

**TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
DREVÁRSKA FAKULTA**

ResearchGate

**KAČÍKOVÁ Danica
MAJLINGOVÁ Andrea
VEĽAS Rastislav
LIESKOVSKÝ Martin**

**ŠTÚDIUM VPLYVU ZMENY PARAMETROV
LESNÉHO PROSTREDIA A PALIVA
NA SPRÁVANIE LESNÉHO POŽIARU**

2020

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
DREVÁRSKA FAKULTA

KAČÍKOVÁ Danica
MAJLINGOVÁ Andrea
VELAS Rastislav
LIESKOVSKÝ Martin

ŠTÚDIUM VPLYVU ZMENY PARAMETROV LESNÉHO
PROSTREDIA A PALIVA NA SPRÁVANIE
LESNÉHO POŽIARU

2020

Táto vedecká monografia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt „Progresívny výskum úžitkových vlastností materiálov a výrobkov na báze dreva (LIGNOPRO), kód ITMS: 313011T720, v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „FDAAS – automatizovaný systém pre vyhodnocovanie nebezpečenstva vzniku požiaru“ (FDAAS), kód ITMS+: 313012Q879, spolufinancovaných zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, ako aj podpore Agetúry pre podporu vedy a výskumu pre projekty APVV-17-0005 „Systematický prístup k štúdiu zmien parametrov požiaru s využitím progresívnych analytických a forenzných metód“, APVV-0057-12 „Progresívne metódy zisťovania požiarotechnických charakteristík materiálov v požiarnej inžinierstve“.

Autori:

prof. RNDr. Danica Kačíková, PhD., MSc.

Katedra protipožiarnej ochrany
Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

doc. Ing. Andrea Majlingová, PhD.

Katedra protipožiarnej ochrany
Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

Ing. Rastislav Veľas, PhD.

Katedra protipožiarnej ochrany
Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

doc. Ing. Martin Lieskovský PhD.

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií
Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen

Recenzenti:

doc. Ing. Linda Makovická Osvaldová, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline

plk. Ing. Jaroslav Kapusniak, Ph.D.

Krajské riaditeľstvo HaZZ v Žiline

1. vydanie – Náklad 100 ks (CD-médium) – Strán 112 (5,03 AH)

Vydavateľ: Technická univerzita vo Zvolene

Grafická úprava: Ing. Rastislav Veľas, PhD.

Rok vydania: 2020

© Technická univerzita vo Zvolene

© prof. RNDr. Danica Kačíková, PhD., MSc., doc. Ing. Andrea Majlingová, PhD., Ing. Rastislav Veľas, PhD., doc. Ing. Martin Lieskovský, PhD.

Za odbornú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-228-3232-8

Všetky práva sú vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

PREDSLOV

Vplyv globálneho otepľovania, klimatická zmena a mnohokrát aj neodborné obhospodarovanie, postupne zvyšujú riziko vzniku ničivých lesných požiarov aj v oblastiach, kde boli donedávna považované za marginálny problém, Slovensko nevynímajúc. Postupná urbanizácia krajiny presunula lesné požiare do kategórie najnebezpečnejších prírodných mimoriadnych udalostí, bez ohľadu či požiar vznikol samovoľne, alebo ako dôsledok antropogénnej činnosti [1].

Aj keď lesné požiare, nie sú na Slovensku hrozbou takého rozsahu, ako je to v prípade niektorých iných krajín ako napríklad Španielska, Portugalska, USA a Austrálie, napriek tomu podľa uvedených štatistík spôsobujú značné škody, nie len na lesnom ekosystéme, ale taktiež vo forme ohrozenia zdravia ľudí a často krát aj stratami na životoch.

V posledných rokoch sa problematikou lesných požiarov zaoberalo a stále zaoberá mnoho odborníkov, ktorí prispeli množstvom poznatkov ohľadom správania sa lesných požiarov, ale tiež k ich účinnému zdoľávaniu.

Vedecká monografia približuje teoretické aspekty vplyvu typu, kvantity, štruktúry a fyzikálno-chemických a požiarotechnických charakteristík lesného paliva a tiež aktuálnej meteorologickej situácie na iniciáciu a ďalší rozvoj lesného požiaru. V experimentálnej časti uvádzame metodické prístupy a výsledky testovania vybraných požiarotechnických vlastností lesného paliva vyskytujúceho sa v lesných porastoch s prevahou duba zimného a borovice lesnej v drevinovom zložení. Stanovenie vplyvu zmeny parametrov prostredia na zmenu parametrov lesného požiaru bolo realizované s využitím nástrojov počítačom podporovaného modelovania v programe FARSITE. V závere monografie sú definované možnosti a odporúčania pre využitie výsledkov realizovaného experimentálneho výskumu v bezpečnostnej praxi.

Táto vedecká monografia vznikla ako jedn z výstupov a vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt s kódom ITMS: 313011T720, v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt s kódom ITMS+: 313012Q879, spolufinancovaných zo zdrojov ERDF, ako aj podpore Agetúry pre podporu vedy a výskumu pre projekty APVV-17-0005 a APVV-0057-12.

