

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Teplota vzplanutí segmentů pozemního paliva lesních
porostů**

Bakalářská práce

Anna Makarová

Ing. Roman Berčák

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anna Makarová

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Teplota vzplanutí segmentů pozemního paliva lesních porostů

Název anglicky

Flame ignition temperature (FIT) of surface fuel in forest stands

Cíle práce

- Zjistit teplotu vzplanutí jednotlivých segmentů pozemního paliva
- Vzájemně srovnat výsledky a vyhodnotit s ohledem na potenciál vzniku lesního požáru

Metodika

Ve vytipovaných lesních porostech s dominantním zastoupením smrku, borovice, dubu a buku budou odebrány vzorky jednotlivých segmentů pozemního paliva (podrost, hrabanka, drobné dřevo) pro účely testování vznětlivosti materiálu podle ČSN 64 0149 (do 31.7.2023)

Odebrané vzorky budou dále homogenizovány tak, aby velikost jednotlivých částí nepřesáhla 1 cm. Připravené vzorky budou kondicionovány s cílem zajistit stejnou vlhkost vzorků. Měření bude probíhat v Setchkinově odporové peci. Po umístění vzorku o hmotnosti přesně 3,0 g do pece bude sledován proces zahřívání a v okamžiku vzplanutí vzorku bude zaznamenána okamžitá teplota. Dále bude zaznamenáván časový úsek od počátku zahřívání do vzplanutí a jiné proměnné, které jsou zjistitelné v rámci laboratorního vybavení. Při zpracování závěrečné práce bude testováno nejméně 10 vzorků od každého segmentu pozemního paliva v rámci jednotlivých lesních porostů s dominantním zastoupením smrku, borovice, dubu a buku. Celkově bude tedy analyzováno nejméně 120 vzorků (do 30.11.2023).

Výsledky budou nadále vhodně statisticky zpracovány a vyhodnoceny se zaměřením na charakteristiky ovlivňující vznik lesního požáru (do 31.12.2023)

do konce července 2023 – odebrané vzorky z lesa

srpen 2023 – příprava vzorků, kondicionování

září – listopad 2023 – laboratorní práce

do konce prosince 2023 – vyhodnocení výsledků

leden – únor 2024 – literární rešerše

do konce března 2024 – předložení závěrečné práce

Doporučený rozsah práce

30 s.

Klíčová slova

vzplanutí, lesní palivo, náchylnost, šíření požáru

Doporučené zdroje informací

- ASTM D1929 – 96. (2001). Standard Test Method for Determining Ignition Temperature of Plastics. West Conshohocken, United States: ASTM International.
- ČSN 64 0149. (1978). Stanovení vznětlivosti materiálů. Praha: Český normalizační institut. 8 s.
- Kačíková, D., Netopilová, M., Osvald, A. (2006). Dřevo a jeho termická degradace. 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství.
- Pecl, J., Berčák, R., Vaněk, J. (2021) Hašení požárů v přírodním prostředí. Ministerstvo vnitra – Generální ředitelství Hasičského a záchranného sboru České republiky. Praha.
- Svozilek, T. (2012). Vliv hmotnosti vzorku na hodnoty teploty vznícení. Diplomová práce. VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství. 56 s.
- Thomas, P. A., McAlpine, R. S., Hirsch, K., Hobson, P. (2010). Fire in the forest. Cambridge University Press.
- Zbortek, V. (2011). Vliv hmotnosti vzorku na teplotu vzplanutí. Bakalářská práce. VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství. 51 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Roman Berčák

Garantující pracoviště

Katedra ochrany lesa a entomologie

Elektronicky schváleno dne 24. 4. 2023

prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Teplota vzplanutí segmentů pozemního paliva lesních porostů vypracoval/a samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 4.4.2024

Anna Makarová

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanovi Berčákovi za jeho cenné rady, čas a poskytnuté materiály. Dále bych chtěla poděkovat kpt. Ing. Milanovi Růžičkovi z Technického ústavu požární ochrany za jeho odborné zaučení při obsluze laboratorních přístrojů a poskytnutí dat z jeho výzkumu.

Abstrakt

Lesní požár je ničivý přírodní ničitel. Při lesním požáru dochází k narušování ekologické stability lesního ekosystému. Škody způsobené lesními požáry bývají velmi často velkého rozsahu. Z tohoto hlediska je důležité pochopení chování požáru v lesních porostech a jejich včasné predikce v podobě vědeckých analýz, které jsou zaměřené především na zjišťování stavu lesa a následné vyhodnocení možného vzniku lesního požáru. V současné době existuje řada vědeckých postupů zabývajících problematikou lesních požárů a požární ekologii.

Cílem této práce bylo ve čtyřech vytipovaných lesních porostech podle zastoupení dominantní dřeviny odebrat jednotlivé segmenty vzorků pozemního paliva a zjistit jejich teplotu žhnutí a vzplanutí a následně porovnat zjištěné výsledky a vyhodnotit je s ohledem na potenciál vzniku lesního požáru. Pro zjišťování teplot žhnutí a vzplanutí jednotlivých segmentů pozemního paliva byly odebrány vzorky vegetace (byliny, mechy, traviny), hrabanky (opadu) a drobného dřevěného materiálu.

Výsledky statistického porovnávání teplot žhnutí a vzplanutí ukázaly, že nejnižší teplotu žhnutí a vzplanutí měl segment vegetace, konkrétně bylinný materiál. Segment dostupné vegetace na povrchu lesní půdy je velmi často zdrojem zahoření při vzniku lesního požáru díky své nízké teplotě žhnutí a vzplanutí. Nejvyšší teplotu žhnutí měl mechový segment pozemního paliva a nejvyšší teplotu vzplanutí mělo povrchové palivo smrkové hrabanky. Oba tyto materiály jsou z hlediska vzniku a šíření lesního požáru hůře zapalitelné. Mechové segmenty dokážou přijmout a zadržet velké množství vody, čímž se stávají hůře zapalitelné.

Většina lesních požárů vzniká na povrchu lesní půdy. Zjišťování prostorového uspořádání paliva vyskytujícího se na povrchu lesní půdy a následné určení požárních charakteristik jednotlivých segmentů pozemního paliva může v budoucnu pomoci se snadnější predikcí potenciálního vzniku lesního požáru.

Klíčová slova: lesní palivo, vzplanutí, náchylnost, šíření požárů

Abstract

A forest fire is a devastating natural destroyer. Forest fires disrupt the ecological stability of the forest ecosystem. The damage caused by forest fires is often of a very large scale. From this point of view, it is important to understand the behaviour of forest fires and their early prediction in the form of scientific analyses, which are primarily aimed at identifying the state of the forest and the subsequent assessment of the possible occurrence of forest fires. Currently, there are a number of scientific approaches dealing with forest fire and fire ecology.

The goal of this work was to collect individual segments of ground fuel samples in four selected forest stands according to the representation of the dominant tree species and to determine their ignition and flash point and then to compare the results and evaluate them with respect to the potential for forest fire. Vegetation (herbs, mosses, grasses), browse (litter), and small woody material were sampled to determine the ignition and flash points of each ground fuel segment.

The results of the statistical comparison of the annealing and flash temperatures showed that the vegetation segment, specifically the herbaceous material, had the lowest annealing and flash temperatures. The segment of vegetation available on the forest floor surface is very often the source of ignition in forest fires due to its low ignition and flash point. The moss segment of the ground fuel had the highest ignition temperature and the spruce rake surface fuel had the highest ignition temperature. Both of these materials, in terms of forest fire start and spread, are more difficult to ignite. Moss segments can take up and hold large amounts of water, making them more difficult to ignite.

Most forest fires start on the surface of the forest soil. Determining the spatial arrangement of fuels occurring on the forest soil surface and then determining the fire characteristics of individual ground fuel segments may help with easier prediction of potential forest fire occurrence in the future.

Keywords: forests fuels, flame ignition, vulnerability, fire spread

Obsah

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1 | Úvod..... | 10 |
| 2 | Cíl práce..... | 12 |
| 3 | Literární rešerše | 13 |
| 3.1 | Lesní požár..... | 13 |
| 3.2 | Charakteristika lesních požárů..... | 15 |
| 3.3 | Dopady lesních požárů | 15 |
| 3.3.1 | Vliv požárů na lidské zdraví | 15 |
| 3.3.2 | Ekologické dopady požárů | 16 |
| 3.3.3 | Sociálně-ekonomické dopady požáru | 16 |
| 3.4 | Druhy lesních požárů | 17 |
| 3.5 | Výskyt lesních požárů | 19 |
| 3.6 | Vznik lesních požárů | 19 |
| 3.7 | Příčiny lesních požárů | 19 |
| 3.7.1 | Antropogenní příčiny..... | 19 |
| 3.7.2 | Biotické příčiny..... | 19 |
| 3.8 | Faktory působící na lesní požár | 20 |
| 3.9 | Faktory ovlivňující šíření lesního požáru..... | 20 |
| 3.9.1 | Meteorologické podmínky | 20 |
| 3.9.2 | Topografie terénu | 20 |
| 3.9.3 | Palivo | 21 |
| 3.9.3.1 | Vlastnosti paliva | 22 |
| 3.9.3.2 | Parametry paliva | 24 |
| 3.9.3.3 | Zapalitelnost dostupného paliva na povrchu lesní půdy | 25 |
| 3.10 | Význam zjišťování teploty vzplanutí..... | 26 |
| 3.11 | Stanovení vznětlivosti materiálů | 26 |
| 3.11.1 | Požárně technické charakteristiky látek (PTCH) | 26 |
| 3.12 | Laboratorní zjišťování teploty vzplanutí | 27 |
| 3.12.1 | Podstata zkoušky stanovení vznětlivosti materiálů | 27 |
| 3.12.2 | Pec pro stanovení bodu vzplanutí..... | 27 |
| 4 | Metodika..... | 30 |
| 4.1.1 | Sběr dat v terénu..... | 30 |
| 4.1.2 | Segmenty odebraných vzorků pozemního paliva | 30 |
| 4.1.3 | Lokality sběru dat | 30 |
| 4.2 | Laboratorní práce | 31 |
| 4.2.1 | Proces stanovení teploty vzplanutí a žhnutí..... | 31 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.2.2 | Záznam naměřených hodnot..... | 33 |
| 4.3 | Statistické zpracování naměřených dat | 34 |
| 4.4 | Výsledky | 35 |
| 4.4.1 | Získané hodnoty dat..... | 35 |
| 4.4.2 | Statistická analýza získaných dat | 40 |
| 4.4.3 | Statistické porovnávání získaných dat dle segmentu pozemního paliva .. | 40 |
| 4.4.3.1 | Porovnávání získaných dat pro segment drobného dřeva | 41 |
| 4.4.3.2 | Porovnávání získaných dat pro segment opadu | 42 |
| 4.4.3.3 | Porovnávání získaných dat pro segment vegetace | 43 |
| 4.4.4 | Statistické porovnávání získaných dat dle druhu dřeviny | 44 |
| 4.4.4.1 | Porovnání teplot žhnutí dle druhu dřeviny..... | 44 |
| 4.4.4.2 | Porovnání teplot vzplanutí dle druhu dřevin | 46 |
| 5 | Diskuze | 48 |
| 6 | Závěr | 53 |
| 7 | Literatura | 54 |

1 Úvod

Požár je příkladem disturbančního faktoru, který má vliv na lesní ekosystémy celého světa (Skre et al. 19998). Lesní disturbance je taková událost, při které dochází k přeměně ekosystému (Pickett, White 1985). Lesní požár je definován jako oheň, který vznikne a šíří se v lesním prostředí, nebo vypukne na jiných pozemcích a rozšíří se do lesních porostů (Hasičský záchranný sbor ČR ©2024).

V současné době dochází ke stále častějšímu vzniku lesních požárů. Zásadní roli na vznik lesních požárů má probíhající klimatická změna společně s lidskou nedbalostí. V důsledku změny klimatu dochází ke stále častějším teplotním výkyvům, úbytku srážek, čímž se stávají lesy suššími a náchylnějšími ke vzniku požáru (Berčák 2023 a). Významnou roli při vzniku lesních požárů hraje také lidská nedbalost a s ní spojené lidské činnosti jako špatné uhašení táboráku či odhozené nedopalky od cigaret (Kořínek 2023). Přestože řada lesních požárů vznikne v důsledku neopatrné lidské činnosti, mohou lesní požáry vzniknout i v důsledku působení přírodních podmínek. Tyto požáry bývají nejčastěji způsobené úderem blesku do stromu nebo vznícením suché vegetace po úderu bleskem (Basnet 2022).

Mezi důležité faktory, které mají významný vliv na rychlost šíření lesních požárů, patří meteorologické podmínky, topografie terénu a dostupné povrchové palivo, kdy se jedná o hořlavý materiál na povrchu lesní půdy (Stow et al. 2019).

Teplo potřebné ke vzniku požáru se přenáší přes povrch dostupného paliva na povrchu půdy. Palivo, které je složeno z jemnějších, drobnějších částic, se vznítí rychleji než paliva s obsahem velkých částic (Scott et al. 2014). Jemnější materiály především traviny a byliny ztrácejí vodu rychleji, čímž se stávají snadněji zapalitelné. Naopak větší materiály ztrácejí vodu pomaleji, čímž se stávají na rozdíl od drobných materiálů hůře zapalitelnými (Berčák 2023 a). Množství drobných, lehkých paliv na povrchu půdy, jako jsou suché trávy, traviny, suché listí, způsobuje rychle šíření lesního požáru a působí jako podpal pro těžší paliva na povrchu lesní půdy (British Columbia Wildfire service ©2022). Dostupný suchý materiál jemného paliva má na vznik a šíření lesního požáru mnohem větší vliv než těžké hořlavé materiály (Majlingova et al. 2018).

Množství dostupného paliva a jeho vlastnosti, podporující vznik a šíření lesního požáru, je jediná proměnná, kterou lze řídit z hlediska snížení vzniku a šíření lesních požárů (Aragoneses et al. 2023).

V současné době je více než důležitá včasná analýza rizik vedoucích k případnému vzniku lesních požárů. Z hlediska problematiky stále častěji se vyskytujících lesních požárů je pro pochopení rizika vzniku lesních požárů důležitá dostatečná znalost prostorových vlastností dostupného paliva na povrchu lesní půdy (Abdollahi, Yebra 2023). Důležitým bodem jsou v tomto případě informace o aktuální vlhkosti dostupného paliva na povrchu lesní půdy (Pecl 2007).

Dle Chromka et al. (2018) není v současné době dostatečné množství studijního materiálu o lesních požárech na území České republiky.

Na základě zjištěných informací o pozemním palivu na povrchu lesní půdy lze odvodit jednotlivé požární charakteristiky jednotlivých segmentů pozemního paliva, mezi které patří teplota žhnutí a vzplanutí. Tyto znalosti mohou v budoucnu pomoci se snadnější predikcí a snadnějším zdoláváním lesních požárů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zjišťování teplot žhnutí a vzplanutí jednotlivých segmentů pozemního paliva na povrchu lesní půdy. Smyslem této práce bylo zjistit teploty žhnutí a vzplanutí pro jednotlivé segmenty pozemního paliva a na základě zjištěných hodnot vyhodnotit riziko vzniku a šíření lesních požárů. Získané informace o požárních charakteristikách jednotlivých paliv na povrchu lesní půdy by mohly v budoucnu pomoci se snadnějším odhadem potencionálního vzniku a šíření lesního požáru.

2 Cíl práce

Cílem této práce je pomocí laboratorního přístroje Setchkinovy odporové pece zjistit teplotu žhnutí a vzplanutí jednotlivých lesních segmentů pozemního paliva, na základě zjištěných dat provést vzájemné porovnání výsledků mezi sebou a následně vyhodnotit získané výsledky s ohledem na potenciál vzniku lesního požáru.

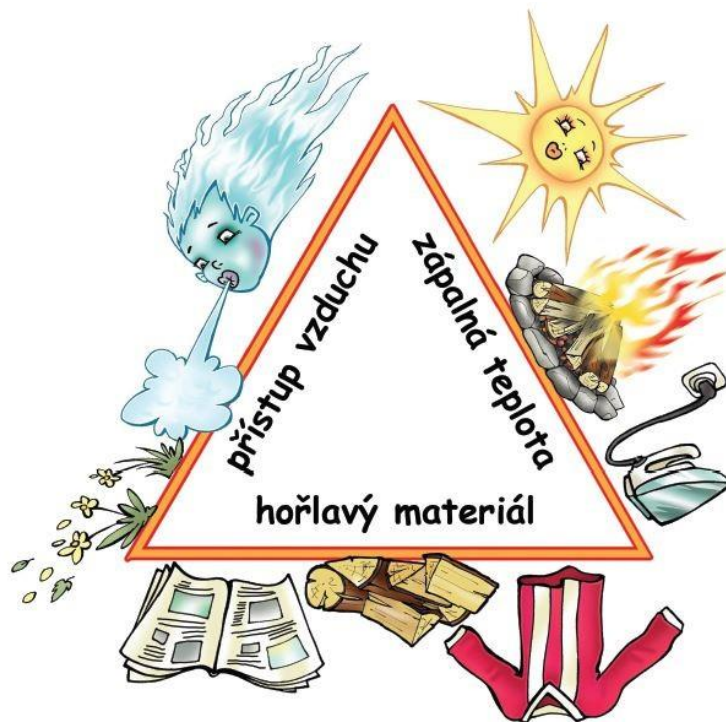
3 Literární rešerše

3.1 Lesní požár

Lesní požár je ničivý přírodní činitel. Jedná se o soubor fyzikálně-chemických jevů, doprovázených procesem hoření. Při tomto jevu dochází k uvolňování energie ve formě tepla a světla do okolí. Hoření lesního prostředí lze popsat jako hoření celého souboru organických materiálů, ze kterých se lesní prostředí skládá (Chromek 2005). V současné době však neexistuje v České republice žádná přesná oficiální definice lesního požáru. Na základě definic ze zahraničí a již dostupných informací byla vytvořena tato definice lesního požáru: Lesní požár lze definovat jako oheň, který vznikne a šíří se v lese, nebo jako oheň, který vznikne na jiných pozemcích a rozšíří se na lesní pozemky. (Pecl et al. 2021).

V České republice upravuje definici požáru vyhláška 246/2001 Sb., o požární prevenci, kdy je požár chápán jako každé nežádoucí hoření, při kterém došlo k usmrcení nebo zranění osob nebo zvířat, ke škodám na materiálních hodnotách nebo životním prostředí a nežádoucí hoření, při kterém byly osoby, zvířata, materiální hodnoty nebo životní prostředí bezprostředně ohroženy.

Důležitou a nedílnou součástí požáru je proces hoření. Jedná se o fyzikálně-chemický děj, při kterém se zahřívající látka ohřeje na svoji zápalnou teplotu a slučuje se s kyslíkem za uvolnění energie ve formě světla a tepla do okolí, rovněž dochází k uvolňování zplodin hoření. Samotný proces hoření vyžaduje přítomnost tří důležitých prvků, kterými jsou hořlavá látka, přítomnost kyslíku a v neposlední řadě zápalný zdroj (Volf 2004). Prvky společně tvoří tzv. trojúhelník hoření (Obrázek 1). Při absenci kteréhokoliv z těchto prvků nedojde k procesu hoření (Pecl et al. 2021).



