

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie

**Potenciál šíření lesního požáru v listnatých lesních
porostech**

Bakalářská práce

Autor: Monika Olszewiczová

Vedoucí práce: Ing. Roman Berčák

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Monika Olszewiczová

Lesnictví

Hospodářská a správní služba v lesním hospodářství

Název práce

Potenciál šíření lesního požáru v listnatých lesních porostech

Název anglicky

Potential of spreading of forest fire in broadleaved forest stands

Cíle práce

- Analyzovat strukturu a množství pozemního paliva v listnatých lesích.
- Zjistit hořlavost materiálu pozemního paliva.
- Stanovit potenciál hoření a šíření lesního požáru v závislosti na růstové fázi lesa.

Metodika

V oblastech 2. a 3. lesního vegetačního stupně budou vytipovány porosty, ve kterých bude kvantifikováno pozemní palivo (bude měřena struktura a množství hořlavého materiálu na povrchu půdy). Porosty se budou nacházet v ekologických řadách kyselá a živná. Tyto porosty budou mít zastoupení listnatých dřevin alespoň 60 % a minimální rozlohu 0,5 ha. Porosty budou rozděleny do několika kategorií v závislosti na věku porostu (do 30.6.2020). V každém vybraném porostu bude založena jedna studijní plocha o velikosti 1 m², a to nejméně 15 metrů od hranice sousedního porostu. Plocha bude vybrána tak, aby co nejlépe odpovídala charakteru celého porostu a zároveň se nacházela mimo přibližovací linky nebo kotlíky jehličnatých dřevin nacházejících se v porostech. Na studijní ploše budou pečlivě odebrány a zváženy jednotlivé segmenty pozemního paliva (bylinné patro, drobný dřevní materiál, hrabanka a humus). Budou odebrány vzorky jednotlivých segmentů paliva pro laboratorní zjištění vlhkosti, na základě kterých bude dopočítána sušina. Součástí terénního měření je i pořízení fotografického záznamu každé studijní plochy s identifikačním číslem studijní plochy, zaměření GPS souřadnic a stručný popis porostu (do 31.8.2020). Výsledky budou zaznamenány do databáze v laboratorních podmínkách bude změřena vlhkost nasbíraných vzorků. Druhá část vzorku bude laboratorně testována na produkci spalného tepla pomocí kalorimetru. Všechny nasbírané výsledky budou vyhodnoceny vhodnými statistickými metodami (do 31.12.2020).

do června 2020 – vybrané porosty pro terénní měření

červenec – srpen 2020 – terénní práce

září – listopad 2020 – vyhodnocení výsledků terénních měření, laboratorní práce a vyhodnocení

Doporučený rozsah práce

30 s.

Klíčová slova

listnaté lesy, šíření požáru, palivo

Doporučené zdroje informací

- Balog, K., Kvarčák, M. (1999). Dynamika požáru. Ostrava, SPBI: 96 s.
- Berčák, R., Holuša, J., Lukášová, K., Hanuška, Z., Agh, P., Vaněk, J., Chromek, I. (2018). Lesní požáry v České republice: charakteristika, prevence a hašení. Zprávy lesnického výzkumu, 63(3), 184-194.
- Brown, J. K., Oberheu, R. D., Johnston, C. M. (1982). Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Gen. Tech. Rep. INT-129. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station: 48 s.,
- Holuša, J., Berčák, R., Lukášová, K., Hanuška, Z., Agh, P., Vaněk, J., Chromek, I. (2018). Lesní požáry v České republice: definice a rozdělení. Zprávy lesnického výzkumu, 63(2), 102-111.
- Krakovský, A. (2004). Lesné požiare. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 78 s.
- Thomas, E.A., McAlpine, R.S. (2010). Fire in the forest. Cambridge, Cambridge University Press: 225 s.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Berčák

Garantující pracoviště

Katedra ochrany lesa a entomologie

Elektronicky schváleno dne 7. 7. 2020

prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 8. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Potenciál šíření lesního požáru v listnatých lesních porostech vypracovala samostatně pod vedením Ing. Romana Berčáka a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 15. 4. 2021

.....

Monika Olszewiczová

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Romanu Berčákovi za odborné a trpělivé vedení při psaní mé bakalářské práce, za jeho cenné rady a poskytnuté materiály. Děkuji Ing. Marku Tumovi z LČR s.p., Ing. Františku Pourovi a jeho kolegům z Vojenských lesů a statků ČR, s.p., za poskytnutí hospodářských knih a map a umožnění provést v jejich porostech terénní měření. Také děkuji své rodině za podporu při psaní této práce a během celého studia.

Abstrakt

Lesní požár narušuje ekologickou stabilitu lesa a dokáže způsobit velké škody. Suché období posledních let způsobené globálními klimatickými změnami zvyšuje jejich počet. Zkoumání faktorů ovlivňujících chování požáru umožňuje lépe bojovat s tímto škodlivým činitelem.

Cílem této práce bylo v oblastech 2. a 3. lesního vegetačního stupně listnatých lesů v kyselé a živné ekologické řadě na 32 studijních plochách zjistit množství, strukturu a hořlavost pozemního paliva a stanovit potenciál hoření a šíření lesního požáru v závislosti na růstové fázi lesa. U odebraných vzorků jednotlivých segmentů paliva (vegetace, dřevní materiál, hrabanka a humus) byla laboratorně zjištěna vlhkost a dopočítána sušina. U části vzorků byla dále laboratorně testována pomocí kalorimetru produkce spalného tepla.

Výsledky statistického zpracování ukázaly, že nejvíce hořlavého materiálu s nejvyšším množstvím energie se nacházelo v plně zapojených mladých porostech. Porosty v tomto stádiu jsou velmi husté a tmavé, při konkurenčním boji o růstový prostor dochází k odumírání větví a jedinců stromů ve spodní vrstvě a hromadění opadu. Riziko snadného zapálení a rychlého šíření je naopak nejvýraznější v založených porostech z důvodu existence velkého množství vegetace (trávy, byliny).

Klíčová slova: listnaté lesy, šíření požáru, palivo

Abstract

The fire in the woods destructs the eco-stability of the forrest and can possibly cause big damage. The amount of fires increases with the number of the dry periods caused by climatic changes. The research of the factors that influence the behaviour of fire improves the possibility of fight this harmful natural activity.

The goal of my paper was to research the amount, structure and combustibility of the terrestrial propellant of deciduous woods of sour and nutrient ecologic line at 32 study areas and set its flammability potential and possibility of growth of the wood fire dependance on the age of the forrest. The humidity of the individual samples of fuel segments (vegetation, wood material, rake and humus) was determined in the laboratory and the dry matter was calculated. Some of the samples were further tested of combustion heat production in the laboratory using a calorimeter. The results of statistical processing showed that the most flammable material with the highest amount of energy was found in fully involved young stands. The stands at this stage are very dense and dark, during the competitive struggle for growth space, the branches and individuals of trees in the lower layer die and the accumulation of fall. On the other hand, the risk of easy ignition and rapid spread is most pronounced in established stands due to the existence of a large amount of vegetation (grasses, herbs).

Keywords: Leafy forests, spread of fire, fuel

Obsah

1	Úvod	12
2	Cíle práce	13
3	Literární rešerše	14
3.1	Teorie hoření	14
3.1.1	Proces hoření	15
3.1.2	Zdroje zapálení.....	17
3.1.3	Produkty hoření	20
3.2	Hoření dřeva	22
3.2.1	Chemické složení dřeva	22
3.2.2	Fáze hoření	23
3.3	Dynamika požáru	24
3.3.1	Definice požáru	24
3.3.2	Fáze požárů	24
3.3.3	Pásma požáru	25
3.3.4	Uvolňování tepla při požáru.....	26
3.4	Přenos tepelné energie	27
3.4.1	Šíření požáru.....	27
3.4.2	Sdílení tepla	27
3.5	Lesní požáry.....	28
3.5.1	Druhy lesních požárů	29
3.5.2	Pozemní palivo.....	30
3.6	Lesní vegetace.....	31
3.6.1	Vlivy na složení lesní vegetace	31
3.6.2	Vývojové cykly lesa	32
3.6.3	Přirozená obnova	34

3.7	Lesnická typologie.....	35
3.7.1	Lesní typ.....	35
3.7.2	Lesní vegetační stupně	35
3.7.3	Ekologické řady.....	37
3.7.4	Edafické kategorie.....	37
3.7.5	Řada živná	38
3.7.6	Řada kyselá.....	39
4	Metodika	40
4.1	Charakteristika vybraných území	40
4.1.1	LHC Nižbor, Lesy ČR, s.p.	40
4.1.2	LHC Nouzov, Vojenské lesy a statky ČR, s.p.....	41
4.2	Postup při výběru studijních ploch.....	42
4.3	Postup při terénním měření.....	46
4.4	Laboratorní měření.....	48
4.5	Stanovení spalného tepla.....	48
4.6	Zpracování dat	50
5	Výsledky	51
5.1	Vyhodnocení výsledků kvantifikace sušiny jednotlivých segmentů pozemního paliva	51
5.2	Vyhodnocení výsledků energie uložené v jednotlivých segmentech paliva.....	54
5.3	Vyhodnocení výsledků energie uložené v palivu jednotlivých stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů.....	56
6	Diskuze	60
7	Závěr	65
8	Seznam použité literatury	66

Seznam obrázků

Obrázek 1: Trojúhelník hoření (Berčák et al., 2018).....	16
Obrázek 2: Znárodnění velkého a malého vývojového cyklu smrčín (Míchal a kol., 1992)	33
Obrázek 3: Mapa s vyznačením vybraných lokalit: 1 - Chýňava, 2 - Krušná hora, 3 - Drnek (zdroj: Mapy.cz - upraveno).....	40
Obrázek 4: Lokalita Chýňava - porostní mapa s vyznačením zvolených porostů	42
Obrázek 5: Založený porost (foto: M. Olszewiczová)	43
Obrázek 6: Zapojený porost (foto: M. Olszewiczová)	44
Obrázek 7: Dospívající porost (foto: M. Olszewiczová)	45
Obrázek 8: Dospělý porost (foto: M. Olszewiczová).....	46
Obrázek 9: Studijní plocha (foto: M. Olszewiczová)	47
Obrázek 10: Laboratorní zpracování vzorků pomocí analyzátoru vlhkosti (foto: M. Olszewiczová).....	48
Obrázek 11: Nožový laboratorní mlýnek (foto: M. Olszewiczová)	49
Obrázek 12: Peletovací lis (foto: M. Olszewiczová).....	49
Obrázek 13: Kalorimetr IKA C200 a plnicí kyslíková stanice (vlevo), rozkladná tlaková nádoba (vpravo) (foto: M. Olszewiczová).....	49
Obrázek 14: Analytická váha (foto: M. Olszewiczová).....	50

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popisná statistika hmotnosti sušiny jednotlivých segmentů pozemního paliva v různých stádiích porostu z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m ²	51
Tabulka 2: Popisná statistika spalného tepla v MJ/kg	54
Tabulka 3: Popisná statistika energie uložené v palivu jednotlivých stádií porostů v MJ/m ²	56

Tabulka 4: Mnohonásobné porovnání energie uložené v palivu na m ² (bez humusového segmentu).....	58
--	----

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání hmotnosti segmentu pozemního paliva - byliny podle stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m ²	53
Graf 2: Porovnání hmotnosti segmentu pozemního paliva - dřevo podle stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m ²	53
Graf 3: Porovnání hmotnosti segmentu pozemního paliva - hrabanka podle stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m ²	53
Graf 4: Porovnání hmotnosti segmentu pozemního paliva - humus podle stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m ²	53
Graf 5: Porovnání spalného tepla podle jednotlivých segmentů paliva v MJ/kg	55
Graf 6: Porovnání energie uložené v palivu všech segmentů na m ² podle jednotlivých stádií porostů v MJ/m ²	57
Graf 7: Porovnání energie uložené v palivu na m ² podle jednotlivých stádií porostů (bez humusového segmentu) v MJ/m ²	58

1 Úvod

V České republice nezpůsobují lesní požáry tak rozsáhlé škody jako např. v Kanadě, Austrálii nebo Spojených státech amerických. Je to způsobeno především díky členitosti krajiny a lesních porostů a také díky hustému osídlení (Fanta, 2007). Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám, které způsobují výrazné snižování vláh v lesním prostředí v důsledku dlouhodobého sucha a mírných zim s nedostatkem srážek, se lesní prostředí stává snadněji zapalitelné a hořlavější. Lze tak očekávat, že v budoucnu se může zvyšovat počet požárů i na našem území (Xiao, Zhuang, 2007; Xanthopoulos et al., 2012).

Dopady globálních klimatických změn na lesní požáry se projevují přímo, vlivem povětrnostních podmínek na vznícení a šíření požáru, a nepřímo, dopady na vegetaci a pozemní palivo. Na chování lesních požárů má zásadní vliv zejména vlhkost drobného paliva. Pokud bude tento materiál dostatečně vlhký, může výrazně omezit vznik požáru, případně snížit potenciál jeho šíření.

Charakteristiky a struktura paliva udávají průběh procesu hoření a přenos tepla, které se během hoření z paliva uvolňuje. Dostatečné znalosti těchto charakteristik mohou pomoci pochopit chování požárů a mohou posloužit ke správnému rozhodování při řízení požárů a při tvorbě preventivních opatření, vedoucích k omezení vzniku velkých požárů (Majlingová et al., 2018).

Podle Chromka et al. (2018) zatím není k dispozici dostatek studijního materiálu o lesních požárech na území České republiky.

Jak již bylo uvedeno, velmi důležitou roli při vzniku a šíření požáru hraje pozemní palivo a lesní vegetace. Tato práce se zaměřuje na kvantifikaci pozemního paliva vybraných porostů a na zjištění a porovnání množství energie, kterou je toto palivo schopno uvolnit během procesu hoření. Získané informace mohou do budoucna posloužit pro modelování lesních požárů na našem území. Hasičským záchranným složkám by to mohlo pomoci lépe odhadnout chování požáru a zvýšit připravenost vůči tomuto škodlivému antropogennímu činiteli.

2 Cíle práce

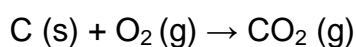
Cílem této práce je zjištění struktury a množství pozemního paliva v listnatých lesích 2. a 3. lesního vegetačního stupně v kyselé a živné ekologické řadě. Dalším cílem je zjištění hořlavosti materiálu pozemního paliva a stanovení potenciálu hoření a šíření lesního požáru v závislosti na růstové fázi lesa.

3 Literární řešerše

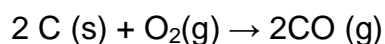
3.1 Teorie hoření

Hoření je definováno jako fyzikálně chemická reakce, kdy dochází za vysoké rychlosti k reakci hořlavé látky s oxidačním prostředkem a vzniká teplo a světlo. Jedná se o exotermickou reakci (Kvarčák, 2005).

Pokud existuje dostatek oxidačního prostředku a při reakci již nevznikají produkty schopné dalšího hoření, ale pouze oxid uhličitý a páry, mluvíme o **dokonalém hoření**, které lze vyjádřit chemickou rovnicí:



Při nedostatku oxidačního činidla nazýváme hoření jako **nedokonalé hoření**, vyjádřené chemickou rovnicí:



Při něm vznikají zplodiny, které jsou schopny dále hořet. Tyto zplodiny mohou být nebezpečné. Nejčastěji vzniká jedovatý oxid uhelnatý, který může být při spojení se vzduchem i výbušný (Broumovská, 2008; Orlíková et al., 1991). Pokud při hoření nastane výbuch, tzn., že dojde k rychlé fyzikálně chemické reakci s okamžitým uvolněním velkého množství energie, nazýváme takovéto hoření **explozivní hoření**. Výbuch může být buď *fyzikální* - dochází k roztržení nádob vlivem nárůstu tlaku nebo *chemický* (typický především pro výbušniny) - jedná se o náhlé hoření plynů, par nebo prachu ve vzduchu (Tureček, 2014).

Průběh hoření je ovlivňován tepelnými vlastnostmi hořlavých látek. Zejména se jedná o tepelnou vodivost a měrné teplo. Na základě tepelné vodivosti dochází k šíření tepla v hořlavé látce. Větší tepelná vodivost materiálu prodlužuje dobu zapalování. Pokud je látce dodáváno teplo, roste její tepelný potenciál. Měrné teplo vyjadřuje, jakou tepelnou energii je potřeba dodat materiálu, aby se jeho jednotkové množství ohřálo o 1°C. Je udáváno v joulech na kg a kelvin (J/kg·K).

Množství tepla, které při hoření materiál uvolňuje, tepelná stabilita a mechanismus rozkladu jsou dány chemickými vlastnostmi materiálu.

Chemické a fyzikální vlastnosti a vlivy okolí umožňují hořlavé látky šířit oheň. Čím vyšší hodnotu šíření plamene materiál vykazuje, tím je hořlavější. Teplo uvolňované při hoření je nejdůležitějším faktorem, který určuje hořlavost.

Jednou z metod, která hodnotí hořlavost materiálů, je metoda kalorimetrická, při které probíhá spalování materiálu v prostředí izolovaném od vnějšího prostředí. Tato metoda slouží ke stanovení spalného tepla a výhřevnosti. Spalné teplo představuje součet slučovacích tepel produktů hoření. Je uváděno v J/kg. Stanoví se při teplotě okolí 25°C (Filipi, 2003). Jde o množství tepla, které se uvolňuje dokonalým spálením určitého množství paliva, při kterém zkondenzuje vodní pára. Výhřevnost je spalné teplo snížené o kondenzační teplo vzniklé vody (Středa, 2009).