OBSAH

1	POŽIAROVOSŤ PRÍRODNÉHO PROSTREDIA EURÓPY A SLOVENSKEJ REPUBLIKY	5
2	LESNÝ POŽIAR A JEHO CHARAKTERISTICKÉ PRVKY	21
2.1	Typy lesných požiarov	21
2.2	Charakteristické časti lesného požiaru	25
3	LESNÝ POŽIAR – PROCES HORENIA A DYNAMIKA POŽIARU	27
3.1	Charakteristika procesu horenia lesného paliva	27
3.2	Prenos tepla pri požiaru v prírodnom prostredí.....	30
3.3	Faktory ovplyvňujúce dynamiku lesného požiaru	33
4	MODELOVANIE SPRÁVANIA SA LESNÉHO POŽIARU.....	45
4.1	Prístupy k modelovaniu správania lesných požiarov	45
4.2	SOFTVÉROVÉ PROSTREDIA PRE MODELOVANIE SPRÁVANIA SA POŽIAROV	46
5	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	50
5.1	Predmet výskumu.....	50
5.2	Objekt výskumu	50
5.3	Popis použitých metodických postupov a ich zdôvodnenie.....	55
5.4	Zdroje údajov pre modelovanie požiaru na vybranom území VŠLP.....	62
5.5	Použité softvérové prostriedky.....	62
5.6	Výsledky experimentov a ich diskusia.....	62
6	MOŽNOSTI APLIKÁCIE VÝSLEDKOV REALIZOVANÉHO BEZPEČNOSTNÉHO VÝSKUMU V BEZPEČNOSTNEJ PRAXI.....	92
7	ZÁVER	94
8	SUMMARY	95
9	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	96
10	TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK.....	98
11	VECNÝ REGISTER.....	99
12	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	100
	PRÍLOHY	108

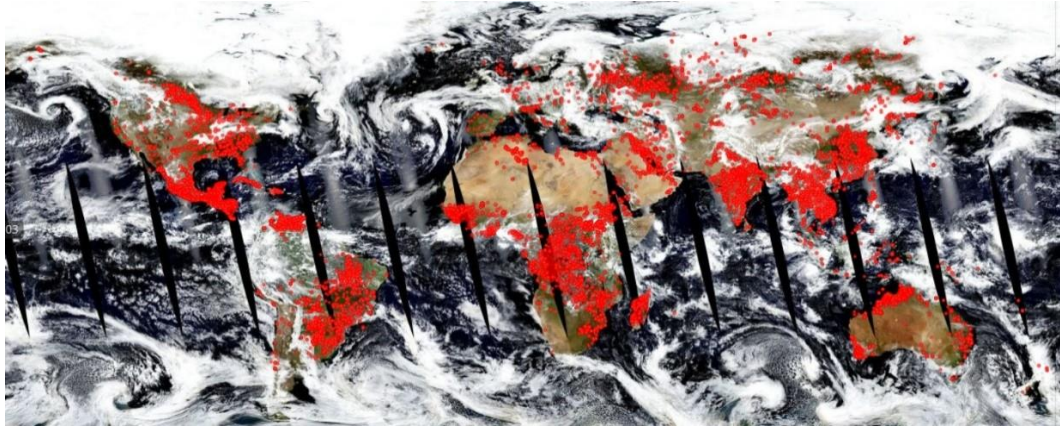
1 POŽIAROVOSŤ PRÍRODNÉHO PROSTREDIA EURÓPY A SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Problematika lesných požiarov je riešená celosvetovo a jej význam má už aj v podmienkach Slovenskej republiky, najmä vzhľadom na dopady prebiehajúcej klimatickej zmeny, ktorá sa prejavuje extrémnym počasím, ktoré úzko súvisí so zvýšeným výskytom lesných požiarov a zväčšovaním ich rozsahu a potrebou ochrany osôb a majetku, ako aj samotného životného prostredia (s ohľadom najmä na biotopy národného alebo európskeho významu) pred jeho dopadmi.

V roku 2017 boli časti Európy, Kanady a USA spustošené lesnými požiarom v bezprecedentnom rozsahu. Avšak rok 2018 priniesol nové rekordy, keďže vlny horúčav a suchého počasia prispievajú k častejším a rozsiahlejším požiarom. K najväčším požiarom v roku 2018 možno zaradiť deštruktívny požiar v severnej Kalifornie, ktorý spálil územie o rozlohe vyše 415 000 ha, pričom zničil stovky domov a budov. Rovnako naprieč Atlantikom intenzívne vlny horúčav v celej Európe vytvorili ideálne podmienky pre ničivé požiare. Možno spomenúť najmä Grécko, kde zomrelo viac ako 80 ľudí, Španielsko, kde vyše 2 500 ľudí opustilo svoje domovy kvôli požiarom. Tiež škandinávské a pobaltské krajiny zasiahli požiare v nevídanom rozsahu. V priebehu júla 2018 zaznamenalo Švédsko jeden z najhorších požiarov za posledné desaťročia a najhorúcejšiu júlovú sezónu za 250 rokov. Taktiež štáty ako Nórsko, Fínsko a Lotyšsko postihli ničivé požiare [2].

