale většinou se jednalo o naprosto irelevantní lokalitu.

Pro potřeby této práce byl přidán sloupec, jak dlouho jednotlivý zásah trval. Kvůli možnosti zjistit nejčastější hodnotu, tedy nejběžnější dobu zásahu. Domnívám se, že aritmetický průměr by v tomto případě byl zavádějící, neboť podpovrchové požáry se často likvidují v řádech dnů či týdnů.

Data o teplotách a srážkách na území České republiky byla poskytnuta z historických dat ČHMÚ na jejich webových stránkách. Tato data byla vybrána pro možnost sledovat případnou závislost vzniku požárů skládek na srážkách a/nebo teplotách na území ČR. [67,68]

## **5.2. Použité testy**

Pro ověření normality dat byl použit Shapiro – Wilkuv test, neboť většina statistických metod předpokládá, že základní soubor má normální rozdělení dat (například Studentův T-test). Pokud tento předpoklad není splněn, nelze danou metodu použít.

Dále byla použita lineární regrese. Jedná se o aproximaci daných hodnot přímkou metodou nejmenších čtverců.

Vzhledem k výsledkům Shapiro-Wilkova testu bylo možné provést F-test. Ten je založen na rozkladu rozptylu součtu čtverců odchylek od střední hodnoty. Testová statistika

je tvořen a poměrem dvou členů úměrných součtům čtverců, které odrážejí různé zdroje variability. Pokud nulová hypotéza není pravdivá, tak tyto součty čtverců jsou utvořeny způsobem, aby statistika měla vyšší tendenci.

Jako poslední byl použit t-test. Ten vychází ze situace, že má-li výběr normální rozdělení, pak průměr tohoto výběru má také normální rozdělení se stejnou střední hodnotou. Rozptýlení nicméně není skutečně znám, pokud je nahrazen odhadem vznikne T rozdělení, které s rostoucím počtem stupňů volnosti konverguje k normálnímu rozdělení.

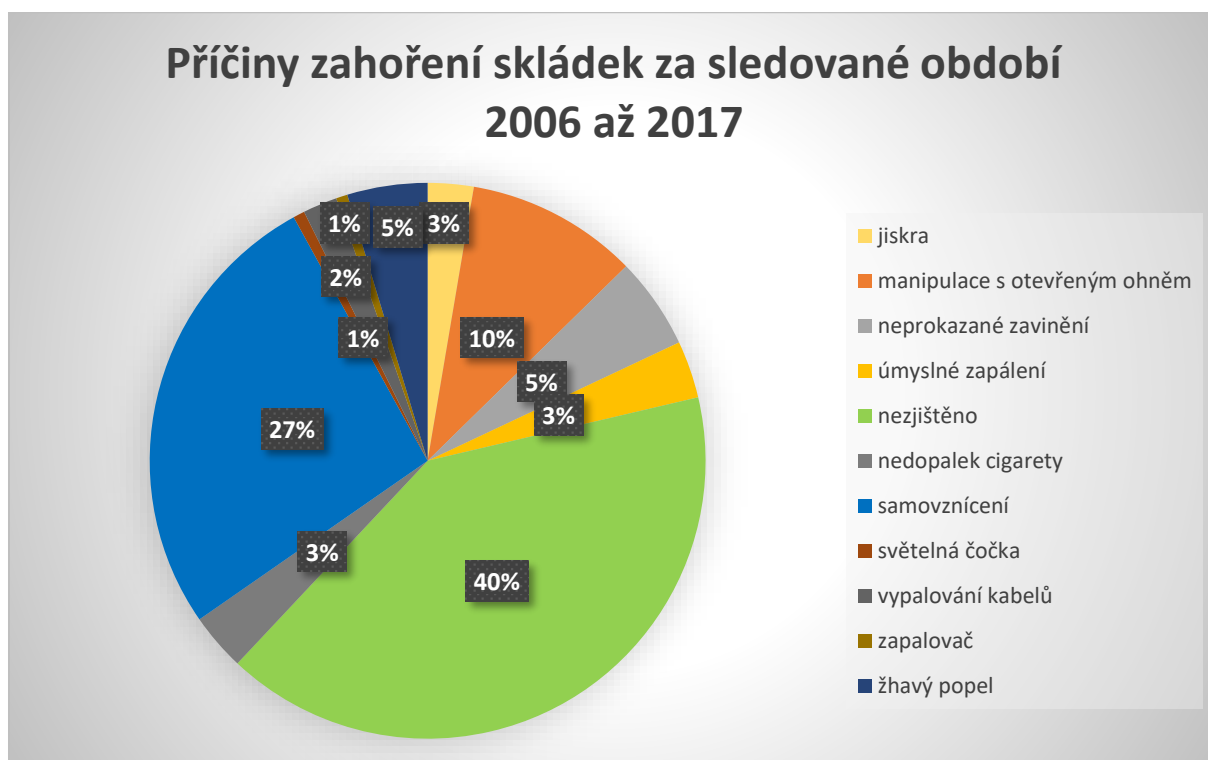
Kvůli složitosti výpočtu byl použit program RStudio verze 3.5.2.

### 5.3. Vlastní analýza dat

#### 5.3.1. Nejčastější příčiny zahoření skládek KO s využitím dat HZS

U většiny příčin požárů skládek vzhledem k nulové hodnotě odpadu se příčina zahoření ani nezjišťuje. Téměř třicet procent požárů má na svědomí samovznícení odpadů.

Graf 4: Nejčastější příčiny zahoření skládek. Autor, zdroj HZS



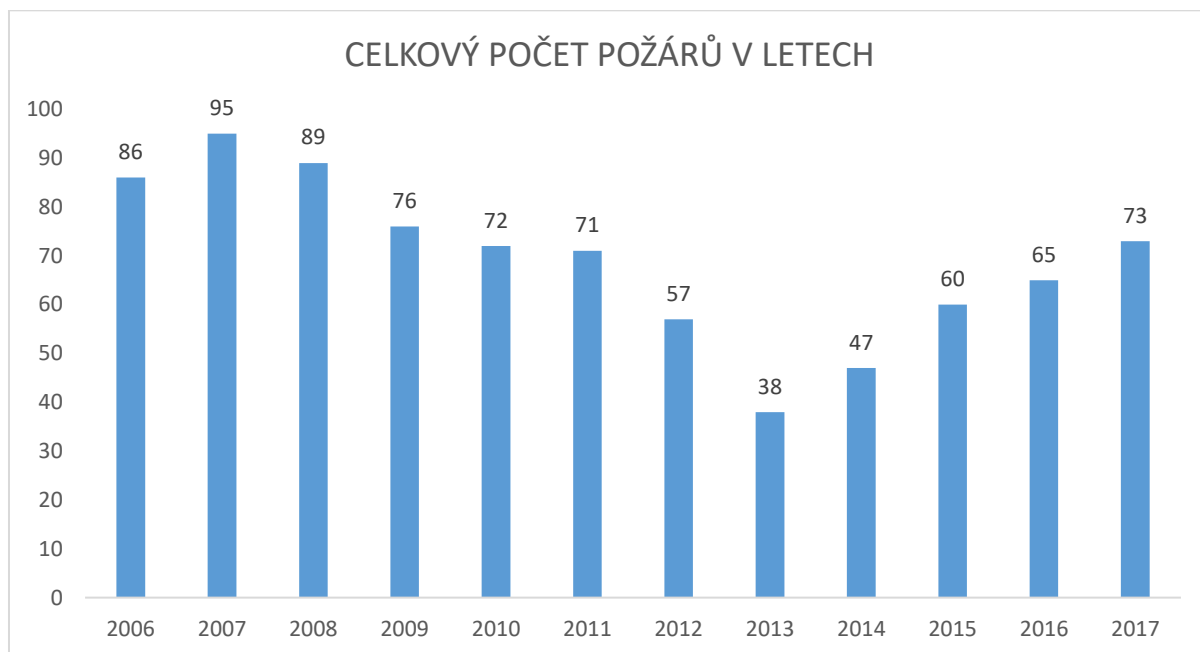
Toto zjištění mě vedlo ke zformulování hypotézy zda je samovznícení ovlivněno meteorologickými podmínkami, jako jsou srážky či teplota venkovního prostředí.

### 5.3.2. Analýza závislosti zahoření na srážkách a venkovní teplotě

Následující kapitole obsahuje vlastní analýzu dat zaměřenou na počet požárů vzhledem k umístění zařízení v krajích a vliv meteorologických podmínek na počet požárů.