S pojmem hoření jsou spojovány výrazy oheň a požár. **Oheň** je hoření řízené a kontrolované lidmi, které je ohraničeno určitým prostorem. **Požár** vzniká nekontrolovaným šířením ohně, případně přímým zapálením a jeho prostor není předem vymezen (Balog, Kvarčák, 1999).

3.1.1 Proces hoření

Aby vznikl proces hoření, jsou zapotřebí 3 faktory:

- 1) **hořlavá látka**
- 2) **oxidační prostředek (čínidlo)**
- 3) **iniciační prostředek (zdroj zapálení)**

Podle Baloga, Kvarčáka (1999) tvoří tyto 3 faktory, o kterých se jako první zmínil Lavoisier (1743-1794), tzv. **trojúhelník hoření** (obr. 1). Pokud jeden z prvků trojúhelníku hoření chybí, hoření nemůže vzniknout.



Obrázek 1: Trojúhelník hoření (Berčák et al., 2018)

Hořlavá látka a oxidační prostředek tvoří *hořlavý soubor*.

V případě, že je hořlavý soubor tvořen pouze jedním skupenstvím - hořlavá látka je v plynném skupenství stejně jako oxidační prostředek (vzduch), mluvíme o **homogenním hoření**. Projevuje se plamenem.

Má-li hořlavý soubor dvě skupenství - hořlavá látka je v pevném stavu a oxidační činidlo v plynném (kyslík, vzduch), jedná se o **heterogenní hoření**. Projevuje se např. tlením na povrchu hořlavé látky.

Podle reakční rychlosti rozlišujeme hoření **kinetické** (podstatná je rychlost chemické reakce mezi hořlavou látkou a zdrojem zapálení) a **difuzní** (závisí na rychlosti difuze oxidačního činidla do hořlavé látky).

Proces hoření probíhá v několika stupních:

- 1) stupeň iniciační - dochází ke vzplanutí, vznícení, samozahřívání
- 2) stupeň propagační - probíhá plamenné a bezplamenné hoření
- 3) stupeň terminační - nastává dohořívání, inhibice, retardace

Stupeň iniciační - vznik procesu hoření závisí na iniciačním zdroji. Může jít buď o spontánní vznícení způsobené vnějším zdrojem sálavého tepla, nebo může proces hoření vzniknout působením vnějšího tepelného zdroje (plamen, jiskra), případně spontánním vznícením bez přítomnosti tepelného zdroje (samovznícením, chemickou reakcí). Proces hoření nastává tehdy, dosáhne-li hořlavá látka kritické teploty degradace a uvolňování prchavých produktů

probíhá dostatečně rychle, aby vznikla hořlavá směs s kyslíkem. Při dostatečném množství tepla, kyslíku a času může být zapálen téměř každý materiál. Hořlavost materiálů vychází z podmínek, při kterých dochází ke vzplanutí nebo vznícení.

Teplota vzplanutí je nejnižší teplota, která způsobí při přiblížení zápalného zdroje vzplanutí vzduchu smíchaného s dostatečným množstvím hořlavých par uvolněných z hořlavé látky.

Teplota vznícení je nejnižší teplota, která způsobí zapálení (vznícení) hořlavých plynů a par vytvořených hořlavou látkou, ve směsi se vzduchem, bez přítomnosti otevřeného plamene.

Stupeň propagační - propagace tuhých materiálů může probíhat následujícími reakcemi: a) pyrolýzou, b) plamenným hořením, c) termooxidací na povrchu tuhého materiálu.

Pyrolýza je rozklad materiálu v důsledku jeho zahřívání (depolymerizace, dehydratace, dehydrogenace, statistická degradace, odštěpení funkčních skupin). Rozklad, při kterém se snižuje hmotnost tuhého materiálu, a vznikají prchavé produkty, je aktivní pyrolýza. Vznik plyných produktů souvisí s chemickým a fyzikálním složením a teplem, které je přiváděno a vytvářeno. Propagace probíhá pouze při dostatečném teple, které je dodáváno vnějším zdrojem, nebo se uvolňuje při jiné exotermické reakci.

Plamenné hoření se odvíjí od průběhu pyrolýzy. Probíhá, pokud je dostatečně silný zdroj zapálení, vznikají hořlavé zplodiny degradace a vyskytuje se potřebné množství kyslíku.

Bezplamenné hoření probíhá jako tlení nebo žhnutí. Vzniká při něm kouř. Pokud kouř obsahuje hořlavé látky, může se hoření změnit na plamenné.

Stupeň terminační - proces hoření může ustát vlivem nižší koncentrace hořlavých složek, snížením teploty, nebo pokud již není dostatečná koncentrace kyslíku potřebného k hoření (Balog, Kvarčák, 1999).

3.1.2 Zdroje zapálení

Zápalným zdrojem je jakákoliv forma energie, která vydává dostatečné množství tepla nutného k zapálení hořlavé látky. Chemické složení, prostorové

uspořádání a teplota hořlavé látky, ale i teplota a oxidační potenciál prostředí určují, jaké je minimální množství energie, která dokáže hořlavou látku zapálit.

Podle formy energie rozlišujeme tyto primární zdroje zapálení:

1) Mechanická energie - vzniká nejčastěji třením ploch (příkladem může být zapálení škrtnutím zápalky, tření dřevěné hůlky o suchou kůru, třecí mechanismus roznětek výbušnin), dále stlačováním plynů (u vznětových spalovacích motorů), nebo následkem úderu (vznícení třaskavin) (Filipi, 2003).

2) Chemická energie - chemická reakce látek může být exotermní nebo endotermní. Zapálení způsobuje exotermní reakce, při níž se uvolňuje energie ve formě tepla do okolí. Nejčastěji se jedná o tzv. *samovznícení*, které může být *chemické*, *fyzikální* nebo *biologické*. Při samovznícení dochází k samozahřívání hořlavé látky, přičemž množství vzniklého tepla musí být větší než teplo, které je odváděno do okolí.

Chemické samovznícení nastává při kontaktu alespoň dvou látek, při němž probíhá exotermní reakce. Může jít buď o oxidaci, kdy dochází ke styku látky s kyslíkem nebo o styk látky (sodík, draslík a jejich sloučeniny, karbidy vápníku apod.) s vodou.

Fyzikální samovznícení probíhá například u uhlí, obsahujícího velké množství uhlíku, který dokáže svým povrchem absorbovat plyny a páry a následně vytváří teplo. Uhlí je skladováno ve velkých hromadách, existuje tak pouze malý povrch k odvodu vznikajícího tepla. Fyzikální samovznícení může vzniknout např. i při ohřevu látky nebo úderem (třaskaviny).

Biologické samovznícení probíhá u rostlinných materiálů jako seno, luskoviny a obiloviny. Způsobují ho mikroorganismy (bakterie), které svou činností vytváří teplo. Při teplotě 70°C bakterie odumírají, dochází však k rozpadu jednodušších rostlinných látek, ze kterých vzniká uhlík. Při jeho oxidaci stoupá teplota, vzniká další uhlík a jiné látky. Při teplotě 250 - 300°C nastává vznícení rostlinného materiálu (Filipi, 2003; Volf, 2001).

3) Elektrická energie - teplo je vytvářeno při průchodu elektrického proudu elektricky vodivým materiálem. Vzniká např. při přetížení elektrického vodiče, při velkém přechodovém odporu, nebo bleskem při bouřce.

4) Elektromagnetické záření - energii přenáší frekvence záření fotonů, část tohoto frekvenčního spektra tvoří tepelné a infračervené záření.

5) Jaderná energie - nejedná se o běžný primární zdroj zapálení. Zdroj tepla představují fyzikální procesy na bázi štěpení jádra atomu.

Netepelné zdroje energie se přeměňují na energii tepelnou. Tato přeměna může probíhat i ve více než dvou navazujících procesech. Vlastním iniciátorem zapálení hořlavé látky je teplo.

6) Tepelná energie - vzniká transformací všech forem energie a způsobuje vlastní zapálení. Tepelný potenciál hořlavé látky se zvyšuje s množstvím přiváděného tepla. Toto množství je dáno způsobem přenosu a materiálovými vlastnostmi tepelného zdroje, hořlavé látky i zdroje zapálení.

Zápalné zdroje mohou být:

krátkodobě působící - např. jiskra, zápalka, cigareta

dlouhodobě působící - plamen svíčky nebo kahanu

Podle toho, na jak velkou plochu působí zápalný zdroj, lze dělit zdroje na:

běžné malé zápalné zdroje - které působí na malou plochu

sálavé zdroje a horké prostředí - které působí celoplošně (Filipi, 2003)

Jiskra - může vzniknout při řezání kovů nebo svařování. Její teplota je dostatečně vysoká, aby mohla způsobit zapálení většiny hořlavých materiálů, má však velmi malou hmotnost a vytváří tak jen malou tepelnou energii, která je schopná zapálit pouze některé hořlavé směsi (např. usazený prach, některé směsi plynu se vzduchem, vláknité materiály).

Plamen - jedná se o hořící plyny a páry. Je to nejvýznamnější tepelný zdroj, jehož teplota převyšuje teplotu většiny hořlavých látek a je tak schopna způsobit jejich zapálení. Obvykle se jeho teplota pohybuje mezi 700 - 1500°C, může však dosahovat i teploty přes 3000°C, (např. při svařování). Při spalování tuhých paliv a prachu se teplota pohybuje okolo 1000 - 1200°C, při spalování kapalin je teplota v rozmezí 1100 - 1300°C a u plynů je to 1200 - 1400°C. Zapálení mohou způsobit i spaliny, obsahující horké plyny a někdy i žhnoucí tuhé částice.

Horké povrchy - způsobují zahřátí povrchu hořlavé látky vyzařováním tepelné energie, tepelným projevem mechanické energie, případně jiným způsobem. Schopnost iniciace je ovlivněna tvarem, velikostí a materiálem horkého tělesa a množstvím koncentrací hořlavých látek v okolí. S rostoucí teplotou a povrchem horkého tělesa se schopnost iniciace zvyšuje (Bártlová, Damec, 2002).

3.1.3 Produkty hoření

Při hoření nastávají chemické změny všech látek. Každá látka se přemění na jinou, buď se rozpadne, nebo dojde k její další reakci (Broumovská, 2008).

Základní produkty, které se při hoření tvoří, jsou teplo, světlo, kouř, nespálené hořlavé plyny a nespálené pevné zplodiny (popel).

Teplo - intenzita tepla se liší podle velikosti plamenů. Způsobuje další vznícení látek, popálení osob, poranění dýchacích cest a dehydrataci.

Světlo - je vytvářeno hořícími plyny a parami, které se projevují plamenem. Plamen může mít různou teplotu, svítivost a barvu. Pokud existuje vhodná koncentrace kyslíku, mají plameny velmi vysokou teplotu a vydávají méně světla, což je způsobeno nižším obsahem uhlíku. Zbarvení plamene někdy umožňuje určit látku, která hoří.

Kouř - obsahuje velké množství různých chemických látek podle toho, jaký materiál hoří, jako např. částice uhlíku, prachu, dehtu a hořlavé plyny a páry. Vdechnutí některých těchto částic způsobuje podráždění dýchacích cest, některé mohou dokonce způsobit i smrt. V hustém kouři se navíc snižuje viditelnost, což způsobuje problémy při orientaci v prostoru (Lukeš, 2005).

Dráždivé a toxické látky:

Oxid uhelnatý (CO) - bezbarvý hořlavý plyn bez zápachu, který vzniká při nedokonalém hoření uhlíkatých látek. Je lehčí než vzduch. Bývá nejčastější příčinou úmrtí při požárech. Váže se na červené krvinky (hemoglobin) a tím snižuje schopnost krve roznášet kyslík do celého těla. Následně dochází k udušení.

Oxid uhličitý (CO₂) - nehořlavý bezbarvý plyn bez zápachu, těžší než vzduch, vzniká převážně při dokonalém hoření. Je produktem hoření

a zároveň se používá jako hasící prostředek. Ve vzduchu je za normálních okolností cca 0,03 % CO₂. Pokud se koncentrace CO₂ zvýší na asi 5 %, může člověk pociťovat bolesti hlavy, závratě, zrychlené dýchání a pocení. Při koncentraci 10 - 12 % CO₂ ve vzduchu může dojít k ochrnutí dýchacího centra mozku a smrti.

Nitrozní plyny (NO_x) - především oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂) **oxid dusnatý (NO)** se při styku s kyslíkem a vzdušnou vlhkostí mění na oxid dusičitý, **oxid dusičitý (NO₂)** je žluto- až červenohnědý plyn, těžší než vzduch, který se uvolňuje např. při hoření umělých hnojiv, fosilních paliv a plastů, obsahujících velké množství dusíku. Dráždí dýchací cesty ke kašláním. Při otoku plic dochází k udušení.

Chlorovodík (HCl) - bezbarvý plyn, který způsobuje silné podráždění očí a dýchacích cest. Je těžší než vzduch. Při otoku dýchacích cest může dojít až k udušení. Ve vzduchu ale i v plicích člověka reaguje s vodou, rozpouští se a následně vzniká kyselina chlorovodíková, která působí poleptání sliznic a korozi materiálů.

Kyanovodík (HCN) - bezbarvý plyn mandlového zápachu, lehčí než vzduch. Prochází buněčnou stěnou a znemožňuje výměnu kyslíku a oxidu uhličitého při dýchání. Vzniká hořením polyamidu (silon, nylon), polyuretanu (molitan), umakartu, lepidel, laků, palubních desek automobilů, vlny, peří apod.

Fosgen (COCl₂) - bezbarvý plyn s nepříjemným zápachem shnilého sena, způsobuje podráždění očí a nutí ke kašli. Uvolňuje se hořením chladicích kapalin a plynů obsahujících freon. V reakci s vodou vzniká žíravá kyselina chlorovodíková.

Ultrajedy - chemické sloučeniny, které mohou způsobit neléčitelné nemoci již v množství několika mikrogramů, v miligramovém množství pak způsobují smrt. Do lidského organismu se dostanou vázané na saze. Největší nebezpečí hrozí při požáru skladů PVC (Lukeš, 2005).

3.2 Hoření dřeva

3.2.1 Chemické složení dřeva

Dřevo je hořlavá látka složená z heterogenních biopolymerů, které dělíme na hlavní složky a doprovodné látky.

Hlavní složky představují 90 - 97 % hmoty dřeva. Obsahují 65 - 75 % sacharidů, které tvoří *celulóza* (asi 40 - 50 %) a *hemicelulózy*, a aromatický podíl - *lignin* (15 - 35 %) (Blažej a kol., 1975).

Celulóza je makromolekulární látka lineární stavby, která je tvořena spojením různého počtu glukózových jednotek. Část řetězců je spojena pravidelnými vodíkovými vazbami a vytváří krystalickou mřížku. Makromolekuly bez vodíkových vazeb tvoří amorfni celulózu. Podle poměru krystalické a amorfni celulózy jsou dány fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Větší podíl krystalické celulózy dává dřevu vyšší hustotu, tvrdost, pružnost, pevnost v tahu a rozměrovou stabilitu. Oproti tomu schopnost chemické reakce, navlhavost a bobtnání jsou nižší. Reakce probíhají nejdříve v amorfni celulóze.

Hemicelulóza je tvořena směsí polysacharidů. Řetězce hemicelulóz jsou rozvětvené, délka základního řetězce, stupeň rozvětvení a acetylace ovlivňují vlastnosti hemicelulóz. Spolu s celulózou se hemicelulózy podílí na tvorbě buněčných stěn dřeva a vytváří vrstvu mezi celulózou a ligninem.

Lignin vyplňuje prostory ve vláknité struktuře polysacharidických složek. Díky němu má dřevo větší pevnost v ohybu a nižší propustnost. Jedná se o bez tvarou (amorfni) polyfenolickou látku s menší chemickou stabilitou, než má celulóza (Šlezingerová, Gandelová, 2002).

Doprovodné látky představují 3 - 10 %. Jedná se o *organické látky* (monomery a polymery) a *anorganické látky* (Blažej a kol., 1975).

Mezi *organické složky* patří:

Sacharidy - škrob, pektiny, monosacharidy a glykosidy rozpustné ve vodě.

Fenoly - tanidy, flavonoidy, stilbeny, lignany a tropolony rozpustné ve vodě a organických rozpouštědlech.

Terpeny - jehličnaté dřeviny obsahují až 5 % terpenů, v listnatých dřevinách se téměř nevyskytují. Jsou nahrazeny uhlovodíky a pryskyřičnými kyselinami.

Acyklické kyseliny - jsou obsaženy ve všech dřevinách v podobě esterů, pomocí esterových vazeb se na polysacharidy ve dřevě váže kyselina octová.

Alkoholy - acyklické alkoholy a steroly

Bílkoviny - tvoří cca 1 % ve zralém dřevě

Anorganické látky jsou tvořeny kationy (např. vápník, draslík, hořčík) a aniony (uhličitany, fosforečnany, siřičitany, křemičitany a šťavelany). Ve dřevě se určují podle množství popela, který se pohybuje v rozmezí 0,2 - 0,6 % (Blažej, Košík, 1985).

Každé dřevo má trochu jiné chemické složení, které určuje jeho vlastnosti. Na elementární složení dřeva mají kromě druhu dřeviny vliv také růstové podmínky, především půdní složení, stav ovzduší, množství srážek a slunečního svitu (Esch et al., 1996). V průměru obsahuje každé dřevo asi 49,5 % uhlíku (C), 44,2 % kyslíku (O), 6,3 % vodíku (H) a 0,2 - 1,5 % dusíku (N) podle druhu dřeviny (Blažej a kol., 1975).

3.2.2 Fáze hoření

Při hoření dochází k termickému rozkladu polysacharidických složek dřeva (celulózy a hemicelulóz) a změnou jejich chemické struktury vznikají hořlavé produkty (Horáček, 1998).