Obrázek 1: Trojúhelník hoření (Sdružení hasičů Čech, Moravy a Slezska 2014)

Při požáru dochází k velmi výrazným změnám abiotických a biotických podmínek na stanovišti. Dochází k odstraňování biomasy a rostlinného opadu. Mění se světelné a teplotní podmínky stanoviště a zároveň dochází ke změnám vlastností půdy zvýšením půdního Ph. Ze stanoviště jsou eliminovány citlivější druhy, které jsou méně odolné k vyšším teplotám. Naproti tomu druhy, které jsou adaptovány na vyšší teploty okolního prostředí, jsou upřednostňovány (Adámek, Bobek 2020).

Některé druhy dřevin mají fyziologické adaptace na vysoké teploty při požáru. Mezi tyto druhy patří například *Pinus banksiana*, jejíž serotinní šišky jsou zcela zapečetěny pryskyřicí. K otevření těchto šišek a uvolnění semen dochází až poté, co žár ohně fyzicky roztaví pryskyřici šišek. Některé druhy rostlin, jako jsou modřiny a sekvojovce, jsou přizpůsobeny na vysoké teploty, při požáru svojí neuvěřitelně silnou kůrou zpomalují jejich hoření, aniž by došlo k poškození životně důležitých tkání těchto dřevin (Petruzzello 2014).

3.2 Charakteristika lesních požárů

Lesní požáry jsou z hlediska jejich lokalizace a likvidace jedním z nejsložitějších přírodních jevů. Velmi často je plocha požáru rozsáhlá a nachází se v těžce přístupném terénu, což znemožňuje rychlé a účinné hašení požáru. Při lesních požárech dochází k poškození současného porostu a k narušení produkce lesních porostů. Porosty oslabené požáry bývají často zdrojem zhoubných nemocí, které se mohou rozšířit i do dalších porostů. V důsledku požáru dochází k nenávratnému poškození fauny a flory (Francl 2007).

Lesní požáry se vyznačují rychlým šířením na velkých plochách, z tohoto důvodu je jejich hašení a likvidace leckdy velmi složitá (Ministerstvo vnitra ČR ©2017).

3.3 Dopady lesních požárů

Šíření ohně v krajině v podobě lesních požárů je významným jevem v řadě zemí světa. Lesní požáry ohrožují životy lidí, dochází k materiálním ztrátám, mají negativní vliv na produkční a mimoprodukční funkce lesa (Šišák 2007).

Lesní požáry mají rovněž řadu pozitivních důsledků v podobě využívání řízených lesních požárů. V dnešní době řada evropských zemí využívá úmyslné vypalování lesních porostů za účelem snížení požárního rizika, kdy dochází k eliminaci nadbytku suché organické hmoty na povrchu lesní půdy. Ačkoli byl oheň v České republice v minulosti využíván v lesním hospodářství k řízenému vypalování lesních porostů, v současné době je u nás úmyslné vypalování lesních pozemků zakázáno. (Pešout 2016).

Mezi pozitivní dopady lesních požárů lze zařadit i omezení či úplnou likvidaci onemocnění jednotlivých jedinců v rámci lesního ekosystému a s tím související určitý regenerační účinek na část lesního ekosystému. Na vyhořelých místech po požáru může docházet k poměrně rychlé obnově původní vegetace díky přítomnosti popelu, který funguje jako hnojivo (Krulík 2014).

3.3.1 Vliv požárů na lidské zdraví

S narůstající frekvencí lesních požárů dochází k nárůstu ohrožení lidského zdraví v důsledku uvolňování škodlivých látek vznikajících při požáru do ovzduší. Kouř z lesních požárů je směs látek, z nichž toxické částice, které se dostávají do ovzduší, mají negativní dopad na lidské zdraví (World health organization ©2024).

3.3.2 Ekologické dopady požárů

V poslední době jsou lesní požáry čím dál častější a způsobují závažnější dopady na okolní prostředí. Lesní požáry mají negativní vliv na kvalitu ovzduší. Při lesních požárech dochází k uvolňování skleníkových plynů do ovzduší, čímž dochází k ohřívání planety a narušování přirozeného stavu atmosféry země. Tento stav rovněž urychluje probíhající klimatickou změnu. (Alexander, Anderson 2023).

Požáry jsou příkladem disturbančního faktoru, které dokážou výrazně ovlivnit řadu ekosystémů (Engelmark 1987). Působení požárů na okolní prostředí způsobuje dočasné snížení biomasy a změnu lokálních abiotických a biotických podmínek. Požáry mají vliv na biologické a chemické vlastnosti půdy. Při požáru dochází k eliminaci nízkých a citlivých druhů ve prospěch schopnějších druhů, které jsou schopné přežít na stanovišti po požáru (Agee 1998).

Požáry snižují množství lesního opadu, což umožňuje následné uvolnění živin z půdy a obnažení minerální půdy (Uotilla et al. 2005). Při požárech dochází k poškození podrostu, který je následně nahrazen zmlazením světlomilných dřevin. (Sinton et al. 2000).

Lesní požáry mají rovněž vliv na zajištění kvality povrchové vody. Lesní porosty zajišťují infiltraci a snižují míru eroze, čímž dochází k zabránění sedimentace znečišťujících látek a jejich pronikání do řek a jezer. Po požáru dochází k úbytku stromů, čímž se půda stává méně stabilnější a náchylnější k půdní erozi, to může následně vést ke zhoršení kvality povrchové vody. (Alexander, Anderson 2023).

3.3.3 Sociálně-ekonomické dopady požáru

Lesní požáry mají negativní vliv jak na dřevoprodukční funkce lesa, tak i na mimoprodukční funkce lesa. Mimoprodukční funkce lesa, které bývají často ohroženy požáry, jsou půdochranné funkce, vodohospodářské funkce lesa a spousta dalších funkcí, které jsou negativně ovlivněny požáry (Šišák 2004). Škody na dřevoprodukčních službách lesa jsou snadněji vyčíslitelné, než škody ohrožující mimoprodukční funkce lesa. Samotné hodnocení míry sociálně – ekonomických škod je náročný proces, protože les jako takový je sám o sobě velmi složitým objektem, jehož produkty jsou v rámci společnosti mnohostranně využívány. Služby lesa a jejich využívání se neustále mění dle společenské poptávky a potřeby. Z tohoto hlediska je mnohdy velmi náročné určitou celkovou peněžní hodnotu škod způsobených lesními požáry (Šišák 2009).

3.4 Druhy lesních požárů

Hasičský záchranný sbor České republiky rozděluje lesní požáry na:

- a) **Podzemní** (Obrázek 2) – dochází k požáru rašeliny nebo vrstvy humusu hluboko v podzemí, tyto požáry se nejčastěji projevují hořením pod vrstvou hrabanky
- b) **Pozemní** (Obrázek 3) – požár půdního krytu (mech, tráva, hrabanka)
- c) **Korunový** (Obrázek 4) – k tomuto požáru dochází ve větvích stromu. Tento druh požáru nastává přechodem z pozemního požáru, kdy se oheň dostane k větvím a zapálí je. Řadí se mezi nejnebezpečnější požáry (hlavně u jehličnanů) a má nejvyšší rychlost šíření.



Obrázek 2: Podzemní požár (Brad Lidell 2016)



Obrázek.3: Pozemní požár (Forest Service U.S. Department of agriculture 2023)



Obrázek.4: Korunový požár (Mike Mcmillan 2013)

3.5 Výskyt lesních požárů

Výskyt požárů na daném území je ovlivněn antropogenními a enviromentálními faktory. Mezi enviromentální faktory patří především náchylnost daného stanoviště ke vzniku požáru, zatímco antropogenní faktory způsobené převážně člověkem a jeho činnostmi ovlivňují zejména frekvenci vzniku požárů (Adámek 2016).

3.6 Vznik lesních požárů

Existuje mnoho faktorů, které určují, zda dojde k požáru či nikoliv. Pro vznik požáru je potřeba zdroj vznícení neboli jiskra, nebo jakýkoliv jiný dostatečně intenzivní zdroj tepla, který by způsobil samotné hoření. Samotný proces hoření je závislý na přítomnosti dostupného hořlavého materiálu v dostatečně suchém stavu. (Thomas et al. 2012).

3.7 Příčiny lesních požárů

V současné době dochází ke změnám v požárním počasí, které jsou spojené s narůstající teplotou a poklesem vlhkosti vzduchu. Tyto změny požárního počasí jsou z velké části způsobeny klimatickou změnou v důsledku lidské činnosti (Barnes et al. 2023).

Ke vzniku požáru v lesním prostředí dochází ze dvou příčin, buď vznikají v důsledku neopatrné lidské činnosti, nebo vznikají v důsledku přírodních jevů. V případě důsledku přírodních jevů se jedná o zásah bleskem nebo samovznícení (Talichová 2021). Nejčastěji však lesní požáry vznikají v důsledku lidské nedbalosti (Hasičský záchranný sbor ČR ©2024).

3.7.1 Antropogenní příčiny

Převážná většina lesních požárů je způsobena lidskou činností. Dominantními příčinami lesních požárů v letech 1992-2004 bylo zakládání ohňů v lesním prostředí (32,7 %), dále pak kouření a následné vznícení nedopalků od cigaret (22,4 %). Mezi další příčiny požárů dále patří neopatrné hospodaření v lese. Při neopatrném hospodaření v lese dochází nejčastěji ke vzniku požárů při technologických postupech v lese, jako jsou například pálení těžebního odpadu, jiskra od motorové pily či nedbalost lesních dělníků (Jankovská, Kula 2011).

3.7.2 Biotické příčiny

Přestože jsou lesní požáry ve většině případech způsobené neopatrnou lidskou činností, mohou vzniknout i v důsledku působení přírodních podmínek. Příčiny těchto požárů se mohou lišit v závislosti na současném stavu klimatu, vegetaci a topografii konkrétní oblasti.

Tyto požáry bývají nejčastěji způsobené úderem blesku do stromu či může dojít ke vznícení suché vegetace po úderu bleskem (Basnet 2022).

3.8 Faktory působící na lesní požár

Počet a charakter lesních požárů je ovlivňován řadou aspektů, mezi které patří přírodně porostní podmínky daného stanoviště, klimatické podmínky stanoviště a společenský charakter. V případě přírodně porostních poměrů se jedná o dřevinnou skladbu porostu, věk porostu, kvalita podrostu, půdní typ. Klimatické faktory mají vliv na kvantitativní a kvalitativní aspekty lesních požárů. Mezi důležité aspekty působící na lesní požáry patří společenské faktory, jako je legislativa a chování obyvatel (Šišák 2004).

3.9 Faktory ovlivňující šíření lesního požáru

Důležitou vlastností požáru je jejich rychlost šíření. Rychlost šíření požáru se mění v závislosti na třech primárních faktorech: meteorologických podmínkách, topografii terénu a složení paliva, tedy hořlavého materiálu dostupného na povrchu lesní půdy (Stow et al. 2019).

3.9.1 Meteorologické podmínky

Mezi nejvýznamnější faktory, které mají vliv na šíření požáru, lze zařadit počasí a jeho projevy. Nejvýznamnější projevy počasí jsou srážky, vítr a teplota vzduchu. Nedostatek srážek způsobuje vysušování půdy a jejího povrchu, který se stává náchylnější ke vzniku požáru a jeho šíření. Působení větru na přírodní požár může způsobit jeho snadnější rozšíření do okolí, kdy velmi často dochází k ohnutí plamenů ve směru větru. V důsledku působení tepla na jeho okolí dochází k rychlejší přípravě paliva v podobě odpařování vody z povrchu lesní půdy, což vede k rychlejšímu šíření požáru. (Pecl et al. 2021).

3.9.2 Topografie terénu

Role topografie terénu je z hlediska šíření požárů oproti vlastnostem dostupného paliva a předvídatelnosti meteorologických podmínek předvídatelnější. Mezi topografické prvky, které mají významný vliv na šíření požáru, patří sklon terénu, kdy dochází ke snazšímu šíření ohně do kopce než z kopce, při šíření požáru do kopce dochází k snadnějšímu zahřívání dostupného paliva. Dále mezi významné prvky ovlivňující šíření požáru patří orientace svahu. Orientace svahu určuje množství přijatého tepla získané slunečním zářením. Na jižní a jihozápadní svahy dopadá více slunečního záření, než na svahy severní. Jižní a jihozápadní svahy mají obvykle vyšší přízemní teploty, méně vegetace a sušší a řidší paliva, která jsou

tak náchylnější k zapálení. Díky těmto vlastnostem jsou jižní a jihozápadní svahy náchylnější ke vzniku požáru. V neposledním řadě je důležitým faktorem pro šíření požáru nadmořská výška. Ve vyšších nadmořských výškách má vliv na vlhkost paliva přítomnost sněhové pokrývky, kdy nedochází k tak rychlému vysoušení dostupného paliva. Naopak v nižších nadmořských výškách dochází vlivem vyšších teplot k snadnějšímu vysoušení pokryvu lesní půdy (Northwest fire science consortium ©2017).

3.9.3 Palivo

Paliva jsou hořlavé látky, vyskytující se v prostoru požáru. Mezi palivo patří jakýkoliv živý či mrtvý organický materiál, který se může vznítit a hořet. Při hoření lesního paliva dochází k samotnému hoření organických látek, ze kterých je složen lesní porost (Kačíková et al. 2020).

Palivo se v přírodním prostředí vyskytuje ve třech vrstvách: podzemní, povrchové a korunové palivo. Podle hořící vrstvy lze určit, zda se jedná o podzemní, pozemní nebo korunový požár (Majlingová et al. 2018).

Podzemní palivo je tvořeno převážně vegetací v rozkladu v podobě humusu a mrtvého dřeva. Podzemní vrstva paliva se nachází mezi opadankou a samotnou půdou. Při hoření tohoto paliva dochází k poškození kořenů a k jejich následnému odumírání (Pyne et al. 1996).

Mezi povrchové palivo patří veškerá živá a mrtvá vegetace, ležící na povrchu lesní půdy. Tato vrstva lesního paliva začíná opadankou a končí korunami drobných stromů, které nezasahují do hlavního zápoje porostu. Mezi povrchová paliva patří např: byliny, traviny, opadané listí, jehličí, drobný dřevní materiál (drobně větvičky). Při hoření tohoto druhu paliva dochází k pozemnímu požáru. K šíření požáru dochází skrze jemné povrchové palivo, jako je tráva, jehličí a drobný dřevní materiál. (Majlingová et al. 2018).

Korunové palivo je tvořeno vzrostlými stromy, které dosahují korunové výšky stromů (Pyne et al. 1996). Hlavním zdrojem energie pro šíření korunového požáru jsou především listy a větve stromů. Pro vznik korunových požárů je rozhodující intenzita povrchového požáru, výška nasazení korun stromů. Na šíření požáru má vliv hustota korunové biomasy (Harrington 2005).

Při vzniku požáru má významnou roli povrchové palivo, kdy ke vzniku požáru dochází obvykle v této vrstvě paliva, odkud se může rozšířit do dalších vrstev paliva. Z tohoto důvodu je ve vědě kladen největší důraz na povrchové palivo (Pyne et al. 1996) a jeho palivové charakteristiky (Sandberg et al. 2001).

3.9.3.1 Vlastnosti paliva

Chování požárů je závislé na vlastnostech dostupného paliva (vegetace), náchylného ke vzniku požáru. Přesné a prostorové uspořádání paliva na stanovišti se stává nezbytné pro řešení a řízení rizik spojené s požáry. Charakteristiky jednotlivých paliv jsou důležité pro odhad možného šíření požáru. Dostupnost paliva v lesním prostředí má na vznik, intenzitu a šíření lesních požárů mnohem větší vliv než ostatní faktory (Brown 1973). Množství dostupného paliva a jeho vlastnosti podporující vznik požáru je jediná proměnná, kterou lze řídit z hlediska snížení šíření požárů. (Aragoneses et al. 2023).

Pro pochopení rizika vzniku a chování lesních požárů je důležitá dostatečná znalost prostorových vlastností lesního paliva a jeho rozložení v prostoru. Mapování a charakteristika vlastností lesního paliva je náročný a komplikovaný postup, protože vlastnosti paliv na jednotlivých stanovištích jsou variabilní. Z tohoto důvodu jsou pro zjednodušení používána klasifikační schémata shrnující důležité atributy jednotlivých paliv do typů paliv, které jsou seskupeny do vegetačních tříd s podobným předpokládaným chováním při požáru (Abdollahi, Yebra 2023).

Na míru intenzity, trvání a šíření lesních požárů mají zásadní vliv vlastnosti paliva. Mezi tyto vlastnosti patří skladba paliva, množství paliva, prostorová distribuce paliva a jeho vlhkost. (Majlingová et al. 2018).

3.9.3.1.1 Skladba lesního paliva

Dostupné palivo se skládá z velkého množství různě hořlavých materiálů, které jsou z hlediska problematiky lesních požárů řazeny do čtyř segmentů. Mezi tyto segmenty patří podrost (vegetace), humus (kořeny rostlin, zbytky organického materiálu), opad a drobné dřevo (Pecl et al. 2021).

Vegetace je tvořena velkým množstvím travin, bylin a mechů. Je tvořena snadno zapalitelným lehkým a jemným palivem. K zapálení vegetace je potřeba malé množství tepla k jejímu vzplanutí. Po zapálení dochází k uvolňování dostatku tepla, které může zapálit jiné dostupné palivo (Majlingová 2014).

Drobné dřevo je tvořeno drobným dřevěným materiálem, jako jsou drobné větévky ležící na povrchu lesní půdy či semenný materiál stromů. Tento materiál je na rozdíl od vegetace, listů a jehličí těžší zapálit. Díky jeho poměrně velkým rozměrům je potřeba větší množství tepelné energie k jeho zapálení. Avšak v případě již vzniklého procesu hoření

produkuje právě tento materiál velké množství tepelné energie do okolí a dochází tím k urychlení šíření požáru vysychání (Pecl et al. 2021).

Jako opadová vrstva paliva jsou označovány asimilační orgány stromů (listí, jehličí) nacházející se na povrchu lesní půdy. Podobně jako u vegetace dochází k poměrně snadnému vznícení této povrchové vrstvy lesního paliva. Proces hoření této vrstvy je však pozvolný, to je způsobeno především vyskytující se množství tohoto materiálu v prostoru. Při vzájemném porovnávání hořlavosti jehličí a opadu listnatých stromů by se dalo předpokládat, že bude rychleji hořet nahromaděné listí. Nicméně díky obsahu látek v jehličí, které výrazně podporují proces hoření, dochází k rychlejšímu hoření jehličí. Rovněž vše podporuje množství vody, která se drží v nerovnostech listového opadu, zatímco v urovnané vrstvě jehličnatého opadu dochází k snadnějšímu vysychání (Pecl et al. 2021). Voda, obsažená ve volných prostorech listového opadu, prodlužuje předehřívací fázi před samotným vznícením paliva. Aby mohlo dojít k samotnému vznícení dostupného paliva, musí být tomuto palivu dodáno větší množství energie na jeho ohřátí a dehydrataci (Nelson 2001).