Požiare v roku 2019 opäť zasiahli mnohé časti sveta, ktoré boli odpoveďou najmä na početné veľké vlny horúčav, ktoré sa vyskytli v Európe i vo svete. Tie mali za následok devastujúce požiare v amazonskom dažďovom pralese s dramatickými vplyvmi na životné prostredie, či katastrofálny rozsah lesných požiarov v Austrálii, ktoré podľa vyjadrení Svetovej meteorologickej organizácie boli vo veľkej miere zapríčinené dlhoročným suchom a v mnohých oblastiach aj extrémnymi teplotnými pomermi [3, 4].

Obrázok 2 znázorňuje satelitnú mapu sveta, ktorá zobrazuje aktívne požiare a teplotné anomálie na celom svete, zhotovená satelitmi NASA. Snímka zachytáva stav konkrétne zo dňa 3. 5. 2020. Získaná bola z aplikácie Worldview (NASA), ktorá je dátovým a informačným systémom pozorovania zeme EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System) [5].



Obrázok 1 Satelitná snímka zobrazujúca aktívne požiare a teplotné anomálie [31]

Zmena klímy ako fenomén 21. storočia sa stáva jednou z najväčších výziev environmentálnej politiky. Svetové ekonomické fórum vo Svojej správe o globálnych rizikách 2018 [6], v ktorej pravidelne vyhodnocuje najväčšie globálne riziká z hľadiska ich účinku, pravdepodobnosti a dopadov, zaradil medzi 10 najväčších rizík taktiež extrémne prejavy počasia, zlyhanie zmiernovania zmeny klímy a jej adaptácie, prírodné katastrofy a ekologické katastrofy spôsobené človekom [7].

Vedeckí výskumníci si už istý čas uvedomujú, že meniac sa klíma je kľúčovým faktorom k vzniku lesných požiarov [8]. Záznamy z minulosti a súčasnosti poskytujú silné dôkazy o tom, že teplejšie počasie priamo súvisí s vyššou požiarovou aktivitou [9-11]. Avšak vzniká otázka, koľko z nedávneho zvýšenia aktivity lesných požiarov možno pripísať klimatickým zmenám spôsobenými ľuďmi a prirodzenou zmenou klímy [8].

Abatzoglou a Williams [12] publikovali presvedčivé dôkazy o tom, že zmena klímy spôsobovaná ľudskou činnosťou zvyšuje aktivitu lesných požiarov na veľkých plochách zalesnenej pôdy v západných spojených štátoch amerických.

Adedeji, Reuben, Olatoye [13] poukazujú, že zmena klímy je jednou z najdôležitejších výziev v súčasnosti a pridáva značný dôraz na našu spoločnosť a životné prostredie.

Parente et al. [14] uvádzajú, že vlny horúčav môžu mať ničivé sociálne, hospodárske a environmentálne vplyvy, ktoré spolu s dlhodobým suchom sú hlavnými faktormi, ktoré prispievajú k vzniku lesných požiarov. Vo svojej štúdií vykonali kvantitatívne a objektívne analýzy, ktoré viedli k identifikácii a charakterizácii vln horúčav a ich vplyv na výskyt extrémnych lesných požiarov v Portugalsku. V priebehu rokov 1981 až 2010 zistili 130 vln horúčav, ktoré vykazovali vysokú medziročnú variabilitu, ale jasne súviseli s časovým a priestorovým rozložením vyskytujúcich extrémnych lesných požiarov. Výsledky ukázali, že 97 % z celkového počtu extrémnych lesných požiarov sa vyskytli v období vln horúčav, 90 % z celkového počtu extrémnych požiarov boli tiež v dňoch v období horúčav, 82 %

extrémnych požiarov trvalo v období trvania horúčav, 83 % extrémnych požiarov sa vyskytlo počas a v oblasti ovplyvnenej vlnou horúčav.

Liu et al. [15] skúmali trend globálneho potenciálu požiaru v dôsledku zmeny klímy spojenej so skleníkovým efektom. Na základe modelov uvádzajú, že budúci potenciál požiarov sa výrazne zvyšuje v USA, Južnej Amerike, strednej Ázii, južnej Európe, južnej Afrike a Austrálii, kde relatívne zmeny sú najväčšie v južnej Európe, najmenšie v Austrálii. Taktiež požiarne sezóna sa predlžuje o niekoľko mesiacov, čo súvisí najmä s otepľovaním s kombináciou s obdobím sucha.

Aldersley et al. [16] vo svojej štúdii skúmali vzťah medzi globálnou a regionálnou analýzou podnebia a antropogénnymi faktormi súvisiace s výskytom lesných požiarov. Konštatujú, že najväčšia spálená oblasť požiaru je spojená s teplotou vyššou ako 28 °C, ročnými zrážkami medzi 350 až 1100 mm a predĺženými obdobiami sucha, ktoré sa líšia v závislosti od oblasti. Ďalej uvádzajú, že antropogénne činnosti menia priestorový rozsah požiarov, kde významnosť hrubého domáceho produktu (HDP) je najdôležitejšou premennou ľudského ukazovateľa v regionálnom meradle a spálená oblasť je vždy vyššia, keď je hodnota HDP minimálna.