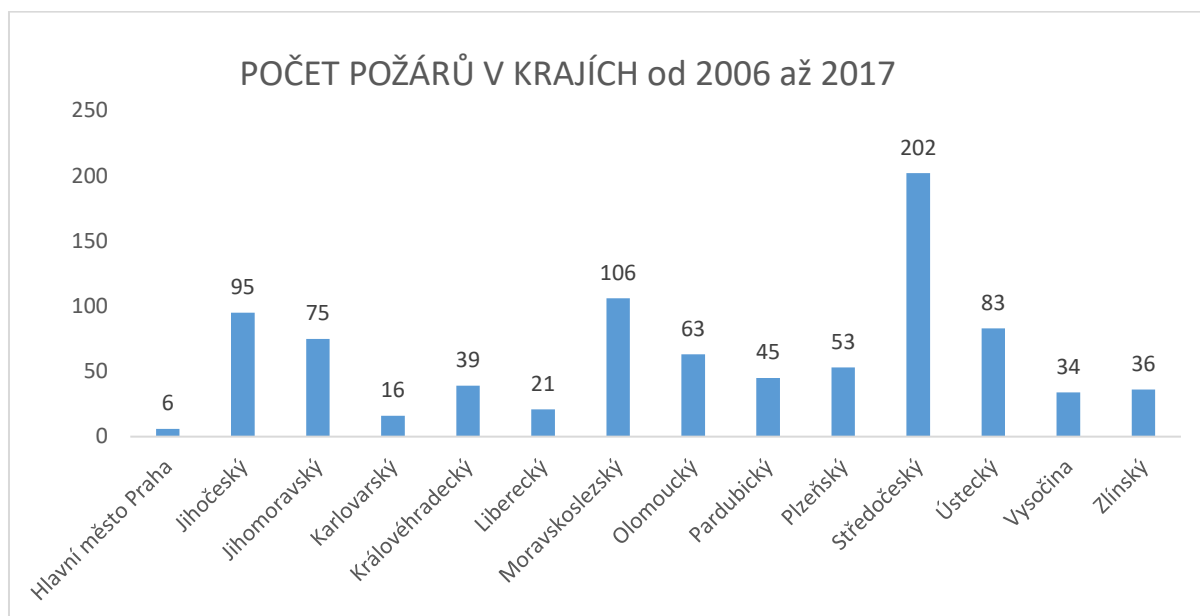
### 5.3.3. Statistická analýza počtu požárů vzhledem k umístění v grafech

*Graf 5: Celkový počet požárů během sledovaného období. Autor, zdroj HZS:*



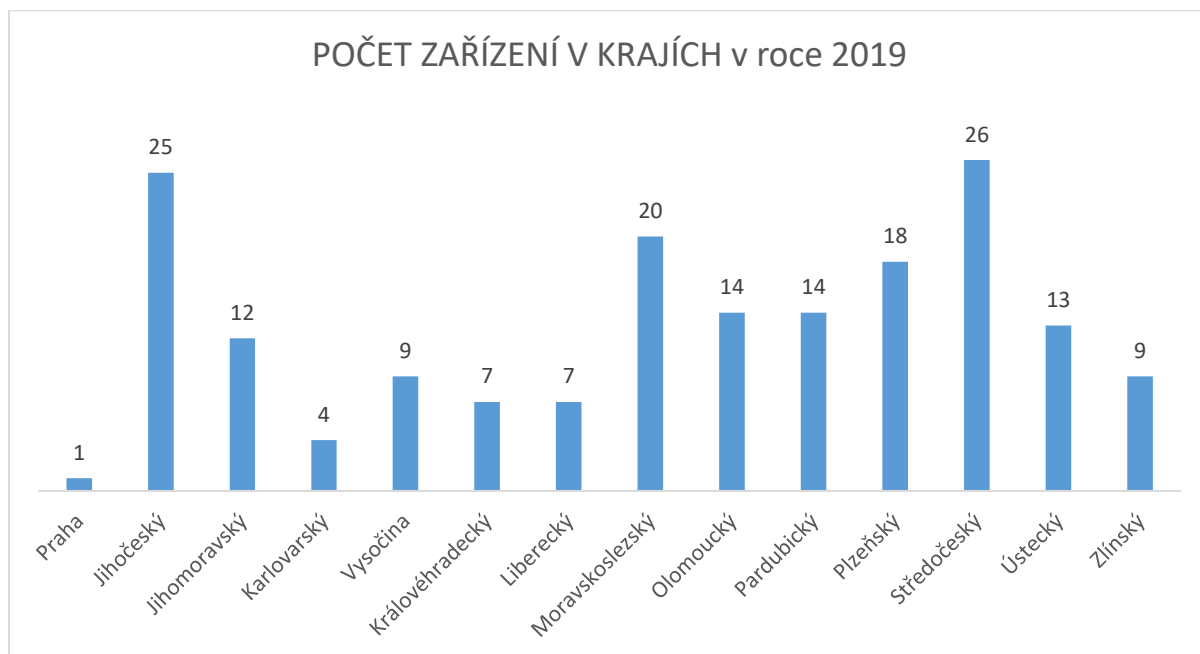
Graf 5 vyobrazuje požáry skládek v od roku 2006 do roku 2017. Největší hodnotu vidíme v roce 2007 a nejnižší hodnotu v roce 2013.

Graf 6: Počet požárů v krajích během sledovaného období. Autor, zdroj HZS



Graf 6 zobrazuje požáry v jednotlivých krajích s součtu během sledované časové řady. Naprosto suverénně vede Středočeský kraj s 202 požáry. Je to nárůst o 100%. Takové množství dosáhneme součtem 2. a 3. místa v tomto pomyslném žebříčku

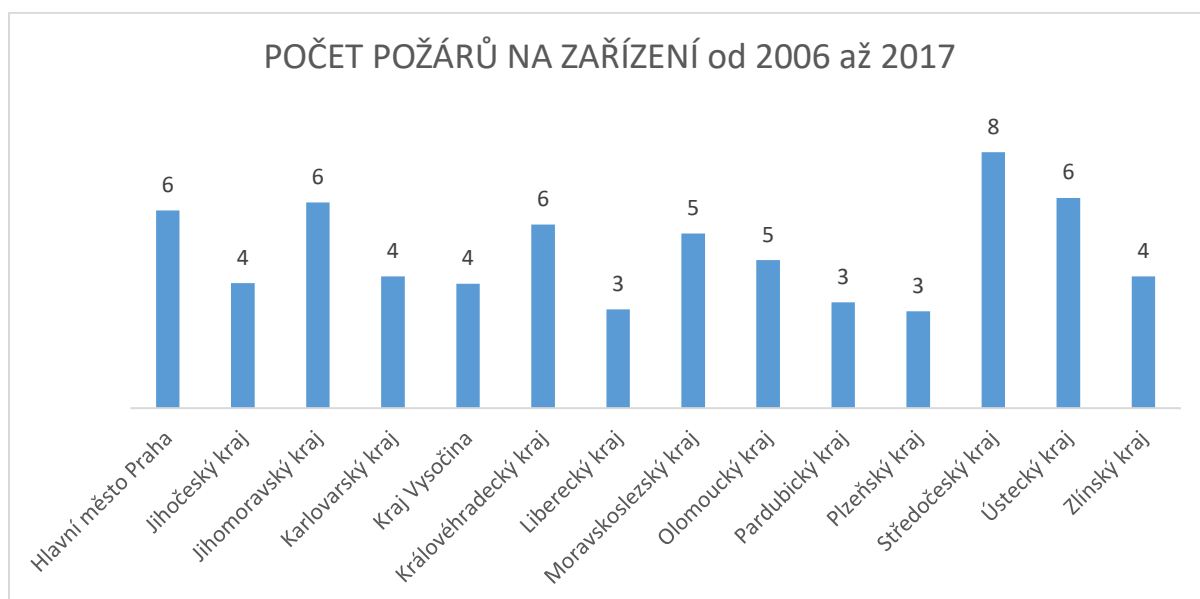
Graf 7: Počet zařízení v krajích v roce 2019. Autor, zdroj CENIA [66]



Z předešlého grafického srovnání jsme zjistili, že nejčastěji (nejvíce) hoří ve Středočeském kraji. První myšlenka proč se zrovna tento kraj „vede“ byla nerovnoměrné rozložení skládek v ČR. Nicméně jak je patrné z grafu 7 co se týče z počtu zařízení z roku 2019, tak jsou s jihočeským krajem v podstatě stejné.

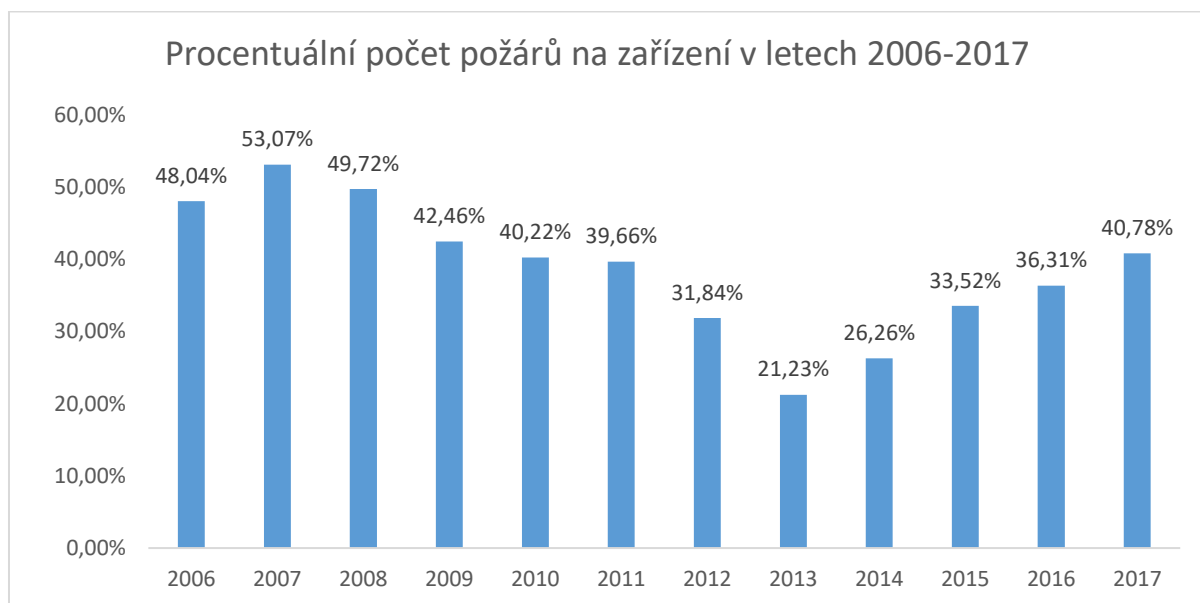
Počet zařízení se mění v průběhu sledovaného období téměř nemění. Byla proto použita data k roku 2019.