Humusová vrstva nemá příliš významný vliv na šíření požáru. Tato vrstva je velmi často vlhká a silně stlačená, čímž je pouze velmi malá část této vrstvy vystavená působení vzduchu. Rychlost hoření humusové části je velmi pomalá (Majlingová et al. 2018). Na rozdíl od ostatních segmentů pozemního paliva dochází při hoření této vrstvy k nejmenšímu uvolňování tepelné energie do okolí. Nicméně je důležité s hořením tohoto segmentu počítat, protože velmi často tvoří zdroj zapálení pro hoření skrytých ohnisek pod zemí, čímž může přispět k šíření podzemních požárů (Pecl et al. 2021).

3.9.3.1.2 Množství a prostorová distribuce paliva

Mezi faktory mající významný vliv na šíření požáru patří množství a prostorová distribuce dostupného paliva náchylného ke vzniku požáru. V lesních porostech se vyskytují místa, kde je nahromaděno větší množství paliva (terénní nerovnosti, těžební zbytky). Tato místa jsou náchylnější k intenzivnějšímu hoření, dochází zde k větší produkci tepelné energie, čímž dochází k rychlejšímu šíření požáru (Pecl et al. 2021).

Podle schopnosti paliva přenášet plamen může dojít k horizontálnímu nebo vertikálnímu uspořádání paliva. Vertikální palivo, které je schopné přenášet plamen do výšky, jsou například traviny. Mezi horizontální patří například lesní opad (TDA Burn School ©2002).

3.9.3.1.3 Vlhkost paliva

Vlhkost paliva je množství vody přítomné v palivu, vyjádřené jako procento hmotnosti vysušeného paliva (Monoši et al. 2015). Vlhkost dostupného povrchového paliva je důležitým faktorem při lesních požárech, který má významný vliv na výskyt a intenzitu lesních požárů. Při vysokém obsahu vlhkosti klesá pravděpodobnost vzniku lesních požárů, naopak při nízkém obsahu vlhkosti paliv je riziko vzniku požáru vyšší (Western fire chiefs association ©2022).

Obsah vody v palivu má významný vliv jak na průběh spalovací reakce, tak i na celkové chování požáru (Dimitrakopoulos, Papaioannou 2001). Obsah vody v palivu je nejčastěji vyjadřován jako podíl hmotnosti vody obsažené v palivu ku hmotnosti suchého paliva. Tento poměr se nejčastěji vyjadřuje v procentech (Norum, Miller 1984). Obsah vody v palivu ovlivňuje proces hoření z hlediska prodloužení přehřívací fáze před samotným vznícením paliva. Aby mohlo dojít k samotnému vznícení paliva, musí mu být dodáno dostatečné množství energie na jeho ohřátí a dehydrataci. Při větším obsahu vody v palivu je potřeba větší množství této tepelné energie na jeho dostatečné ohřátí, čímž dochází k prodloužení procesu vznícení paliva (Cochrane, Ryan 2009, Dimitrakopoulos, Papaioannou 2001, Nelson 2001).

3.9.3.2 Parametry paliva

Mezi důležité charakteristiky, mající vliv na způsob spalování jednotlivých částic paliv, patří množství paliva (viz kapitola 3.10.3.3), kompaktnost paliva, chemické vlastnosti paliva, geometrie paliva a jeho hustota. Kdy každá z těchto vlastností má vliv na to, jakým způsobem dostupné palivo začne hořet v daném čase. Zatímco jedna z těchto charakteristik může iniciovat proces hoření a tím přispět ke vzniku požáru, ostatní charakteristiky mohou mít významný vliv na šíření požáru a jeho intenzitu. (Scott et al. 2014).

3.9.3.2.1 Kompaktnost paliva

Kompaktnost paliva je vzdálenost mezi jednotlivými částicemi paliva. Vzdálenost jednotlivých částic paliva ovlivňuje samotnou iniciaci materiálu, šíření a intenzitu hoření, kdy palivo, které je dostatečně zhutněné, má tendence hořet pomaleji, zatímco volněji uspořádané částice paliva obvykle mají tendenci hořet rychleji díky většímu množství dostupného kyslíku mezi jednotlivými částicemi (Pyne et al. 1996).

3.9.3.2.2 Chemické vlastnosti paliva

Na šíření a chování lesních požárů mají rovněž vliv chemické vlastnosti paliva. Všechny dostupné složky paliv (živé, odumřelé) obsahují celulózu, která podporuje šíření požáru.

Minerálové a chemické složení může mít vliv na rychlost procesu hoření. Mezi chemické složky, které mají významný vliv na rychlost hoření, patří těkavé látky, které proces hoření urychlují. Paliva s vyšším obsahem těchto látek jsou náchylnější k rychlejšímu šíření požáru a k vyšší intenzitě požáru. (TDA Burn School ©2002).

3.9.3.2.3 Geometrie paliva

Důležitou roli v procesu zapalitelnosti a následného šíření požáru do okolí má geometrie paliva zahrnující velikost a tvar paliva. Teplo, potřebné ke vzniku požáru, se přenáší přes povrch paliva. Palivo složené z jemnějších palivových částic se vznítí snadněji než paliva s obsahem velkých částic. Tvar jednotlivých částic je důležitým faktorem pro hodnocení aerodynamických vlastností zápalných materiálů, které díky obsahu těkavých látek mohou při svém hoření vytvářet jiskry, které mohou být přenášeny do okolí prostřednictvím větru (Scott et al. 2014). Tvar a velikost paliva mají vliv na dobu, která je potřebná k vyschnutí paliva a k rychlosti přehřátí paliva ohněm (British Columbia Wildfire service ©2022).

3.9.3.2.4 Struktura a hustota paliva

Drobné materiály (traviny, byliny) ztrácejí vodu rychleji a jsou snadněji zapalitelné. Při jejich hoření dochází k rychlému uvolnění tepla do okolí, ale také velmi rychle dochází k jejich vyhoření. Větší materiály (dřevní materiál) ztrácejí vodu pomaleji. K jejich zapálení dochází pomaleji. Jejich vyhořívání je pomalejší, což souvisí s dlouhotrvajícím uvolňováním tepla do okolního prostoru (Berčák 2023 b).

3.9.3.3 Zapalitelnost dostupného paliva na povrchu lesní půdy

Mnoho faktorů má významný vliv na vznik požáru. Mezi tyto faktory patří vhodný suchý materiál v podobě dostupného lesního paliva, který je hořlavý a snadno zapalitelný. Na zapalitelnost materiálu má vliv teplota vznícení a vzplanutí. Teplota vzplanutí je taková teplota, při které dochází ke vznícení dostupného paliva při dané vlhkosti a bez jiného zdroje tepla iniciujícího proces hoření. Zapalitelnost lesního paliva tedy závisí na vnitřních vlastnostech dané látky a na vnějších podmínkách jako např. vlhkost paliva či jeho tvar (Stolina 2001).

Lehká paliva na povrchu lesní půdy, jako jsou suché trávy, traviny, suché listí způsobují rychle šíření lesního požárů a působí jako podpal pro těžší paliva (British Columbia Wildfire service ©2022). Nejhořlavější materiál pozemního paliva, jehož hoření přispívá k rychlému

vzniku a šíření lesního požáru, je dostupné množství suchých travin a suché vegetace, kdy souvislý kryt, který je tvořen suchou travou a uschlou vegetací, má na vznik a šíření lesního požáru mnohem větší vliv než těžké hořlavé materiály (Majlingova 2018).

3.10 Význam zjišťování teploty vzplanutí

Při lesních požárech dochází především k požáru lesní půdy. Z tohoto hlediska je důležité zjišťování hodnot teploty vzplanutí a dalších důležitých vlastností jednotlivých složek lesní půdy. Díky analýze struktury jednotlivých složek lesní půdy a její náchylnosti k zapálení lze na základě těchto zjištění předpokládat případné šíření požáru (Berčák 2023 a, Ministerstvo vnitra ČR ©2022).

3.11 Stanovení vznětlivosti materiálů

V České republice je platná norma z roku 1977 ČSN 64 0149 pro stanovení vznětlivosti pevných materiálů. Tato norma definuje teplotu vzplanutí. Na základě této normy je možné určit a srovnávat charakteristiky vznětlivosti různých materiálů za daných laboratorních podmínek. Norma poskytuje orientační informace o minimálních hodnotách teplot, které mohou způsobit vzplanutí nebo vznícení materiálu. Rovněž udává přesnou definici důležitých pojmů, mezi které patří vznětlivost, teplota vzplanutí a teplota vznícení. Rovněž je v normě uvedeno, jakým způsobem a jakými laboratorními přístroji lze tyto hodnoty laboratorně zjišťovat (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).

3.11.1 Požárně technické charakteristiky látek (PTCH)

Požárně technické charakteristiky látek jsou dle vyhlášky č. 246/2001 (Vyhláška o požární prevenci) jsou vlastnosti látek, vyjádřené měřitelnou hodnotou, nebo jsou tyto vlastnosti stanovené na základě měřitelných hodnot více dílčích vlastností.

Vznětlivost je schopnost materiálu zapálit se při zahřívání za zvýšených teplot. Vyjadřuje se pomocí teploty vzplanutí a vznícení (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).

Teplota vzplanutí je nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde působením vnějšího zápalného zdroje k zapálení směsi plyných produktů rozkladu (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).

Teplota vznícení je nejnižší teplota vzduchu proudícího kolem vzorku, při které dojde k samotnému zapálení vzorku bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje, projevujícím se plamenem nebo výbuchem (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).

Žhnutí je schopnost materiálu pevného skupenství hořet bez přítomnosti plamene (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví ©2018).

3.12 Laboratorní zjišťování teploty vzplanutí

Zjišťování hodnot teploty vzplanutí je laboratorně prováděno v Setchkinově odporové peci, která se používá pro stanovení bodu vzplanutí pevných látek. Přístroj se používá k zjišťování teplot vzplanutí, vznícení a žhnutí do teploty do 750°. Pro stanovení teploty vzplanutí pevných materiálů se do přístroje vkládají pevné materiály v různých formách o hmotnosti 2-3 g (VŠB-TUO ©2020).

Při procesu zapalování zkoušeného materiálu se daný materiál vloží do prostředí s předem nastavenou teplotou. Pokud je teplota nízká, materiál se pouze ohřeje, ale nedochází k jeho vznícení. Při vyšší teplotě dochází k zahřátí materiálu na takovou teplotu, která aktivuje vnitřní tepelné zdroje materiálu. Toto vzniklé teplo ohřeje daný materiál na vyšší teplotu, než je teplota okolí. Dochází k uvolňování rozkladných produktů, které nejsou v daných podmínkách samozápalné. Z tohoto důvodu dochází po vyčerpání vnitřních zdrojů k poklesu teploty na okolní teplotu. Při opětovném zvýšení teploty dochází k produkci hořlavých plynů, které jsou samozápalné a dochází k procesu vznícení dané látky (Svozílek 2012, Filipi 2003).

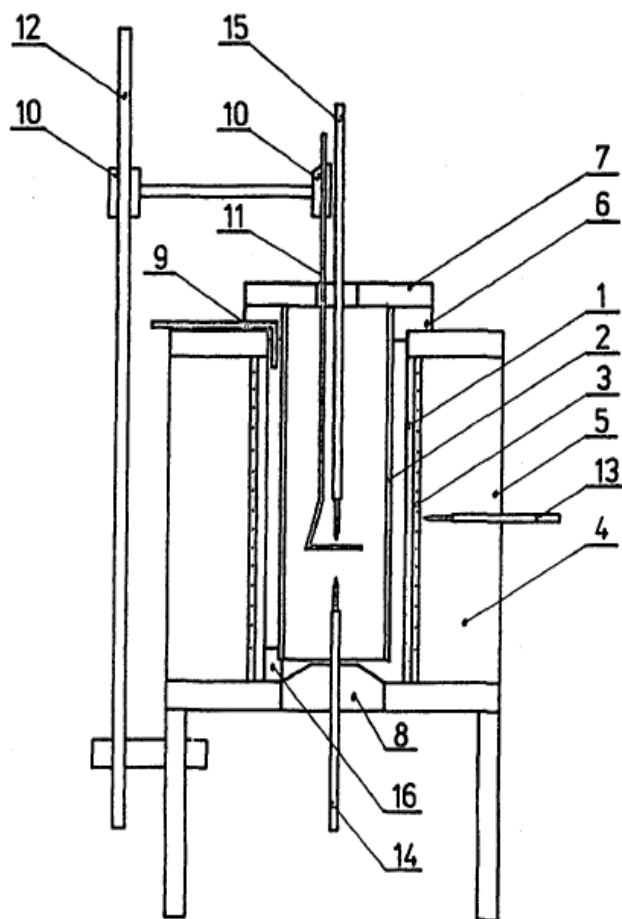
3.12.1 Podstata zkoušky stanovení vznětlivosti materiálů

Vzorek materiálu je vložen do Setchkinovy odporové pece a je zahříván proudem vzduchu o určité konstantní teplotě a konstantní rychlosti vzduchu. Sleduje se, zda dojde během 10-15 min ke vzplanutí či vznícení vloženého materiálu (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).

3.12.2 Pec pro stanovení bodu vzplanutí

Setchkinova odporová pec (Obrázek 5) se skládá ze dvou soustředných válců ze žáruvzdorného materiálu nejčastěji keramiky, antikorozi oceli, taveného křemene. Vnitřní průměr vnějšího válce je 100 mm a výška 210 až 250 mm. Kolem vnější stěny je navinutý odporový drát. Průměr vnitřního válce je 75 mm a výška 210 až 250 mm. Vnitřní válec je umístěn na podstavním prstenci a přesahuje vnější válec asi o 15 mm. Prostor mezi stěnami

válce je vyplněn izolačním materiálem a pec je opatřena víkem. Dále je součástí odporové pece držák vzorků z nerezového materiálu pro vkládání misky se vzorkem. Misky, do kterých se vkládá vzorek, jsou nejčastěji vyrobené z platiny nebo jiného antikorozičního materiálu. Rovněž je součástí odporové pece pomocný zapalovací zdroj, a to nejčastěji z plynového hořáku. Plamínek se seřizuje na velikost 20 mm a je umístěn nad středem víka odporové pece. Dále je odporová pec tvořena regulátory pro měření průtoku vzduchu a jeho teploty. K měření teploty vzduchu v peci a měření teploty vzorku jsou používány dva termočlánky, z nichž jeden je umístěn v dolní části uvnitř pece a druhý je umístěn těsně nad vloženým vzorkem. Současně jsou tyto termočlánky propojené se zapisovači teplot, které umožňují okamžité odečítání teplot (Federální úřad pro normalizaci a měření ©1977).



- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 – vnější topný válec | 10 – fixační bloky |
| 2 – vnitřní válec | 11 – držák vzorku |
| 3 – topné vinutí | 12 – vodící tyč |
| 4 – izolační materiál | 13 – termočlánek (čidlo) regulátoru |
| 5 – vnější plášť | 14 – termočlánek pro měření teploty vzduchu |
| 6 – příruba | 15 – termočlánek pro měření teploty vzorku |
| 7 – víko | 16 – podstavný prstenec (bloky) |
| 8 – vyjímatelný uzávěr | |
| 9 – trubička pro přívod vzduchu | |

Obrázek 5: Setchkinova odporová pec (Federální úřad pro normalizaci a měření
Československá státní norma ČSN 64 0149 1977)

4 Metodika

4.1.1 Sběr dat v terénu

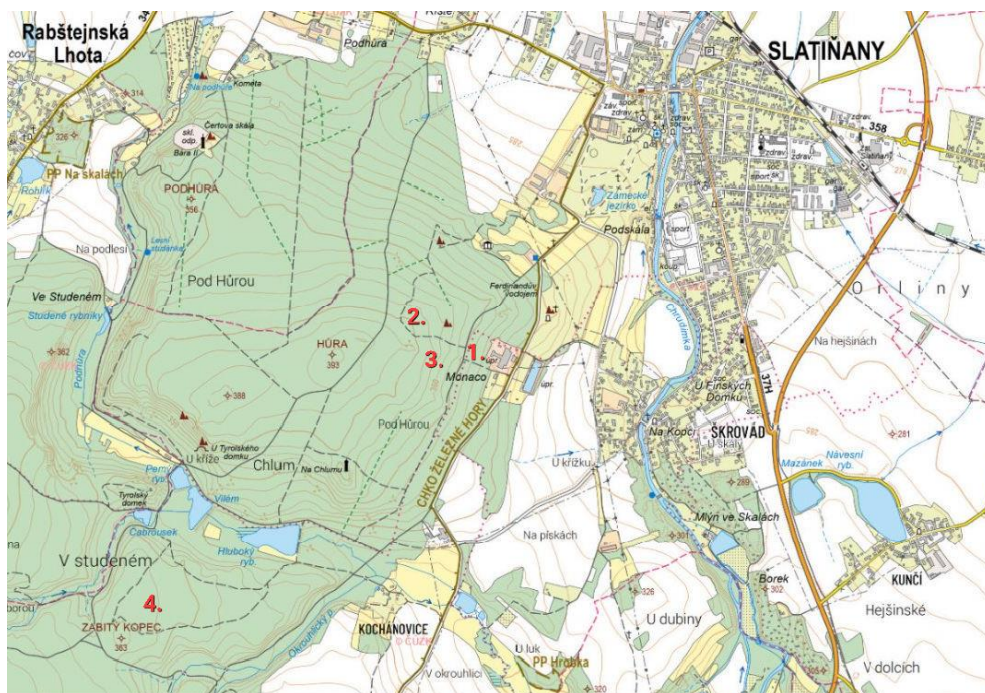
Sběr vzorku probíhal v období července až září 2023 ve čtyřech vytipovaných porostech s dominantním zastoupením borovice (lokalita 4), smrku (lokalita 2), dubu (lokalita 3) a buku (lokalita 1). V těchto porostech byly odebrány jednotlivé segmenty pozemního paliva (drobné dřevo, hrabanka, opad, byliny, mechy a traviny).

4.1.2 Segmenty odebraných vzorků pozemního paliva

Vzorky drobného dřeva (drobný dřevěný materiál, drobné větvičky) byly odebrány v každém porostu dle příslušné dřeviny s dominantním zastoupením. Segmenty lesní hrabanky byly odebrány v jehličnatých porostech (smrk, borovice), Vzorky segmentu opadu byly odebrány v listnatých porostech (buk, dub). Pro segmenty bylin, travin a mechů byl odebrán mix ze všech porostů pro jednotlivé segmenty.

4.1.3 Lokality sběru dat

Všechny vytipované lokality jsou součástí CHKO Železné hory. Nachází se v okrese Chrudim v katastrálním území obce Slatiňany a obce Trpšov (Obrázek 6).