Gillett et al. [17] hovoria o vplyvu zmeny klímy na výskyt lesných požiarov v Kanade. Poukazujú, že oblasť, ktorú spálili lesné požiare sa za posledné štyri desaťročia zväčšila súčasne s teplotou v letnom období. Z výstupov klimatického modelu uvádzajú, že emisie skleníkových plynov a sulfátových aerosólových častíc vo vzduchu spôsobených človekom preukázateľne prispeli k tomuto otepľovaniu. Ďalej poukazujú, že zmena podnebia vyvolaná človekom mala v posledných desaťročiach zistiteľný vplyv na oblasť spálenú požiarom.

Schoennagel et al. [18] uvádzajú, že počet a veľkosť požiarov v západnej Severnej Amerike sa za posledné tri desaťročia zvýšila a tento trend bude pokračovať v reakcii na ďalšie otepľovanie. V dôsledku toho sa v nadchádzajúcich desaťročiach predpokladá, že na rozhraní medzi prírodou a mestským a priemyselným prostredím dôjde k podstatne väčšiemu riziku vzniku požiarov spôsobených klimatickou zmenou.

Vo všeobecnosti možno povedať, že problém klimatickej zmeny už nie je v súčasnosti vnímaný len ako možná budúca hrozba, skôr je považovaný za jeden z najväčších environmentálnych problémov dnešnej doby [19]. Podľa štvrtej správy Medzivládneho panelu o zmene klímy (akronym IPCC) [20] sú podľa mnohých zistení prebiehajúce zmeny globálneho klimatického systému spôsobené ľudskou činnosťou.

V nadväznosti na Tretiu hodnotiacu správu IPCC [21] ďalej prízvukuje, že ľudmi spôsobená zmena klímy bude mať vplyv nie len na rast celosvetovej teploty, ale zároveň bude viesť k

zmenám v celom klimatickom systéme. Čo sa prejaví taktiež v intenzite a periodicite zrážok, zmenami v prúdeň vetra, zvyšovaním morskej hladiny a zintenzívnením frekvencie extrémnych prejavov počasia. Dôsledky týchto dopadov sa prejavia diferencovane v rôznych častiach sveta [19]. Preto riešenie zmeny klímy si vyžaduje bezprecedentnú úroveň spolupráce nielen medzi krajinami, ale aj medzi rôznymi úrovňami vlád, súkromného sektora a jednotlivcov [13].

Geografická povaha nárastu teploty ukazuje, že aj keď na väčšine miest stúpa, na druhej strane sa naopak teplota znižuje napr. pozdĺž východnej Ázie, niektorých častí Ruska, pozdĺž juhovýchodnej Austrálie a východného pobrežia USA. Prevažujúci nárast teploty je väčšinou v Európe a v arktickej oblasti [22].

Good et al. [23] a Gosling et al. [24] poskytli rozsiahly prehľad vplyvu zmien klímy na rôzne aspekty života ľudí. Spomedzi mnohých vplyvov, ktoré sú odpoveďou na zmenu klímy možno zaradiť zvýšenú stratu ľadovej vrstvy v Antarktíde a Grónsku [25, 26], veľký pokles morskeho ľadu [27-29], zvýšenie hladiny mora v dôsledku topenia ľadu [20, 30], okyslenie oceánov v dôsledku zvýšeného množstva oxidu uhličitého v atmosfére [20, 31, 32], zníženie produktivity a kvality poľnohospodárstva [33-35] a tiež zdravotné riziká ľudí [36].

Piata hodnotiacia správa IPCC [37] potvrdzuje, že globálne otepľovanie jednoznačne prebieha, je rýchlejšie ako predpokladali niektoré scenáre v minulosti a do roku 2100 sa môže Zem oteplíť v priemere o 1,5 až 4,5 °C v porovnaní s predindustriálnou úrovňou. Správa tiež hovorí o tom, že koncentrácie atmosférického oxidu uhličitého, metánu a oxidu dusného stúpili na úrovne, ktoré presahujú úrovne za posledných 800 tisíc rokov, najmä v dôsledku ľudskej činnosti (emisie CO₂ a zo zmeny využívania pôdy a odlesňovania) [36].

Napriek tomu, že medzi vedcami existuje silný konsenzus, že globálna zmena klímy je skutočná a nebezpečná a že sa zvyšuje presvedčenie v širokej verejnosti, medzi vedeckým názorom a verejnosťou stále zostáva podstatná medzera v ponímaní tohto problému [38].

Štatistické údaje poskytujú každoročne cenné informácie o požiarovosti, výjazdoch jednotiek k zásahom ako aj ďalšie potrebné údaje. Každoročným problémom pre hasičské jednotky sú lesné požiare a požiare trávnatých porastov. Tieto sú často rozsiahle a komplikované z hľadiska ich lokalizácie a následnej likvidácie z dôvodu neprístupného terénu a nedostatku hasiacich látok, potrebných pre ich zdolanie [39].

Pri porovnaní výsledkov požiarovosti v lesných porastoch a v trávnatých porastoch je objektívne porovnávať dlhšie obdobia, keďže na počet lesných požiarov v roku majú hlavný vplyv meteorologické podmienky, ktoré sa výrazne menia v poslednej dobe aj z roka na rok [40].

Organizáciou, ktorá eviduje všetky požiare na území Slovenskej republiky, je Požiarnotechnický a expertízny ústav Ministerstva vnútra Slovenskej republiky v Bratislave (PTEÚ MV SR), ktorý je v súčasnosti zariadením Hasičského a záchranného zboru.