Hoření dřeva probíhá ve třech fázích:

1. fáze - vlivem tepla dodávaného iniciačním zdrojem se dřevo zahřívá. Při teplotách nad 100°C probíhá dehydratace. Od 150°C dochází ke ztrátě vázané vlhkosti. Při teplotách okolo 130 - 150°C se dřevo začíná postupně rozkládat. U hemicelulóz a celulózy začínají probíhat pyrolytické a oxidační reakce, při kterých se uvolňují hořlavé plyny. Pokud se teploty pohybují okolo 180 - 195°C, dochází již k intenzivní termické degradaci dřevní hmoty a uvolňuje se velké množství hořlavých plynů. U ligninu při teplotách v rozmezí 100 - 180°C nastává nejprve endotermická reakce, kdy dochází ke změně

tvaru, ohýbání. V další fázi probíhají exotermické reakce (Horáček, 1998; Reinprecht, 2001).

2. fáze - degradace odolnější celulózy nastává přibližně od 220°C. S rostoucí teplotou se snižuje hmotnost a nastává změna elementárního složení. Lignin, který představuje nejodolnější složku dřeva, se rozkládá při teplotách 300 - 400°C, jeho hlavním produktem jsou fenoly. Exotermický rozklad dřeva (depolymerizace - pyrolýza polysacharidů a ligninu) a zvyšující se množství plynných produktů, zejména oxidu uhelnatého a uhlíčitého, probíhá až do teploty cca 500°C (Reinprecht, 2001).

3. fáze - v této fázi dochází k ústupu plamenného hoření. Pyrolýzou dřevní hmoty, zejména ligninu, vzniká dřevěné uhlí, snižuje se množství plynných zplodin a rozklad zpomaluje. Uhlí samovolně bezplamenně hoří (žhne) až do úplného dohoření (Horáček, 1998; Reinprecht, 2001).

Hořlavost dřeva ovlivňují především jeho chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti (např. tepelná vodivost, měrná teplota, vlhkost, hustota, pórovitost, pevnost, pružnost), ale také vlastnosti okolního prostředí jako teplota a vlhkost vzduchu, rychlost proudění, množství kyslíku, oxidu uhlíčitého atd. (Reinprecht, 2001).

3.3 Dynamika požáru

3.3.1 Definice požáru

„Pro účely požární ochrany se za požár považuje každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení či zranění osob nebo zvířat, anebo ke škodám na materiálních hodnotách. Za požár se považuje i nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata nebo materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy.“ (Kvarčák, 2005)

3.3.2 Fáze požárů

Požár se postupně vyvíjí a rozšiřuje se do okolí. Na rychlost šíření plamene má vliv zejména měrné teplo, tepelná vodivost, kritická teplota degradace, koncentrace prchavých produktů a další faktory. Průběh požáru závisí na teplotě a čase. Rozlišujeme 4 fáze průběhu požáru:

1. fáze - iniciace požáru

2. fáze - rozvoj požáru
3. fáze - plně rozvinutý požár
4. fáze - přerušení požáru

Iniciace požáru

Aby vznikl požár, musí nejdříve dojít k zahřátí hořlavé látky na kritickou teplotu degradace a k dostatečné rychlosti uvolňování hořlavých produktů, které vytvoří s kyslíkem hořlavou směs. Následně dochází ke vzplanutí nebo vznícení. Ohnisko vznikajícího požáru je obvykle malé a začíná jako malý plamen. Iniciační fáze je ovlivněna okolní teplotou, podmínkami zahřívání a samozahřívání a kumulací tepla. Důležitou roli hraje typ hořlavých látek, druh a intenzita iniciačního zdroje a koncentrace kyslíku.

Rozvoj požáru

V této fázi požáru se zvyšuje množství kyslíku a hořlavých plynů, dochází k postupnému prohřívání hořlavých látek, které následně šíří požár na další hořlaviny v okolí.

Plně rozvinutý požár

Jde o velmi intenzivní hoření s vysokými teplotami, při kterém hoří všechny materiály v oblasti požáru.

Přerušení požáru

V poslední fázi se snižuje teplota, dochází k ochlazení hořících látek, většina přítomného hořlavého materiálu shořela a požár ustává. Fáze končí úplným vyhořením, vyhasnutím (Balog, Kvarčák, 1999).

3.3.3 Pásma požáru

Prostor ovlivňovaný požárem dělíme na 3 pásma:

Pásma hoření - tvoří ho plocha požáru, probíhá zde vlastní hoření, teplota se pohybuje velmi vysoko: u dřeva až 1000°C, teplota hořlavých kapalin dosahuje 1200 - 1500°C, teplota sazí až 3000°C.

Pásma přípravy - dochází zde k šíření tepla sáláním (radiací), vedením (kondukcí) nebo prouděním (konvekci), postupně se mění na pásmo hoření.

Pásmo zakouření - v tomto pásmu probíhá pohyb kouřových plynů, jejichž koncentrace může ohrožovat zdraví nebo život lidí, teplota okolo 60°C podporuje šíření požáru.

Pásma se v průběhu požáru mění, mohou se částečně nebo zcela překrývat, případně může některé pásmo po určitou dobu chybět (Kvarčák, 2005).

3.3.4 Uvolňování tepla při požáru

Po iniciaci požáru se z hořlavé látky začíná uvolňovat teplo a vznikají produkty hoření, které po zahřátí vstupují vzhůru. Při požáru v uzavřeném prostoru se drží u stropu. Teplota látek v okolí je jednak zvyšována sálavým teplem, které vydává plamen, ale šíří se také vedením tepla materiálem a prouděním horkých spalin v kouři. Po dosažení teploty, při které se uvolní dostatek prchavých produktů, tvořících společně se vzduchem hořlavou směs, dojde k hoření. Požár se rozšiřuje do okolí po povrchu látek, zvětšují se plameny i objem spalin a uvolňuje se stále více tepla. To vede ke zvýšení teploty v prostoru, která ohřívá nehořící materiály. Jakmile teplota většiny nehořících materiálů dosahuje zápalných hodnot, dochází ke vzniku *flashover*, při kterém nastane v krátkém časovém intervalu zapálení všech hořlavých látek v prostoru. Požár se stále rozšiřuje, jeho teplota prudce stoupá a intenzita tepelné výměny je velmi vysoká.

Při požáru ve velkých objektech, jako jsou např. výrobní haly, je sdílené teplo z povrchu plamenů málo intenzivní, neboť se šíří do velkého prostoru. Teplota hořlavých materiálů v prostoru se tak zvyšuje pomalu. K jejich hoření dojde až v okamžiku, kdy je již požár rozšířen téměř na celé ploše objektu.

Ve venkovním prostoru probíhá rozvoj požáru podobně, jako ve velkých objektech, jeho průběh však závisí na klimatických podmínkách, především na větru a srážkách (Balog, Kvarčák, 1999).

3.4 Přenos tepelné energie

3.4.1 Šíření požáru

K šíření požáru dochází v pásmu přípravy sdílením (předáváním) tepelné energie. Rychlost šíření závisí jednak na množství a rozmístění hořlavého materiálu, ale také na fyzikálních a chemických vlastnostech hořlavých látek.

Nejvýznamnější fyzikální vlastností je skupenství hořlavého materiálu. Jelikož hoření probíhá především v plynné fázi, nejrychleji se šíří požár hořlavých plynů. Při požáru pevných látek musí nejprve nastat přeměna na plynné skupenství. Důležitou roli hraje také stupeň dělitelnosti a směsný poměr, který vyjadřuje míru promísení hořlavé látky a oxidačního činidla. Další významné fyzikální vlastnosti při šíření požáru jsou např. hustota, tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, vlhkost a jiné.

Z chemických vlastností hraje významnou roli chemická stabilita a množství kyslíku, obsaženého v molekulárním složení hořlavého materiálu. Od těchto vlastností se odvíjí teplota vzplanutí, vznícení a hoření. Chemicky nestabilní látky a látky s obsahem kyslíku šíří požár mnohem rychleji.

3.4.2 Sdílení tepla

Teplu vytvářené při hoření je odváděno do okolí *prouděním, vedením* nebo *sáláním*.

Při přenosu tepla **prouděním (konvekci)** dochází k šíření požáru plyny nebo kapalinami, nejčastěji kouřem, jehož vysoká teplota může vytvářet nová ohniska požáru v pásmu přípravy, případně v pásmu zakouření.

Sálavé teplo (radiace) šíří požár v podobě elektromagnetického vlnění, způsobeného výhřevností hořlavé látky. Dostatečnou odstupovou vzdáleností nebo nehořlavou překážkou je možné omezit dopad sálavého tepla na hořlavé látky.

Šíření požáru **vedením (kondukcí)** tepla souvisí s tepelnou vodivostí pevných látek, zejména kovů. K vedení dochází při styku pevných těles s rozdílnou teplotou. Nevodivé látky se používají jako izolační materiály (Vilímek, 2008).

3.5 Lesní požáry

Lesní požár definoval Holuša et al. (2018) slovy: „Lesním požárem se rozumí nežádoucí a nekontrolované hoření, které vznikne a šíří se v lese, nebo vznikne mimo les a rozšíří se do lesa, jenž má minimální plochu 0,5 ha a kde korunový zápoj tvoří alespoň 10 %, resp. 5 %.“

Podle Chromka (2006) při hoření lesního prostředí hoří celý soubor organických materiálů, ze kterých je lesní prostředí tvořeno.

Lesní požáry jsou považovány za jedny z nejsložitějších z hlediska jejich lokalizace a hašení. Plocha požáru bývá většinou rozsáhlá, těžko přístupná pro požární techniku z důvodu nedostatečné únosnosti terénu a jiných terénních podmínek. Problémy způsobuje také nedostatek hasební vody, jelikož jsou značně ztíženy možnosti jejího zásobování. Ne vždy je také možné odhadnout, jak se bude oheň v lese chovat. V případě náhlé změny směru nebo síly větru může dojít k ohrožení zasahujících hasičů nebo jejich vybavení. Hašení lesního požáru je navíc velmi fyzicky i časově náročné (Francl, 2007).

Nejčastější příčinou vzniku požáru v lese bývá činnost člověka, proto Zákon o lesích č. 289/1995 Sb. zakazuje některé činnosti, jako je kouření, rozdělávání nebo udržování otevřeného ohně, táboření mimo vyhrazená místa a odhazování hořících nebo doutnajících předmětů. K omezení vzniku požárů výrazně přispívá také zákaz vstupu do lesního komplexu vyhlášený státní správou či obcí v období extrémního sucha a zodpovědné chování dělníků pracujících v lese, především během pálení klestu (Berčák et al., 2018). Zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb. ukládá vlastníkům nebo uživatelům lesa v souvislých lesních porostech s celkovou výměrou nad 50 ha povinnost zajištění hlídkové činnosti v době zvýšeného nebezpečí vzniku požárů s dostatečným množstvím sil a prostředků požární ochrany pro včasné zjištění požáru v lesích a proti jeho šíření.

Podle Zprávy o stavu lesa a lesního hospodářství v České republice v roce 2019 bylo v tomto roce evidováno 1963 lesních požárů (v roce 2018 to bylo 2033 požárů), zasažená plocha lesních porostů činila cca 519,9 ha (v roce 2018 cca 492,2 ha). Z uvedeného počtu bylo v roce 2019 zaviněno lidskou činností 1665 požárů = přibližně 85 % (v roce 2018 to bylo 1737

požárů), především nedbalostí vzniklo 1594 požárů (v roce 2018; 1656). Z toho kouření způsobilo 143 požárů (v roce 2018; 238), žhářství 64 požárů (v roce 2018; 72). 27 požárů vzniklo v roce 2019 z přírodních příčin - úderem blesku (v roce 2018 to bylo 21 požárů).

3.5.1 Druhy lesních požárů

Lesní požáry dělíme podle nejnovější práce Chromka et al. (2018) na tři druhy: podzemní, pozemní a korunový.

Podzemní požár - jedná se o hoření rašeliny nebo vrstev vysokého humusu, uloženého pod rozsáhlými lesními celky. Objevují se velmi zřídka, většinou během suchého léta, kdy je vrstva rašeliny dostatečně proschlá. Obvykle oheň proniká do rašelinové vrstvy při pozemních požárech, a to na nejsušších místech, nejčastěji u kmenů stromů. Odtud se pak dále šíří do stran (Francl, 2007). U zdravých stromů žhnoucí rašelina poškozuje kořeny, tím se snižuje stabilita těchto stromů a hrozí vývraty nebo uhynutí. Při podzemních požárech v podstatě nevznikají plameny (Roy, 2003). Podzemní požáry se šíří velmi pomalu. Za den nepřesáhne rychlost šíření víc než dva až pět metrů (Chromek, 2006).

Pozemní požár - většina lesních požárů začíná a končí pozemním požárem (Thomas, McAlpine, 2010). Oheň se v tomto případě šíří pouze vrchní vrstvou vegetace jako je hrabanka, mech, tráva apod. Hoří také spodní části kmenů stromů a kořeny, které vystupují nad povrch půdy (Francl, 2007).

Podle zdroje hoření mají plameny různou výšku. V případě husté trávy nebo hrabanky bez klestu a větví mohou plameny dosahovat 0,05 - 0,5 m; borůvčí, brusinka nebo třtina vytváří plameny vysoké 0,6 - 1,5 m; jehličnatý podrost v kmenovině nebo kumulovaný těžební odpad hoří plameny vysokými 2 - 4 m (Nesterov, 1949).

Rozlišujeme pozemní požáry *rychlé* a *trvalé*. *Rychlé požáry* jsou časté hlavně na jaře, kdy je suchá pouze horní vrstva hořlavého materiálu. Dochází k rychlému šíření požáru, při němž hoří živý i mrtvý půdní příkrov, lesní podrost, opadané listí, suché jehličí, kořeny nad povrchem půdy, kůra ve spodní části kmenů a jehličnatý porost. *Trvalé požáry* vznikají převážně v létě, kdy je suchá

vrchní vrstva půdy. Oheň ji prohořívá, prohlubuje se, dochází k velkému ohoření kořenů a kůry stromů, ke shoření mladých porostů apod.

Korunový požár - k šíření dochází po lesním příkrovu i korunami stromů. Přejít z pozemního požáru nastává v porostech s nerovnoměrným vzrůstem, s nízkými korunami stromů nebo v hustém jehličnatém porostu. Zdrojem požáru je listí nebo jehličí, tenké a někdy i silné větve. Často dochází ke korunovým požárům v horách, kde se požár šíří po příkrých stráních.

Korunový požár dělíme na *rychlý* a *trvalý*. Rychlý požár způsobuje silný vítr. K jeho šíření dochází clonami, „skoky“ a někdy předbíhá přední okraj pozemního požáru. Clonu zahřívá teplo pozemního požáru. Vítr roznáší z hořících korun stromů jiskry, hořící větve a jehličí a zakládá tak nová ohniska požáru i ve větších vzdálenostech. Trvalý korunový požár se vyznačuje šířením ohně korunami stromů současně s okrajem pozemního požáru. Při korunových požárech hoří nejen koruny stromů, ale také hrabanka, větve (i silnější), kmeny stromů, mladé porosty (Francl, 2007).

3.5.2 Pozemní palivo

Kromě činností člověka nejvýrazněji ovlivňuje vznik a šíření požáru stav přízemní vegetace, klimatické podmínky, zejména dlouhodobé suché, teplé počasí bez srážek, rychlost a směr větru. Důležitým přírodním faktorem je nadmořská výška (ve vyšší nadmořské výšce je i vyšší půdní a vzdušná vlhkost, z tohoto důvodu představují větší riziko sušší nížiny). Další významné faktory ovlivňující lesní požáry jsou stáří porostu, skladba dřevin, porostní struktura, stav podrostu a půdní typ. Nejohroženější jsou jehličnaté monokultury a nejmladší věkové stupně porostů s vysokou přízemní vrstvou hořlavého materiálu. Riziko se výrazně snižuje u porostů bez zbytků dřeva, podrostu a nárostu lesních dřevin. Vyšší riziko přechodu od pozemního požáru ke korunovému hrozí v různověkých porostech (Šišák, 2007; Tomášek, 2007).

Klíčovou roli při požárech hraje pozemní palivo. Pro účely lesních požárů představuje pozemní palivo všeobecný pojem pro popis vlastností vegetace, které zásadním způsobem ovlivňují vývoj požáru. Palivo je na sobě uloženo ve třech vrstvách (podzemní, povrchové a korunové palivo). Jednotlivé vrstvy paliva tvoří palivový komplex.

Podzemní palivo představuje surový nadložní humus - vrstvu mezi půdou bez dostatečného množství organické hmoty a hrabankou a je tvořeno rozkládající se vegetací (půdním dřevem v podobě rozkládajících se mrtvých kořenů a pařezů a humusem).

Mezi **povrchové palivo** je zahrnována veškerá živá i mrtvá vegetace nad surovým humusem (lišejníky, mechy, trávy a byliny, keře a malé stromy, spadané listí a jehličí, opadaný dřevěný materiál jako větvičky a větve, šišky). Čím více je v porostu paliva, tím intenzivněji a déle probíhá hoření.

Zdrojem energie **korunového paliva** jsou listy, malé větve a větvičky vzrostlých stromů a vysokých keřů, které dosahují korun stromů (Pyne et al., 1996).

3.6 Lesní vegetace

Les je společenstvo stromů s určitou mírou autoregulačních, samoudržovacích procesů. Jedná se o dynamické společenstvo populací druhů dřevin, ale i bylinného podrostu a keřů, živočichů, hub, lišejníků a mikroorganismů. Les vytváří vlastní vnitřní prostředí se zvláštním tepelným, vlhkostním, světelným, hydrodynamickým a aerodynamickým režimem. Také se vyznačuje zvláštním půdním prostředím, daným ekologickými podmínkami (Šefl, 2014).