Graf 8: Počet požárů na zařízení v krajích během sledovaného období



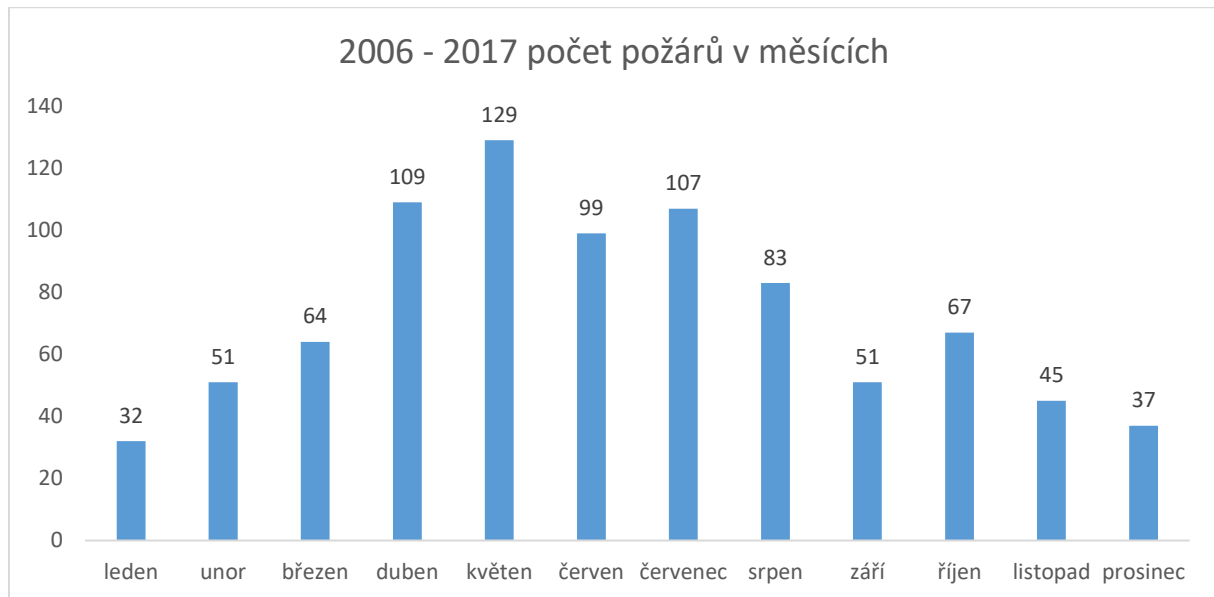
Přepočet požárů na zařízení v jednotlivých krajích v průběhu sledované řady. Modus je 6 požárů na zařízení v průběhu 11 let.

Graf 9: Procentuální počet požárů během sledovaného období



Na začátku sledovaného období pravidelně hořelo zhruba 50 % oficiálních zařízení k ukládání odpadu. Je patrný pokles do roku 2013 a dále opětovný nárůst. Trend nicméně ukazuje klesavou tendenci.

Graf 10: Počet požárů v jednotlivých měsících během sledovaného období

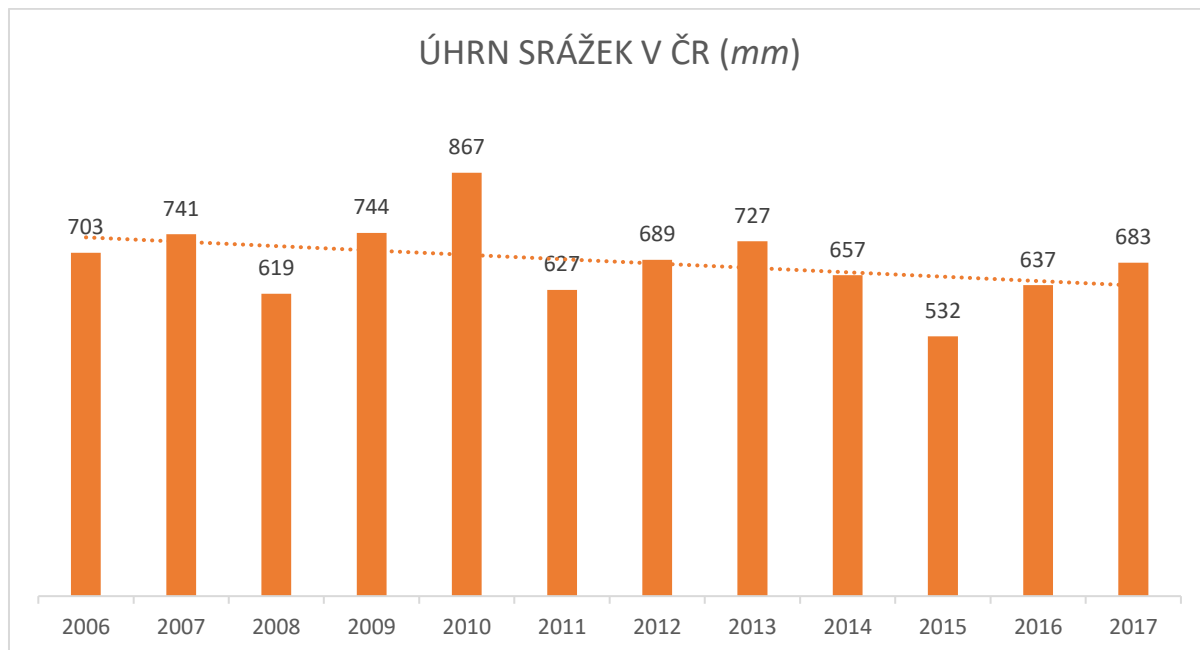


Zde je patrná sezónní závislost. Nárůst je patrný hlavně v letních měsících. Předpokladem pro tento nárůst je růst venkovní teploty a menší podíl srážek v letních měsících. V primárních datech od HZS se sice nachází příčina požáru, nicméně je většinou nezjištěna. Respektive ve tvaru: „nezjištěno, bez vlivu, nesledováno, zakládání ohňů, samovznícení, kouření“ takže se zároveň jedná i o velmi širokou paletu možností, jak mohl případný požár vzniknout.



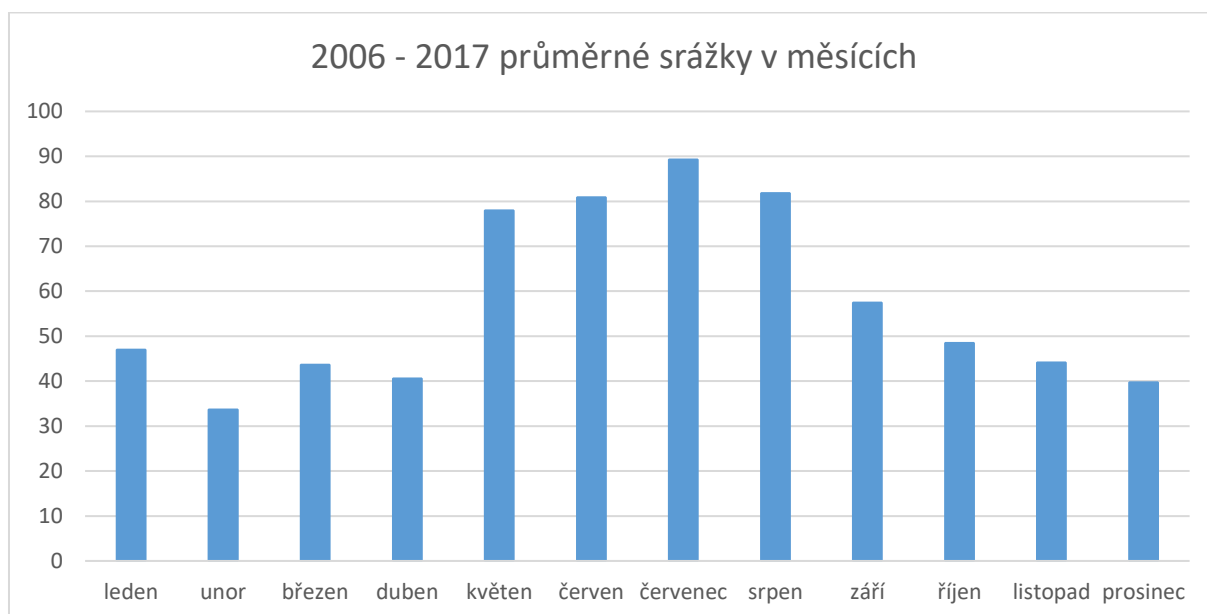
### 5.3.4. Statistická analýza vlivu úhrnu srážek na počet požárů

Graf 11: Celkový úhrn srážek během sledovaného období. Autor, zdroj ČHMÚ [68]