V tejto časti uvádzame rozbor požiarovosti v prírodnom prostredí, z hľadiska ich početnosti, výške priamych škôd, počte zranených a usmrtených osôb a príčinách vzniku požiarov. Dôkladnejší rozbor je venovaný požiarom v lesných porastoch, ktoré v sebe skrývajú nebezpečný potenciál z dôvodu ich nepredvídateľného správania.

V tabuľke 1 uvádzame prehľad vývoja počtu požiarov v prírodnom prostredí, ktoré vznikli v období rokov 2010 – 2019. Z celkového počtu 104 864 požiarov sa 75 205 požiarov vyskytlo v prírodnom prostredí, čo predstavuje 71,72 %-ný podiel z počtu požiarov za celé sledované obdobie. Najväčší počet požiarov v prírodnom prostredí bol zaznamenaný v roku 2012 a to 14,78 % z celkového počtu požiarov v prírodnom prostredí, ktoré sa vyskytli v sledovanom období [41].

Celková priama škoda dosiahla hodnotu 381 627 820 €, z toho 22,94 % tvoria požiare v prírodnom prostredí (87 534 835 €). V dôsledku požiarov v prírodnom prostredí bolo 331 osôb zranených a 78 osôb usmrtených.

PTEÚ MV SR zaraďuje medzi požiare v prírodnom prostredí požiare, ktoré sa vyskytli na týchto miestach:

- poľnohospodárskych plochách a produktoch (obilie na koreni, slama na riadkoch, strnisko, slama pri stohovaní, balík slamy, stoh slamy – z úrody predchádzajúcich rokov, stoh slamy – z novej úrody, zber krmovín na poli, krmoviny pri stohovaní, balík sena, stoh krmovín, iné poľnohospodárske plochy a produkty),
- v lesoch (lesný porast ihličnatý do veku 10 rokov, lesný porast ihličnatý nad 10 rokov, listnatý porast, lesný porast zmiešaný, lesná škôlka, kosodrevina, lesná ťažba, iné lesy),
- v ostatných prírodných prostrediach (trávnatý porast a úhor, voľná skladovacia plocha, medzera, železničný násyp, zvršok, sad, park, záhrada, vinohrad, kemping, iné prírodné prostredie, pole, dvor, cintorín, lúka),
- skládky odpadov a odpadkov (skládky odpadov alebo odpadkov, odpadkový kontajner, nádoba, iné skládky odpadov a odpadkov),
- cesty, komunikácie, tunely a most (cesta 1. triedy, medzinárodná cesta, diaľnica, cesta 2. triedy, poľná cesta, lesná cesta, tunel, most, parkovisko, odstavná plocha, chodník, železničná trať, iné cesty a komunikácie, miestna komunikácia),

- vodné diela a vodné toky (umelá vodná nádrž, prírodná vodná nádrž, prírodný vodný tok, umelý vodný tok, zariadenia vodného diela, zariadenie studne – prístrešok a pod., iné vodné diela a vodné toky) [41].

V tejto časti práce sme sa bližšie venovali poľnohospodárskym plochám a produktom, lesom a ostatnému prírodnému prostrediu. Z toho dôvodu štatistiku ostatných ukazovateľov v tabuľke 1 neuvádzame.

Tabuľka 1 Vývoj požiarovosti v prírodnom prostredí za obdobie rokov 2010 – 2019 [41]

Ukazovateľ	Rok 2010				Rok 2011			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	9 851	69 148 435	41	244	13 677	33 561 130	56	267
Požiare v prírodnom prostredí	6 746	8 155 985	6	18	10 300	8 669 160	7	54
z toho:								
Poľnohospodárske plochy a produkty	288	317 610	1	0	461	550 430	0	2
Lesy	123	346 585	0	0	303	576 900	0	4
Ostatné prírodné prostredie	3 022	1 208 775	1	4	5 574	1 300 725	3	19
Ukazovateľ	Rok 2012				Rok 2013			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	14 413	41 394 490	44	232	9 898	28 997 100	45	210
Požiare v prírodnom prostredí	11 115	9 991 285	10	42	6 957	8 362 680	6	36
z toho:								
Poľnohospodárske plochy a produkty	242	265 250	0	1	482	808 175	1	0
Lesy	517	793 860	1	5	233	270 230	0	1
Ostatné prírodné prostredie	6 621	2 094 275	6	21	2 954	1 773 380	0	100

Pokračovanie tabuľky 1 - Vývoj požiarovosti v prírodnom prostredí za obdobie rokov 2010 - 2019 [41]

Ukazovateľ	Rok 2014				Rok 2015			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	9 030	44	44	196	10 999	42 010 875	54	242
Požiare v prírodnom prostredí	6 388	18	18	20	8 084	7 761 710	12	31
z toho:								
Poľnohospodárske plochy a produkty	407	1 179 390	0	1	486	646 525	1	1
Lesy	153	142 445	1	1	242	367 370	0	1
Ostatné prírodné prostredie	2 859	1 180 815	4	6	4 042	1 501 555	1	10
Ukazovateľ	Rok 2016				Rok 2017			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	8 407	33 590 660	53	206	10 312	31 648 830	55	224
Požiare v prírodnom prostredí	5 544	8 128 670	3	35	7 326	9 182 480	7	30
z toho:								
Poľnohospodárske plochy a produkty	339	705 100	0	0	387	882 785	1	1
Lesy	136	96 665	0	1	162	410 330	0	1
Ostatné prírodné prostredie	2 196	1 447 340	2	11	3 907	1 631 085	3	10