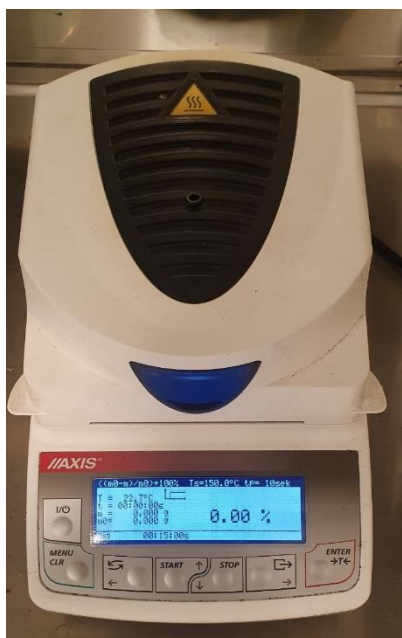
Obrázek 6: Mapa lokalit sběru dat (katastrální mapa převzata z KN, 6.2.2024)

4.2 Laboratorní práce

Laboratorní práce byly prováděny v laboratoři protipožární ochrany dřeva a kompozitních materiálů na Fakultě lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity.

4.2.1 Proces stanovení teploty vzplanutí a žhnutí

Po odběru vzorků v terénu následovaly laboratorní práce. Vzorky byly v laboratoři vysušeny na nulovou vlhkost pomocí laboratorního přístroje sušící váhy (Obrázek 7). Pro zkoušku, která byla prováděna dle normy ČSN 64 0149, byly naváženy vzorky od každého segmentu o hmotnosti 2-3 g do laboratorních kalíšků (Obrázek 8), které byly následně se vzorkem vloženy do Setchkinovy odporové pece (Obrázek 9).



Obrázek 7: Sušící váha
(foto. A. Makarová)



Obrázek 8: Laboratorní kalíšky na
vzorky (foto. A. Makarová)



Obrázek 9: Setchkinova odporová
pec (foto. A. Makarová)

Pro zjištění teploty vzplanutí daného vzorku bylo nutné nastavit teplotu pece. Tato teplota se nastavila pomocí laboratorního přístroje regulátoru teploty vzduchu v peci (Obrázek 11). Hodnota teploty v peci byla zvolena dle předpokládané teploty vzplanutí zkušebního materiálu. Regulátor teploty vzduchu v peci byl nastaven tak, aby teplota vzduchu v peci byla konstantní po dobu 10 min. Rovněž bylo potřeba pomocí laboratorního přístroje pro regulaci a měření průtoku vzduchu vháněného do pece – redukční stanice (Obrázek 12) vpustit do pece vzduch o objemovém průtoku s rychlosti proudění vzduchu 25 mm s^{-1} . Hodnota objemového průtoku vzduchu byla korigovaná vzhledem ke zvolené teplotě vzduchu v peci

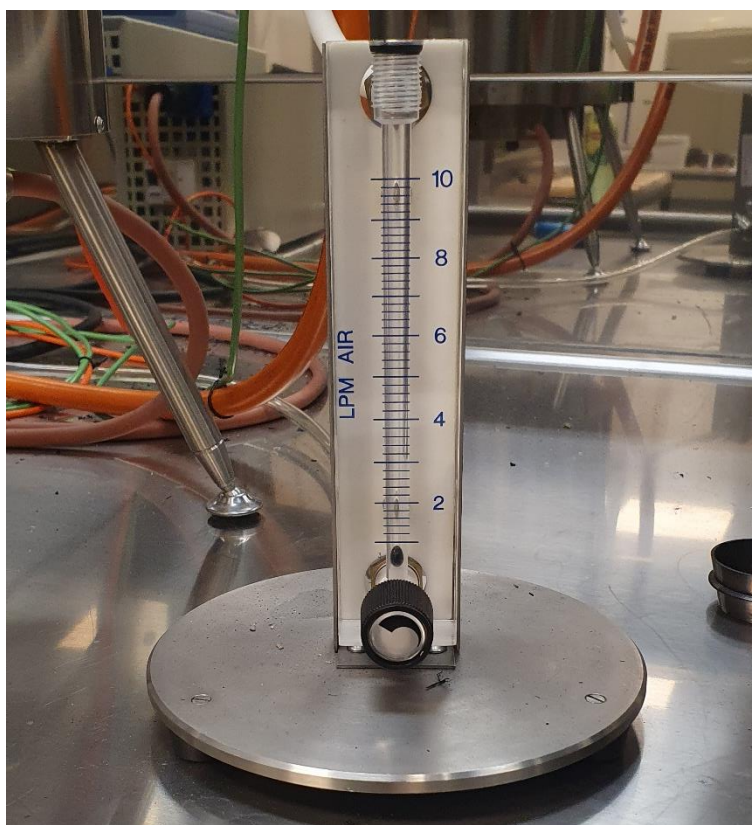
podle vzorce (Obrázek 10). Kde Q_v je objemový průtok vzduchu a T je teplota vzduchu v peci v K.

$$Q_v = 6,62 \frac{293}{T} (\text{l} \cdot \text{min}^{-1}),$$

Obrázek 10: Vzorec pro výpočet objemového průtoku vzduchu v Setchkinově odporové peci (Norma ČSN 64 0149 1978)

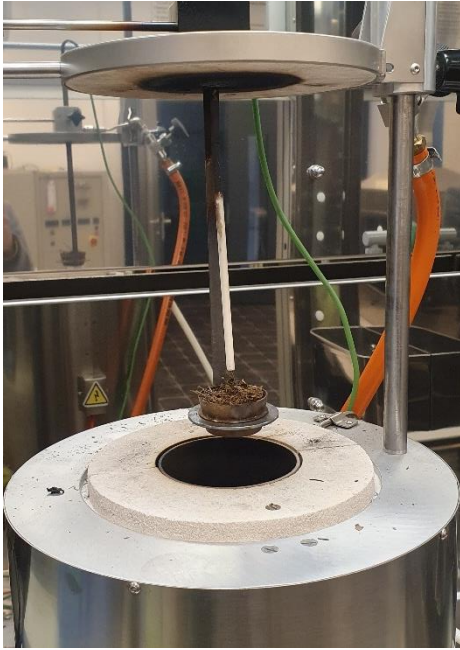


Obrázek 11: Regulátor teploty (foto. A. Makarová)



Obrázek 12: Přístroje pro regulaci a měření průtoku vzduchu vhaněného do pece — redukční stanice Regulátor teploty (foto. A. Makarová)

Dále byl kalíšek s připraveným vzorkem vložen do držáku (Obrázek 13). Těsně k povrchu vzorku byl přisunut termočlánek (Obrázek 14), který měřil teplotu vzorku. Následně byl vzorek spuštěn do pece a zároveň se začal měřit čas. Pro stanovení teploty vzplanutí bylo potřeba uvést do chodu pomocný zápalný zdroj (plamínek) nad víkem Setchkinovy odporové pece (Obrázek 15). Vložení vzorku do Setchkinovy odporové pece bylo potřeba provést co nejrychleji, aby nedošlo k výraznému poklesu teploty vzduchu v peci.



Obrázek 13: Držák vzorku
(foto. A. Makarová)



Obrázek 14: Termočlánek teploty vzorku
(foto. A. Makarová)



Obrázek 15: Zápalný zdroj
(foto. A. Makarová)

Následně byl nastaven časový limit 10 minut, během kterého bylo pozorováno, zda dojde k procesu žhnutí či vzplanutí vzorku. Okamžik vzplanutí nebo žhnutí byl zjištěn vizuálně. Proces žhnutí vzorku byl pozorován v podobě uvolněného kouře, který vycházel z víka Setchkinovy odporové pece. Proces vzplanutí vzorku byl pozorován v podobě zhasnutí pomocného zápalného zdroje (hořící plamínek). Rovněž při procesu vzplanutí došlo k prudkému nárůstu teploty na záznamu zapisovače. V okamžiku vzplanutí vzorku byl zaznamenán čas a teplota, při které došlo ke vzplanutí vzorku. V případě, že během stanovené doby nedošlo ke vzplanutí vzorku, byla celá zkouška provedená znovu s novým vzorkem při postupně zvyšujících se teplotách vzduchu v peci o 10° až do doby, kdy došlo k samotnému vzplanutí vzorku.

4.2.2 Záznam naměřených hodnot

K zaznamenávání hodnot jednotlivých teplot byl použit program Picolog. Jedná se o software pro získávání dat a jejich zaznamenávání v reálném čase. Hodnoty teplot termočláneků uvnitř pece a u vzorku byly zaznamenávány v intervalu 30 sekund. Program Picolog byl použit současně se záznamníkem hodnot (Obrázek 16), který snímal teploty jednotlivých termočláneků (termočlánek pece, termočlánek vzorku) a byl připojen k počítači pomocí USB.

Získaná data byla zaznamenána do programu MS Excel a následně byla statisticky zpracována a vyhodnocena.



Obrázek 16: Záznamník hodnot (foto. A. Makarová)

4.3 Statistické zpracování naměřených dat

Veškerá data získaná z laboratorního měření byla zpracována a vyhodnocena pomocí matematicko – statistických testů v programu Statistica 14.

K ověření hypotézy, že získaná data naměřených teplot žhnutí a vzplanutí všech segmentů pocházela z normálního rozdělení, byl použit Shapirův – Wilkův test normality dat se statistickou hladinou významnosti 95 % ($p= 0,0,5$). Pro tento test byly vytvořeny dva statistické soubory pro teplotu žhnutí a teplotu vzplanutí, kdy oba tyto soubory obsahovaly hodnoty všech získaných hodnot žhnutí a vzplanutí pro všechny měřené segmenty pozemního paliva. Následně byl na těchto dvou statistických souborech proveden Shapiro – Wilkův test normality dat.

Poté, co byla ověřena normalita dat, byl zjišťován statisticky významný rozdíl jednotlivých hodnot pro oba statistické soubory. Vzájemné porovnávání získaných dat bylo provedeno pomocí statistické analýzy F-testu v programu Statistica 14.

4.4 Výsledky

4.4.1 Získané hodnoty dat

Tabulka.1: Přehled teplot žhnutí a teplot vzplanutí pro jednotlivé segmenty pozemního paliva

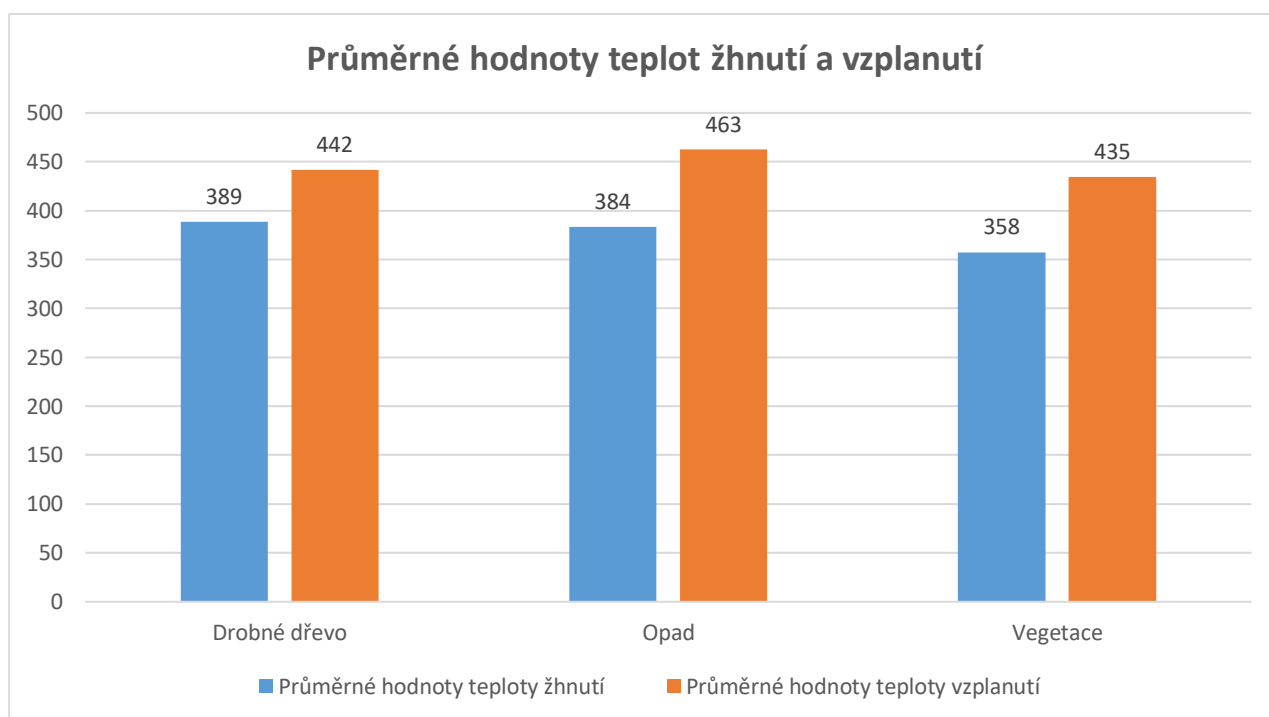
| Vzorek | Teplota žhnutí (°C) | Teplota vzplanutí (°C) | Skutečný čas (min: s) | Počet pokusů |
|------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| Smrk drobné dřevo | 418 | 450 | 3:02 | 3 |
| Borovice drobné dřevo | 413 | 447 | 3:07 | 5 |
| Dub drobné dřevo | 413 | 434 | 3:25 | 2 |
| Buk drobné dřevo | 313 | 436 | 2:05 | 3 |
| Smrk hrabanka | 388 | 472 | 3:50 | 10 |
| Borovice hrabanka | 448 | 456 | 4:50 | 11 |
| Dub opad | 378 | 480 | 4:05 | 15 |
| Buk opad | 323 | 443 | 5:10 | 7 |
| Traviny | 340 | 450 | 1:50 | 4 |
| Byliny | 308 | 398 | 8:05 | 12 |
| Mechy | 425 | 455 | 5:45 | 8 |

Z tabulky 1 je patrné, že nejnižší teplotu žhnutí a teplotu vzplanutí pozemního paliva měly byliny. Naopak nejvyšší teplotu žhnutí měl segment mechu. Dále je patrné, že nejvyšší teplotu vzplanutí měl segment pozemního paliva smrkové hrabanky.

Při rozdělení paliva na složky drobného dřeva, opadu (hrabanky) a vegetace lze usuzovat, že k nejméně výrazným rozdílům teplot žhnutí docházelo u segmentu drobného dřeva. Kdy se výrazně lišily od ostatních naměřených hodnot pouze hodnoty žhnutí pro bukové drobné dřevo. Tyto hodnoty byly výrazně nižší, než u ostatních segmentů drobného dřeva. Hodnoty jednotlivých teplot žhnutí pro smrkové, borovicové a dubové drobné dřevo se výrazně nelišily. U segmentu hrabanky se jednotlivé hodnoty teploty žhnutí od sebe příliš nelišily. U segmentu vegetace se nejvíce lišily naměřené hodnoty teploty žhnutí segmentu mechu.

Hodnoty teplot vzplanutí se nejvíce lišily v rámci vegetace, kdy se nejvíce lišila od ostatních hodnot teplota vzplanutí segmentu bylin. U opadu a drobného dřeva nedošlo k tak výrazným rozdílům jednotlivých teplot vzplanutí.

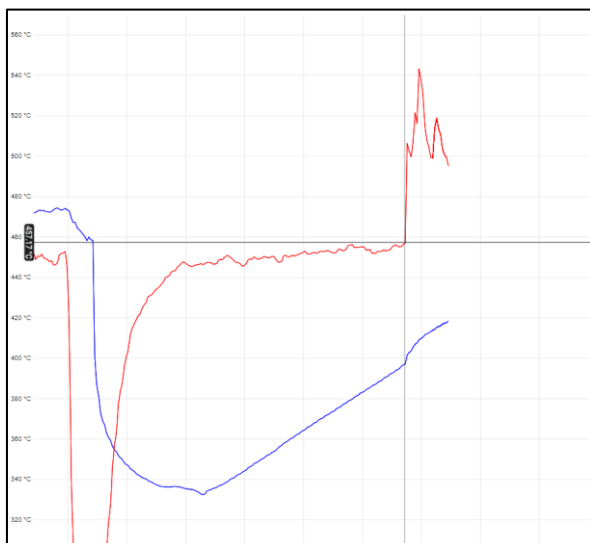
V rámci segmentu drobného dřeva nedošlo k výrazným rozdílům mezi dobou vzplanutí jednotlivých segmentů. Nejrychleji došlo ke vzplanutí drobného bukového dřeva. V rámci segmentu opadu došlo k nejrychlejšímu vzplanutí u smrkové hrabanky. K nejpomalejšímu procesu vzplanutí došlo u bukového opadu. U segmentů drobného dřeva a opadu nedocházelo k výrazným rozdílům mezi dobou, během které došlo ke vzplanutí vzorků, zatímco u segmentu vegetace docházelo k největším odchylkám této doby. K nejrychlejšímu procesu vzplanutí došlo u travin. Naopak proces vzplanutí nejdéle trval u segmentu bylin.



Graf 2: Průměrné hodnoty teplot žhnutí a vzplanutí

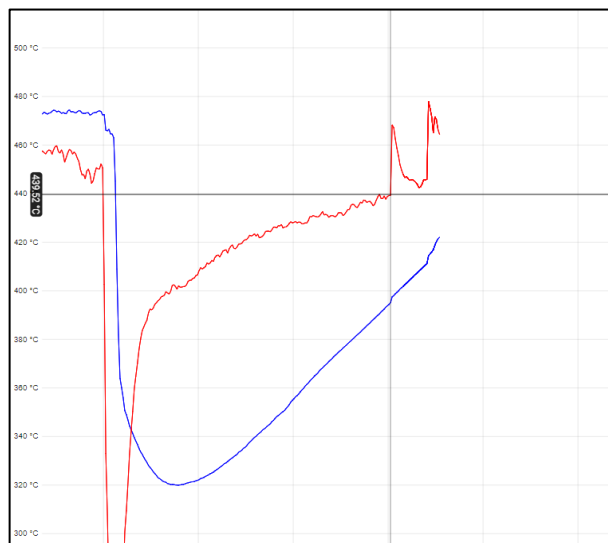
Z hlediska rozdělení dostupného paliva na složky drobného dřeva, opadu (hrabanky) a vegetace (Graf 2) lze usuzovat, že mezi získanými hodnotami průměrných teplot žhnutí není patrný výrazný rozdíl. Nejnižší teplotu žhnutí má segment vegetace, zatímco hodnoty teplot žhnutí pro segmenty opadu a drobného dřeva se od sebe téměř neliší. Rovněž pro získané průměrné hodnoty teplot vzplanutí pro jednotlivé segmenty lze usuzovat, že se jednotlivé hodnoty teplot vzplanutí od sebe příliš neliší. Nejnižší průměrnou teplotu vzplanutí má segment vegetace, tato průměrná hodnota teploty vzplanutí se téměř neliší od získané průměrné hodnoty teploty vzplanutí pro segment drobného dřeva.