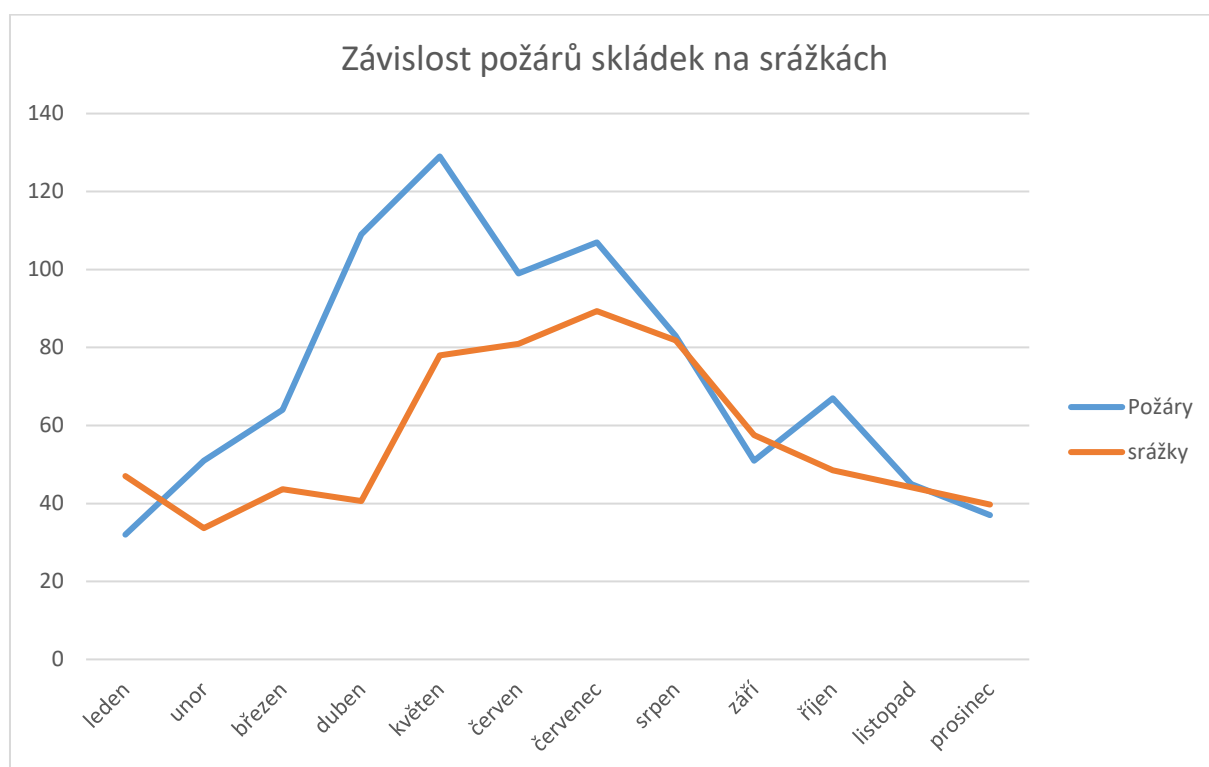


Úhrn srážek v celé ČR. Jak je patrné, srážky na celém území České republiky mají klesající tendenci a v průměru se pohybují okolo 600 milimetrů.

Graf 12: Průměrný úhrn srážek během sledovaného období. Autor, zdroj ČHMÚ [68]



Graf 13: Závislost požárů skládek na srážkách v jednotlivých měsících



Vykreslíme-li průběh průměrného počtu požárů za měsíc během celého roku a srovnáme-li tento průběh s průměrným podílem srážek za měsíc, je patrný podobný průběh obou grafů.

Na základě tohoto srovnání byly stanoveny následující hypotézy.

$H_0$ : Průměrný měsíční úhrn srážek má statistický vliv na počet požárů ve sledovaném období 2006 až 2017.

$H_1$ : non  $H_0$

Před samotným testováním byl proveden Shapiro – Wilk test o normalitě dat, kde jsou hypotézy stanoveny následovně:

$H_0$ : Data nedopovídají normálnímu rozdělení,

$H_1$ : non  $H_0$ .

Na základě výsledku Shapiro – Wilk testu v R Studiu, kde p-hodnota = 1.681e-05, zamítáme nulovou hypotézu na 5 % hladině významnosti, tj. byla potvrzena normalita dat. Na základě tohoto testu lze data použít k testování.

Pro testování závislosti počtu požárů (proměnná požáry) na měsíčním průměrném úhrnu srážek (proměnná srážky) byla zvolena lineární regrese. Především byla sledována statistická

významnost proměnných modelu a hodnota koeficientu determinace R<sup>2</sup>. Model byl naprogramován v statistickém programu R, který poskytl následující výsledek.

```
Call:
lm(formula = pozazy ~ srazky, data = DATA)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.8977 -2.7210 -0.6894  2.0800 14.7899

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  5.332428   0.731544   7.289 1.99e-11 ***
srazky       0.007438   0.011329   0.657  0.513
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.105 on 142 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.003026, Adjusted R-squared:  -0.003995
F-statistic: 0.431 on 1 and 142 DF,  p-value: 0.5126
```

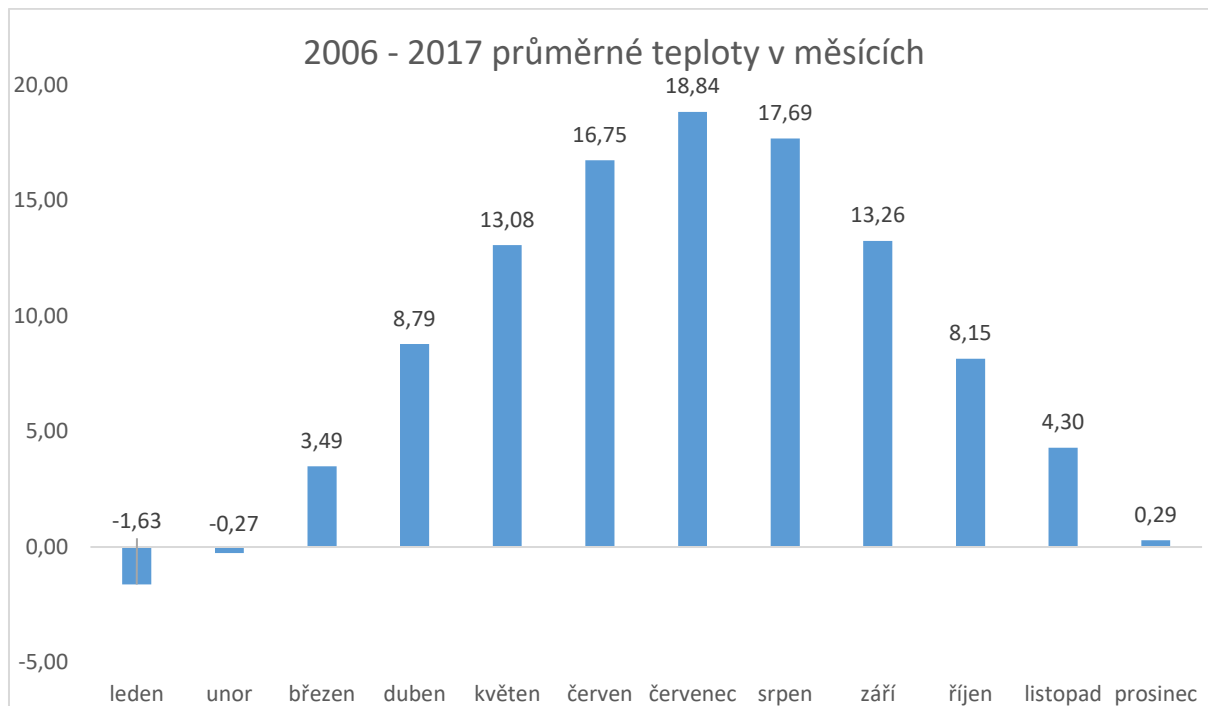
Celkovou významnost modelu je určena pomocí F-testu, který využívá Fisherova rozdělení. P-hodnota F-testu vyšla 0,5126 a na základě této informace nebyla zamítnuta nulová hypotézu na hladině významnosti 5 % o nevýznamnosti modelu.

Podle t-testu u proměnné srážky, kde P-hodnota je větší 5 %, lze určit, že proměnná srážky není statisticky významná.

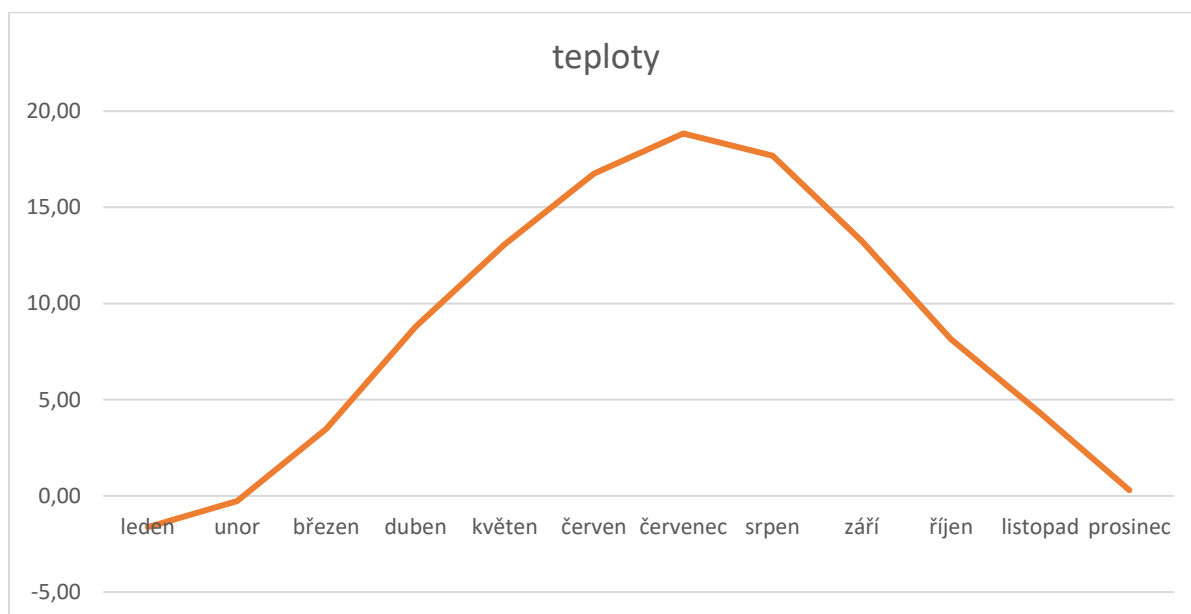
Podle grafové analýzy bylo předpokládáno, že průměrný měsíční úhrn srážek má statistický vliv na počet požárů v měsíci. Na základě testování bylo zjištěno, že model je statisticky nevýznamný, a tudíž hypotézu H<sub>0</sub> o statistické významnosti vlivu průměrného měsíčního úhrnu srážek na průměrný počet požárů byla zamítnuta.