3.6.1 Vlivy na složení lesní vegetace

V souvislosti s nadmořskou výškou terénu se vytváří různé životní podmínky pro vegetaci. V nížinách se tak vyskytuje jiná druhová skladba než v horách. Lišit se může i celkový vnější vzhled (fyziognomie) vegetace. Tyto rozdíly jsou způsobeny odlišnými klimatickými podmínkami jako průměrná teplota vzduchu, množství srážek a jiné abiotické faktory prostředí (Zeidler, Banaš, 2013).

Kromě klimatických podmínek život rostlin zásadním způsobem ovlivňují půdní poměry. Projevují se zejména na vzrůstu, hojnosti výskytu, konkurenceschopnosti apod. Klima se na malé ploše v podstatě neliší. Mezi půdními podmínkami vznikají na malých plochách výrazné rozdíly, které ovlivňují složení vegetace. Jednotlivé porosty jsou tvořeny rostlinami v závislosti

na jejich nárocích na živiny, vláhu, provzdušnění půdy a další půdní vlastnosti, ale také rostlinami, pro které jsou některé půdní vlastnosti téměř bezvýznamné. Na základě výskytu lesní vegetace můžeme určit, jaké vlastnosti má půda.

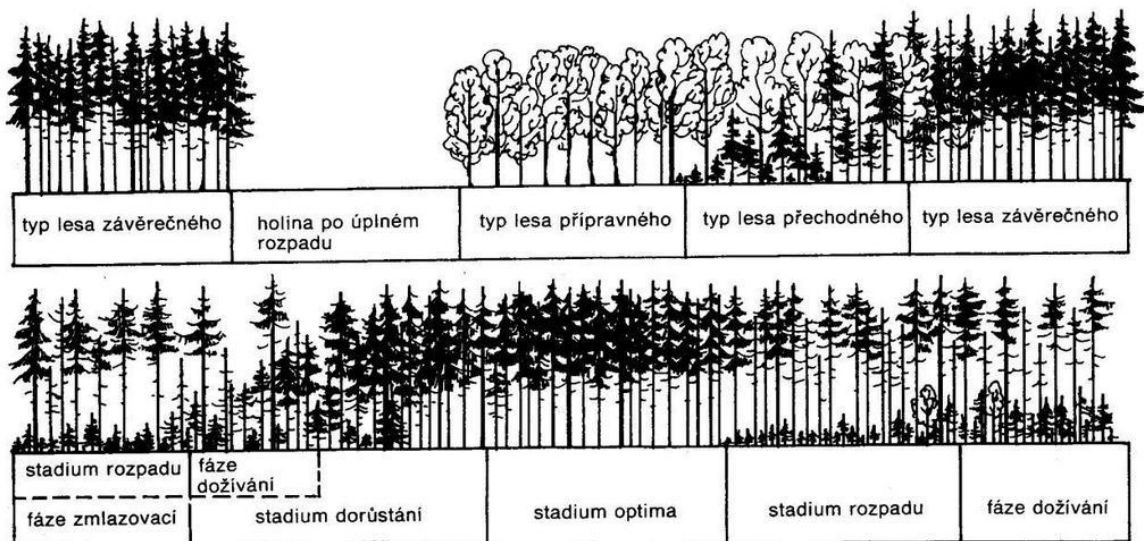
Lesní vegetace je jako indikátor půdních vlastností významná zejména v případě, kdy se jejich hodnoty v průběhu roku mění. Jde např. o posouzení vlhkostních poměrů půdy a souvisejícího provzdušnění, kde bychom jinak museli tyto vlastnosti zjišťovat pomocí dlouhodobého měření vlhkosti půdy. Využití lesní vegetace jako ukazatele půdních vlastností lze využít pro posouzení vhodnosti druhové skladby nebo provádění určitých zásahů (např. příprava půdy, způsob provedení výsadby aj.).

Důležitá je ale také skutečnost, že některé druhy rostlin, především pomalu rostoucí s nízkým vzrůstem, bývají v konkurenčním boji o vodu, světlo, živiny a prostor vytlačeny vyššími rychleji rostoucími rostlinami na stanoviště, která jim nevyhovují. Zde pak převládají, ačkoli jejich optimum je jinde (Mráz, Samek, 1966).

3.6.2 Vývojové cykly lesa

V přírodních lesích probíhají 2 generační cykly: *Velký vývojový cyklus* a *malý vývojový cyklus*.

Na následujícím obrázku č. 2 je zobrazen velký vývojový cyklus (nahore), charakteristický plošnými rozpady lesa, vyskytující se konkrétně v boreální tajgové zóně ve Skandinávii, na Sibiři a v Severní Americe a malý vývojový cyklus (dole) typický pro středoevropské smíšené lesy, zobrazující přírodní smrčiny ve smrkovém vegetačním stupni vklíněném do zóny listnatých opadavých a smíšených středoevropských lesů v oblasti středního Slovenska ve výšce 1200 - 1400 m n. m.



Obrázek 2: Znárodnění velkého a malého vývojového cyklu smrčín (Míchal a kol., 1992)

Velký vývojový cyklus lesa - začíná jako sekundární sukcese na lesní půdě zcela zbavené souvislého lesního porostu dřevin. Šířením světlomilných pionýrských dřevin dochází k tvorbě tzv. **přípravného lesa**. V něm se postupně uchycují klimaxové dřeviny a vzniká **les přechodný**, složený z vrstevnaté kombinace dřevin pionýrských a klimaxových. Pionýrské dřeviny jsou postupně vytlačovány a nahrazovány klimaxovými dřevinami, až vznikne les, ve kterém převažují klimaxové dřeviny. Tento les se označuje jako tzv. **les závěrečný (klimax)**.

Malý vývojový cyklus lesa - v klimaxovém lese probíhá cyklické střídání vývojových stádií **dorůstání, zralosti (optima) a rozpadu** (Košulič, 2010).

Ve stádiu dorůstání nastává intenzivní růst jedinců nové generace (Vacek et al., 2007). Zastoupeny jsou především stromy ve spodní nebo střední etáži s vysokou vitalitou a vysokým zapojením. Mortalita stromů v horní etáži je nízká. Pokud dojde k náhodnému předčasnému odumření stromů nové generace nebo zbylých stromů z předchozího vývojového cyklu, jsou mezery v porostním zápoji rychle zapojeny. Konec tohoto stádia se vyznačuje vyrovnáním i velmi výškově rozrůzněných porostů. Následuje stádium optima, během kterého dochází k rozvolnění zápoje, počet stromů v porostu se snižuje, většinou jsou zastoupeny stromy s největší tloušťkou. Porost vypadá homogenní. Ve stádiu rozpadu vzniká značně nepravidelná prostorová struktura

porostu, mezi hloučky stromů se vytváří světliny (Poleno et al., 2007). Nastupující porost se prosazuje stále víc a starý porost dožívá. Nastává opět stádium dorůstání, malý vývojový cyklus se tak opakuje (Vacek et al., 2007).

Malý vývojový cyklus probíhá na plochách od 0,3 do několika ha. Jednotlivá vývojová stádia mohou trvat několik desítek až stovek let podle podmínek stanoviště a druhového složení (Podlaski, 2004).

Ve střeoevropských smíšených lesích opadavých listnáčů obvykle dochází k obnově v rámci klimaxu v malém vývojovém cyklu. Velký vývojový cyklus po katastrofických holinách zde nebývá příliš častý (Míchal, 1992).

3.6.3 Přírozená obnova

Vývoj lesa ovlivňuje skutečnost, zda došlo k úplnému nebo pouze částečnému odstranění vegetace. Úplné odstranění vegetace nastává po těžbě. Půda je narušena, odstraněním veškerého dřeva na plochu dopadá více světla. Nastává změna u podmínek prostředí, semenáčky nemají k dispozici chráněná mikrostanoviště. Schopnost přirozené regenerace je po těžbě výrazně nižší (Jonášová et al., 2010). Kromě toho na otevřenou plochu dopadá více srážek, čímž může docházet k zamokřování pasek a také se mění klimatické podmínky. Během dne dochází k velkým teplotním výkyvům (Šmilauer, 1990).

Při částečném odstranění vegetace (např. poškozením vichřicí či kůrovci) může les regenerovat. Odstraněním stromového patra dopadá na podrost více světla, což vede k rozšíření světlomilných druhů (Firm et al., 2009). Na složení a vývoj semenáčků mají vliv především klimatické podmínky jako teplota, srážky, vítr, dále vlastnosti půdy (živiny, struktura, dostupnost vody) a další. Kromě více světla, potřebného pro růst, se na plochu dostane také více vody a dusíku (Heinrichs, Schmidt, 2009). Na vlhké půdy s vysokým množstvím živin expandují bylinné vrstvy (především trávy), které zabraňují růstu dřevin (Prach, 2003).

Novou plochu začínají nejprve kolonizovat ruderální druhy bylin (McEvoy et al., 2006). Hlavní ruderální druhy v počátečním sukcesním stádiu představují starčeky (*Senecio*, spp., *Asteraceae*), jednoleté byliny (Prach et al., 2008). Po roce až třech letech je nahrazují dvouleté a trvalé byliny (Šmilauer, 1990) jako metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), vrbka úzkolistá (*Epilobium*

angustifolium), třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*) v nižších polohách, nebo třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*) ve vyšších polohách (Prach et al. 2008). Podle McEvoy et al. (2006) mají tyto byliny připravit lepší podmínky narušené a na živiny chudé půdy pro další druhy. V dalším vývoji se objevují polokeře jako např. ostružiník (*Rubus spp.*) a keře a prosazují se již i ranně sukcesní dřeviny jako bříza (*Betula spp.*), vrba jíva (*Salix caprea*), topol (*Populus tremula*), jeřáb (*Sorbus spp.*), bez (*Sambucus spp.*) (Prach et al., 2008). Všechny uvedené druhy bylin i dřevin mají lehká semena, proto jsou dobře šířena větrem, příp. zvěří (Heinrichs, Schmidt, 2009). V závěrečném stádiu vývoje vegetace převládají pozdně sukcesní dřeviny (Šmilauer, 1990).

3.7 Lesnická typologie

3.7.1 Lesní typ

Český lesnický klasifikační systém vychází zejména z trvalých podmínek prostředí. Je založen na Zlatníkově (1956) definici lesního typu: „Lesní typ je soubor lesních biocenóz, původních i změněných a jejich vývojových stadií včetně prostředí, tedy geobiocenóz vývojově k sobě patřících.“ Lesní typ slouží jako základní jednotka v typologickém klasifikačním systému pro diferenciaci růstových podmínek. Vyznačuje se kombinací druhů příslušné fytocenózy, půdními vlastnostmi, potenciální bonitou dřeva a výskytem v terénu. Jedná se o část lesa se stejnými růstovými nebo ekologickými podmínkami, s určitým rozpětím potenciální produkce původních i nepůvodních dřevin. Jednotlivé lesní typy jsou spojené na základě ekologické příbuznosti, charakteristické hospodářsky významnými vlastnostmi stanoviště, do souborů lesních typů. Soubory lesních typů jsou uspořádány do tzv. ekologické sítě, vyjádřené půdními kategoriemi a lesními vegetačními stupni (dále také „LVS“) (Viewegh, 2003).

3.7.2 Lesní vegetační stupně

1. LVS – dubový - je typický pro teplomilnější a vysýchavé polohy, v nadmořské výšce do 350 m, v oblastech s průměrným ročním úhrnem srážek do 600 mm, průměrnou roční teplotou jsou vyšší než 8°C a vegetační období je delší než 165 dní.

2.LVS – bukodubový - objevuje se v oblastech s výškou mezi 350 - 400 m n. m., kde se průměrná roční teplota pohybuje mezi 7,5 - 8°C, úhrn ročních srážek je 600 - 650 mm a vegetační doba je v rozmezí 160 - 165 dní. Dřeviny jsou zastoupeny především dubem zimním (*Quercus petraea*), přimíšen je buk lesní (*Fagus sylvatica*) a habr obecný (*Carpinus betulus*), na suchých a exponovaných místech se může vyskytovat dub cer a pýřitý.

3. LVS – dubobukový - zaujímá lokality s nadmořskou výškou 400 - 550 m. Průměrná roční teplota se pohybuje v rozmezí 6,5 - 7,5°C, roční úhrn srážek je okolo 650 - 700 mm, vegetační období trvá 150 - 160 dní. Dominantní dřevinou je buk lesní s příměsí dubu zimního a habru obecného. Společenstva jsou obvykle velmi travnatá.

4. LVS – bukový - oblasti v nadmořské výšce 550 - 600 m, kde průměrná roční teplota je mezi 6,5 - 7,5°C, úhrn ročních srážek 690 - 800 mm a vegetační doba trvá 140 - 150 dní.

5. LVS – jedlobukový - vyskytuje se v nadmořské výšce 600 - 700 m, průměrná teplota je 5,5 - 6,5°C, úhrn ročních srážek 800 - 980 mm, délka vegetačního období je 130 - 140 dní.

6.LVS – smrkobukový - lokality v nadmořské výšce 700 - 900 m, průměrná teplota se zde pohybuje v rozmezí 4,5 - 5,5°C, ročně spadne 900 - 1050 mm srážek, vegetační doba trvá 115 - 130 dní.

7.LVS – bukosmrkový - zahrnuje oblasti v nadmořské výšce 900 - 1050 m, průměrná teplota dosahuje 4,0 - 4,5°C, roční srážky jsou v úhrnu 1050 - 1200 mm a doba vegetace trvá 100 - 115 dní.

8. LVS – smrkový - vyskytuje se v oblastech s nadmořskou výškou 1050 - 1350 m, průměrnou roční teplotou 2,5 - 4,0°C, průměrným ročním úhrnem srážek 1200 - 1500 mm a délkou vegetace 60 - 100 dní.

9. LVS – klečový - vyskytuje se v nadmořské výšce nad 1350 m, kde se průměrná roční teplota pohybuje do 2,5°C, úhrn ročních srážek činí více než 1500 mm a vegetační doba je do 60 dní (Plíva, 1987, Viewegh, 2003).

0. LVS – bory - týkají se přirozených stanovišť borovic, nejsou ovlivněny klimatickou stupňovitostí ale půdními vlastnostmi. Jedná se o písčité půdy, hadce, vápence, rašeliny, skalnaté oblasti (Viewegh, 2003).

3.7.3 Ekologické řady

Vyjadřují rozlišení růstových podmínek podle trvalých půdních vlastností v horizontálním členění ekologické sítě typologického systému. Diferenciace jsou vyjádřeny edafickými kategoriemi uspořádanými do ekologických řad. Základem celého systému jsou kategorie **kyselá, živná a obohacená humusem (javorová)**, které nejsou ovlivněny vodou. Jejich ekologickou povahu určuje charakter jejich fytocenóz (lesních společenstev). Fytocenózy jednotlivých kategorií **extrémní** řady určuje výraznější znak extrémního stanoviště. Stanoviště **ovlivněná vodou** jsou dána vlastností vody a stupněm jejího ovlivnění. Mezi tyto stanoviště patří řady: **obohacená vodou (jasanová), oglejená, podmáčená a rašelinná**. Také u těchto stanovišť hraje důležitou roli bohatost půdy. Jednotlivé kategorie mohou mít základní nebo vedlejší postavení v řadě, případně se může jednat o přechod k jiné řadě. Pro označení řady se používá symbol její základní kategorie v závorce.

3.7.4 Edafické kategorie

Tvoří rámec souboru lesních typů v jednotlivých vegetačních stupních. Rozlišují se podle hospodářsky významných vlastností půdy. Kromě ekologických vlastností hrají důležitou roli pro vymezení edafických kategorií a souborů lesních typů i předpoklady a zaměření lesního hospodaření. Pro charakteristiku kategorií je to funkční zaměření lesa a ekologické účinky porostů (protierozní, vodoochranné, srážkotvorné a další), pro hodnocení souborů lesních typů jde o údaje o průměrné přirozené a cílové skladbě, hodnotě produkce, bonitě dřevin a ohrožení půdy i lesních porostů (Viewegh, 2003).

Řada (B) živná:

základní kategorie: **B - bohatá**, vedlejší kategorie: **C - vysýchavá** (slunné polohy, čediče, vápence), **F - svahová kapradinová** (svěží, kamenitá, typické jsou kapradiny), **H - hlinitá** (hlinité půdy a spraše), **W - vápencová** (na karbonátových substrátech), přechodná kategorie: **S - středně bohatá**.

Řada (K) kyselá:

Základní kategorie: **K - kyselá**, vedlejší kategorie: **N - kamenitá** (exponovanější, svažité, kamenité polohy), **I - uléhavá** (na chudších hlínách), přechodová kategorie: **M - chudá**

Řada (Z) extrémní:

základní kategorie: **Z - zakrslá** (převážně na silikátovém podloží), **X - xerothermní** (na bazickém podloží), přechodová kategorie: **Y - skeletová**.

Řada (J) obohacená humusem (javorová):

základní kategorie: **J - suťová**, přechodové kategorie: **D - hlinitá**, **A - kamenitá**.

Řada (L) obohacená vodou (jasanová):

základní kategorie: **L - lužní**, vedlejší kategorie: **U - údolní**, přechodná: **V - vlhká**.

Řada (P) oglejená (pseudoglejová):

základní kategorie: **P - kyselá** (pseudoglej), vedlejší kategorie: **Q - chudá** (oglejený podzol), přechodová kategorie: **O - středně bohatá** (oglejená).