Teplota vzplanutí pro segment smrkového drobného dřeva



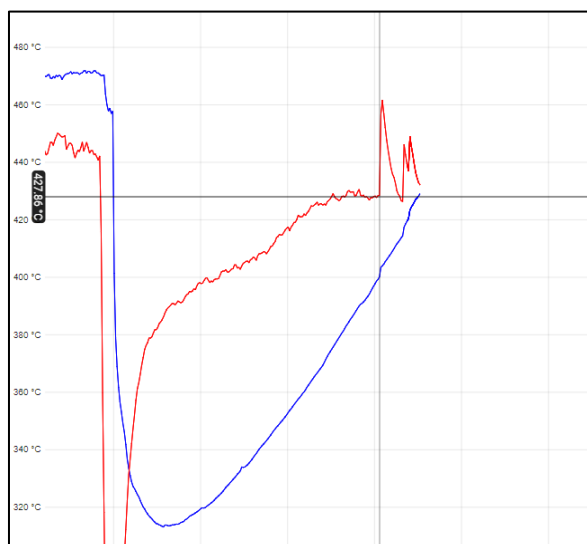
Obrázek 17: Hodnota teploty vzplanutí pro segment smrkového drobného dřeva

Teplota vzplanutí pro segment borového drobného dřeva



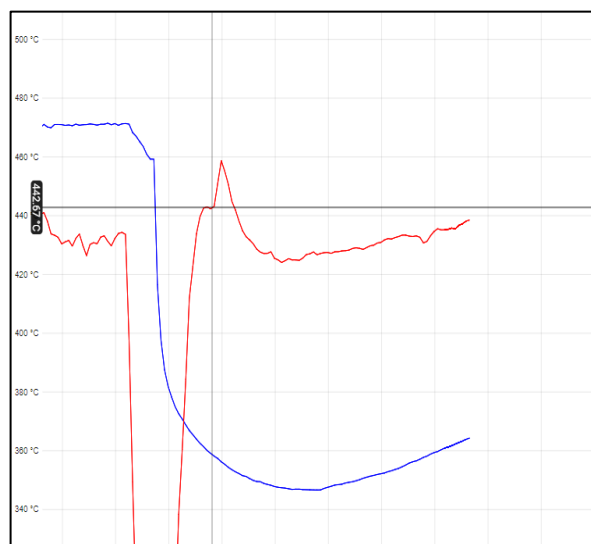
Obrázek 18: Hodnota teploty vzplanutí pro segment borového drobného dřeva

Teplota vzplanutí pro segment dubového drobného dřeva



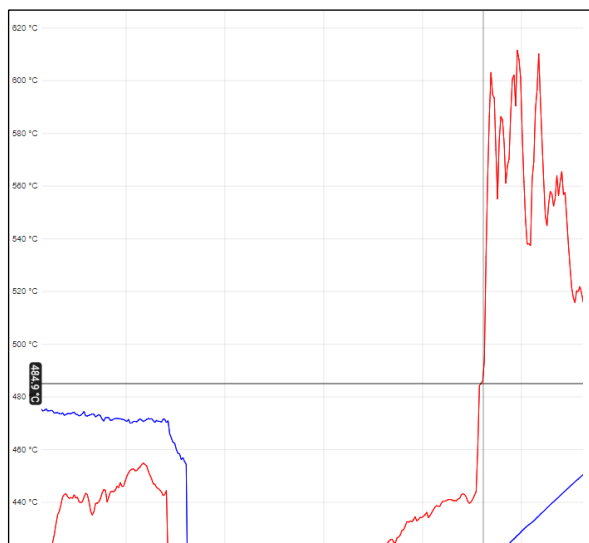
Obrázek 19: Hodnota teploty vzplanutí pro segment dubového drobného dřeva

Teplota vzplanutí pro segment bukového drobného dřeva



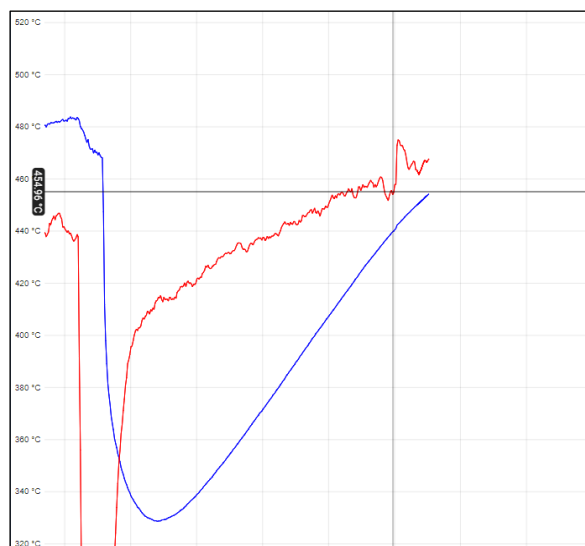
Obrázek 20: Hodnota teploty vzplanutí pro segment bukového drobného dřeva

Teplota vzplanutí pro segment smrkové hrabanky



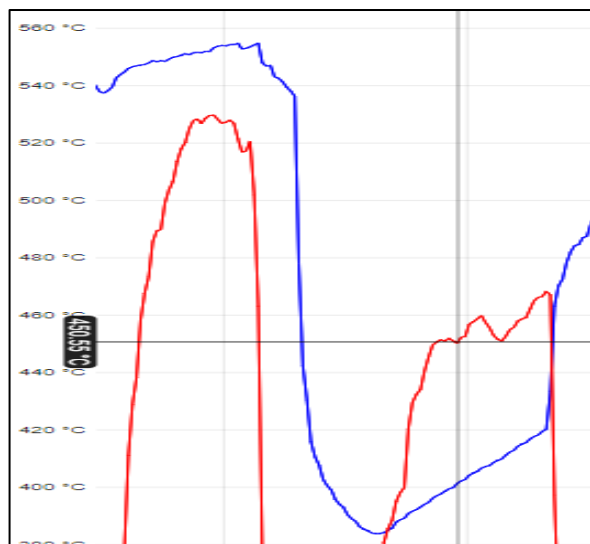
Obrázek 21: Hodnota teploty vzplanutí pro segment smrkové hrabanky

Teplota vzplanutí pro segment borové hrabanky



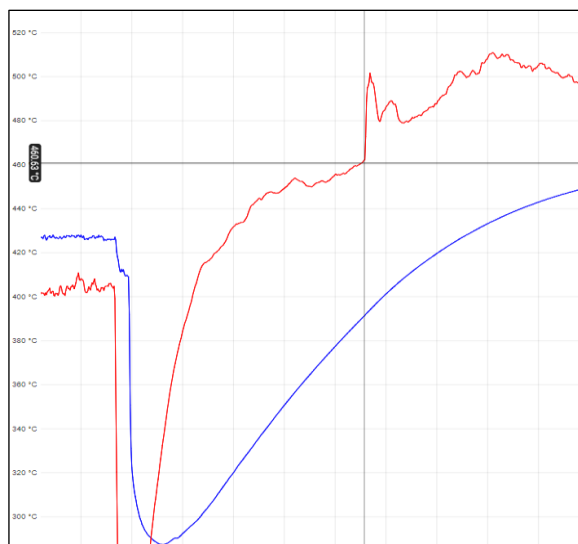
Obrázek 22: Hodnota teploty vzplanutí pro segment borové hrabanky

Teplota vzplanutí pro segment dubového opadu



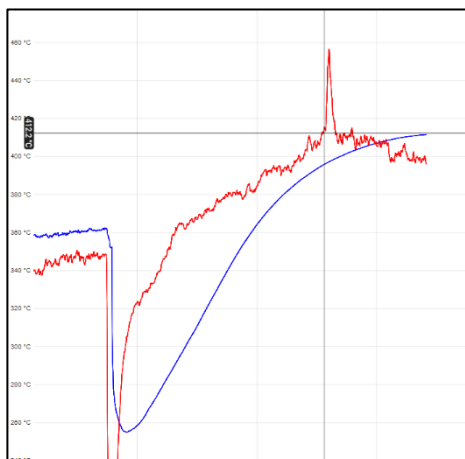
Obrázek 23: Hodnota teploty vzplanutí pro segment dubového opadu

Teplota vzplanutí pro segment bukového opadu

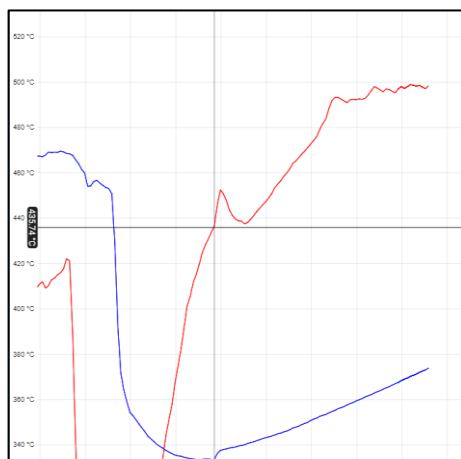


Obrázek 24: Hodnota teploty vzplanutí pro segment bukového opadu

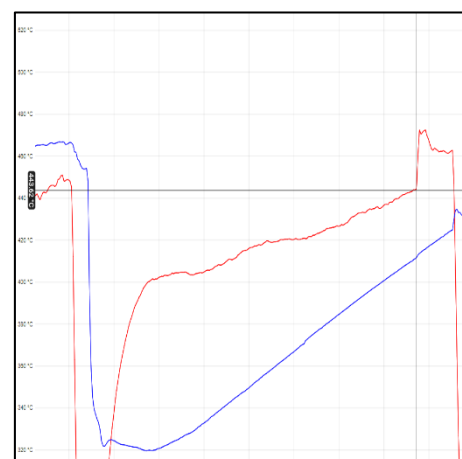
Teploty vzplanutí pro bylinný, travinný a mechový segment



Obrázek 25: Hodnota teploty vzplanutí pro segment bylin



Obrázek 26: Hodnota teploty vzplanutí pro segment travin

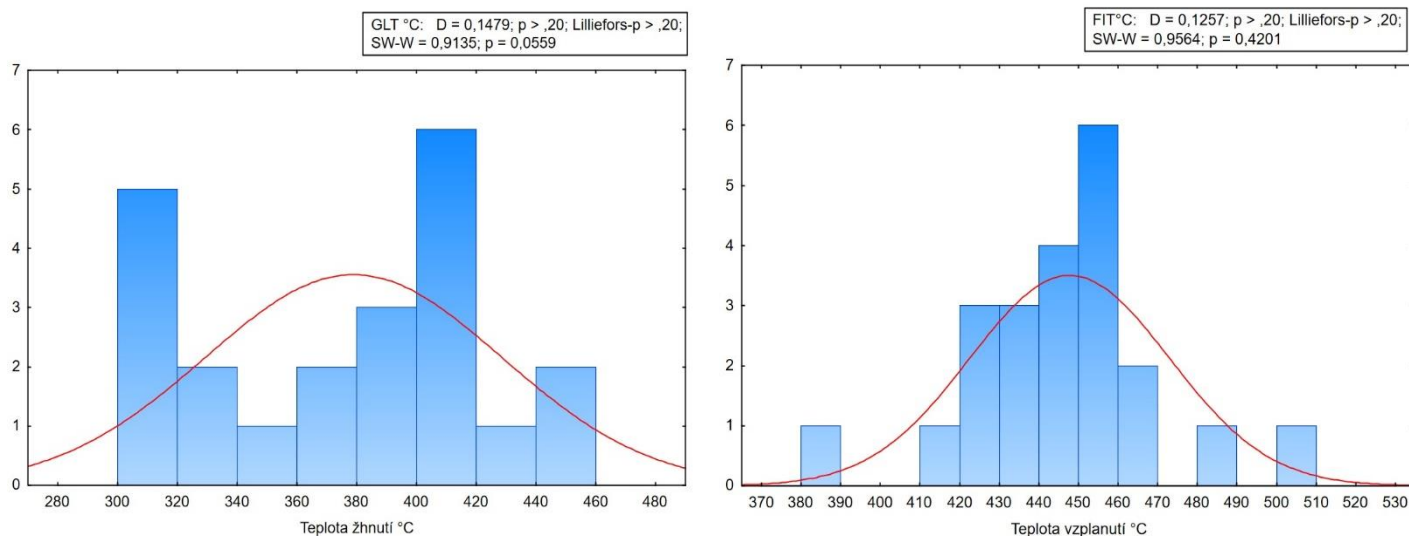


Obrázek 27: Hodnota teploty vzplanutí pro segment mechu

Na obrázcích 17 až 27 jsou zaznamenány grafy hodnot teplot vzplanutí pro jednotlivé segmenty pozemního opadu, při kterých došlo ke vzplanutí jednotlivých vzorků. Tyto hodnoty byly zaznamenány v průběhu měření teploty vzplanutí. V grafech je modrou barvou znázorněna teplota termočlánku, který byl umístěn v peci pod samotným vzorkem. Tato teplota nevykazovala se zvyšující se teplotou v peci výrazné odchylky od svého exponenciálního vývoje, kromě doby otevření pece a vložení vzorku, kdy došlo k poklesu této teploty z důvodu ochlazení pece. Teplota sledující teplotu vloženého vzorku, která byla zaznamenávána pomocí termočlánku umístěným nad samotným vzorkem, je v grafech znázorněná červenou barvou, tato teplota vykazovala rychlejší nárůst, než teplota termočlánku v peci. Při procesu vzplanutí měřeného vzorku došlo k výraznému nárůstu této teploty.

Na obrázcích 17 až 20 jsou zaznamenány hodnoty teplot vzplanutí pro segment drobného dřeva dle dané dřeviny. Na obrázcích 21 až 24 jsou tyto hodnoty zaznamenány pro segment opadu dle dané dřeviny a na posledních třech obrázcích 25 až 27 jsou zaznamenány hodnoty pro segment vegetace.

4.4.2 Statistická analýza získaných dat



Obrázek 28: Histogramy teploty žhnutí a vzplanutí

Ze statistické analýzy pomocí Shapiro-Wilkova testu normality dat vyplývá, že oba sledované statistické soubory pro teplotu žhnutí a teplotu vzplanutí pocházely z normálního rozdělení dat. Výsledná hodnota p pro statistický soubor reprezentující teploty žhnutí byla vyšší, než zvolená hodnota p ($0,0559 > 0,05$). Hodnota p pro statistický soubor teplot žhnutí byla také vyšší, než je přípustná hodnota p ($0,4201 > 0,05$). Z tohoto důvodu lze říci, že na hladině statistické významnosti 95 % ($p = 0,05$) pocházela tato data z normálního rozdělení.

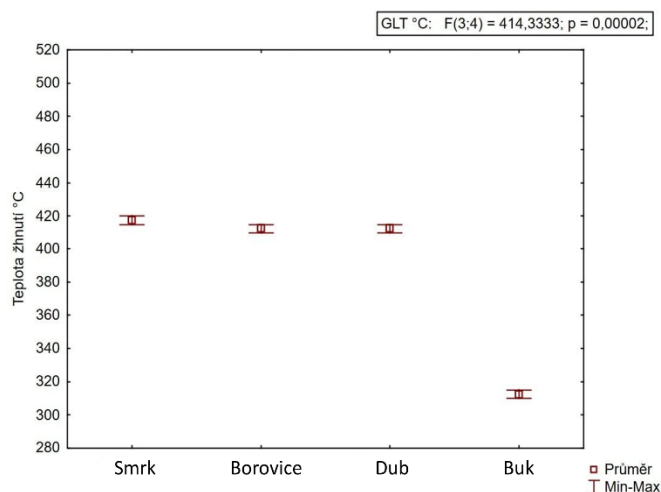
Na obrázku 28 jsou zobrazeny histogramy obou statistických souborů, které zobrazují rozložení jednotlivých hodnot teplot žhnutí a vzplanutí.

4.4.3 Statistické porovnávání získaných dat dle segmentu pozemního paliva

Na obrázcích 29 až 34 byly statisticky porovnávány pomocí statistické analýzy F testu teploty žhnutí a teploty vzplanutí pro jednotlivé segmenty pozemního opadu (drobné dřevo, opad, vegetace) z hlediska problematiky potenciálu vzniku lesního požáru. Pro segmenty drobného dřeva a opadu byly hodnoty teplot žhnutí a vzplanutí porovnávány pro každou dřevinu zvlášť. Segment vegetace byl vylišen na byliny, traviny a mechy.

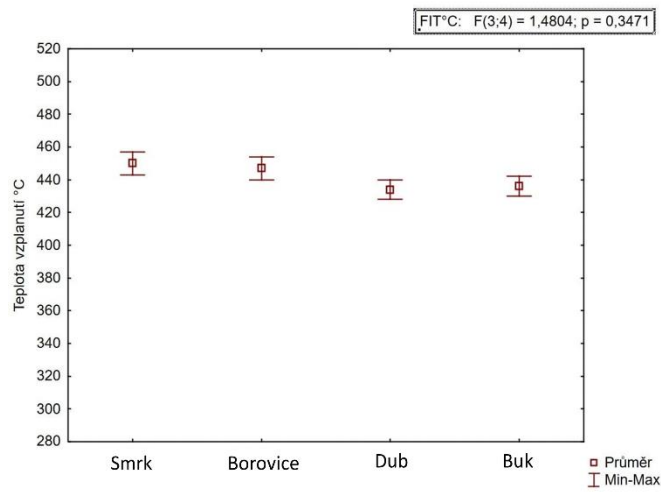
4.4.3.1 Porovnávání získaných dat pro segment drobného dřeva

Teploty žhnutí pro segment drobného dřeva



Obrázek 29: Porovnávání teplot žhnutí segmentu drobného dřeva dle druhu dřeviny

Teploty vzplanutí pro segment drobného dřeva



Obrázek 30: Porovnání teplot vzplanutí segmentu drobného dřeva dle druhu dřeviny

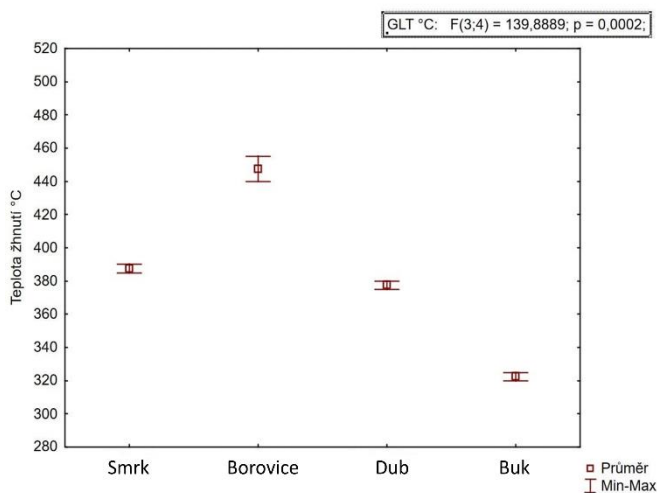
Na obrázku 30 lze pozorovat, že získané hodnoty pro teploty vzplanutí byly vždy vyšší než hodnoty žhnutí (Obrázek 29). Hodnoty teploty vzplanutí pro smrk (450 °C), borovici (447 °C) a dub (434 °C) se výrazně nelišily od teplot žhnutí těchto dřevin. Výrazný rozdíl mezi teplotami žhnutí a vzplanutí nastal u drobného dřeva buku, kdy teplota žhnutí (313 °C), byla výrazně nižší než teplota vzplanutí (436 °C) tohoto segmentu.

Na obrázku 29 byly porovnávány jednotlivé teploty žhnutí, statistickou analýzou F-testu. Pro každou dřevinu segmentu drobného dřeva vyplývá, že mezi hodnotami byl prokázán statisticky významný rozdíl ($F=414,3333$, $p=0,00002$) mezi teplotami žhnutí smrku, borovice, dubu a buku na statistické hladině významnosti 95 % ($p=0,05$), kdy se teplota žhnutí pro buk (313 °C) statisticky lišila od ostatních. Teploty smrku (418 °C), borovice (413 °C) a dubu (413 °C) se od sebe výrazně statisticky nelišily.