### 5.3.5. Statistická analýza vlivu průměrných teplot na počet požárů

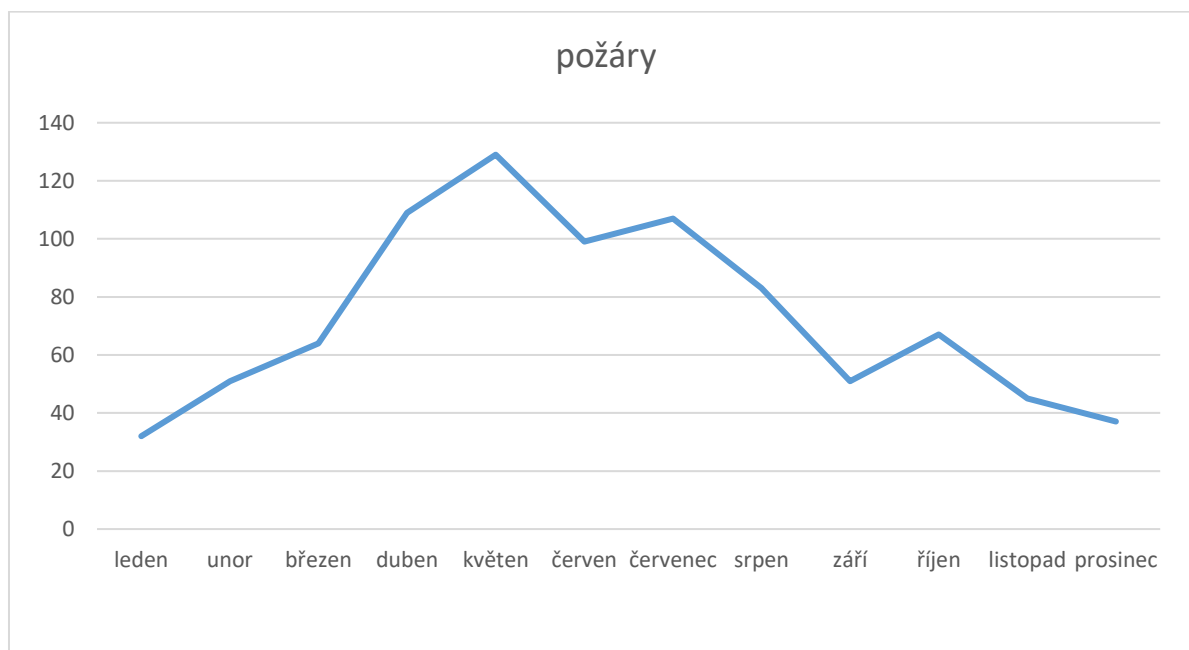
Graf 14: Průměrné teploty v jednotlivých měsících - 1. Autor, zdroj ČHMÚ [67]



Graf 15: Průměrné teploty v jednotlivých měsících - 2. Autor, zdroj ČHMÚ [67]



Graf 16: Počet požárů v jednotlivých měsících. Autor, zdroj HZS



Průběh požárů a teploty v průběhu sledovaného období byl vykreslen ve dvou grafech kvůli rozdílnému rozptylu hodnot. Možná závislost je viditelná vzhledem k průběhu obou přímk

Na základě optického srovnání dvou grafů byly stanoveny následující hypotézy:

$H_0$ : počet požárů je závislý na venkovní teplotě v průběhu sledovaného období 2006 až 2017.

$H_1$ : Non  $H_0$ .

Před samotným testováním byl proveden Shapiro – Wilk test o normalitě dat. Na základě výsledku Shapiro – Wilk testu v R Studiu, kde p-hodnota = 0.0001733, zamítáme nulovou hypotézu na 5 % hladině významnosti, tj. byla potvrzena normalita dat. Na základě tohoto testu lze data použít k testování.

Pro testování závislosti počtu požárů (proměnná požáry) na průměrné venkovní teplotě (proměnná teploty) byla zvolena lineární regrese. Především byla v modelu sledována statistická významnost proměnných modelu a hodnota koeficientu determinace  $R^2$ . Model byl naprogramován v statistickém programu R, který poskytl následující výsledek.

```
call:
lm(formula = pozary ~ teploty, data = DATA)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.4369 -2.1283 -0.2679  1.5797 12.7599

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.37593    0.46174   7.311 1.77e-11 ***
```

```

teploty      0.27808    0.04118    6.752 3.45e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.577 on 142 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.243,    Adjusted R-squared:  0.2377
F-statistic: 45.59 on 1 and 142 DF,  p-value: 3.446e-10

```

Na základě výstupu z R lze stanovit regresní rovnici ve tvaru:

$$\text{Požary} = 3,37593 + 0,27808 * \text{teploty}$$

Interpretace jednotlivých odhadů je následující. Pokud by se průměrná teplota zvýšila v daném měsíci o jednotku, průměrný počet požárů by se zvýšil přibližně o 0,27808.

Celkovou významnost modelu je určena pomocí F-testu, který využívá Fisherova rozdělení. P-hodnota F-testu vyšla 3.446e-10, tudíž lze zamítnout nulovou hypotézu na hladině významnosti 5 % o nevýznamnosti modelu.

Podle dílčích t-testů vybraných proměnných, kde P-hodnota je u všech proměnných menší než 5 %, lze zamítnout nulovou hypotézu o statistické nevýznamnosti proměnných na hladině významnosti 5 %. Lze usuzovat, že v našem modelu jsou statisticky významné proměnné.

Výsledek ukazuje, že koeficient determinace R<sup>2</sup> nám vyšel 0,243, což definuje, že se podařilo vysvětlit 24,3 variability proměnné venkovní teplota na počet požárů v daném měsíci. Z těchto informací lze usoudit, že se nepodařilo vysvětlit dostatečné množství dat.

Byla očekávána vyšší závislost na meteorologických podmínkách, ať už možností ochlazování povrchu a vytváření nepříznivého prostředí pro vznik požárů, či naopak zavlhnutí ukládaného biologického materiálu, který se pak může vznítit. To že závislost nebyla prokázána, svědčí o nedostatečném množství dat, či neznámé proměnné, která tuto závislost ovlivňuje.

## 6. Diskuse

Požáry skládek představují velký a téměř neprozkoumaný problém po stránce emisí unikajících do složek životního prostředí. Tyto emise určuje (kromě teploty) složení odpadu, které na těchto zařízeních končí. Od roku 2004 EKO-KOM provádí pravidelná šetření složení odpadu, a přestože další autoři (Benešová a kol., 2008, INCIEN) postulují značné změny ve složení komunálního odpadu, podle výsledků EKO-KOMU nedochází k významnému

posunu. Domnívám se, že tato data již neodpovídají skutečnosti, a to na základě běžných vizuálních prohlídek nezakrytého povrchu skládek COZ (Centrálního odvalu Zárubek) a BorsodChem (areál). Svoji domněnku jsem si vytvořil na základě odborných diskuzí se svým současným nadřízeným, který měl na starost několik skládek nejmenované nadnárodní korporace, a příslušníky HZS Středočeského kraje, kteří poukazují na vývoj přítomných látek v kouři, což naznačující značnou změnu ve složení odpadu.

Sperling (2001) vidí hlavní problém ve špatné konstrukci či skladbě odpadu na skládce. Zde nelze nesouhlasit. Jsou-li dodržovány předpisy o stavbě a následném ukládání je, případný požár malého rozsahu a bývá lehce uhasitelný. Jsou-li však tyto pokyny porušovány (zda záměrně či nikoliv můžeme pouze hádat), může snadno dojít k tomu, že prvky, které měly zabránit vzniku či šíření havarijní situace, chybí nebo jsou naprosto neúčinné. Výsledná havárie se tak může stát velmi rychle katastrofickou.

## **7. Závěr a přínos práce**

Během schvalovacího procesu provozního řádu se k této dokumentaci nevyjadřují zástupci HZS krajů, a to ani formou nezávazného stanoviska. V praxi se tak lze setkat s provozním řádem, který je schválen krajským úřadem, ačkoliv podmínky a požadavky na zabezpečení požární ochrany neodpovídají reálné situaci či nejsou konkrétně formulovány. V horším případě tyto podmínky a požadavky neodpovídají či jsou dokonce v přímém rozporu s předpisy o požární ochraně (zákon č. 133/85 Sb. o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů, vyhláška 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci)). Jako řešení tohoto problému by byla těsnější spolupráce orgánů kraje a příslušného HZS.