Řada (G) podmáčená (glejová):

základní kategorie: **G - středně bohatá** (gleje), vedlejší kategorie: **T - chudá** (trvale zamokřená).

Řada (R) rašelinná:

kategorie **R – rašelinná** (Viewegh, 2003).

3.7.5 Řada živná

Řada (B) živná - zahrnuje soubory lesních typů na minerálně středně bohatých až velmi bohatých půdách, dobře provzdušněných, obvykle s příznivou vlhkostí a dobrou humifikací. Zpravidla se jedná o půdy geneticky plně vyvinuté. Nejčastěji se objevují druhy jako *Galium odoratum*, *Dentaria bulbifera*, *Carex digitata*, *Oxalis*, *Athyrium filix femina*, *Rubus hirtus*, *Carex pilosa* (převážně ve 2. a 3. LVS), *Dactylis glomerata*, *Melica uniflora*, *Poa angustifolia*, *Brachypodium sylvaticum* a další. Mezi významné hospodářské

znaky patří vysoká produkce a sklon k silnému zabuřnění. Smrkové (i jedlové) porosty mají v poměru ke koruně menší kořenový systém, což způsobuje jejich nízkou stabilitu a jsou tak ohrožovány větrem.

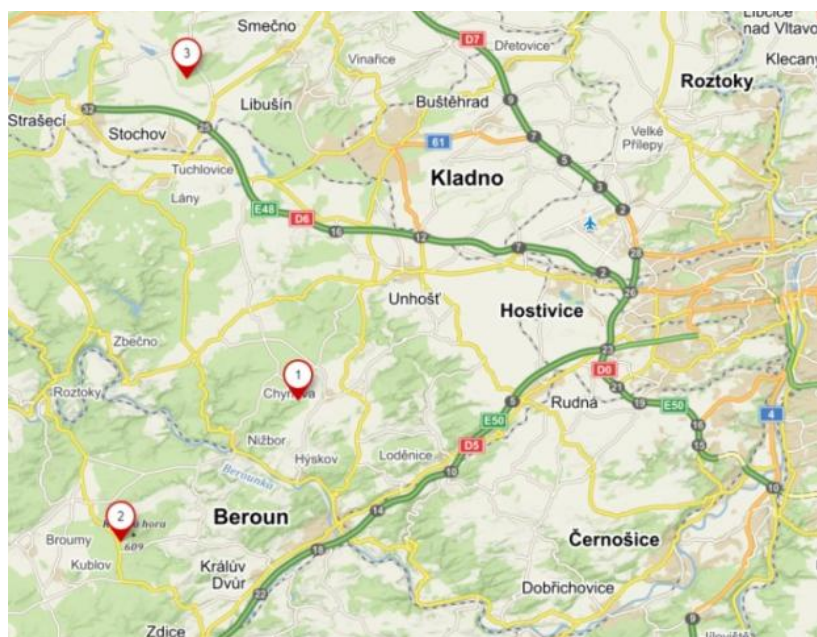
3.7.6 Řada kyselá

Řada (K) kyselá - nejvýznamněji zastoupená řada na minerálně chudých kyselých půdách, které jsou geneticky vyvinuté. Většinou jsou dobře provzdušněné. Mají zhoršenou humifikaci. V důsledku horšího vodního režimu snadněji vysychají. Nejvíce jsou zastoupeny acidofilní druhy jako *Luzula luzuloides*, *Carex pilulifera*, *Festuca ovina*, *Calamagrostis villosa*, *Dryopteris carthusiana* a acidofilní mechy. V chudých kategoriích se často objevuje *Vaccinium myrtillus* a *Vaccinium vitis - idaea*. Řada se vyznačuje průměrnou až podprůměrnou produkcí. Častěji dochází k přirozené obnově díky slabšímu zabuřnění. Porosty jsou odolnější proti vývrátům (Viewegh, 2003).

4 Metodika

4.1 Charakteristika vybraných území

V rámci zpracování bakalářské práce byly vybrány 2 lesní hospodářské celky (dále jen „LHC“) spadající do přírodní lesní oblasti Křivoklátsko a Český kras. Oba celky se nachází ve Středočeském kraji. Jde o LHC Nižbor, Lesy České republiky, s.p., ve kterém byl vybrán revír Krušná hora a LHC Nouzov, Vojenské lesy a statky ČR, s.p., kde byly zvoleny 2 lokality: lokalita Chýňava a lokalita Drnek (obr. 3).



Obrázek 3: Mapa s vyznačením vybraných lokalit: 1 - Chýňava, 2 - Krušná hora, 3 - Drnek (zdroj: Mapy.cz - upraveno)

4.1.1 LHC Nižbor, Lesy ČR, s.p.

V LHC Nižbor byl pro terénní měření zvolen revír Krušná Hora: KÚ Hudlice nacházející se v okrese Beroun a KÚ Roztoky u Křivoklátska spadající pod okres Rakovník. Tento revír s rozlohou 1957 ha je součástí Hudlické vrchoviny. Jedná se o strukturně denudační povrch, s četnými denudačními plošinami a výraznými sukly, vytvořený z proterozoických břidlic, prachovců, drobných s vložkami silicitů (bulžňáků) a s útržky silně zvrásněných ordovických křemenců, bazaltů (diabasů) a břidlic s ložisky železných rud. Nachází se zde převážně 3. a 4., částečně i 2. lesní vegetační stupeň. Oblast je pokryta

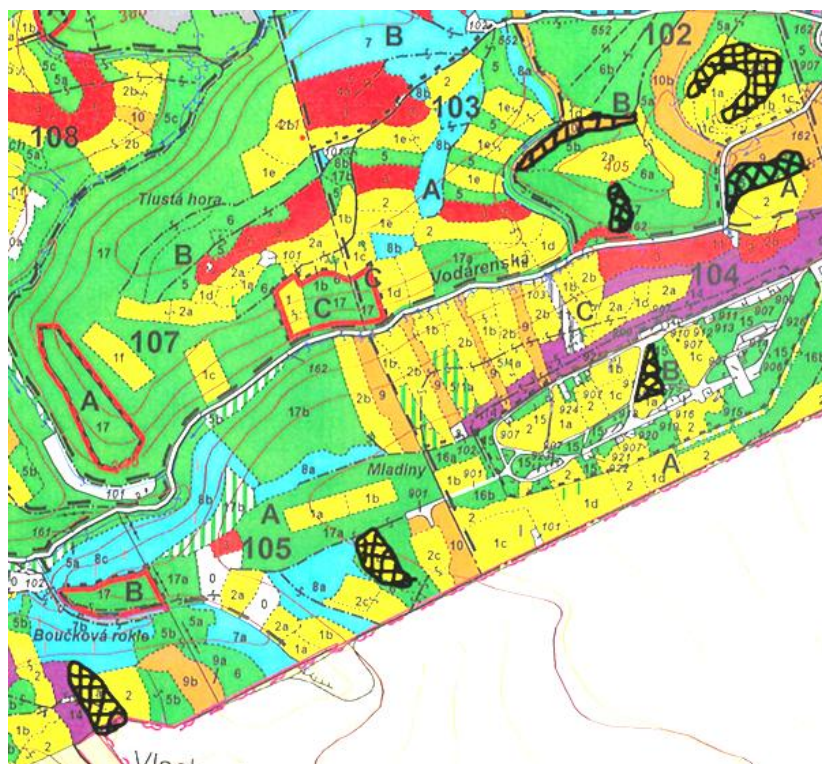
ze 60 % smíšenými porosty dubu, modřínu a borovice, objevují se zde četné bučiny, doubravy, dubohabřiny, smrkové porosty s modřínem i borové porosty.

Nejvyšším bodem Hudlické vrchoviny je Krušná hora (608,9 m) vzdálená 2,5 km od obce Hudlice. Jedná se o výrazný strukturní hřbet barrandienského směru vytvořený z křemenců, s historicky nejvýznamnějším ložiskem železné rudy na Křivoklátsku. Skalnaté vrcholky a příkré svahy s hlubokými údolími tvoří velmi členitý reliéf. Asi 70 % této oblasti pokrývá stará bučina s bohatým bylinným podrostem, zbývající část představují mladé porosty smrku a modřínu.

Na severovýchodním úpatí hory vznikly po těžbě antropogenní tvary - odvaly, haldy, či poddolovaná místa se zbytky štol (Demek, Mackovčín, 2006). V oblasti byla založena v letech 2014 - 2015 Naučná stezka Krušná Hora - Hudlický vrch.

4.1.2 LHC Nouzov, Vojenské lesy a statky ČR, s.p.

Jedná se o odloučený LHC, spravovaný divizí Hořovice, který se skládá ze tří částí: Beroun, Poteplí a Obora. Pro terénní měření zde byla vybrána jednak lokalita Chýňava, spadající do okresu Beroun (obr. 4). Tato lokalita leží v Chýňavské pahorkatině, nacházející se v severovýchodním výběžku Zbirožské vrchoviny. Jde o členitou pahorkatinu o rozloze 77,02 km², tvořenou převážně z ordovických drob a břidlic s křemenci a bazalty s pyroklastikami. V menší míře se objevují proterozoické břidlice a droby. Povrch je mírně zvlněný, erozně denudační, rozčleňují ho přítoky Berounky. Převažuje 2. a 3. LVS, objevuje se i 4. LVS. Nejvyšší bod Višňová měří 467,1 m. Zhruba 50 % je pokryto dubovými, smrkovými a borovými porosty s modřínem. Nacházejí se zde antropogenní tvary jako odvaly, lomy a hlinišťe. Chýňavskou pahorkatinou prochází dálnice D5 z Prahy do Plzně (Demek, Mackovčín, 2006).



Obrázek 4: Lokalita Chyňava - porostní mapa s vyznačením zvolených porostů (vyznačeno černým šrafováním) (zdroj: Vojské lesy a statky ČR, s.p. - upraveno)

Druhou zvolenou oblastí spadající pod LHC Nouzov je lokalita Drnek (KÚ Drnek, KÚ Hradečno a KÚ Jedoměřice) ležící v okrese Kladno. Je součástí Srbečské pahorkatiny. Jedná se o členitou pahorkatinu až plochou vrchovinu, která se rozkládá na ploše 116,35 km². Je vytvořena převážně slínovci a spongility (opukami) turonského bělohorského souvrství, podložními pískovci a jílovci cenomanského perucko-korycanského souvrství a permokarbonskými prachovci, jílovci, pískovci, arkózami a slepenci. Oblast rozčleňují široká údolí zejména v povodí Bakovského potoka. Vyskytuje se zde 2. - 4. LVS. Asi 50 % povrchu je tvořeno smrkovými a borovými porosty s modřínem, místy s příměsí buku a dubu. Nejvyšším bodem pahorkatiny je Meziluží nacházející se v nadmořské výšce 524 m (Demek, Mackovčín, 2006).

4.2 Postup při výběru studijních ploch

Ve spolupráci se správci vybraných oblastí byly nejprve vytipovány vhodné porosty, splňující požadavky metodiky práce. Jako podklady byly použity hospodářské knihy a porostní mapy. Porosty musely mít zastoupení listnatých dřevin alespoň 60 % a plocha těchto porostů měla být minimálně 0,5 ha. Zároveň se porosty měly nacházet v oblastech 2. a 3. lesního

vegetačního stupně, v živné a kyselé ekologické řadě. Porosty byly rozděleny do 4 stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů tak, aby bylo možné zkoumat rozdíly v pozemním palivu v závislosti na věku porostu.

Do **1. stádia - založený porost** byly zařazeny porosty ve věku **1 - 5 let**, tedy mladé porosty s výškou přibližně do 150 cm, u kterých se předpokládá, že zde bude velké množství vegetace a že stromky ještě nebudou zapojeny. Z důvodu častého poškozování spárkatou zvěří bývají tyto porosty chráněny oplocenkami (obr. 5).



Obrázek 5: Založený porost (foto: M. Olszewiczová)

2. stádium - zapojený porost tvořily porosty ve věku **6 - 20 let**. V tomto stádiu se již předpokládá plné zapojení, porosty jsou velmi husté, těžko přístupné a tmavé. Vegetace se zde v podstatě nevyskytuje. V těchto porostech dochází k redukci jednak intenzivním přirozeným prořezováním, ale také výchovnými zásahy (obr. 6).



Obrázek 6: Zapojený porost (foto: M. Olszewiczová)

Do **3. stádia - dospívající porost** byly zahrnuty porosty ve věku **21 - 60 let**. Jde o porosty, ve kterých v důsledku dlouhodobého zápoje odumírají spodní větve stromů a dochází k intenzivnímu přirozenému vylučování slabších

jedinců. Porosty začínají odrůstat a následně dochází k jejich prosvětlování. Zřídka se již začíná objevovat vegetace (obr. 7).



Obrázek 7: Dospívající porost (foto: M. Olszewiczová)

Poslední **4. stádium - dospělý porost** představují porosty ve věku **60 a více let**. Zde se jedná o porosty, které již dosáhly mytní zralosti. Dochází k postupnému snižování zakmenění a v důsledku prosvětlení porostu se objevuje nálet a zvyšuje se podíl vegetace (obr. 8).



Obrázek 8: Dospělý porost (foto: M. Olszewiczová)

V každém z těchto 4 stádií byly zvoleny 4 porosty v ekologické řadě živné a 4 porosty v ekologické řadě kyselé. Celkem tak bylo vybráno 32 porostů.

4.3 Postup při terénním měření

S pomocí porostní mapy byly v terénu vyhledány vybrané porosty. V každém z nich byla založena studijní plocha o velikosti 1 m². Při výběru plochy bylo postupováno tak, aby struktura plochy co nejlépe reprezentovala celou porostní skupinu. Zároveň bylo voleno takové místo, aby se nacházelo vždy alespoň 15 m od hranice sousedící porostní skupiny, lesních cest, přibližovacích linek a kotlíků jehličnatých dřevin, vyskytujících se v porostech. Pokud to bylo možné, nebyly plochy zakládány ve svahu ani v prohlubních.

Po vytyčení studijní plochy byla odhrabána nadzemní biomasa okolo plochy, aby do měření byly zahrnuty jednotlivé segmenty paliva skutečně pouze

z plochy o velikosti 1 x 1 m. Každá plocha byla viditelně označena pořadovým číslem a byl pořízen její fotografický snímek (obr. 9). Do formuláře byly o každé ploše zaznamenány základní údaje. Byly zapsány údaje o porostu, lesním typu, věku, dále byly zaznamenány přesné souřadnice, číslo studijní plochy, stručný popis porostu apod. Následně byly do připravené nádoby postupně odebírány z celé plochy jednotlivé segmenty pozemního paliva, které byly pomocí závěsné váhy zváženy, a naměřená hodnota byla zanesena do formuláře. Nejprve byl ze zkusné plochy vybrán veškerý dřevěný materiál. Další vrstvu tvořila vegetace - mech, byliny, trávy a nálet, pokud se na studijní ploše nacházely. Třetím odebíraným materiálem byla hrabanka a na závěr byla zjištěna váha humusové vrstvy (A humusový horizont) až k povrchu B horizontu. Z každé vrstvy byl po zvážení odebrán vzorek pro laboratorní zjištění vlhkosti paliva. Získané výsledky byly podkladem pro dopočítání hmotnosti sušiny. Po dokončení všech prací byly studijní plochy uvedeny do původního stavu.

Při terénním měření bylo použito několik pomůcek jako vzorník na odměření zkusné plochy 1 x 1 m, nádoba na odebíraný materiál, lopatka, rýč, závěsná váha, sáčky na odebírané vzorky, rukavice, telefon k určení souřadnic a formuláře.



Obrázek 9: Studijní plocha (foto: M. Olszewiczová)

4.4 Laboratorní měření

Po terénním měření následovalo zpracování odebraných vzorků v laboratoři (obr. 10). Pomocí analyzátoru vlhkosti byla stanovena vlhkost jednotlivých segmentů paliva. Měření probíhalo tak, že každý vzorek byl postupně vložen do analyzátoru, přístroj zaznamenal jeho hmotnost a poté byl vzorek zahříván při 150 °C. Při ohřevu se ze vzorku postupně odpařovala voda. Poté, co se hmotnost vzorku i přes další ohřev přestala měnit, přístroj zobrazil rozdíl hmotností na displeji jako vlhkost vyjádřenou v procentech. Tato hodnota byla zaznamenána do formuláře. Měření jednotlivých vzorků trvalo většinou okolo 3 - 5 minut.

Získané hodnoty byly přeneseny do databáze v programu MS Excel a na jejich základě byla dopočítána hmotnost sušiny jednotlivých segmentů pozemního paliva.



Obrázek 10: Laboratorní zpracování vzorků pomocí analyzátoru vlhkosti (foto: M. Olszewiczová)

4.5 Stanovení spalného tepla

Další částí laboratorního měření bylo stanovení množství tepelné energie, kterou jsou schopny jednotlivé vzorky vyprodukovat. Měření předcházela příprava vzorků. Nejdříve byly vzorky vysušeny. Suchý materiál byl poté rozemlet na nožovém laboratorním mlýnku (obr. 11) na malé částičky cca do 1 mm a na peletovacím lisu na přípravu laboratorních vzorků (obr. 12) byly z namletého materiálu vytvořeny malé pelety o průměru 1 cm. Měření spalného tepla probíhalo v poloautomatickém kalorimetru IKA C200 s manuálním napouštěním vody a kyslíku (obr. 13). Před měřením byl kalorimetr kalibrován za použití tablety kyseliny benzoové. Postup následného

měření jednotlivých vzorků probíhal stejně jako kalibrace. Na zapalovací drátek rozkladné tlakové nádoby byla navázána zapalovací bavlnka, do držáku na elektrodě bomby byl vložen nerezový spalný kelímek a bavlnka byla umístěna na dno kelímku. Vzorek byl zvážen na analytické váze s přesností na desetitisícinu gramu (obr. 14). Průměrná váha vzorku se pohybovala okolo 0,5 g. Vzorek byl vložen do kelímku tak, aby se dotýkal vláken. Poté byla bomba zajištěna pomocí spojovací matice a naplněna kyslíkem z plnicí kyslíkové stanice na tlak cca 3 MPa. K bombě byl připevněn zapalovací adaptér a bomba byla vložena do kalorimetru. Po jeho uzavření byla zadána hmotnost vzorku. Do kalorimetru byla nalita voda o teplotě v rozmezí 20 - 25°C. Měření probíhalo přibližně 8 minut. Po uplynutí této doby byla zaznamenána naměřená hodnota v J/g a tlaková nádoba byla z kalorimetru vyndána a odvzdušněna. V případě bezproblémového průběhu byl vzorek spálen, případně zůstal nespalitelný materiál. Jednotlivé části nádoby byly očištěny a použity pro další měření.