**Pokračovanie tabuľky 1 - Vývoj požiarovosti v prírodnom prostredí
za obdobie rokov 2010 – 2019 [41]**

Ukazovateľ	Rok 2018			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	8 973	40 094 650	49	195
Požiare v prírodnom prostredí	6 111	8 392 745	5	20
z toho:				
Poľnohospodárske plochy a produkty	259	677 540	0	1
Lesy	262	436 140	1	2
Ostatné prírodné prostredie	2 629	1 720 800	3	9
Ukazovateľ	Rok 2019			
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Usmrtené osoby	Zranené osoby
Základné údaje o požiarovosti v SR (celkovo)	9 304	36 979 615	41	296
Požiare v prírodnom prostredí	6 634	12 080 030	4	45
z toho:				
Poľnohospodárske plochy a produkty	251	904 065	0	2
Lesy	210	1 123 055	0	2
Ostatné prírodné prostredie	3 472	2 829 990	3	14

Pre porovnanie počtu týchto troch ukazovateľov, najväčší počet požiarov 37 276 sa vyskytol v ostatnom prírodnom prostredí, čo predstavuje 49,57 %-ný podiel z celkového počtu požiarov v prírodnom prostredí. Táto vysoká miera je zapríčinená najmä nedodržiavaním zákazu vypaľovania trávnatých porastov fyzickými osobami, o ktorom pojednáva zákon NR SR č. 314/2001 Z.z. o ochrane pred požiarimi v znení neskorších predpisov [42]. Poľnohospodárske plochy a produkty tvoria 4,79 %-ný podiel, a lesy 3,11 %-ný podiel z celkového počtu požiarov v prírodnom prostredí.

Pretože monografia je obahovo zameraná na vplyv vybraných parametrov paliva na rozvoj lesného požiaru, uvádzame podrobnejšie údaje o požiarovosti v kategórii „Lesy“, ktoré sú v zmysle PTEÚ MV SR členené podľa druhu porastu. Tento rozbor je uvedený v tabuľke 2 za obdobie rokov 2010 – 2019.

Tabuľka 2 Údaje o požiarovosti lesov podľa druhu porastu za obdobie rokov 2010 - 2019 [41]

Ukazovateľ - Lesy	Rok 2010		Rok 2011		Rok 2012		Rok 2013	
	Počet	Priame	Počet	Priame	Počet	Priame	Počet	Priame
Lesný porast ihličnatý do veku 10 rokov	18	34 980	17	34 930	28	70 095	20	27 740
Lesný porast ihličnatý nad 10 rokov	21	13 910	56	41 825	87	102 670	55	20 185
Listnatý porast	10	5 065	33	24 410	100	37 845	20	6 755
Lesný porast zmiešaný	29	41 350	133	464 545	223	331 970	74	193 965
Lesná škôlka	0	0	2	5 000	1	4 380	0	0
Kosodrevina	1	0	2	200	0	0	1	0
Lesná ťažba	35	251 140	37	4 675	63	244 705	46	19 475
Iné lesy	9	140	23	1 315	15	2 195	17	2 110
Spolu:	123	346 585	303	576 900	517	793 860	233	270 230
Ukazovateľ - Lesy	Rok 2014		Rok 2015		Rok 2016		Rok 2017	
	Počet	Priame	Počet	Priame	Počet	Priame	Počet	Priame
Lesný porast ihličnatý do veku 10 rokov	14	46 460	10	15 910	11	20 965	11	116 745
Lesný porast ihličnatý nad 10 rokov	31	16 200	67	60 710	15	2 475	33	170 845
Listnatý porast	17	10 640	30	12 555	22	10 835	34	12 850
Lesný porast zmiešaný	53	51 615	72	73 350	31	45 845	42	101 105
Lesná škôlka	0	0	2	1 430	0	0	1	0
Kosodrevina	0	0	0	0	0	0	0	0
Lesná ťažba	26	5 815	39	17 115	40	5 200	27	4 130
Iné lesy	12	11 715	22	186 300	17	11 345	14	4 655
Spolu:	153	142 445	242	367 370	136	96 665	162	410 330