V průběhu provozu skládky je bezpodmínečně nutné dodržovat ustanovení provozního řádu zejména ve vztahu k důsledné kontrole přiváženého odpadu. Touto kontrolou lze předejít jednou z velmi častých příčin vzniku požáru (žhavé částice ztuhlé a přivezené s odpadem). [1] Dalším opatřením je udržování neprostupné fyzické bariéry okolo prostoru skládky, aby bylo zamezeno vstupu cizím osobám do prostoru zařízení. Pro ostrahu objektu lze dále využít kamerové systémy, detektory pohybu, strážní službu apod. Tím se zamezí vzniku úmyslně založených požárů nepovolanými osobami či zakládání ohňů pro vypalování kabelů.

Velmi důležité je sledování projevů skládky v souvislosti se včasným zjištěním případného samovznícení (úniky kouře, tzv. „paření“ skládky). S tím je spojeno dodržování technologického postupu zhutňování odpadu a jeho prokládání inertním materiálem, provádět kontrolu činnosti obsluhy a zaměstnanců, kteří provádí ostrahu objektu v

mimopracovní době. Je nezbytné nepoužívat v inertní vrstvě nevhodné materiály. Například posečená tráva má sklon k vývinu tepla během hnilobných procesů. V kombinaci se skládkovým plynem a různorodým odpadem uloženým na skládce, vzniká vysoká možnost samovznícení. [4]

Při vzniku požáru v prostoru skládky existuje častý problém s využitím hydrantové sítě či jiných dostupných zdrojů požární vody použitelné k hašení. [6] V provozním řádu se často počítá s použitím skládkové vody k hašení. To však vzhledem k její toxicitě, znečištění a zejména vysoké agresivitě není možné. Běžná požární technika není na použití této vody stavěna a mohlo by dojít k jejímu poškození či zničení. [6] Řešením této situace by bylo vybudování hydrantové sítě po obvodu tělesa skládky, zajištění dostatečného množství techniky (například nájemním vztahem) pro dopravu hasební vody a dostatečné množství prostředků pro omezení šíření požáru.

Požáry skládek zpravidla zasahují značně velkou plochu. To vede k vysoké náročnosti na hasící techniku, zejména na použití velkého množství požárních hadic, kterými se voda dopravuje ve velmi členitém a agresivním prostředí na velké vzdálenosti. Použité materiály jsou tedy výrazněji namáhány a častěji poškozeny či zničeny. Protože odpad má nulovou hodnotu a nedochází tak k uchránění žádných hodnot, je zásah hasičů nedostatečně financován. Hašení požáru skládek musí být dotováno z jiných finančních zdrojů HZS. [1] Jako řešení se nabízí zajištění nejvíce namáhaných prostředků ze zdrojů provozovatele skládky.

Vzhledem k charakteru požárů skládek, jejichž ohniska se často nachází pod povrchem, je podstatné, aby provozovatel zařízení předvídal tuto situaci a měl k dispozici příslušnou techniku (nakladače, bagry, nákladní sklápěče) potřebnou k rozebírání tělesa skládky.

Z hlediska širších vztahů je důležité komunikovat s představiteli okolních měst a obcí. Dále je třeba mít k dispozici seznam subjektů, jenž mohou v dostatečně krátkém časovém horizontu provést měření koncentrace škodlivin v ovzduší a provést rozbor kontaminace vod. Tato měření jsou důležitá pro následné informování občanů, kteří tak mohou být připraveni na plnění improvizovaných opatření pro omezení škodlivého vlivu na zdraví a majetek.

Zvolení metody pro uhašení požáru skládky je silně závislé na podmínkách celé události. Jako velmi účinná se jeví aplikace pěnidel, avšak při velkých požárech (především pneumatik) nebývá pěnidlo schopné hoření zastavit. Smutným následníkem aplikace pěnidel bývá uniknutí tisíců litrů hasiv do životního prostředí, úhyn vodních živočichů a sekundární kontaminace. Typ, použití a množství hasiv je nutné vždy optimalizovat, aby byli sníženy



finanční výdaje, materiální následky a byla zajištěna ochrana životního prostředí. Hasební metoda zahrnování povrchu inertním materiálem (nejčastěji zeminou) vychází jako nejúčinnější, avšak dopady na životní prostředí nejsou zanedbatelné. Zasypáním sice dojde k zastavení šíření plamenů, ale současně dojde k pyrolýze materiálů. Vzniklý pyrolýzní olej následně kontaminuje velké množství půdy a následně vody, kam je postupně vyplavován. V ojedinělých případech může být metoda kontrolovaného vyhoření místa požáru nejšetrnější k životnímu prostředí. Je-li zajištěn přísun dostatečného množství kyslíku, dojde z větší části k transformaci uložených materiálů na oxidy uhlíku a další produkty hoření. Tyto jsou následně rozptýleny do ovzduší a kontaminují větší plochu. Například saze mohou fungovat jako nosiče látek a mohou usadit v půdě kilometry od místa požáru. Následně mohou být tyto látky vyplaveny vodou. Koncentrace kontaminace není tak drastická jako ve výše zmíněných případech. Velmi často bývají místa kontrolovaného spalování ponechána bez jakékoliv sanace, i přesto že půda na těchto místech bývá silně kontaminována. V takovýchto případech by bylo vhodné postupovat jako v případech kontaminace půdy ropnými látkami.

Z komparace mezi Kanadou a USA a ČR lze vyvodit, že v ČR je kladen důraz zejména na ekonomickou stránku věci, a proto jsou voleny metody nejlevnější a nejdostupnější. Jedná se především o použití velkého množství vody, která v lepším případě zůstane v tělese skládky a v horším dojde k jejímu úniku do okolí. Tomuto problému by se dalo jednoduše předejít použitím menšího množství vody. Vodou se smáčedly by mělo být zaplavováno pouze ohnisko požáru v hloubce skládky. Na povrch by mělo být aplikované pouze takové množství vody, aby se povrch dostatečně ochladil a zamezilo se hoření. Dále by měl následovat průzkum povrchu skládky pomocí termokamery, který může odhalit stále aktivní ohniska. Měření kamerou by mělo probíhat z ptáčích perspektivy, pomocí výškové techniky nebo dronu, aby se jednotlivá ohniska přesně lokalizovala a nedošlo k ohrožení zdraví či života hasičů. Identifikovaná ohniska by se posléze měla vykopat a uhasit mimo skládku. Druhou možností uhašení ohniska je zaplavení přiměřeným množstvím vody. Posledním krokem by mělo být zavezení ohniska inertním materiálem (zeminou) a následné zhutnění. Tento postup by v budoucnu výrazně snížil spotřebu hasební vody, zatížení odvodňovacího systému a zamezil možnosti úniku kontaminované vody do okolí.

## **8. Přehled literatury a použitých zdrojů**

- [1] Plk. Kislíng R., kpt. Pecl J., 2019: Odpadové hospodářství z pohledu zjišťování příčin požárů. Odpadové fórum, 20(4). 23–25. ISSN 1212 7779
- [2] 185/2001 Sb. Zákon o odpadech v platném znění.
- [3] Federal Emergency Management Agency, ©2002: Landfill Fires – Their magnitude, characteristics and mitigation (online) [cit. 2020.01.14.]. Dostupné z: <https://www.sustainable-design.ie/fire/FEMA-LandfillFires.pdf>
- [4] BIOPROFIT, ©2007: Anaerobní technologie (online) [cit. 2019.08.09.]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [5] United States Fire Administration ©2020: Landfill Fires (online) [cit. 2020.01.14.]. Dostupné z: <https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/>
- [6] Horálek J., Šimeček P., 2008: Požáry skládek pevného komunálního odpadu v Jihočeském kraji. Časopis 112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva, MV-generální ředitelství HZS ČR, Praha, ročník VII(8). ISSN 1213–7057.
- [7] Filip J., Božek F., Kotovicová J., 2003: Komunální odpad a skládkování, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 128 s. ISBN 80-7157-712-X.
- [8] Chrysikou L., Gemenetzi P., Kouras A., Manoli, E., Terzi E. a Samara C.: Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece. 2008: Environment International. 34(2). 210 – 225. ISSN 01604120. [cit. 2020.01.29.] Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412007001481>.
- [9] Voštová V., Fries J., 2003: Zpracování pevných odpadů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 157 s. ISBN 80-010-2672-8.
- [10] Masařík I., Plasty a jejich požární nebezpečí, 2003: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava, 183 s. ISBN 80-866-3416-7.
- [11] Bauer J., Kočí T., Minařík T., Pernica R., Pilař J., Svoboda T., Tužina P., Vojík V., 1997: Pneumatiky (online). 1997 [cit. 2020.01.14.]. Dostupné z: <http://old.mssch.cz/1997-1999/ocs/cefic/oc/index.html>.
- [12] Williams P.T., Bottrill R.P., Cunliffe A.M. 1998: Combustion of Tyre Pyrolysis Oil. Process Safety and Environmental Protection. 76(4). s. 291-301. ISSN 09575820. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095758209870761X>.