Obrázek 11: Nožový laboratorní mlýnek (foto: M. Olszewiczová)



Obrázek 12: Peletovací lis (foto: M. Olszewiczová)



Obrázek 13: Kalorimetr IKA C200 a plnicí kyslíková stanice (vlevo), rozkladná tlaková nádoba (vpravo) (foto: M. Olszewiczová)





Obrázek 14: Analytická váha (foto: M. Olszewiczová)

4.6 Zpracování dat

Veškerá data získaná při laboratorním měření byla zanesena do databáze z terénního měření v programu MS Excel a následně byla statisticky zpracována a vyhodnocena. Z ověřování normality dat vyplývalo, že data nemají normální rozdělení, proto byl pro vyhodnocení použit Kruskal-Wallisův test. Jedná se o neparametrickou statistickou metodu, která se používá k porovnání, zda mezi dvěma nebo více nezávislými vzorky existují statisticky významné rozdíly.

Za použití Kruskal-Wallisova testu byla testována významnost rozdílů na hladině významnosti 95 % ($p = 0,05$) u množství jednotlivých segmentů pozemního paliva v závislosti na růstových stádiích porostů z hlediska problematiky lesních požárů. Dále byly zjištěny rozdíly mezi energií uloženou v jednotlivých segmentech pozemního paliva a rozdíly energie v palivu na m^2 (s humusem a bez humusu) v závislosti na jednotlivých stádiích porostu. Výsledky byly graficky znázorněny ve formě boxplotů (krabicových grafů).

5 Výsledky

5.1 Vyhodnocení výsledků kvantifikace sušiny jednotlivých segmentů pozemního paliva

Tabulka 1: Popisná statistika hmotnosti sušiny jednotlivých segmentů pozemního paliva v různých stádiích porostu z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m²

stádium porostu podle věku	segment pozemního paliva	průměr	minimum	maximum	směrodatná odchylka
1.	vegetace	0,318938	0,175000	0,588000	0,157284
	dřevo	0,117994	0,037850	0,345200	0,102235
	hrabanka	0,138625	0,073000	0,284000	0,075309
	humus	6,012988	0,927600	10,380000	3,565857
2.	vegetace	0,006187	0,000000	0,024500	0,009000
	dřevo	0,217744	0,037500	0,634500	0,196505
	hrabanka	1,083913	0,140000	2,485000	0,846780
	humus	4,513263	2,128500	14,250600	4,029059
3.	vegetace	0,006938	0,000000	0,033000	0,011966
	dřevo	0,399606	0,605000	0,847600	0,264368
	hrabanka	0,584625	0,294000	1,200000	0,322678
	humus	4,332513	0,241200	7,190000	2,529724
4.	vegetace	0,059438	0,007500	0,156000	0,060677
	dřevo	0,271500	0,041550	0,712000	0,225586
	hrabanka	0,512000	0,260000	0,819000	0,221882
	humus	3,278575	0,105000	8,673000	2,969633

Jak je patrné z tabulky 1, nejvyšší průměrné zastoupení hmotnosti sušiny je ve všech stádiích z hlediska problematiky lesních požárů u segmentu paliva humus. V zapojeném, dospívajícím a dospělém porostu následuje hrabanka, pak dřevní materiál a nejmenší průměrnou hmotnost má segment vegetace. Pouze v založeném porostu (1 - 5 let) - následuje po humusu segment vegetace, pak hrabanka a nejnižší zastoupení má dřevěný materiál.

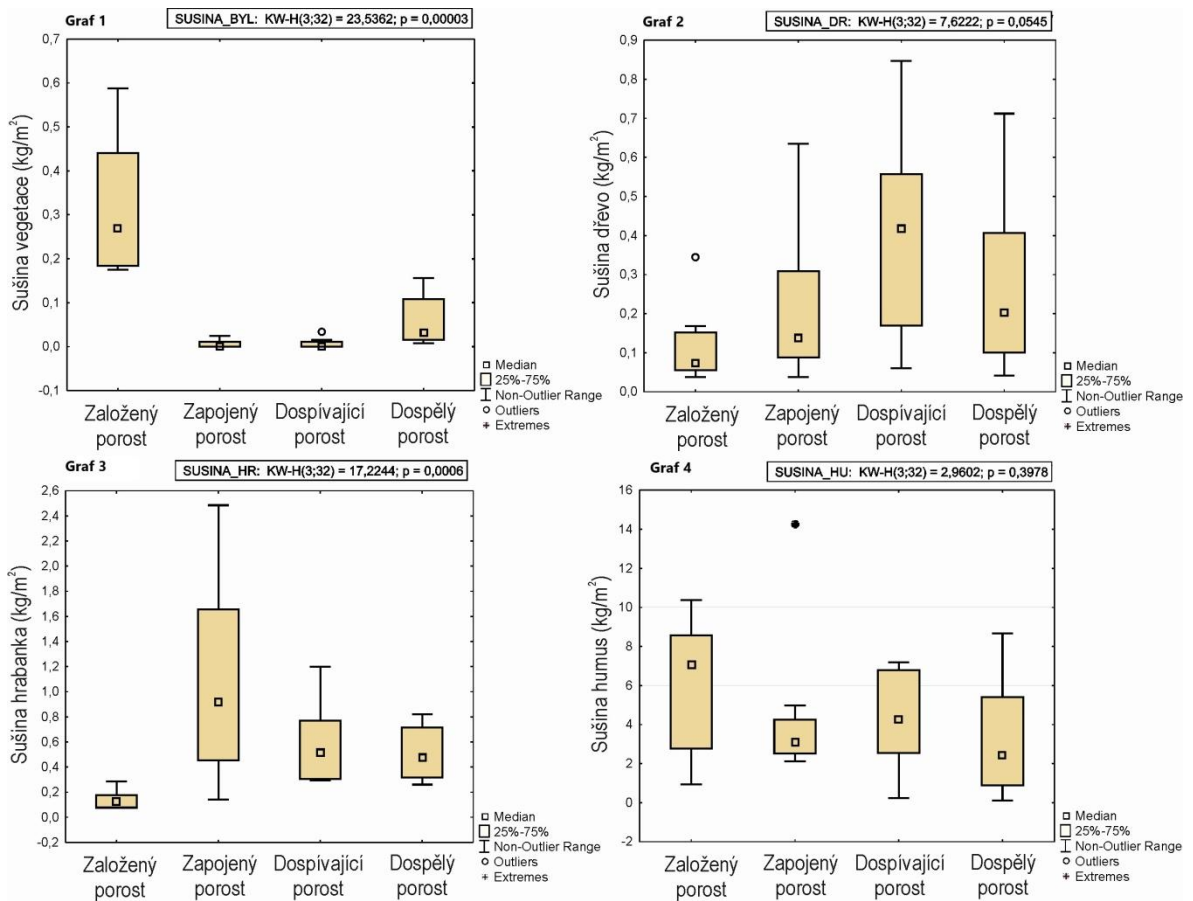
U segmentu vegetace byla kvantifikována nejvyšší průměrná hmotnost sušiny v založeném porostu, a to ve výši 0,319 kg/m², což v přepočtu představuje 3 190 kg/ha. Minimální hodnota u tohoto stádia je 0,175 kg/m² a maximum bylo naměřeno ve výši 0,588 kg/m². V zapojeném porostu (6 - 20 let) a v dospívajícím porostu (21 - 60 let) je průměr hmotnosti sušiny vegetace

velmi nízký. Minimum je u těchto stádií z důvodu nepřítomnosti segmentu vegetace na některých zkusných plochách rovno 0 kg/m².

Dále byl kvantifikován segment dřevěný materiál, kde nejvyšší hmotnost představuje sušina dřeva v dospívajícím porostu (21 - 60 let), a to konkrétně 0,399 kg/m² (3 990 kg/ha). Nejnižší průměrné zastoupení má hmotnost sušiny dřeva v založeném porostu (1 - 5 let) a to 0,118 kg/m² (1 180 kg/ha). Také směrodatná odchylka 0,264 je nejvyšší u dospívajícího porostu a nejnižší 0,102 u založeného porostu.

Z kvantifikace paliva hrabanka vyplývá, že nejvyšší průměrné hodnoty sušiny byly naměřeny v zapojeném porostu (6 - 20 let), a to 1,084 kg/m², (což představuje 10 840 kg/ha), přičemž maximum v tomto stádiu je ve výši 2,485 kg/m². Následuje dospívající porost (21 - 60 let) a dospělý porost (60 a více let), jejichž průměrné hodnoty jsou hodně podobné. Nejnižší hmotnost byla zjištěna u založeného porostu (1 - 5 let), a to ve výši 0,139 kg/m². Minimum u tohoto stupně bylo naměřeno ve výši 0,073 kg/m².

Posledním kvantifikovaným palivem je humus. Nejvyšší průměrná hodnota sušiny tohoto paliva byla naměřena v založeném porostu (1 - 5 let) a to 6,013 kg/m² (60 130 kg/ha). Minimální hodnota v tomto stádiu je ve výši 0,927 kg/m² a maximální hodnota 10,38 kg/m². Nejnižší průměrná hmotnost sušiny byla naměřena v dospělém porostu (60 a více let), a sice 3,278 kg/m².



Porovnání hmotnosti jednotlivých segmentů pozemního paliva podle stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů v kg/m^2 .
 Graf 1: vegetace, graf 2: dřevo, graf 3: hrabanka, graf 4: humus

Z grafu 1, ve kterém byly na základě Kruskal-Wallisova testu porovnány hmotnosti sušiny vegetace v jednotlivých stádiích z hlediska problematiky lesních požárů, vyplývá, že mezi hodnotami existuje statisticky signifikantní rozdíl ($H = 23,5362$; $p = 0,00003$) mezi založeným porostem (1 - 5 let) a zapojeným porostem (6 - 20 let), mezi založeným a dospívajícím porostem (21 - 60 let) a mezi založeným a dospělým porostem (60 a více let). Největší hmotnost sušiny vegetace $0,588 \text{ kg/m}^2$ byla naměřena v založeném porostu. Průměrná hmotnost byla u založeného porostu $0,32 \text{ kg/m}^2$, u zapojeného porostu $0,006 \text{ kg/m}^2$, u dospívajícího porostu $0,007 \text{ kg/m}^2$ a u dospělého porostu $0,06 \text{ kg/m}^2$.

U hmotnosti sušiny dřevěného materiálu (graf 2) nebyl mezi jednotlivými stádii prokázán statistický významný rozdíl ($H = 7,6222$; $p = 0,0545$). Nejvýznamnější rozdíl byl zjištěn mezi založeným a dospívajícím porostem. Největší rozdíl mezi minimem a maximem je u dospívajícího porostu (21 -

60 let). Minimum je 0,06 kg/m² a maximum 0,847 kg/m², nejmenší rozdíl je u založeného porostu (1 – 5 let). Průměrná hmotnost u založeného porostu byla 0,118 kg/m², u zapojeného porostu 0,218 kg/m², u dospívajícího porostu 0,399 kg/m² a u dospělého porostu 0,271 kg/m².

Hmotnost sušiny hrabanky (graf 3) se mezi jednotlivými stádii statisticky významně liší (H = 17,2244; p = 0,0006). Největší rozdíl je mezi založeným a zapojeným porostem. Mezi zapojeným a dospívajícím porostem a mezi zapojeným a dospělým porostem se rozdíly snižují. Nejvyšší rozdíl mezi minimem a maximem je u zapojeného porostu. Průměrná hmotnost sušiny byla u založeného porostu 0,138 kg/m², u zapojeného porostu 1,084 kg/m², u dospívajícího porostu 0,059 kg/m² a u dospělého porostu 0,512 kg/m².

Při porovnání hodnot sušiny humusu (graf 4) v jednotlivých stádiích bylo zjištěno, že mezi stádii není statisticky signifikantní rozdíl (H = 2,9602; p = 0,3978). Největší rozdíl mezi minimem a maximem je v založeném porostu (1 - 5 let). U zapojeného porostu (6 - 20 let) je rozdíl mezi minimem a maximem výrazně snížen. Průměrná hmotnost u založeného porostu byla 6,013 kg/m², u zapojeného porostu 4,513 kg/m², u dospívajícího porostu 4,332 kg/m² a u dospělého porostu 3,278 kg/m².

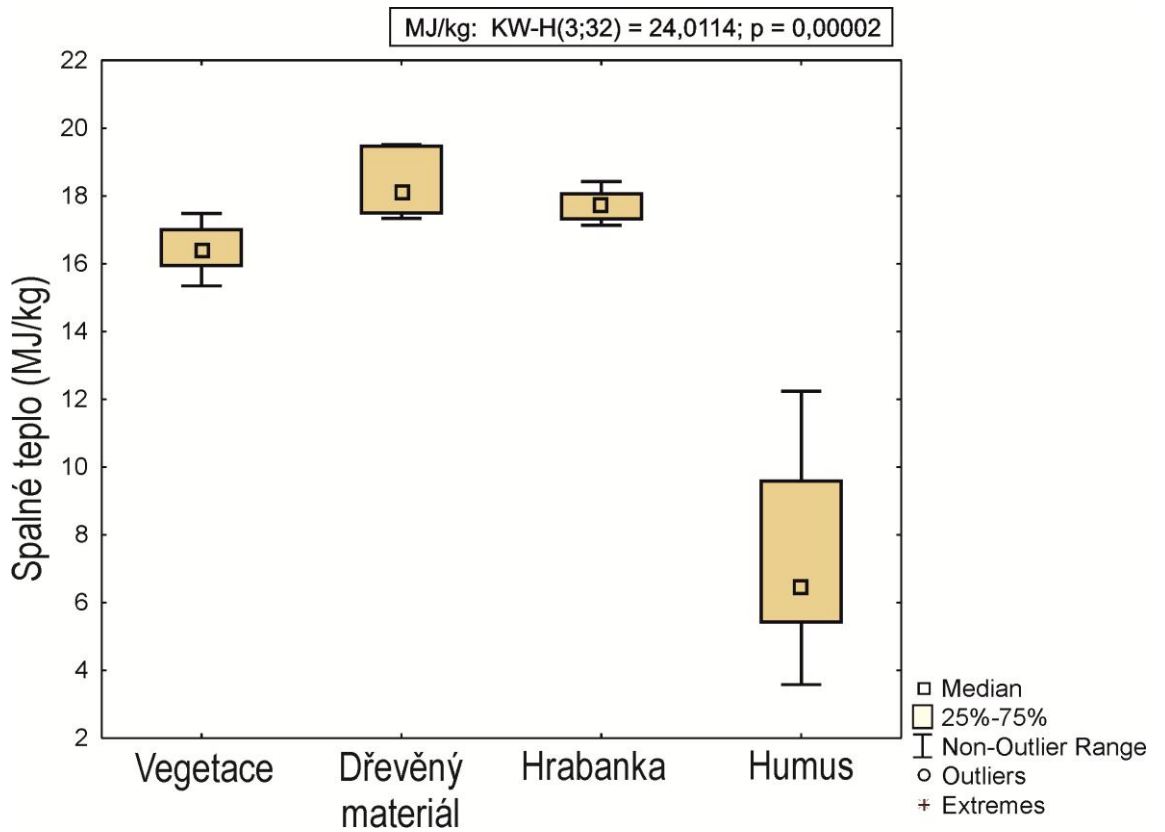
5.2 Vyhodnocení výsledků energie uložené v jednotlivých segmentech paliva

Tabulka 2: Popisná statistika spalného tepla v MJ/kg

druh paliva	průměr	medián	minimum	maximum	směrodatná odchylka
vegetace	16,43950	16,40000	15,34400	17,48100	0,77226
dřevo	18,37688	18,11850	17,34100	19,51200	0,98410
hrabanka	17,71850	17,71500	17,13600	18,42500	0,45115
humus	7,347875	6,473000	3,581000	12,23600	3,162569

Z popisné statistiky spalného tepla (tab. 2) je možné vyčíst, že nejméně tepelné energie uvolňuje segment paliva humus, a to v průměru 7,348 MJ/kg a nejvíce energie uvolňuje dřevěný materiál. Průměrně je to 18,377 MJ/kg.

Hrabanka vydává průměrně 17,718 MJ/kg a vegetace 16,439 MJ/kg. Nejvyšší směrodatná odchylka 3,162 je u humusu.



Graf 5: Porovnání spalného tepla jednotlivých segmentů paliva v MJ/kg

Na základě Kruskal-Wallisova testu byl zjištěn při srovnání spalného tepla jednotlivých segmentů paliva (graf 5) statisticky signifikantní rozdíl ($H = 24,0114$; $p = 0,00002$). Teplo vydávané humusem je výrazně nižší, než je tomu u ostatních segmentů paliva, z čehož vyplývá, že humus hoří nejméně. Množství energie uložené v humusu se pohybuje od 3,581 MJ/kg do 12,236 MJ/kg. Energie uložená v ostatních palivech začíná na 15,344 MJ/kg u segmentu vegetace a nejvyšší maximum je u segmentu dřevo. Konkrétně je to 19,512 MJ/kg.