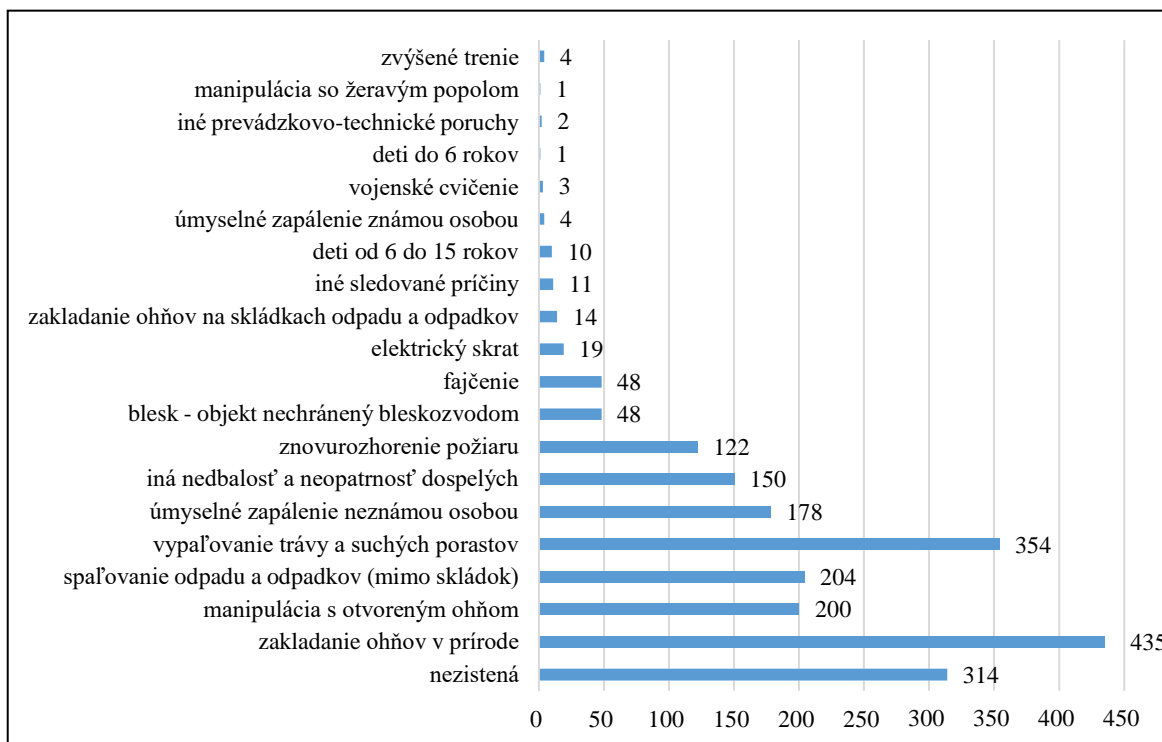
Pokračovanie tabuľky 2 - Údaje o požiarovosti lesov podľa druhu porastu za obdobie rokov 2010 - 2019 [41]

Ukazovateľ - Lesy	Rok 2018		Rok 2019	
	Počet požiarov	Priame škody (€)	Počet požiarov	Priame škody (€)
Lesný porast ihličnatý do veku 10 rokov	10	27 120	13	8 135
Lesný porast ihličnatý nad 10 rokov	57	46 640	39	55 610
Listnatý porast	33	27 135	31	52 295
Lesný porast zmiešaný	76	291 555	65	156 425
Lesná škôlka	0	0	1	50
Kosodrevina	0	0	2	100
Lesná ťažba	65	27 350	50	21 195
Iné lesy	21	16 340	9	829 245
Spolu:	262	436 140	210	1 123 055

Z údajov o mieste požiaru vzhľadom na druh lesného porastu vyplýva, že najväčší počet požiarov vznikol v lesnom poraste zmiešanom, v lesnom poraste ihličnatom nad 10 rokov a taktiež v miestach lesnej ťažby. Celkovo bolo zaznamenaných 2 341 požiarov s priamou škodou 4 563 580 € [41].

Tieto požiare neprinášajú len materiálne škody, ktoré možno ekonomicky vyčíslieť, ale prinášajú predovšetkým škody environmentálne, a to vo forme škôd na poraste, poškodenia alebo zničenia významných biotopov, ale aj znečistenia prostredia chemickými látkami, v prípade použitia ekologicky nevhodného hasiaceho média [42].

Podľa príčiny vzniku požiarov v lesnom prostredí v období rokov 2010 – 2018 vzniklo najviac požiarov z dôvodu zakladania ohňov v prírode (podiel 20,50 %) a vypaľovania trávy a suchých porastov (podiel 16,68 %) [43]. Môžeme teda konštatovať, že najčastejšou príčinou vzniku požiarov je antropogénna činnosť – teda činnosť, ktorá je priamo spojená s úmyselnou alebo neúmyselnou činnosťou človeka v lese. Prehľad o jednotlivých príčinách vzniku lesných požiarov je uvedený v grafickej forme na obrázku 2.