Při porovnávání vzplanutí drobného dřeva dle druhu dřeviny (Obrázek 30) teplot, statistickou analýzou F testu nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ($F=1,4804$, $p=0,3471$). Hodnota p statistického souboru byla vyšší, než kritická hladina statistické významnosti. Teploty vzplanutí smrku (450 °C), borovice (447 °C), dubu (434 °C) a buku (436 °C) se od sebe statisticky téměř nelišily.

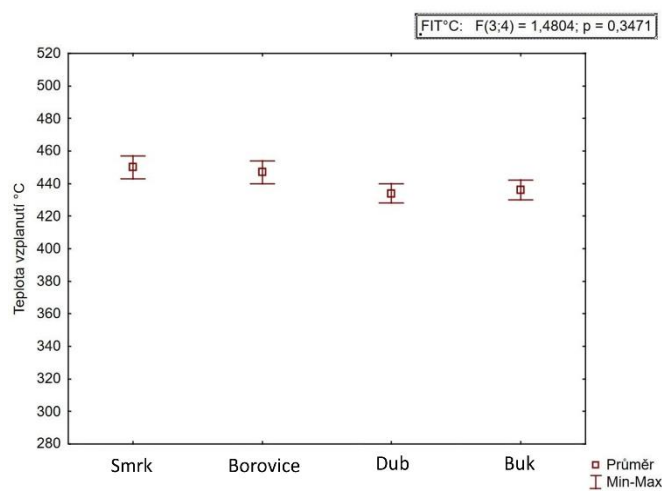
4.4.3.2 Porovnávání získaných dat pro segment opadu

Teploty žhnutí pro segment opadu



Obrázek 31: Porovnání teplot žhnutí segmentu opadu dle druhu dřeviny

Teploty vzplanutí pro segment opadu



Obrázek 32: Porovnání teplot vzplanutí segmentu opadu dle druhu dřeviny

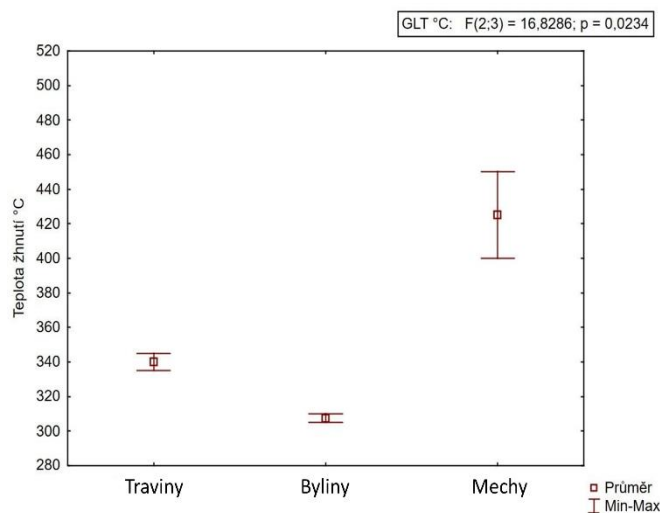
Obrázky 31 a 32 zaznamenávají hodnoty teplot žhnutí a teplot vzplanutí pro segment opadu dle druhu dřeviny. Z těchto obrázků je patrné, že získané teploty vzplanutí pro danou dřevinu byly vždy vyšší. Teplota žhnutí hrabanky smrku (388 °C) byla nižší a výrazně se lišila od teploty vzplanutí (472 °C) tohoto materiálu. Borovicová hrabanka měla teplotu žhnutí (448 °C) a teplotu vzplanutí (456 °C) podobnou. Hodnota teploty žhnutí (378 °C) pro dubový opad se výrazně lišila od teploty (480 °C) vzplanutí tohoto materiálu. Největší rozdíl mezi teplotou žhnutí (323 °C) a teplotou vzplanutí (443 °C) byl zaznamenán u bukového opadu.

Při statistickém porovnávání jednotlivých teplot žhnutí segmentu opadu (Obrázek 31) pomocí statistické analýzy F-testu bylo zjištěno, že mezi získanými hodnotami byl prokázán statisticky významný rozdíl ($F=139,8889$, $p=0,0002$), kdy hodnota p sledovaného statistického souboru byla výrazně nižší, než kritická hladina statistické významnosti ($p=0,05$). Teploty žhnutí opadu se od sebe statisticky lišily.

Statistická analýza jednotlivých teplot vzplanutí pozemního opadu (Obrázek 32) neprokázala statistický významný rozdíl ($F=1,4804$, $p=0,3471$). Hodnota p daného statistického souboru byla vyšší, než hladina kritické významnosti ($p=0,05$). Získané hodnoty vzplanutí se od sebe statisticky nelišily.

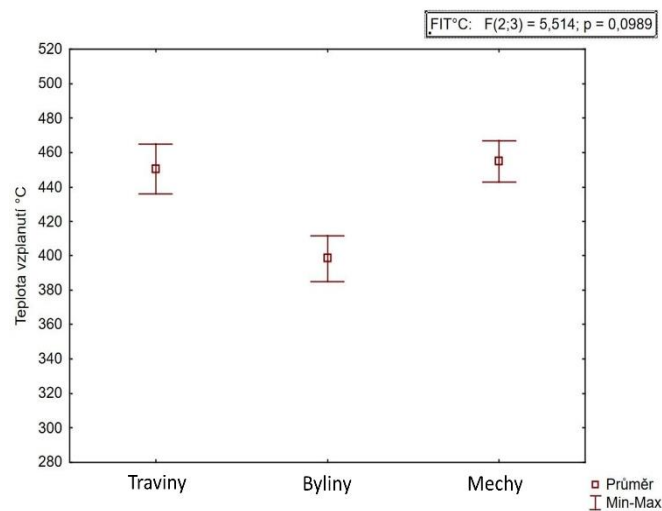
4.4.3.3 Porovnávání získaných dat pro segment vegetace

Teploty žhnutí pro segment vegetace



Obrázek 33: Porovnání teplot žhnutí segmentu vegetace

Teploty vzplanutí pro segment vegetace



Obrázek 34: Porovnání teplot vzplanutí segmentu vegetace

Na obrázcích 33 a 34 jsou zaznamenány teploty žhnutí a vzplanutí pro segment opadu. Zjištěné hodnoty teplot žhnutí jsou zobrazené na obrázku 33. Teploty vzplanutí pro sledované segmenty opadu byly vždy vyšší, než teploty žhnutí tohoto materiálu. Teplota žhnutí segmentu travin (340 °C) byla výrazně nižší a výrazně se lišila od teploty vzplanutí (450 °C) tohoto materiálu. Zjištěné teploty žhnutí a vzplanutí pro segment bylin se od sebe rovněž lišily. Teplota žhnutí (308 °C) byla nižší, než teplota vzplanutí (398 °C). Teplota žhnutí (425 °C) a vzplanutí (455 °C) mechového segmentu se od sebe výrazně nelišily.

Z obrázku 33 je patrné, že teploty žhnutí pro jednotlivé segmenty vegetace se lišily. Největší teplotu žhnutí (425 °C) měl mechový segment, zároveň se tento segment nejvíce lišil od teplot žhnutí ostatních segmentů. Nejmenší hodnotu vzplanutí měl segment travin (340 °C).

Při statistickém porovnávání získaných hodnot teplot žhnutí pro jednotlivé materiály vegetace, kdy toto porovnání bylo provedeno pomocí statistické analýzy F-testu, bylo zjištěno, že mezi získanými hodnotami žhnutí byl prokázán statisticky významný rozdíl ($F = 16,8266$, $p = 0,0234$), kdy hodnota p sledovaného statistického souboru při porovnání s kritickou hladinou statistické významnosti ($p = 0,05$) byla nižší.

Na obrázku 34 jsou zobrazeny hodnoty teplot vzplanutí pro jednotlivé materiály segmentu vegetace. Z obrázku je patrné, že hodnoty vzplanutí pro traviny (450 °C) a mechy

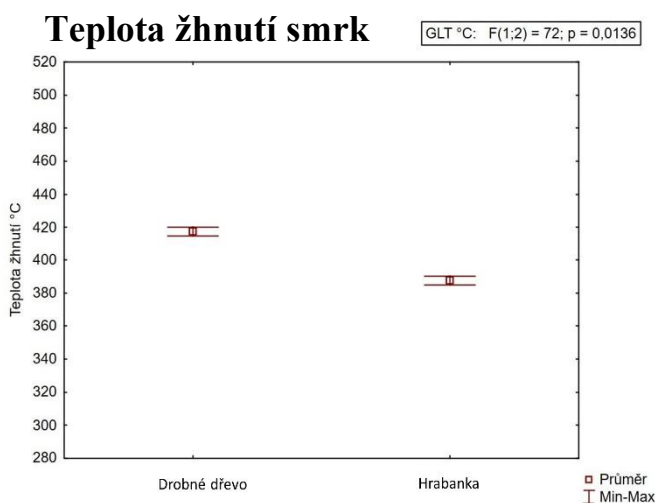
(455 °C) byly téměř stejné. Hodnota teploty vzplanutí bylin (398 °C) byla nejnižší a zároveň se nejvíce lišila od ostatních.

Při statistické porovnávání pomocí statické analýzy F-testu bylo zjištěno, že získané hodnoty teplot vzplanutí pro jednotlivé materiály segmentu vegetace se od sebe statisticky nelišily. Nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ($F= 5,514$, $p= 0,0989$) mezi těmito hodnotami. Hodnota p sledovaného statistického souboru byla vyšší, než kritická hladina statistické významnosti ($p=,05$).

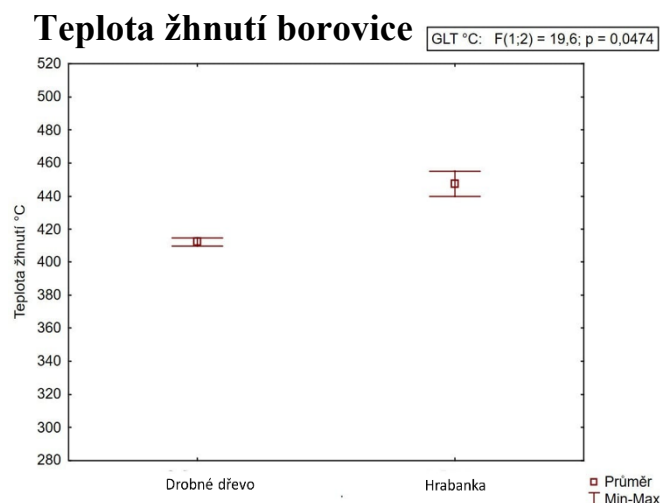
4.4.4 Statistické porovnávání získaných dat dle druhu dřeviny

4.4.4.1 Porovnání teplot žhnutí dle druhu dřeviny

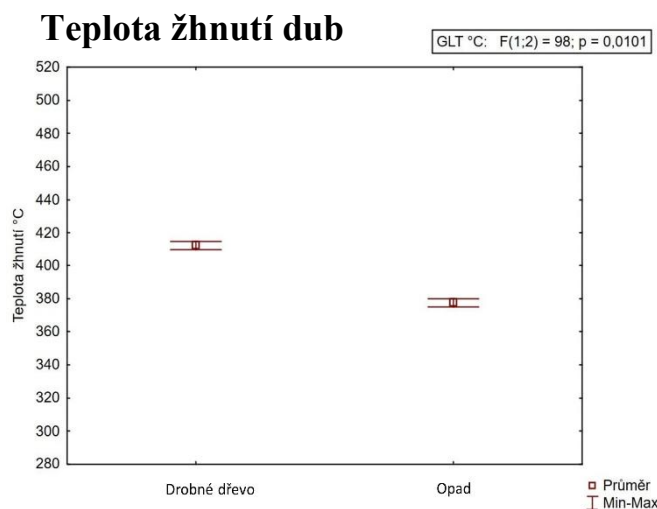
Na obrázcích 35 až 38 jsou porovnávány hodnoty teplot žhnutí pro segment smrkového drobného dřeva a smrkové hrabanky, borového drobného dřeva a borové hrabanky, dubového drobného dřeva a dubového opadu, bukového drobného dřeva a bukového opadu. Pro všechna statistická porovnávání byla použita statistická analýza F testu.



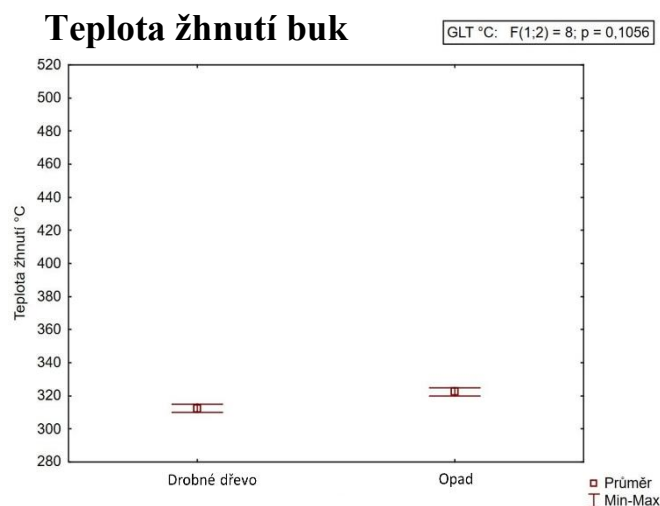
Obrázek 35: Teploty žhnutí pro smrkový materiál drobného dřeva a hrabanky



Obrázek 36: Teploty žhnutí pro borový materiál drobného dřeva a hrabanky



Obrázek 37: Teploty žhnutí pro dubový materiál drobného dřeva a opadu



Obrázek 38: Teploty žhnutí pro bukový materiál drobného dřeva a opadu

Při porovnávání teplot žhnutí materiálů smrkového, borového, dubového a bukového drobného dřeva mělo nejvyšší teplotu žhnutí smrkové dřevo (418 °C) společně s borovým (413 °C) a dubovým dřevem (413 °C). Naopak nejnižší teplotu žhnutí mělo bukové dřevo (313 °C).

Vzájemné porovnávání jednotlivých teplot žhnutí smrkové a borové hrabanky, dubového a bukového opadu ukázalo, že nejvyšší teplotu žhnutí měla borovicová hrabanka (448 °C). Naopak nejnižší teplotu žhnutí měl bukový opad (323 °C).

Při statistickém porovnávání teplot žhnutí smrkového drobného dřeva a smrkové hrabanky (Obrázek 35) bylo zjištěno, že teploty sledovaného statistického souboru se od sebe statisticky lišily. Byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi teplotou žhnutí drobného smrkového dřeva a drobné smrkové hrabanky ($F=72$, $p= 0,0136$). Tato hodnota p byla nižší, než kritická hladina statistické významnosti.

Rovněž byl určen statistický významný rozdíl při statistickém porovnávání teploty žhnutí pro drobné borové dřevo a borovou hrabanku (Obrázek 36). Hodnota p (0,0474) tohoto statistického souboru byla nižší, než kritická hladina statistické významnosti ($p=0,05$).

Statisticky významný rozdíl byl zjištěn i pro dubové drobné dřevo a dubový opad (Obrázek 37). Hodnota p (0,0101) byla nižší, než kritická hladina statistické významnosti ($p=0,05$).

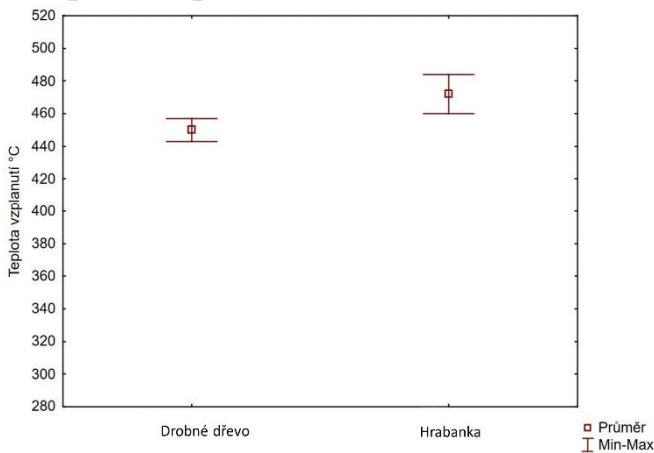
Statisticky významný rozdíl nebyl zjištěn pro bukové drobné dřevo a bukový opad (Obrázek 38). Teploty žhnutí se od sebe statisticky významně nelišily. Hodnota p (0,1056)

sledovaného statistického souboru byla vyšší, než kritická hladina statistické významnosti ($p=0,05$).

4.4.4.2 Porovnání teplot vzplanutí dle druhu dřevin

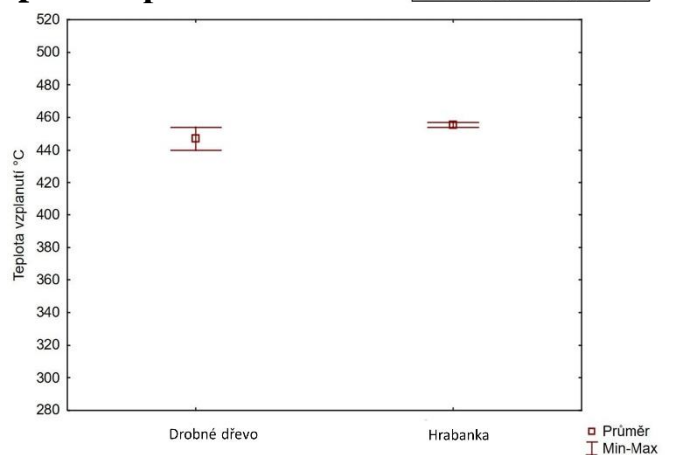
Na obrázcích 39 až 42 jsou zobrazeny teploty vzplanutí pro tytéž materiály, pro které byly zjišťovány teploty žhnutí. Pro všechna statistická porovnávání byla rovněž použita statistická analýza F-testu.