5.3 Vyhodnocení výsledků energie uložené v palivu jednotlivých stádií porostů z hlediska problematiky lesních požárů

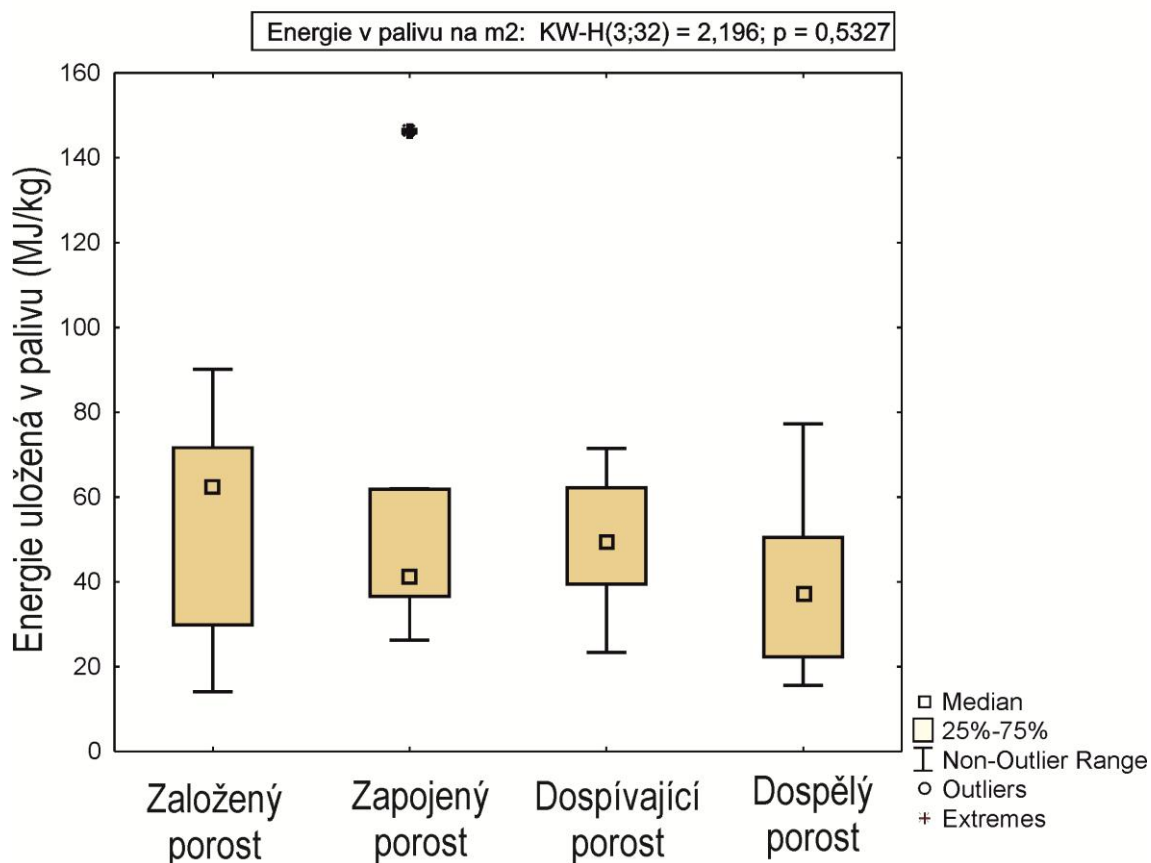
Tabulka 3: Popisná statistika energie uložené v palivu jednotlivých stádií porostů v MJ/m²

stádium porostu podle věku	energie v segmentu paliva na m ²	průměr	minimum	maximum	směrodatná odchylka
1	vegetace	5,24317	2,87691	9,66643	2,58567
	dřevo	2,16836	0,69556	6,34370	1,87876
	hrabanka	2,45623	1,29345	5,03205	1,33436
	humus	44,18268	6,81589	76,27094	26,20147
	všechny segmenty	54,05044	14,11813	90,16686	26,96037
2	vegetace	0,10172	0,00000	0,4028	0,14795
	dřevo	4,00145	0,68913	11,66010	3,61114
	hrabanka	19,2053	2,48059	44,03050	15,00368
	humus	33,16289	15,63995	104,71160	29,60502
	všechny segmenty	56,47136	26,26599	146,12810	38,31990
3	vegetace	0,11405	0,00000	0,54250	0,19671
	dřevo	7,34352	1,11180	15,57624	4,85826
	hrabanka	10,35868	5,20924	21,26220	5,71737
	humus	31,83476	1,77231	52,83122	18,58810
	všechny segmenty	49,65100	23,32910	71,48794	16,26590
4	vegetace	0,97712	0,12330	2,56456	0,99750
	dřevo	4,98932	0,76356	13,08434	4,14557
	hrabanka	9,07187	4,60681	14,51145	3,93142
	humus	24,09056	0,77153	63,72812	21,82049
	všechny segmenty	39,12888	15,59687	77,26799	20,73424

Tabulka 3 zobrazuje, kolik energie je průměrně uloženo v palivu jednotlivých stádií porostů. Hodnoty hmotnosti jednotlivých segmentů paliva byly vynásobeny průměrnou hodnotou spalného tepla daných segmentů paliva. Ačkoliv měřením spalného tepla jednotlivých segmentů bylo zjištěno, že humus hoří nejméně, z uvedených hodnot v tabulce 3 vyplývá, že největší energie je uložena právě v humusu. Je to způsobeno tím, že množství humusu je oproti ostatním segmentům paliva velké a obsahuje spoustu hořlavého materiálu jako kořeny a pařezy.

V založeném porostu (1 - 5 let) je uloženo v průměru 54,05 MJ/m² energie ze všech segmentů paliva. V zapojeném porostu (6 - 20 let) je to 56,47 MJ/m², v dospívajícím porostu (21 - 60 let) 49,65 MJ/m² a v dospělém porostu (60 a více let) je to 39,13 MJ/m².

S humusovým segmentem paliva



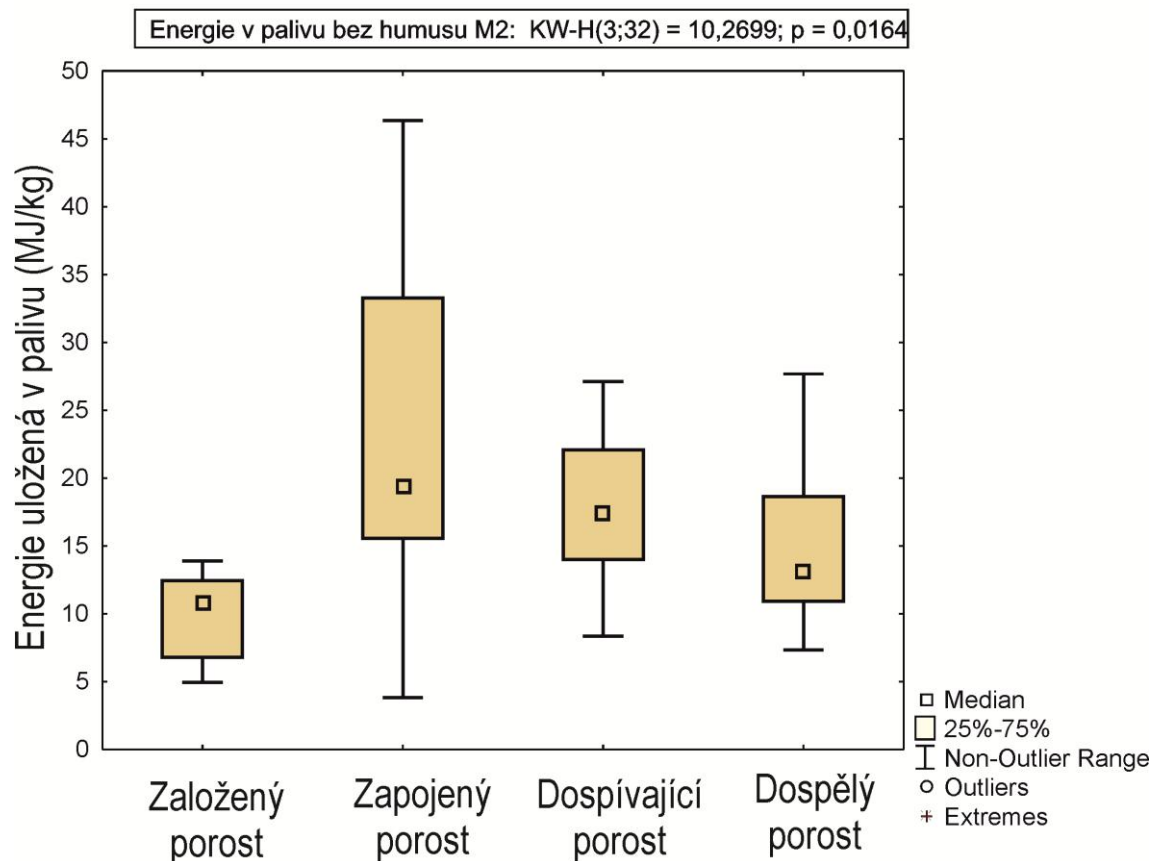
Graf 6: Porovnání energie uložené v palivu všech segmentů na m² podle jednotlivých stádií porostů v MJ/m²

Pomocí Kruskal-Wallisova testu bylo provedeno porovnání energie uložené v palivu na m² v jednotlivých stádiích porostu (graf 6) a nebyly zjištěny statisticky signifikantní rozdíly ($H = 2,196$; $p = 0,5327$). Do srovnání byly zahrnuty všechny segmenty paliva.

Na základě měření bylo zjištěno, že v založeném porostu je uloženo od 14,12 MJ/m² do 90,16 MJ/m². V zapojeném porostu je uloženo od 26,26 MJ/m² až po cca 65 MJ/m² energie, (v tomto stádiu byla naměřena

extrémní hodnota 146,13 MJ/m²). V dospívajícím porostu je to od 23,33 po 71,49 MJ/m² a v dospělém porostu od 15,6 do 77,27 MJ/m².

Bez humusového segmentu paliva



Graf 7: Porovnání energie uložené v palivu na m² podle jednotlivých stádií porostů (bez humusového segmentu) v MJ/m²

Tabulka 4: Mnohonásobné porovnání energie uložené v palivu na m² (bez humusového segmentu)

energie v palivu bez humusu	založený porost	zapojený porost	dospívající porost	dospělý porost
založený porost		0,022045	0,058417	0,733055
zapojený porost	0,022045		1,000000	1,000000
dospívající porost	0,058417	1,000000		1,000000
dospělý porost	0,733055	1,000000	1,000000	

Dále byly hodnoceny rozdíly mezi energií uloženou v palivu jednotlivých stádií porostů, ze kterých byl vynechán segment paliva humus (graf 7). Důvodem pro vynechání humusu je fakt, že k hoření tohoto segmentu paliva dochází při větších intenzivnějších požárech, které jsou u nás velmi ojedinělé.

K prohořívání humusové vrstvy může docházet také při špatném dohašení skrytých ohnisek požáru, v tomto případě mluvíme o tzv. podzemním požáru. Kruskal-Wallisovým testem bylo zjištěno, že energie uložená v palivu jednotlivých stádií porostů se při vynechání humusu statisticky významně lišila ($H = 10,2699$; $p = 0,0164$). Na základě tabulky mnohonásobného porovnání energie uložené v palivu mezi jednotlivými stádii porostů (tab. 4) byl zjištěn statisticky prokazatelný rozdíl pouze mezi založeným a zapojeným porostem. V případě ostatních stádií porostů nebyly rozdíly statisticky signifikantní. Výsledky naznačují, že nejvíce energie je uloženo v hořlavém materiálu zapojeného porostu. Naopak nejméně tepelné energie je uloženo v založených porostech, ve kterých je však nejvyšší zastoupení vegetace, což výrazně zvyšuje zapalitelnost těchto porostů.

6 Diskuze

Tato práce se zabývá stanovením potenciálu hoření a šíření lesního požáru v listnatých lesích v závislosti na věku porostu na základě analýzy struktury a množství pozemního paliva a spalného tepla, které je v palivu uloženo.

Podle Chromka (2006) mají důležitý význam pro vznik lesního požáru meteorologické faktory, zejména pak vlhkost vzduchu, která ovlivňuje vlhkost vegetace a jednotlivých vrstev půdy.

Chování požáru v přírodním prostředí, jako rychlost jeho šíření nebo množství tepla, které je schopný vyprodukovat, závisí na interakci paliva (trávy, bylin, listů, jehličí, větvíček), počasí a topografie. Požár se bude šířit, dokud bude mít dostatek paliva, vzduchu (kyslíku) a tepla. Šíření, intenzitu a dobu trvání požáru zásadním způsobem ovlivňují parametry paliva, jako je jeho množství, struktura, prostorová distribuce a vlhkost (Majlingová et al., 2018). Kvantifikací pozemního paliva je možné zjistit množství hořlavého materiálu, který se v lese nachází (Chromek, 2006). Struktura paliva a charakteristiky jeho částic udávají, jaké množství energie bude v průběhu hoření uvolněno (Majlingová et al., 2018).

Vzhledem k rostoucímu počtu lesních požárů v důsledku změn klimatických podmínek se zvyšuje také potřeba předvídat chování požáru. Aby to bylo možné, je nutné pochopit vlastnosti paliv, které mají na chování požáru zásadní vliv (Duff et al., 2017).

Výsledky výzkumu v této práci ukazují, že bereme-li v úvahu všechny segmenty pozemního paliva, tzn. lesní vegetaci, hrabanku, dřevěný materiál a humus, nejsou mezi energií uloženou v palivu porostů v jednotlivých stádiích významné rozdíly. Podle tabulky zobrazující množství energie uložené v palivu na m² bylo zjištěno, že nejvíce energie by se mělo nacházet v humusu. To je způsobeno tím, že hmotnost tohoto segmentu, stejně jako jeho zastoupení na ploše, bývá v závislosti na stanovišti vyšší, než je tomu u ostatních segmentů paliva. Z popisné statistiky spalného tepla však vyplývá, že humus hoří nejméně. Humus zpravidla nemá velký vliv na šíření požáru.

Příčinou bývá jeho vysoká vlhkost, nedostatečný přístup kyslíku z důvodu silného stlačení a nízká rychlost hoření (Majlingová et al., 2018).

K prohořívání humusové vrstvy může docházet zejména rozšiřováním požárů ve skrytých ohniscích. V těchto případech mluvíme o tzv. podzemním požáru, který vzniká jen zřídka. Hoření je nenápadné, pouze v okolí pařezů nebo kořenů je možné vidět slabý dým. Podzemní požáry vznikají především za suchého letního počasí, kdy humusová vrstva může dostatečně proschnout. (Francl, 2007). Ve většině případů však lesní požár probíhá jako letmý pozemní požár, který se šíří velmi rychle a nedochází při něm k prohoření humusové vrstvy. Hoří pouze vrchní vrstva vegetace, trávy, byliny, hrabanka, spodní části kmenů stromů apod.

Z výše uvedených důvodů bylo provedeno také srovnání energie uložené v palivu porostů jednotlivých stádií bez segmentu paliva humus. Tzn., že do měření byly zahrnuty pouze segmenty vegetace, hrabanka a dřevo. V tomto případě výsledky ukázaly, že porosty v jednotlivých stádiích hoří různě velkou intenzitou. Významný rozdíl byl mezi založeným a zapojeným porostem. Mezi ostatními stádii nebyly rozdíly statisticky signifikantní. Předmětem dalšího zkoumání by mělo být množství paliva, které průměrně zůstává po letném pozemním požáru na požářišti, případně ověření, zda dochází ke kompletnímu vyhoření zbylých segmentů (vegetace, hrabanky, dřeva). Zjištěné výsledky by mohly sloužit pro přesnější stanovení předpovědních statistik, map a modelů.

Ze srovnání jednotlivých segmentů paliva s vynecháním humusu bylo zjištěno, že nejvíce energie je obsaženo v palivu zapojeného porostu (6 - 20 let). Porosty v tomto věku jsou velmi husté, uzavřené, se sníženým přístupem světla a vzduchu do spodní části růstového prostoru. Dochází zde k rychlému uhnívání a tlení. Vegetace se zde vůbec nevyskytuje, případně jen ve velmi malém množství. To potvrzují i výsledky popisné statistiky kvantifikace jednotlivých segmentů. V zapojených porostech dochází k boji o růstový prostor. Pod zapojenou úrovní se vytváří náročné ekologické podmínky, což vede k intenzivnímu přirozenému prořezávání. Kromě toho se provádí nutná regulace počtu a rozmístění jedinců prořezávkami. Vyřezané dříví se pak obvykle ponechává v porostu.

Drobné odumřelé dřevo (jako větvičky, kůra a tlející dřevěný materiál) je poměrně snadno zapalitelné a umožňuje šíření požáru na větší kusy dřeva. Také opadané listí do doby, než se začne měnit na humus, je vysoce hořlavým materiálem (Majlingová et al., 2018).

Tyto skutečnosti, jako je velké množství čerstvě opadaného listí, které se ještě nezačalo rozkládat a také značné množství dřevěného materiálu, především ponechaného po provedených prořezávkách, mohou být pravděpodobnou příčinou největšího obsahu energie uložené v palivu zapojeného porostu.