- [13] Balog K., 2004: Hasiace látky a jejich technologie. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava. s. 171 ISBN 80-866-3449-3.
- [14] Coulson S. A., Morgan-Smith R. K., Noble D., 2000: The effect of compressed air foam on the detection of hydrocarbon fuels in fire debris samples. *Science*. 40 (4) s. 257-260. ISSN 13550306. DOI: 10.1016/S1355-0306(00)71995-2. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1355030600719952>.
- [15] Orliková K., 2002: Hasiva klasická a moderní. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava. 92 s. ISBN 80-861-1193-8.
- [16] McGee E., Lang T. L., 2002: A study of the effects of a micelle encapsulator fire suppression agent on dynamic headspace analysis of fire debris samples. *Journal of Forensic Sciences*. 47 (2) 267–274. ISSN 1556-4029. Dostupné z: [http://library-resources.cqu.edu.au/JFS/PDF/vol\\_47/iss\\_2/JFS4720267.pdf](http://library-resources.cqu.edu.au/JFS/PDF/vol_47/iss_2/JFS4720267.pdf).
- [17] Mizerski A., Sobolewski M., Król B., 2009: Hasicí pěny. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava. s. 181. ISBN 978-80-7385-075-3.
- [18] Caux C., O'Brien C., Viau C., 2002: Determination of Firefighter Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Benzene During Fire Fighting Using Measurement of Biological Indicators. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 17 (5). 379–386. ISSN 1047-322x. DOI: 10.1080/10473220252864987, PMID: 12018402. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473220252864987>.
- [19] Bernardo M., Lapa N., Gonçalves M., Barbarosa R., Mendes B., Pinto F., Gulyurtlu I., 2010: Toxicity of char residues produced in the co-pyrolysis of different wastes. *Waste Management*. 30 (4) s. 628-635. ISSN 0956053x. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09004632>.
- [20] Bardoděj Z., 1999: Úvod do chemické toxikologie. Karolinum, Praha. s. 73. ISBN 80-718-4978-2.
- [21] Purser D., 1988: Toxicity assessment of combustion products. *SFPE handbook of fire protection engineering*. Massachusetts: Society of Fire Protection Engineers, Boston. s. 200–245. ISBN 08-776-5353-4.
- [22] ISO TR 9122-2,1990: Toxicity testing of fire effluents: Part 2: Guidelines for biological assays to determine the acute inhalation toxicity of fire effluents (basic principles, criteria and methodology). S.l.: Bsi, 1996.
- [23] Choi S-S., 2002: Characteristics of the pyrolysis patterns of styrene-butadiene rubbers with differing microstructures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 62(2) s. 319–330.

ISSN 01652370. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237001001280>.

[24] Balog K., 1998: Základy toxikologie. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava. s. 107. ISBN 80-861-1129-6.

[25] 76/2002 Sb. o integrované prevenci a omezování znečištění v platném znění.

[26] Levin B. C., 1987: A summary of the NBS literature reviews on the chemical nature and toxicity of the pyrolysis and combustion products from seven plastics: Acrylonitrile-butadiene-styrenes (ABS), nylons, polyesters, polyethylenes, polystyrenes, poly(vinyl chlorides) and rigid polyurethane foams. *Fire and Materials*. 11(3), 143–157. ISSN 0308-0501. DOI: 10.1002/fam.810110304. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/fam.810110304>

[27] Mailair G., Simonson M., Gann R. G., 2004: Environmental concerns of fire: Facts, figures, questions and new challenges for the future (online). [cit. 2019.06.16]. Dostupné z: <https://www.nist.gov/publications/environmental-concerns-fires-facts-figures-questions-and-new-challenges-future-0>.

[28] Office of State Fire Marshal ©2005: California tire fire council: Response Guide for Tire Fires (online) [cit. 2020.01.16]. Dostupné z: <http://osfm.fire.ca.gov/codedevelopment/pdf/tirefire/quick.reference.pdf>.

[29] Wang Z., Li K., Lambert P., Yang C., 2007: Identification, characterization and quantitation of pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons and other organic compounds in tire fire products. *Journal of Chromatography A*. 1139(1) s. 14–26. ISSN 00219673. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967306020930>.

[30] United States Environmental Protection Agency ©1997: Air emissions from scrap tire combustion.. US Environmental Protection Agency (online) [cit. 2020.01.21]. Dostupné z: [http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/tire\\_eng.pdf](http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/tire_eng.pdf).

[31] Sikora H, 2008: Problematika produktů hoření a jejich analýza metodou GC/MS. In: *Analýza organických látek v životním prostředí*. Český Těšín: 2Theta, s. 201–210. ISBN 978-80-86380-45-2.

[32] MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. *Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu, Metodický list číslo 26 P: Požáry skládek tuhých odpadů*. 2004, [cit. 2020.01.30] Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/soubor/p-26-skladky-pdf.aspx>.

[33]. Stauffer E., 2001: Identification and characterization of interfering products in fire debris analysis. Master's thesis. International Forensic Research Institute, Florida International University – Miami. Dostupné z: <https://digitalcommons.fiu.edu/dissertations/AAI1403692>

- [34] Waste Management World, ©2010: Understanding landfill fires (online) [cit. 2019.04.01]. Dostupné z: <https://waste-management-world.com/a/understanding-landfill-fires>
- [35] Waritz R. S., 1975: An industrial approach to evaluation of pyrolysis and combustion hazards. *Environ Health Perspect.* 11. PMID: PMC1475183.
- [36] Holoubek I., Falandysz J., Příbylová P., Hajšlová J., Kallenborn R., 2008: Chemie životního prostředí II, Vybrané typy environmentálních polutantů: Další typy POPs – PCNs, SCCPs, PBDEs, PFCs. Masarykova univerzita (online), Brno [cit. 2019.01.12.]. Dostupné z: [http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-III-2008/CH%C5%BDP\\_III\\_10\\_PCNs,%20SCCPs,%20PBDEs,%20PFOS.pdf](http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-III-2008/CH%C5%BDP_III_10_PCNs,%20SCCPs,%20PBDEs,%20PFOS.pdf).
- [37] Lee Y. S., Lee W-K., Cho S-G., Kim I., Ha C-S., 2007: Quantitative analysis of unknown compositions in ternary polymer blends: A model study on NR/SBR/BR system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 78 (1). s. 85–94. ISSN 01652370. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237006000623>.
- [38] García A. N., Viciano N., Font R., 2007: Products obtained in the fuel-rich combustion of PTFE at high temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 80(1), 85–91. ISSN 01652370. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237007000083>.
- [39] Pouzar M., 2001: Toxikologie organických látek (online). Univerzita Pardubice, 2001 [cit. 2019.01.21.]. Dostupné z: <http://www.mpouzar.net/prednasky/organika.ppt>.
- [40] Powell J., Townsend T., Zimmerman J., 2016: Estimates of solid waste disposal rates and reduction targets for landfill gas emissions. *Nature Clim Change*, 6. s. 162–165. ISSN 1758-6798. Dostupné z <https://doi.org/10.1038/nclimate2804>
- [41] Agrell C., Schure A. F. H., Sveder J., Bokenstrand A., Larsson P., Zegers B. N., 2004: Polybrominated diphenyl ethers (PBDES) at a solid waste incineration plant I: Atmospheric concentrations. *Atmospheric environment.* 38 (30). s. 5139–5148. ISSN 13522310. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004005059>.
- [42] Herman M., Kroschwitz J. I., 1985: *Encyclopedia of polymer science and engineering.* Wiley. New York. 1–17. ISBN 04718954071.
- [43] Marhold J., 1986: *Přehled průmyslové toxikologie: Organické látky. Svazek 1 a 2.* 1. Avicenum, Praha. 760 s. ISBN 08-059-86.
- [45] Laresgoti M. F., Caballero B. M., Marco I., Torres A., Cabrero M. A., Chomón M. J., 2004: Characterization of the liquid products obtained in tyre pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 71 (2) s. 917–934. ISSN 01652370. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237003001852>.

- [46] Moldoveanu S. C., 2005: Analytical pyrolysis of synthetic organic polymers. Elsevier, Amsterdam. ISBN 04-445-1292-6.
- [47] Kafka Z., 2006: Základy ochrany životního prostředí. [cit. 2019.11.01.]. Dostupné z: [www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/ZOZP/skriptaZOP.doc](http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/ZOZP/skriptaZOP.doc).
- [48] Holoubek I., 2008: Chemie životního prostředí II, Znečištění složek prostředí, Atmosféra: Těkavé organické látky (VOCs). Masarykova univerzita: RECOTOX [online]. Brno, [cit. 2019.01.15.]. Dostupné z: <http://www.recetox.muni.cz/ivan-holoubek/res/file/prednasky/chzp2-znecistení-složek-prostředí-atmosféra-tekave-organické-látky.pdf>.
- [49] Sanchez-Prado L., Llompарт M., Lores M., Garcia-Jares C., Cela R., 2005: Investigation of photodegradation products generated after UV-irradiation of five polybrominated diphenyl ethers using photo solid-phase microextraction. Journal of Chromatography A: 27th International Symposium on Capillary Chromatography RIVA 2004. 1071 (1 – 2). s. 85–92. ISSN 00219673. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967304019272>.
- [50] Hiltz J. A., 2000: Pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry identification of poly(butadiene-acrylonitrile) rubbers. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 55(2). s. 135–150. ISSN 01652370. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016523709900090X>.
- [51] Ducháček V., 2006: Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vydavatelství VŠCHT, Praha. s. 278. ISBN 80-708-0617-6.
- [52] Kaminsky W., Mennerich C., Andersson J. T., Götting S., 2000: Pyrolysis of polychloroprene rubber in a fluidised-bed reactor – product composition with focus on chlorinated aromatic compounds. Polymer Degradation and Stability. 71 (1). s. 39–51. ISSN 01413910. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391000001476>.
- [53] Pavlíková D., 2008: Ekotoxikologie. 2., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Praha. s. 171. ISBN 978-80-213-1843-4.
- [54] Sikora H., 2007: Toxikologie zplodin hoření pneumatik. 112: Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva. MV-generální ředitelství HZS ČR, Praha. VI (10) s. 6–7. ISSN 1213-7057.
- [55] Bryson C., 2006: The fluoride deception. Seven Stories Press. Seven Stories, New York. 400 s. ISBN 15-832-2700-8