Teplota vzplanutí smrk FIT°C: $F(1,2) = 2,5078$; $p = 0,2541$



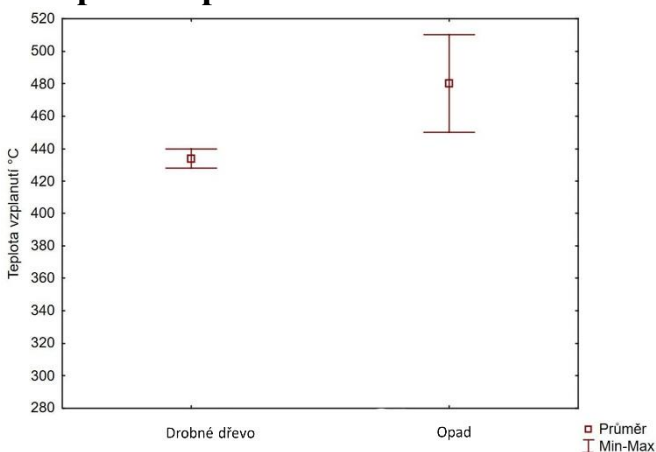
Obrázek 39: Teploty vzplanutí pro smrkový materiál drobného dřeva a hrabanky

Teplota vzplanutí borovice FIT°C: $F(1,2) = 1,4098$; $p = 0,3570$



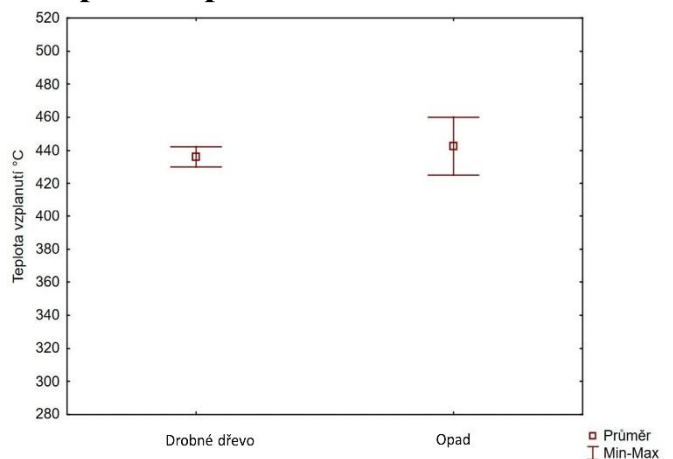
Obrázek 40: Teploty vzplanutí pro borovicový materiál drobného dřeva a hrabanky

Teplota vzplanutí dub FIT°C: $F(1,2) = 2,2607$; $p = 0,2716$



Obrázek 41: Teploty vzplanutí pro dubový materiál drobného dřeva a opadu

Teplota vzplanutí buk FIT°C: $F(1,2) = 0,1234$; $p = 0,7589$



Obrázek 42: Teploty vzplanutí pro bukový materiál drobného dřeva a opadu

Při porovnávání teplot vzplanutí drobného opadu pro danou dřevinu měly všechny dřeviny podobnou teplotu vzplanutí. Jednotlivé teploty pro smrk (450 °C), borovici (447 °C), dub (434 °C), a buk (436 °C) se od sebe téměř nelišily.

Teploty vzplanutí pro smrkovou hrabanku (472 °C), borovou hrabanku (456 °C), dubový opad (480 °C) a bukový opad (443 °C) se od sebe rovněž příliš nelišily.

Při statistickém porovnávání jednotlivých statických souborů, smrkového drobného dřeva a smrkové hrabanky (Obrázek 39), borového drobného dřeva a borové hrabanky (Obrázek 40), dubového drobného dřeva a dubového opadu (Obrázek 41) a bukového drobného dřeva a bukového opadu (Obrázek 42) nebyl zjištěn statistický významný rozdíl mezi jednotlivými hodnotami vzplanutí. Zjištěné hodnoty p pro statistické soubory smrkového opadu a smrkové hrabanky ($p=0,2541$), borového drobného dřeva a borové hrabanky ($p=0,3570$), dubového drobného dřeva a dubového opadu ($p=0,27$) a bukového drobného dřeva a bukového opadu ($p=0,7569$) byly vyšší, než hladina kritické statistické významnosti ($p=0,05$).

5 Diskuze

Tato práce se zabývá teplotami žhnutí a vzplanutí jednotlivých segmentů pozemního paliva s ohledem na potencionální vznik a šíření lesního požáru.

V poslední době dochází důsledku klimatické změny k nárustu počtu lesních požárů. Existuje mnoho faktorů, které mají vliv na vznik a šíření lesních požárů. Podle Chromka (2005) mají na vznik lesního požáru důležitý význam meteorologické faktory, zejména pak vlhkost vzduchu, která má vliv na vlhkost vegetace na povrchu lesní půdy. Mezi další faktory mající vliv na rychlost šíření lesních požárů patří topografie terénu a složení paliva na povrchu lesní půdy (Stow et al. 2019). Z tohoto důvodu se zvyšuje také potřeba předvídat možná potencionální rizika vzniku lesních požárů. Aby toto bylo možné, je potřeba znát a pochopit vlastnosti paliv, které mají na vznik, chování a šíření požáru zásadní vliv (Duff et al. 2017).

Aragoneses et al. (2023) tvrdí, že množství dostupného paliva a jeho vlastnosti podporující vznik požáru je jediná proměnná, kterou lze řídit z hlediska snížení šíření požárů. K tomuto tvrzení se přiklání i Brown (1973) který tvrdí, že zásadní vliv na chování požárů mají vlastnosti paliva, vyskytujícího se na povrchu lesní půdy. Znalost vyskytujícího se paliva na stanovišti, množství tohoto paliva a jeho prostorové uspořádání se stává nezbytné pro řešení a řízení rizik spojenými s lesními požáry. Samotný proces zjišťování důležitých vlastností pozemního paliva na stanovišti je náročný a komplikovaný postup, protože vlastnosti paliv na jednotlivých stanovištích jsou velmi variabilní (Abdollahi, Yebra 2023).

Mezi důležité vlastnosti pozemního paliva, které mohou v budoucnu pomoci s predikcí vzniku lesních požárů, patří požárně technické charakteristiky jednotlivých látek, mezi které patří teplota žhnutí a vzplanutí.

Z výsledků této práce vyplývá, že nejnižší teploty žhnutí a vzplanutí měl segment vegetace. Z tohoto segmentu měly nejnižší teplotu žhnutí a vzplanutí byliny. Rovněž došlo u segmentu vegetace k nejrychlejšímu procesu vzplanutí, a to konkrétně u travin. Na základě zjištěných výsledků lze usuzovat, že největší vliv na potenciál vzniku lesního požáru budou mít právě segmenty vegetace, které díky svým nízkým teplotám žhnutí a vzplanutí snadno a rychle zahoří, čímž může dojít ke vzniku lesního požáru.

Dle Pecla et al. (2021) je při vzniku lesních požárů nejčastějším zdrojem zahoření lesní podrost, který je tvořen lesní vegetací, která je tvořena velkým množstvím travin, bylin a mechů. Tomuto tvrzení odpovídají zjištěné výsledky.

Kačíková et al. (2020) tvrdí, že materiál jehličnatých dřevin díky svému vysokému obsahu hořlavé pryskyřice je zápalnější než materiál listnatých dřevin. Tomuto tvrzení se rovněž přiklání Pecl et al. (2021), který se zabývá porovnáváním hořlavosti jehličí a listového opadu. Ve svém tvrzení dochází k názoru, že na schopnost zahoření listnatého opadu má vliv množství a vlhkost vody, která se drží v nerovnostech listového opadu, čímž zpomaluje proces zahoření tohoto materiálu na rozdíl od jehličí, kde dochází ke snadnějšímu vysychání. Na základě těchto zjištění lze předpokládat, že jednotlivé teploty žhnutí a vzplanutí pro listnatý opad by měly být vyšší než pro jehličnatou hrabanku. Získané výsledky dat tomuto předpokladu ne zcela odpovídaly. Vyšší hodnotu teploty žhnutí měl pouze dubový opad ve srovnání se smrkovou hrabankou, naopak při srovnání s borovou hrabankou byly hodnoty teploty žhnutí u borové hrabanky vyšší než u dubového opadu. Teploty žhnutí bukového opadu byly nižší ve srovnání se smrkovou a borovou hrabankou. Teploty vzplanutí potvrzovaly toto tvrzení pouze pro dubový opad, kdy teploty vzplanutí tohoto materiálu byly vyšší než teploty vzplanutí obou jehličnatých hrabank. Ovšem získané hodnoty vzplanutí pro bukový opad tomuto tvrzení již nevyhovovaly. Hodnoty vzplanutí obou jehličnatých hrabank byly vyšší než teplota vzplanutí bukového opadu.

Rozdíly mezi jednotlivými zjištěními mohly být způsobeny tím, že pro mé měření bylo použito velmi malé množství jednotlivých vzorků (pouze 2-3 g), zatímco v přírodním prostředí se vyskytuje mnohem větší množství materiálu. Zároveň se v přírodním prostředí jednotlivé segmenty nachází v přirozeném nijak neupraveném stavu, který může být odlišný od stavu vzorků v laboratorním prostředí.

V České republice se výzkumem požárních teplotních charakteristik zabývá kpt. Ing. Milan Růžička z Technického ústavu požární ochrany v Praze, který se v roce 2023 zabýval požárními teplotními charakteristikami jednotlivých lesních segmentů. Ve svém výzkumu vylišil teploty žhnutí a vzplanutí pro segment šišek zvlášť, čemuž jsem se ve své bakalářské práci nevěnovala. Z jeho výsledků (Obrázek 43) lze na základě naměřených hodnot teplot žhnutí (GLT) a vzplanutí (FIT) usuzovat, že teploty žhnutí jednotlivých segmentů byly vždy nižší, než jejich teploty vzplanutí. Toto zjištění rovněž vyplývá z mých výsledků. Dále z výsledků pana Růžičky lze zjistit, že nejnižší teplotu žhnutí měl segment bylin, čemuž odpovídají i výsledky této bakalářské práce, naopak nejvyšší hodnotu žhnutí měl segment travin, čemuž mnou zjištěné výsledky již neodpovídají. Výsledky pana Růžičky pro teplotu vzplanutí určily, že nejnižší teplotu vzplanutí měly traviny. Mnou získané výsledky tomuto zjištění ne zcela odpovídají. Z mého výzkumu vyplývá, že nejnižší hodnotu vzplanutí měl

segment bylin. I přesto, že nejnižší teploty vzplanutí v mém měření a v měření pana Růžičky nebyly zjištěny pro stejné segmenty, se nejedná z hlediska problematiky šíření lesních požárů o tak významný rozdíl, kdy oba tyto segmenty společně tvoří vegetaci. Právě segment vegetace je velmi často zdrojem zahoření a následného šíření požáru do okolí. Dále je z mých výsledků patrné, že zjištěné nejvyšší hodnoty vzplanutí se téměř shodovaly s výsledky pana Růžičky, kdy v měření pana Růžičky a v mém měření byly zjištěné nejvyšší hodnoty vzplanutí pro segmenty opadu. I přesto, že výsledky pro nejvyšší teplotu vzplanutí byly zjištěny pro různou dřevinu opadu, nejedná se v tomto případě o významný rozdíl, z hlediska možností vzniku a šíření potenciálního požáru, kdy v současné ještě nebylo vědecky pozorováno, zda složení opadu dle druhu dřeviny má na šíření lesního požáru významný vliv.

Získané informace o tom, který segment má nejnižší a nejvyšší teploty žhnutí a vzplanutí, víceméně odpovídaly získaným informacím na základě výsledků pana Růžičky. Rozdíly v získaných hodnotách teplot žhnutí a vzplanutí mohly být způsobeny rozdílnou přípravou jednotlivých vzorků před samotným zjišťováním teplot žhnutí a vzplanutí. Vzorky pana Růžičky byly vysušeny na 10 až 15 % relativní vlhkosti, zatímco mé vzorky byly před vložením do Setchkinovy odporové pece vysušeny na nulovou vlhkost.

V současné době není příliš mnoho vědeckých zdrojů v problematice zjišťování požárně technických charakteristik pozemního paliva. Vzhledem k tomu, že oba tyto výzkumy byly krátkodobé povahy, je množství získaných dat z mého výzkumu a výzkumu pana Růžičky nedostačující pro dlouhodobější vědecké závěry v této problematice. K získání přesnějších čísel pro jednotlivé požárně technické charakteristiky bude potřeba provést další měření tohoto typu a dále se zabývat touto problematikou.

6. Způsob provedení

Zkoušky byly provedeny podle Metodiky TÚPO, uvedené v části 4 tohoto zkušebního protokolu a podle dohodnutých podmínek.

Vzorky byly před stanovením klimatizovány 24-48 hod při teplotě 25 °C a vlhkosti 10-15 % rel. Hodnoty výsledků nejsou zaokrouhlovány na celé desítky stupňů. Výsledky v tabulce jsou aritmetickým průměrem dvou kladných zkoušek s nejnižší teplotou. Rozšířená nejistota měření nebyla stanovena.

7. Měřicí zařízení a přístroje

| Název měřidla/přístroje | Ev. č. | Kalibrováno do |
|--|----------|----------------|
| Digitální teploměr s vlhkoměrem | M17 | 02/2027 |
| Digitální barometr | M19 | 02/2025 |
| Stopky digitální | M15 | 03/2024 |
| Stopky digitální | M59 | 02/2025 |
| Laboratorní váhy KERN | M63 | 02/2026 |
| Kuličkové rotametry - průtokoměry | M64, M62 | 02/2027 |
| Pece na stanovení bodu vzplanutí dle ČSN 64 0149 | 118, 136 | - |
| Datová ústředna TC-08 | 137 | - |
| Termočlánkové sondy K | M11, M12 | 03/2026 |
| Termočlánkové sondy K | M83 M84 | 03/2026 |
| Kovové měřítko | M107 | 02/2025 |

8. Výsledky zkoušek

Výsledky stanovení PTCH předmětu zkoušek

Tabulka výsledků:

| č. vzorku TÚPO | Název vzorku: | GLT [°C] | FIT [°C] | IP [min] | SIT [°C] | IP [min] |
|----------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1-Z059-23 | Byliny | 281 | 337 | 7:30 | 503 | 2:20 |
| 2-Z059-23 | Traviny | 317 | 308 | 5:40 | 501 | 1:40 |
| 3-Z059-23 | Mechy | 307 | 360 | 5:40 | 486 | 2:50 |
| 4-Z059-23 | Buk opad (hrabanka) | 303 | 367 | 5:00 | 502 | 1:40 |
| 5-Z059-23 | Dub opad (hrabanka) | 304 | 360 | 4:30 | 501 | 1:30 |
| 6-Z059-23 | Buk dřevo | 291 | 349 | 4:50 | 460 | 2:40 |
| 7-Z059-23 | Dub dřevo | 235 | 365 | 4:30 | 448 | 3:30 |
| 8-Z059-23 | Smrk (hrabanka) | 290 | 360 | 8:20 | 480 | 2:10 |
| 9-Z059-23 | Smrk dřevo | 290 | 360 | 3:10 | 460 | 2:00 |
| 10-Z059-23 | Borovice (hrabanka) | 310 | 340 | 5:40 | 470 | 2:00 |
| 11-Z059-23 | Borovice dřevo | 320 | 360 | 3:30 | 460 | 1:50 |
| 12-Z059-23 | Borovice šišky | 330 | 340 | 5:50 | 480 | 1:40 |

Protokol č. NA105-2023

MV - generální ředitelství HZS ČR
Technický ústav požární ochrany
Písková 42, 143 01 Praha 4
Strana 4 z 5

Obrázek 43: Část zkušebního protokolu Technického ústavu požární ochrany© (Růžička 2023)

Zjišťování teplot žhnutí a vzplanutí jednotlivých segmentů pozemního paliva může pomoci s vyhodnocením možnosti potencionálního zahoření jednotlivých segmentů, kdy v místě zahoření dostupného materiálu může dojít ke vzniku požáru a jeho následnému šíření. U materiálů s nižší teplotou žhnutí a vzplanutí může dojít k procesu zahoření snáze než u materiálů s vyšší teplotou žhnutí a vzplanutí. Z tohoto důvodu mi přijde důležité se zabývat požárními charakteristikami pozemního paliva, kdy tyto poznatky mohou v budoucnosti společně s ostatními informacemi o pozemním palivu zásadně pomoci při vědeckých analýzách požárního chování v lesních porostech.

V minulých letech docházelo v důsledku kůrovcové kalamity k výraznému úhynu stromů, kdy tyto stromy museli být velmi často vytěženy. V důsledku vzniku holin po těžbě, dochází ke zvyšování množství hořlavého materiálu na povrchu půdy. Po vytěžení velkých ploch dochází ke změnám světelných podmínek daného stanoviště, kde postupem času začnou dominovat velmi snadno zapalitelné segmenty bylin a travin, které nemají schopnost zadržovat

velké množství vody, v důsledku čehož dochází při požáru k velmi rychlému odpařování vody, což vede k velmi rychlému šíření lesního požáru (Berčák 2023 b). Právě tyto stanoviště s velkým množstvím vegetace na povrchu půdy mohou být velmi často zdrojem pro vznik a šíření lesních požárů. Z hlediska stále se zvyšujícího počtu kalamitních ploch, které jsou náchylnější ke vzniku požáru, je důležité se nadále zabývat problematikou lesního paliva a jeho požárně technickými charakteristikami.

I přesto, že v současné době existuje mnoho vědeckých analýz o vlastnostech a o prostorovém uspořádání dostupného paliva na povrchu lesní půdy, stále se jedná o velmi málo vědecky studovanou problematiku, kdy v současné době není příliš mnoho studijního materiálu o požárně technických vlastnostech paliva, vyskytujícího se na povrchu lesní půdy. Z tohoto důvodu považuji za důležité se touto problematikou nadále zabývat a zjišťovat požárně technické vlastnosti jednotlivých paliv, kdy tyto poznatky mohou v budoucnu pomoci nejen získat ucelenější pohled na problematiku lesních požárů, ale rovněž mohou tyto informace pomoci s možným vytipováním míst, která jsou náchylnější ke vzniku požáru.

6 Závěr

Na základě statistického vyhodnocení získaných dat jednotlivých teplot žhnutí a vzplanutí pro jednotlivé segmenty pozemního paliva v lesních porostech bylo zjištěno, že zjištěné teploty žhnutí dosahovaly nižších hodnot než teploty vzplanutí. Ze vzájemného porovnávání získaných hodnot pro jednotlivé segmenty lesního paliva bylo zjištěno, že nejnižší teplotu žhnutí a vzplanutí měl segment vegetace, konkrétně bylinný materiál. Toto zjištění vedlo k závěru, že právě segment vegetace díky své nejnižší teplotě žhnutí a vzplanutí má největší vliv na potenciální vznik lesního požáru, kdy velmi snadno dojde k zapálení tohoto materiálu a následnému šíření lesního požáru. Z tohoto zjištění vyplývá, že nejrizikovější místo pro vznik požáru budou lesní porosty s velkým množstvím vegetace.

Je zřejmé, že v důsledku změn klimatu se v budoucnosti budeme setkávat se stále častěji se vyskytujícími lesními požáry. V důsledku probíhající klimatické změny dochází k úbytku srážek, stále častějším teplotním výkyvům, čímž se lesy a jejich prostředí stávají suššími a náchylnějšími ke vzniku požáru. Zvyšující se teploty mají vliv především na vlhkost dostupného paliva na povrchu lesní půdy. V důsledku vyšších teplot dochází k odpařování vody z povrchu paliva. V důsledku ztráty vody ze svého povrchu se palivo stává sušším, dochází ke snížení jeho vlhkosti, čímž se palivo stává snadněji zapalitelné.

Závěrem lze říci, že z hlediska problematiky vzniku a šíření lesních požárů je důležité znát vlastnosti lesních paliv, na základě, kterých se dá predikovat riziko vzniku požáru lesního porostu. Zjišťování požárně teplotních charakteristik, jako jsou teploty žhnutí a vzplanutí společně s ostatními informacemi o stavu dostupného hořlavého materiálu na povrchu lesní půdy, může pomoci určit nejrizikovější místo vzniku požáru a provést taková opatření, která by předcházela vzniku požárů a co nejmenším škodám způsobeným lesním požárem. Samotný výzkum jednotlivých požárních charakteristik pozemního paliva na povrchu lesní půdy umožňuje získání informací o místech, která jsou ke vzniku požárů a jeho šíření nejnáchylnější. Z hlediska protipožární ochrany lesa je potřeba věnovat těmto místům náležitou pozornost.