Díky hustotě porostu ovšem bývá v zapojených porostech mnohem vyšší vlhkost paliva. Navíc jsou tyto porosty těžko přístupné pro člověka jakožto hlavního iniciátora požáru. Zapalitelnost je proto v těchto porostech výrazně nižší než u ostatních porostů, kde sluneční paprsky více pronikají na povrch půdy a způsobují vysychání. Hoření zapojených porostů tedy vzniká převážně rozšířením z okolních porostů. Pokud je požár v zapojeném porostu intenzivnější, dochází ke korunovým požárům, které se mohou snadno rozšířit na starší porosty a zapalovat jejich koruny, což představuje velký problém z hlediska hasebního zásahu a kontroly požáru. Tato situace je však v českých podmínkách naštěstí velmi ojedinělá.

Mezi mediány zapojeného a dospívajícího porostu nejsou významné rozdíly, přesto je možné tvrdit, že zapojený porost je na základě provedeného výzkumu nejhořlavější. Kdyby terénní měření probíhalo v jiném časovém období, např. na jaře, kdy vrstva opadaného listí i dřevní materiál již budou do značné míry rozložené, lze předpokládat, že by výsledky vzhledem ke změně struktury a množství paliva mohly být mírně odlišné.

Energie uložená v palivu dospívajícího porostu (21 - 60 let) se díky značnému množství dřeva blížila energii v zapojeném porostu. V dospívajícím porostu šlo převážně o větší kusy drobného dřevěného materiálu (např. silnější větve), které uvolňují při hoření rychle velké množství energie. Tento materiál má však schopnost udržovat v sobě více vlhkosti, v závislosti na počasí pomaleji vysychá, proto potřebuje delší dobu a větší množství tepelné energie

k odpaření veškeré vody. Teprve potom se z něj začnou uvolňovat plyny a dochází k jejich zapálení.

U bylinného patra hraje významnou roli, jak je toto palivo vysušené. Vlhká zelená vegetace zpomaluje šíření požáru, jelikož teplo je nejdříve spotřebováváno na vypařování. Postupně však vegetace ztrácí vlhkost a stává se snadněji zapalitelnou a hořlavější. Také nízké keře, semenáčky a mladé stromky způsobují na začátku sezóny zpomalení šíření požáru, neboť poskytují stín bylinnému patru a zabraňují tak jeho vysychání. Během sezóny se však i z této vegetace ztrácí vlhkost a dochází k vysychání spodního patra. Takovýto hořlavý materiál pak slouží pro šíření požáru do korun dospělých stromů (Majlingová et al., 2018).

Suchá tráva na velkém prostoru představuje nejhořlavější pozemní palivo s nejrychlejším šířením požáru. Souvislý kryt ze suché trávy má na rychlost šíření požáru mnohem větší vliv než těžké hořlavé materiály (kmeny povalených stromů, velké větve, či pařezy). Čím více bude v porostu suché vegetace, tím intenzivněji a déle bude oheň hořet (Majlingová et al. 2018).

Na základě porovnání hmotnosti sušiny vegetace se nejvíce travin a další vegetace nacházelo v mladých založených porostech. Přítomnost velkého množství tohoto paliva je způsobena tím, že dopadu slunečního světla a srážek na podrost nebrání stromové patro. Naopak ve velmi hustém zapojeném porostu se tráva vyskytuje jen zřídka, v dospělých otevřenějších lesích pak toto palivo opět přibývá.

U založeného porostu (1 - 5 let) výsledky výzkumu prokázaly nejmenší množství hořlavého materiálu. V tomto porostu se oproti ostatním stádiím nacházelo největší množství vegetace, která je velmi snadno zapalitelná, často tak bývá materiálem, který způsobí snadné vznícení a poměrně rychlé šíření požáru. Vzhledem k jeho nízké hmotnosti však obsahuje celkově méně potenciální tepelné energie než dřevo nebo hrabanka. Dochází tedy často k rychlému vyhoření materiálu na ploše. Problémem jsou rozsáhlejší plochy (holiny po kůrovcových kalamitách), případně ohrožení okolních porostů.

V dospělém porostu (60 a více let) bylo zjištěno méně hořlavého paliva než v dospívajícím porostu. V tomto stádiu dochází ke snižování zápoje, stromy

jsou od sebe značně vzdáleny a není mezi nimi tudíž taková konkurence. Objevuje se přirozené zmlazení, ve světlinách byliny, traviny a mechy.

Šíření požáru závisí na rozptýlení nebo hustotě paliva. Pokud je palivo od sebe příliš daleko, nedochází k přenosu tepelné energie. Okolní materiál nedosáhne teploty, která by způsobila jeho vznícení. Požár se tak nemůže šířit dál. Hustý porost naopak způsobuje vyšší intenzitu požáru, jeho rychlejší šíření a prodloužení plamenů (Majlingová et al., 2018).

Hodnoty tepelné energie uložené v pozemním palivu dospělého porostu by logicky měly být stejné, případně mírně vyšší než v případě dospívajících porostů. Odchylka ve výsledcích může být způsobena vysokou variabilitou lesního prostředí a nižším počtem studijních ploch. Pro ověření, zda je opravdu energie v palivu dospělých porostů méně než v porostech dopívajících bude nezbytné ve výzkumu dále pokračovat a provést výzkum na větším množství studijních ploch.

Charakteristiky pozemního paliva jsou velmi variabilní. Rozdíly v obsahu vlhkosti, prostorovém rozložení nebo tvaru a velikosti paliva jsou důležité pro co nejpřesnější posouzení vlivu paliva na chování požáru (zejména na rychlost šíření a energetický výdej).

Parametry paliva představují soubor charakteristik palivového komplexu, které jsou vstupními informacemi do palivových modelů. Palivové modely pak slouží jako podklad pro odhad chování lesních požárů (Majlingová et al., 2018).

7 Závěr

Statistickým vyhodnocením dat získaných při terénním měření a následném zpracování vzorků v laboratoři bylo zjištěno, že různé růstové fáze lesa ovlivňují množství a strukturu pozemního paliva a tím i potenciál šíření lesního požáru v listnatých lesích. Ze srovnání energie uložené ve všech segmentech paliva jednotlivých stádií porostů nebyly prokázány statisticky významné rozdíly. Jelikož humus zpravidla nemá z důvodu vysoké vlhkosti a nedostatečného přístupu kyslíku velký vliv na šíření požáru a k jeho prohořívání dochází jen ojediněle při podzemních požárech, bylo provedeno i srovnání bez tohoto segmentu paliva. Po vynechání humusu z naměřených hodnot vyplynulo, že nejhořlavější jsou mladé, husté, tmavé zapojené porosty. Bylo zde naměřeno největší množství hořlavého materiálu potenciálně schopného uvolnit nejvíc tepelné energie. V založených porostech byly hodnoty celkové potenciální tepelné energie nejnižší. Toto stádium má však nejvíc vegetace, která je snadno zapalitelná a může snadněji iniciovat požáry ve svém okolí na rozdíl od zapojených porostů, kde pro zahoření požáru nebývají tak vhodné podmínky. Výsledky práce ukazují některé logicky vysvětlitelné trendy a hodnoty. Vzhledem k variabilitě přírodního prostředí však bude nutné ve výzkumu dále pokračovat a výsledky ověřit dalšími měřeními.

..

8 Seznam použité literatury

BALOG, K.; KVARČÁK, M. *Dynamika požáru*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. 96 s. ISBN 80-86111-44-X.

BÁRTLOVÁ, I.; DAMEC, J. *Prevence technologických zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2002. 231 s. ISBN 80-86634-10-8.

BERČÁK, R.; HOLUŠA, J.; LUKÁŠOVÁ, K.; HANUŠKA, Z.; AGH, P.; VANĚK, J.; KULA, E.; CHROMEK, I. Lesní požáry v České republice - charakteristika, prevence a hašení: Review. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2018, roč. 63, č. 3, s. 184-194. ISSN 0322-9688.

BLAŽEJ, A. a kol. *Chémia dreva*. Bratislava: ALFA, 1975, 224 s.

BLAŽEJ, A.; KOŠÍK, M. *Fytomasa jako chemická surovina*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985. 402 s.

BROUMOVSKÁ, I. *Speciální chemie pro požární ochranu: učební texty*. 3. přeprac. vyd. Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2008. 171 s. ISBN 978-80-86640-88-4.

DEMEK, J.; MACKOVČIN, P. *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. 2. vyd. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2006. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

DUFF, T. J.; KEANE, R. E.; PENMAN, T. D.; TOLHURST, K. G. Revisiting Wildland Fire Fuel Quantification Methods: The Challenge of Understanding a Dynamic, Biotic Entity. *Forests*. 2017, vol. 8, no. 9, 351. ISSN 1999-4907.

ESCH, M.; HOFMANN, D.; KREBS, G.; THIERFELDER, C.; WÜNSCH, R.; MAIER, R.; KUŽEL, M.; SCHOSNIG, M.; GROENEVELD, K. O. Elemental composition of different types of wood. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 1996, vol. 109-110, s. 328-331. ISSN 0168-583X.

FANTA, J. Lesy a lesnictví ve střední Evropě I.: Přírodní podmínky pro existenci lesa. *Živa*. 2007, č. 1, s. 18–21.

FILIPI, B. *Nauka o materiálu*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. 124 s. ISBN 80-86634-11-6.

FIRM, D.; NAGEL, T. A.; DIACI, J. Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*. 2009, vol. 257, 1893-1901. ISSN 0378-1127.

FRANCL, R. Lesní požáry v České republice z pohledu hasičů. *Lesnická práce*. 2007, 86, s. 504–506.

HEINRICHS, S.; SCHMIDT, W. Short-term effects of selection and clear cutting on the shrub and herb layer vegetation during the conversion of even-aged Norway spruce stands into mixed stands. *Forest Ecology and Management*. 2009, vol. 258, no. 5, s. 667-678. ISSN 0378-1127.

HOLUŠA, J.; BERČÁK, R.; LUKÁŠOVÁ, K.; HANUŠKA, Z.; AGH, P.; VANĚK, J.; KULA, E.; CHROMEK, I. Lesní požáry v České republice – definice a rozdělení: Review. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2018, roč. 63, č. 2, s. 102-111. ISSN 0322-9688.

HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1998. 124 s. ISBN 80-7157-347-7.

CHROMEK, I. *Využitie leteckej techniky pri hasení lesných požiarov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2006, 1 elektronický optický disk. ISBN 80-228-1595-0.

CHROMEK, I.; LUKÁŠOVÁ, K.; BERČÁK, R.; VANĚK, J.; HOLUŠA, J. Hollow tree fire is a useless forest fire category. *Central European Forestry Journal*. 2018, vol. 64, s. 67–78.

JONÁŠOVÁ, M.; VÁVROVÁ, E.; CUDLÍN, P. Western Carpathian mountain spruce forest after a windthrow: Natural regeneration in cleared and uncleared areas. *Forest Ecology and Management*. 2010, vol. 259, s. 1127-1134. ISSN 0378-1127.

- KOŠULIČ, M. st. *Cesta k přírodě blízkému hospodářskému lesu*. 1. vyd. Brno: FSC Česká republika - Forest Stewardship Council, 2010. 449 s. ISBN 978-80-254-6434-2.
- KVARČÁK, M. *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0.
- LUKEŠ, M. *Základy požární taktiky: Produkty hoření. MV - Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR, Odborná příprava jednotek požární ochrany: Konspekty odborné přípravy* [online]. 1.1.2005 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: http://metodika.cahd.cz/konspekty/1_1_05.pdf.
- MAJLINGOVÁ, A.; DRITOMSKÝ, M.; KAPUSNIAK, J. *Manažment a taktika hasenia požiarov v prírodnom prostredí*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2018. 140 s. ISBN 978-80-228-3114-7.
- MCEVOY, P.; FLEXEN, M.; MCADAM, J. H. The effects of livestock grazing on ground flora in broadleaf woodlands in Northern Ireland. *Forest Ecology and Management*. 2006, vol. 225, no. 1-3, s. 39-50. ISSN 0378-1127.
- MÍCHAL, I. *Obnova ekologické stability lesů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1992. 169 s. ISBN 80-85368-23-4.
- MRÁZ, K.; SAMEK, V. *Lesní rostliny*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1966. 348 s. ISBN 07-001-66.
- NESTEROV, V. G. *Ochrana lesa proti požiarom: náuka o lesných požiaroch*. 1. vyd. Bratislava: Oráč, 1949. 232 s.
- ORLÍKOVÁ, K.; DANIHELKA, P.; KOZUBEK, E. *Chemie hořlavin a produktů hoření*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. 97 s. ISBN 80-7078-036-3.
- PLÍVA, K. *Typologický klasifikační systém ÚHÚL*. Brandýs nad Labem: ÚHÚL, 1987. 52 s.
- PODLASKI, R. A development cycle of the forest with fir (*Abies alba* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) in its species composition in the Świętokrzyski National Park. *Journal of Forest Science*. 2004, vol. 50, no. 2, s. 55–66. ISSN 1212-4834.

POLENO, Z.; VACEK, S.; PODRÁZSKÝ, V. *Pěstování lesů I.: Ekologické základy pěstování lesů*. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2007. 315 s. ISBN 978-80-87154-07-6.

PRACH, K. Spontaneous succession in Central-European man-made habitats: What information can be used in restoration practice? *Applied Vegetation Science*. 2003, vol. 6, no. 2, s. 125-129. ISSN 1402-2001.

PRACH, K.; BASTL, M.; KONVALINKOVÁ, P.; KOVÁŘ, P.; NOVÁK, J.; PYŠEK, P.; ŘEHOUNKOVÁ, K.; SÁDLO, J. Sukcese vegetace na antropogenních stanovištích v České republice: přehled dominantních druhů a stadií. *Příroda*. 2008, roč. 26, s. 5-26. ISSN 1211-3603.

PYNE, S. J.; ANDREWS, P. L.; LAVEN, R. D. *Introduction to Wildland Fire*. 2. vyd. New York, NY: John Wiley and Sons, 1996. 808 s. ISBN 978-0471549130.

REINPRECHT, L. *Procesy degradácie dreva*. 3. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001. 162 s. ISBN 8022810703.

ROY, P.S. Forest fire and degradation assessment using satellite remote sensing and Geographic Information System. In *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology: Proceedings of a training workshop, India, Dehra Dun*. Geneva: World Meteorological Organisation, 2003, s. 361-400.

STŘEDA, I. *Základy rovnovážné termodynamiky*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 174 s. ISBN 978-80-7372-459-7.

ŠEFL, J. *Funkce lesa – základy*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. 140 s. ISBN 978-80-7414-893-1.

ŠIŠÁK, L. Vlivy působící na lesní požáry a sociálně-ekonomické škody. *Lesnická práce*. 2007, 86, č. 06, s. 18-19.

ŠLEZINGEROVÁ, J.; GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*. 1. vyd., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 187 s. ISBN 80-7157-636-0.

- ŠMILAUER, P. *Paseková společenstva CHKO Křivoklátsko*. Diplomová práce. Praha: Katedra botaniky, PřF UK, 1990, 171 s.
- THOMAS, P. A.; MCALPINE, R. S. *Fire in the forest*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 225 s. ISBN 9780521822299.
- TOMÁŠEK, L. Prevence vzniku lesních požárů u LČR. *Lesnická práce*. 2007, 86, č. 07, s. 20-21.
- TUREČEK, J. *Policejní pyrotechnika*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2014. 288 s. ISBN 978-80-7380-510-4.
- VACEK, S.; SIMON, J.; REMEŠ, J. a kolektiv. *Obhospodařování bohatě strukturovaných a přírodě blízkých lesů*. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2007. 447 s. ISBN 978-80-86386-99-7.
- VIEWEGH, J. *Klasifikace lesních rostlinných společenstev (se zaměřením na Typologický systém ÚHUL)*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003. 208 s. ISBN 80-213-1061-8.
- VILÍMEK, M. *Základy požární techniky: Nežádoucí hoření – požár*. 2. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. 12 s. ISBN 80-86111-46-6.
- VOLF, O. Základy požární taktiky: Proces hoření. *MV – Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR, Odborná příprava jednotek požární ochrany: Konspekty odborné přípravy* [online]. 1.1.2001 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: http://metodika.cahd.cz/konspekty/1_1_01.pdf.
- XANTHOPOULOS, G.; CALFAPIETRA, C.; FERNANDES, P. Fire Hazard and Flammability of European forest Types. In: MOREIRA, F. et al. (eds.): *Post-Fire Management and Restoration of Southern European forests. Managing forest ecosystems*. 1. vyd. Dordrecht: Springer, 2012, s. 79-92. ISBN 978-94-007-2207-1.
- XIAO, J.; ZHUANG, Q. Drought effects on large fire activity in Canadian and Alaskan forests. *Environmental Research Letters* [online]. 2007, vol. 2, no. 4 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/044003>.

ZEIDLER, M. □ BANAŠ, M. *Vybrané kapitoly z ekologie horských ekosystémů*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 98 s., 2013. ISBN 978-80-244-3457-5.

ZLATNÍK, A. Nástin lesnické typologie na biogeocenologickém základu a rozlišení československých lesů podle skupin lesních typů. *Pěstování lesů III*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1956. s. 317–401.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2019. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020, 47. ISBN 978-80-7434-571-5.

Česko. Vláda. Zákon č. 133 České národní rady ze dne 17. prosince 1985 o požární ochraně. In *Sbírka zákonů České republiky*. 1985, částka 34, s. 674-691. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>.

Česko. Vláda. Zákon č. 289 ze dne 3. listopadu 1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). In *Sbírka zákonů České republiky*. 1995, částka 76, s. 3946-3967. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-289>.

ČSN EN ISO 1716. *Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 44 s.

ČSN ISO 1928 (441352). *Tuhá paliva – Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 56 s.