- [56] Office of State Fire Marshal. Rings of fire: Tire fire prevention and suppression (online). [cit. 2020.01.16.]. Dostupné z:  
<http://osfm.fire.ca.gov/codedevelopment/pdf/tirefire/Student.Manual.pdf>.
- [57] Rahman F., Langford K. H., Scrimshaw M. D., Lester J. N., 2001: Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. *Science of the Total Environment*. 275 (1–3). s. 1–17. ISSN 00489697. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896970100852X>.
- [58] Kalina J., Hřebíček J., 2011: Možnosti prevence vzniku odpadů. *Acta environmentalica Universitatis Comenianae, Univerzita Komenského v Bratislavě, Bratislava*. 19. s. 151–157. ISSN 1335-0285
- [59] Crompton T., 1989: *Analýza plastů*. SNTL, Praha. s. 734. ISBN 80-030-0162-5.
- [60] Mark J. E., Erman B., 2005: *Science and technology of rubber*. Elsevier Academic Press, Boston. 321–366. ISBN 0124647863.
- [60] Wit C. A., 2002: An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*. 46, (5) s. 583–624. ISSN 00456535. Dostupné z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653501002259>.
- [61] Powell J., Pradeep J., Hwidong K., Townsend T., Reinhart D., 2006: Changes in Landfill Gas Quality as a Result of Controlled Air Injection. *Environmental Science and Technology*. 40(3) s. 1029-1034 Dostupné z :<https://doi.org/10.1021/es051114j>
- [62] Sperling T., 2008: Delta Shake and Shingle landfill case history. Landfill Fire Control Inc. (online) [cit. 2019.04.15]. Dostupné z: <http://www.landfillfire.com/Histories/histories4.html>
- [63] Sperling T., 2001: Fighting a Landfill Fire. *Waste 360* (online) [cit. 2019.05.16]. Dostupné z: [http://waste360.com/mag/waste\\_fighting\\_landfill\\_fire](http://waste360.com/mag/waste_fighting_landfill_fire)
- [64] EMERGENCY, ©2001: Engineers help fight landfill fire in Delta. Canadian consulting engineer (online) [cit. 2019.05.18]. Dostupné z:  
<http://www.canadianconsultingengineer.com/news/emergency-engineers-help-fight-landfill-fire-in-delta/1000107001/>
- [65] Benešová L., Černík B., Hnaťuková P., Kotoulová Z., Vrbová M., 2008: Výzkum vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využívání (online) [cit. 2019.05.17]. Dostupné z: [http://www.komunalniodpad.eu/download/Prubezna\\_zprava\\_-\\_odpady\\_2008\\_web.pdf](http://www.komunalniodpad.eu/download/Prubezna_zprava_-_odpady_2008_web.pdf)

- [66] CENIA: Česká informační agentura životního prostředí, ©2016: Veřejné informace o produkci a nakládání s odpady. (online) [cit. 2019.12.20] Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/visoh>
- [67] Český hydrometeorologický ústav, ©2016: Historická data, územní teploty. (online) [cit. 2020.03.18]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [68] Český hydrometeorologický ústav, ©2016: Historická data, územní srážky. (online) [cit. 2020.03.18]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [69] Nordberg A., Jarvis A., Svensson B.H., Mathiesen B., 1966: Enhanced degradation of grass – clover silage in a two-phase biogas process by initiating liquid recirculation. Report 64, Swedish University of Agricultural sciences, část IV., s. 3–25,
- [70] Obroučka K., 2003: Termické odstraňování a energetické využívání odpadů. Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, s. 143, ISBN 80–248–0009–8.
- [71] Filipi, B., 2003: Plasty, Ostrava. s. 48. ISBN 80–86634–13–2
- [72] Růžička F., 1999: Rozdělení hořlavých látek a jejich požárně technické charakteristiky: Konspekty odborné přípravy jednotek požární ochrany. Ostrava, MV – Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 80-86111-46-6.
- [73] Kratochvíl M., Kratochvíl V., 2009: Technické prostředky požární ochrany. s. 270. ISBN 978–80–7385–064–7.
- [74] Nařízení vlády č. 352/2014 Sb.: Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_140506\\_Plan\\_odpady/\\$FILE/Plan\\_odpadoveho\\_hospodarstvi-060514.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_140506_Plan_odpady/$FILE/Plan_odpadoveho_hospodarstvi-060514.pdf)
- [75] European Commission, Úřední věstník Evropské Unie © 2018: Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) o odpadech 2018/851. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>
- [76] European Commission, Úřední věstník Evropské Unie © 2018: Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/850, kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0850>
- [77] European Commission, Úřední věstník Evropské Unie © 2018: Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852, kterou se mění směrnice 94/62/ES o obalech a



obalových odpadech. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0852>

[78] European Commission, Úřední věstník Evropské Unie © 2018: Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) o odpadech 98/2008. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>

[79] EKO-KOM, ©2019: Skladba směsného komunálního odpadu z domácností. (online) [cit. 2020.03.18] Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/news/715/212/Skladba-smesneho-komunalniho-odpadu-z-domacnosti-cR>

[80] INCIEN, ©2017: Složení SKO. Dostupné z: [https://incien.org/wp-content/uploads/2019/04/Odpad-zdrojem\\_publicace.pdf](https://incien.org/wp-content/uploads/2019/04/Odpad-zdrojem_publicace.pdf)

[81] A. Singh, S. N. Spak, E. A. Stone, J. D. Robert, L. Bullard, M. Pooley, P. Kostle, M.W. Mainprize, M. D. Wichman, T. Peters, D. Beardsley, Ch. O. Stanier, 2015: Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill – Part 1: Characterization of gaseous and particulate emissions. University of Iowa, Iowa City. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014010073>

[82] A. Singh, S. N. Spak, E. A. Stone, J. D. Robert, L. Bullard, M. Pooley, P. Kostle, M.W. Mainprize, M. D. Wichman, T. Peters, D. Beardsley, Ch. O. Stanier, 2015: Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill – Part 2: Population exposure, public health response, and an air quality index for urban fires. University of Iowa, Iowa City. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015000035>

[83] International Agency for Research on Cancer, © 2019. (online) [cit.2019.12.04]. Dostupné z: <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>

[84] Detsche Forschungsgemeinschaft, © 2019. (online) [cit.2019.12.04]. Dostupné z: [https://www.dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_profil/gremien/senat/lebensmittel/s3\\_genotoxic\\_carcinogens\\_hartwig.pdf](https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/gremien/senat/lebensmittel/s3_genotoxic_carcinogens_hartwig.pdf)

[85] ČAOH, ©2013: ČAOH prosazuje co nejširší možnosti nakládání s odpady. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/caoh-prosazuje-co-nejsirsi-moznosti-nakladani-s-odpady.html>

[86] 183/2006 Sb. Stavební zákon v platném znění.

## **9. Seznam obrázků**

Obrázek 1. Hierarchie nakládání s odpady. CAO [85]

Obrázek 2: Průběh čtyřfázové anaerobní fermentace. Překlad, Nordberg (1996) [69]

## **10. Seznam tabulek**

Tabulka 1. Produkce odpadů, KO a SKO v ČR. Autor, zdroj CENIA [66]

Tabulka 2: Podíl produkce KO a SKO na celkové produkci odpadů. Autor, zdroj CENIA [66]

Tabulka 3: Průměrná hmotností skladba domovního SKO v ČR v roce 2018 z EKOM-KOM a.s. [79]

Tabulka 4: Průměrné složení skládkového plynu a bioplynu. Autor, zdroj BIOPROFIT [4]

Tabulka 5: Látky vznikající termogradací s uvedenými zdroji a četností zastoupení. Sikora [31]

## **11. Seznam grafů**

Graf 1: Produkce odpadů, KO a SKO v ČR. Autor, zdroj CENIA [66]

Graf 2: Složení komunálního odpadu. Autor, zdroj EKO-KOM [79]

Graf 3: Složení komunálního odpadu. Autor, zdroj INCIEN [80]

Graf 4: Nejčastější příčiny zahoření skládek. Autor, zdroj HZS

Graf 5: Celkový počet požárů během sledovaného období. Autor, zdroj HZS

Graf 6: Počet požárů v krajích během sledovaného období. Autor, zdroj HZS

Graf 7: Počet zařízení v krajích v roce 2019. Autor, zdroj CENIA [66]

Graf 8: Počet požárů na zařízení v krajích během sledovaného období.

Graf 9: Procentuální počet požárů během sledovaného období

Graf 10: Počet požárů v jednotlivých měsících během sledovaného období

Graf 11: Celkový úhrn srážek během sledovaného období. Autor, zdroj ČHMÚ [68]

Graf 12: Průměrný úhrn srážek během sledovaného období. Autor, zdroj ČHMÚ [68]

Graf 13: Závislost požárů skládek na srážkách v jednotlivých měsících

Graf 14: Průměrné teploty v jednotlivých měsících. Autor, zdroj ČHMÚ [67]

Graf 15: Průměrné teploty v jednotlivých měsících - 2. Autor, zdroj ČHMÚ [67]

Graf 16: Počet požárů v jednotlivých měsících. Autor, zdroj HZS