7 Literatura

ABDOLLAHI, Abolfazl a Marta YEBRA. Forest fuel type classification: Review of remote sensing techniques, constraints and future trends. *Journal of Environmental Management* [online]. 2023 [cit. 2024-02-20]. ISSN 0301-4797.

ADÁMEK, Martin. Požár jako ekologický faktor v lesích střední Evropy. Praha, 2016. Autoreferát disertační práce. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Katedra Botaniky. Školitel práce Věroslava Hadincová

ADÁMEK, Martin a Přemysl BOBEK. Oheň v naší krajině. *Živa* [online]. 2020, 2020(5), s. 222-224 [cit. 2024-02-16]. ISSN 0044-4812. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ohen-v-nasi-krajine.pdf>

AGEE, James K. Ecology and biogeography of Pinus. In: RICHARDSON, David M. Ecology and biogeography of Pinus. 1. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1998, s. 193-218. ISBN 0521551765.

ALEXANDER, Sadof a James ANDERSON. WORLD RESOURCES INSTITUTE. 5 Ways Wildfires Affect People Near and Far. *wri.org* [online]. ©2023 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.wri.org/insights/effects-wildfires-cities>

ARAGONESES, Elena, Mariano GARCÍA, Michele SALIS, Luís M. RIBEIRO a Emilio CHUVIECO. Classification and mapping of European fuels using a hierarchical-multipurpose fuel classification system. *Earth System Science Data* [online]. 2023, 2023(3) [cit. 2024-02-20]. ISSN 1866-3516. Dostupné z: <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2022-184/essd-2022-184-manuscript-version3.pdf>

ARCHIV-WEB. Mapa lokalit sběru dat. *Katastrálnimapy.cuzk.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://katastrálnimapy.cuzk.cz/>

BARNES, Clair, Yan BOULANGER, Theo KEEPING, Philippe GACHON, Nathan GILLET, Jonathan BOUCHER a François ROBERGE. Climate change more than doubled the likelihood of extreme fire weather conditions in Eastern Canada [online]. 2023, s. 1-26 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: doi:10.25561/105981.

BASNET, Mohan. How do Wildfire Start? [online]. *Researchgate*, 2022 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/370106811_How_do_Wildfire_Start

BERČÁK, Roman a Věra KLIMŠOVÁ. Riziko lesních požárů se zvyšuje. *Zivauni.cz* [online]. 2023 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://zivauni.cz/riziko-lesnich-pozaru-se-zvysuje/>

BERČÁK, Roman. Problematika lesních požárů na kalamitních plochách. Storage.pozary.cz [online]. 2023 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/6/4/642d246442a87/problematika-lesnich-pozaru-na-kalamitnich-plochach-bercak.zlvitrz4i.pdf?t=1711385825>

BRITISH COLUMBIA WILDFIRE SERVICE. Understanding forest fuels. Gov.bc.ca [online]. © 2022 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <https://blog.gov.bc.ca/bcwildfire/understanding-forest-fuels/>

BROWN, Arthur Allen. Forest Fire: Control and Use [online]. 2. McGraw-Hill, 1973 [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?redir_esc=y&hl=cs&id=tXqe-eKM6hEC&focus=searchwithinvolume&q=foerst+fuels

COCHRANE, Mark A. a Kevin C. R RYAN. Fire and fire ecology: Concepts and principles. In: Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics [online]. 2009, s. 24-62 [cit. 2024-02-20]. ISBN 978-3-540-77380-1. Dostupné z: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_other/rmrs_2009_cochrane_m001.pdf

ČESKO. FEDERÁLNÍ ÚŘAD PRO NORMALIZACI A MĚŘENÍ. Československá státní norma: Stanovení vznětlivosti materiálů. 1977.

ČESKO. MINISTERSTVO VNITRA – GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČESKÉ REPUBLIKY. Bojový řád jednotek požární ochrany – taktické postupy zásahu: Lesní požáry [online]. 2017 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/4/f/4fc3f79a72d54/obr4fc3f99ef26bd.pdf>

ČESKO. MINISTERSTVO VNITRA. Systém indikátorů rizik přírodních požárů: Certifikovaná metodika. 2022. ISSN 978-80-87902-35-6.

ČESKO. ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. Požární bezpečnost – Slovník. 01/2018. 2018.

ČESKO. Vyhláška č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci). In [Systém ASPI]. Wolters Kluwer [cit. 2024-2-16]. Dostupné z: <https://www.aspi.cz/products/lawText/1/51500/1/2/vyhlaska-c-246-2001-sb-o-stanoveni-podminek-pozarni-bezpecnosti-a-vykonu-statniho-pozarniho-dozoru-vyhlaska-o-pozarni-prevenci?vtextu=vyhl%C3%A1ka%20246/2001>

DIMITRAKOPOULOS, AP a Kyriakos K. PAPAIOANNOU. Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. Fire technology [online]. 2001, 2001(37), s. 143-152 [cit. 2024-02-20]. ISSN 1572-8099. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1011641601076#citeas>

DUFF, Thomas J., Robert E. KEANE, Trent D. PENMAN a Kevin G. TOLHURST. Revisiting Wildland Fire Fuel Quantification Methods: The Challenge of Understanding a Dynamic, Biotic Entity. *Forests* [online]. 2017, 8(9) [cit. 2024-03-19]. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1999-4907/8/9/351>

ENGELMARK, Ola. Fire history correlations to forest type and topography in northern Sweden. *Annales Botanici Fennici* [online]. 1987, 1987(24), s. 317-324 [cit. 2024-02-19]. ISSN 1797-2442. Dostupné z: https://www.jstor.org/stable/23725752?read-now=1&oauth_data=eyJlbWFpbCI6ImxvdmVpbmthMzVAZ21haWwuY29tIiwiaW5zdGl0dXRpb25JZHMiOltldLCJwcm92aWRlciI6Imdvb2dsZSJ9#page_scan_tab_contents

FILIPI, Bohdan. *Nauka o materiálu* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003 [cit. 2024-02-19]. ISBN 80-86634-11-6. Dostupné z: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/030/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/Nauka_o_materialu.pdf

FOREST SERVICE U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Fire ecology and changing forests. *Fs.usda.gov* [online]. 2023 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.fs.usda.gov/research/psw/ecology/fire>

FRANCL, Roman. Lesní požáry v České republice z pohledu hasičů. *Lesnická práce* [online]. 2007, 2007(8), s. 16-21 [cit. 2024-02-16]. ISSN 0322-9254. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-08-07/lesni-pozary-v-ceske-republice-z-pohledu-hasicu>

HARRINGTON, S. Measuring Forest Fuels: An Overview of Methodologies, Implications for Fuels Management. Working Paper No. 19. Madison. Forest Guild Research Center. 2005.

HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČR. Lesní požáry. *Hzscr.cz* [online]. © 2024 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/pozarni-prevence-hasici-radi-lesni-pozary.aspx>

CHROMEK, Ivan. Využitie leteckej techniky pri hasení lesných požiarov. Zvolen. 2005. Doktorandská dizertačná práca. Technická univerzita vo Zvolene. Lesnícka fakulta. Katedra protipožiarnej ochrany. Vedoucí práce Osvald ANTON

CHROMEK, Ivan, Karolina LUKÁŠOVÁ, Roman BERČÁK, Jan VANĚK a Jaroslav HOLUŠA. Hollow tree fire is a useless forest fire category. *Central European Forestry Journal* [online]. 2018, 2018-03-1, 64(1), 67-78 [cit. 2024-03-19]. ISSN 2454-0358. Dostupné z: [doi:10.1515/forj-2017-0028](https://doi.org/10.1515/forj-2017-0028)

JANKOVSKÁ, Zuzana a Emanuel KULA. Příčiny lesních požárů v ČR (1992–2004) a jejich vývoj. *Lesnická práce* [online]. 2011, 2011(4), s. 18-19 [cit. 2024-02-22]. ISSN 0322-9254.

Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-90-2011/lesnicka-prace-c-4-11/priciny-lesnich-pozaru-v-cr-1992-2004-a-jejich-vyvoj>

KAČÍKOVÁ, Danica, Andrea MAJLINGOVÁ, Rastislav VEĽAS, Martin LIESKOVSKÝ a Jaroslav KAPUSNIAK. Štúdium vplyvu zmeny parametrov lesného prostredia a paliva na správanie lesného požiaru [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2020 [cit. 2024-02-22]. ISBN 978-80-228-3232-8. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/359937080_STUDIUM_VPLYVU_ZMENY_PARAMETROV_LESNEHO_PROSTREDIA_A_PALIVA_NA_SPRAVANIE_LESNEHO_POZIARU_STUDY_OF_FOREST_ENVIRONMENT_PARAMETERS_CHANGE_ON_FOREST_FIRE_BEHAVIOUR

KOŘÍNEK, Ondřej. Může za lesní požáry klimatická změna, lidská nedbalost nebo ekoteroristé? In: Ekolist.cz [online]. Praha: občanské sdružení BEZK, 2023 [cit. 2024-03-19]. ISBN 1802-9019. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/muze-za-lesni-pozary-klimaticka-zmena-lidska-nedbalost-nebo-ekoteroriste>

KRULÍK, Oldřich. Dopady lesních požárů a zahraniční zkušenosti, související s lesními požáry. Ochrana a bezpečnost [online]. 2014, 2014(4), s. 1-10 [cit. 2024-02-19]. ISSN 1805-5656. Dostupné z: http://ochab.ezin.cz/O-a-B_2013_D/2013-2014_D_16_krulik.pdf

LIDELL, Brad. U.S. FISH & WILDLIFE SERVICE. These fires are huge, hidden and harmful. What can we do? Ensia.com/ [online]. 2016 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://ensia.com/features/underground-fires-huge-harmful-hidden/>

MAJLINGOVÁ, Andrea. Informačné systémy Efektívneho nasadenia hasičských jednotiek pru lesných požiaroch na vybranom území SR. Žilina, 2014. Dizertačná práca. Žilinská univerzita v Žiline. Fakulta bezpečnostného inžinierstva. Katedra požiarneho inžinierstva FBI ŽU. Školiteľ práce Mikuláš MONOŠI

MAJLINGOVÁ, Andrea, Marián DRITOMSKÝ a Jaroslav KAPUSNIAK. Manažment a taktika hasenia požiarov v prírodnom prostredí [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2018 [cit. 2024-02-22]. ISBN 978-80-228-3114-7. Dostupné z: https://www.tuzvo.sk/sites/default/files/Manazment-taktika-hasenia-poziarov-prirodnom-prostredi_0.pdf

MCMILLAN, Mike. FOREST SERVICE U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. The Rim Fire one year later: a natural experiment in fire ecology and management. Esa.org [online]. 2013 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.esa.org/esablog/2014/08/05/the-rim-fire-one-year-later-a-natural-experiment-in-fire-ecology-and-management/>

MONOŠI, Mikuláš, Andrea MAJLINGOVÁ a Jaroslav KAPUSNIAK. LESNÉ POŽIARE. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2015. 200 s. ISBN 9788055409719.

NELSON, Ralph M. Chapter 4 - Water Relations of Forest Fuels. In: Forest Fires: Behavior and Ecological Effects [online]. 1. Academic Press. San Diego. Calif. pp., 2001, s. 79-149 [cit. 2024-02-20]. ISBN 9780123866608. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123866608500064>

NORTHWEST FIRE SCIENCE CONSORTIUM. What is? Topography: The relief features or surface configuration of an area. [online]. ©2017 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: https://www.nwfirescience.org/sites/default/files/publications/FIREFACTS_Topography.pdf

NORUM, Rodney A. a Melanie MILLER. Measuring Fuel Moisture Content in Alaska: Standard Methods and Procedures. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-171. 1984. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 34 p [online]. 1984, s. 1-34 [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/pnw_gtr171.pdf

PECL, Jan. Lesní požáry – celosvětový problém. Ostrava, 2007. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Katedra požární ochrany a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Miloš KVARČÁK

PECL, Jan; BERČÁK, Roman a VANĚK, Jan. Hašení požárů v přírodním prostředí. Praha: Ministerstvo vnitra, 2021. ISBN 978-80-7616-098-9.

PEŠOUT, Pavel. Řízené vypalování porostů. Ochrana přírody [online]. 2016, 2016(5), s. 12-15 [cit. 2024-02-19]. ISSN 0139-9853. Dostupné z: <https://www.casopis.ochranaprirody.cz/pece-o-prirodu-a-krajinu/rizene-vypalovani-porostu/>

PETRUZZELLO, Melissa. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. Playing with Wildfire: 5 Amazing Adaptations of Pyrophytic Plants [online]. 2014 [cit. 2024-02-16]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/list/5-amazing-adaptations-of-pyrophytic-plants>.

PICKETT, Steward T. A. a Peter S. WHITE, ed. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. San Diego: Academic Press, 1985. ISBN 0-12-554521-5.

PYNE, Stephen J., Patricia L. ANDREWS a Richard D. L LAVEN. Introduction to Wildland Fire [online]. 2. by John Wiley & Sons., 1996 [cit. 2024-02-20]. ISBN 0-471-54913-4. Dostupné z: https://www.frames.gov/documents/behaveplus/publications/Pyne_etal_1996_Ch1_ocr.pdf

RŮŽÍČKA, Milan a Anna MAKAROVÁ. Zjišťování požárně technických charakteristik segmentů lesního paliva. Praha. 20.9.2023

SANDBERG, David V., Roger D. OTTMAR a Geoffrey H. CUSHON. Characterizing fuels in the 21st Century. International Journal of Wildland Fire [online]. 2001, 2001(4), s. 381-

387. [cit. 2024-02-22]. ISSN 1049-8001. Dostupné z:
<https://www.publish.csiro.au/wf/wf01036>

SCOTT, Andrew, David M. J. S. BOWMAN, William John BOND a Stephen PYNE. Fire on Earth: An Introduction [online]. Researchgate, 2014 [cit. 2024-02-19]. ISBN 978-1-119-95357-9. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/299510875_Fire_on_Earth_An_Introduction

SDRUŽENÍ HASIČŮ ČECH, MORAVY A SLEZSKA. Požár. Vzdelavani-dh.cz [online]. 2014 [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.vzdelavani-dh.cz/publicCourse?id=68&head=170&subhead=463>

SINTON, Diana S., Julia A. JONES, Janet L. OHMANN a Frederick J. SWANSON. Windthrow Disturbance, Forest Composition, and Structure in the Bull Run Basin, Oregon. Ecology [online]. 2000, 2000(9) [cit. 2024-02-22]. ISSN 00129658. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/228600489_Windthrow_Disturbance_Forest_Composition_and_Structure_in_the_Bull_Run_Basin_Oregon

SKRE, Oddvar, Frans Emil WIELGOLASKI a Bjørn MOE. Biomass and chemical composition of common forest plants in response to fire in western Norway. Journal of Vegetation Science [online]. 1998, 9(4), s. 501-510 [cit. 2024-03-19]. ISSN 1100-9233. Dostupné z: [doi:10.2307/3237265](https://doi.org/10.2307/3237265)

STOLINA, Miroslav. Ochrana lesa. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolene, 2001. ISBN 80-228-1067-3.

STOW, Douglas, Philip RIGGAN, Gavin SCHAG, William BREWER, Robert TISSELL, Janice COEN a Emanuel STOREY. Assessing uncertainty and demonstrating potential for estimating fire rate of spread at landscape scales based on time sequential airborne thermal infrared imaging. International Journal of Remote Sensing [online]. 2019, 40(13), s. 4876-4897 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2019.1574995>

SVOZÍLEK, Tomáš. Vliv hmotnosti vzorku na hodnotu teploty vznícení. Ostrava, 2012. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta bezpečnostního inženýrství. Katedra požární ochrany. Vedoucí práce Lenka HERCOVÁ

ŠIŠÁK, Luděk. Soubor vlivů působících na lesní požáry a sociálně-ekonomické škody. In: ŠIŠÁK, Luděk a František STEHLÍK. Lesní požáry: Sborník referátů ze semináře s mezinárodní účastí. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a environmentální, 2004, s. 5-13. ISBN 80-213-1249-1.

ŠIŠÁK, Luděk. Vlivy působící na lesní požáry a sociálně-ekonomické škody. *Lesnická práce* [online]. 2007, 2007(6), s. 18-19 [cit. 2024-02-19]. ISSN 0322-9254. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-06-07/vlivy-pusobici-na-lesni-pozary-a-socialne-ekonomicke-skody>

ŠIŠÁK, Luděk. Škody a újmy působené lesními požáry vyjadřované v rámci státní správy v České republice. *Zprávy lesnického výzkumu* [online]. 2009, 2009(1), s. 69-76 [cit. 2024-02-26]. ISSN 0322-9688. Dostupné z: <https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/01/86.pdf>

TALICHOVÁ, Martina. OČMU pro střední školy – příčiny požárů. Ochrana člověka za běžných rizik a mimořádných událostí. *Metodický portál: Články* [online]. 2021 [cit. 2024-03-20]. ISSN 1802-4785. Dostupné z: <https://clanky.rvp.cz/clanek/22878/OCMU-PRO-STREDNI-SKOLY-PRICINY-POZARU.html>

TDA BURN SCHOOL. Fire behavior, fuels and topography. *Studylib.net* [online]. © 2002 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/8762043/fire-behavior--fuels-and-topography>

THOMAS, Peter A., Robert S. MCALPINE, Kevin HIRSCH, Peter HOBSON. Fire in the wild landscape. In: *Fire in the Forest* [online]. 2010. Cambridge: Cambridge University Press, 2012, s. 54–89. [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/books/abs/fire-in-the-forest/fire-in-the-wild-landscape/B7E3CADE1CBF587EA22E28B54DD5CD5B>

UOTILA, Anneli, Juha-Pekka HOTANEN a Jari KOUKI. Succession of understory vegetation in managed and seminatural Scots pine forests in eastern Finland and Russian Karelia. *Canadian Journal of Forest Research* [online]. 2005, 2005(6). [cit. 2024-02-22]. ISSN 0045-5067. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/237866328_Succession_of_understory_vegetation_in_managed_and_seminatural_Scots_pine_forests_in_eastern_Finland_and_Russian_Karelia

VOLF, Oldřich. HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY. Základy požární taktiky: Proces hoření [online]. Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR, 2004 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15548943-Pozarni-taktika-proces-horeni.html>

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA: Pec pro stanovení bodu vzplanutí (Setchkinova pec). *Fbi.vsb.cz* [online]. 2020 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/021/.content/galerie-souboru/Pristroje/LC312/Setchkinova_pec.pdf

WESTERN FIRE CHIEFS ASSOCIATION. How Does Humidity Affect a Fire? *Wfca.com* [online]. 2022 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://wfca.com/wildfire-articles/how-does-humidity-affect-wildfire/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Wildfires. Who.int [online]. © 2024 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://www.who.int/health-topics/wildfires#tab=tab_3