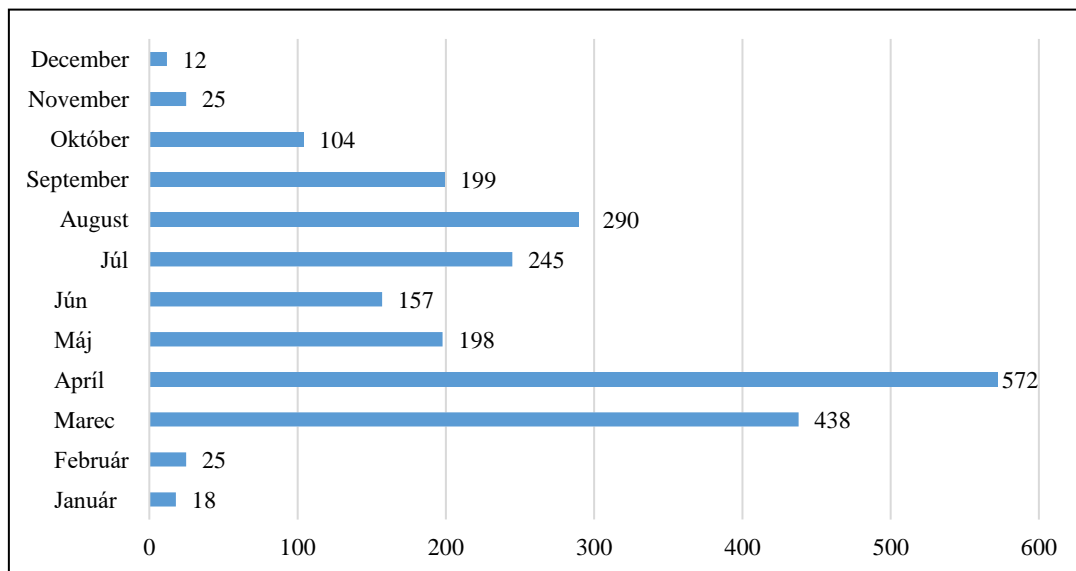


Obrázok 2 Príčiny vzniku lesných požiarov za obdobie rokov 2010 - 2018 [40]

Požiare v lesnom prostredí nevznikajú len z dôvodu zakladania ohňov v prírode alebo nedodržiavaním zákazu vypaľovania trávy a suchých porastov, ale podľa správy, ktorú vydalo Prezídium Hasičského a záchranného zboru v januári 2020 s názvom „Ochrana lesov pred požiarimi“ sú práve meteorologické podmienky výrazným činiteľom, ktoré výrazne ovplyvňujú riziko vzniku požiarov v jarných a letných mesiacoch. Tieto tvrdenia vychádzajú z údajov zo Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), z ktorých vyplývajú klimatické anomálie v posledných rokoch. Z meraní vyplýva, že leto 2012 bolo historicky tretie najteplejšie od roku 1871, odkedy sa uskutočňujú merania teploty. Leto 2013 skončilo ako teplotne mimoriadne nadnormálne. Jar 2014 skončila ako teplotne silne nadnormálna. Priemerná teplota vzduchu v lete 2014 nezaostávala výrazne za letom v roku 2013, kde bola vyššia ako normál, ale vplyvom častej oblačnosti, nestabilného charakteru počasia a pravidelných búrok bolo menej príležitosti na aktivity v prírode a s tým v konečnom dôsledku súvisí aj fakt, že klesalo riziko vzniku požiarov. Rok 2015 bol na Slovensku druhý najteplejší v histórii meteorologických meraní v Európe, kde rok 2016 bol mimoriadne teplý. Jar a leto v roku 2017 boli teplotne mimoriadne nadnormálne, kde leto skončilo podľa meraní ako cca tretie najteplejšie od roku 1951 a mesiac jún bol druhým najteplejším júnom v histórii meteorologických meraní na Slovensku. V roku 2018 boli mesiace s výnimkou februára a marca všetky hodnotené ako teplotne nadnormálne, v niektorých prípadoch mimoriadne až

extrémne teplé. Samotné leto bolo mimoriadne teplé a veľmi dlhé. Koniec októbra a začiatok novembra bol veľmi teplý, kde teplota vzduchu sa vyšplhala na hodnotu približne 10 °C nad dlhodobým priemerom nameraným v tomto mesiaci. Leto v roku 2019 bolo najteplejšie v histórii meteorologických meraní, kde priemerná teplota bola o 3,8 °C vyššia ako pozorovania z rokov 1901 – 2000 [40].

Na obrázku 3 uvádzame graf znázorňujúci počet lesných požiarov podľa kalendárnych mesiacov v rokoch 2010 – 2019 [40]. Z hľadiska meteorologickej situácie sa vo všeobecnosti ako najrizikovejšie obdobie pre vznik požiarov javí jarné obdobie (marec – máj) a tiež obdobie leta v mesiacoch s najvyššou teplotou (jún – august), ktoré ako môžeme vidieť sa stotožňuje s kalendárnymi mesiacmi v rokoch 2010 – 2019. Požiare vznikajúce počas jarných mesiacov predstavujú 52,92 %-ný podiel a počas letných mesiacov je to 30,3 % z celého sledovaného obdobia. Tu je potrebné zdôrazniť, že extrémne meteorologické podmienky nie sú samé o sebe príčinou vzniku požiaru. K tomuto vysokému percentu prispieva najmä človek svojou činnosťou, ako je napr. vypaľovanie trávy, ktoré je v jarnom období veľmi nebezpečnou činnosťou z dôvodu preschnutého paliva.



Obrázok 3 Počet lesných požiarov podľa kalendárnych mesiacov v rokoch 2010 - 2019 [40]

V tejto časti práce sa zaoberáme tiež požiarovosťou lesov Európskych krajín. Aktuálne a spoľahlivé informácie o lesných požiaroch v Európe sú súčasťou Európskeho informačného systému pre lesného požiare (EFFIS). Systém EFFIS pozostáva z odborníkov na lesné požiare zo 40 krajín Európy, Stredného východu a severnej Afriky a medzinárodných organizácií

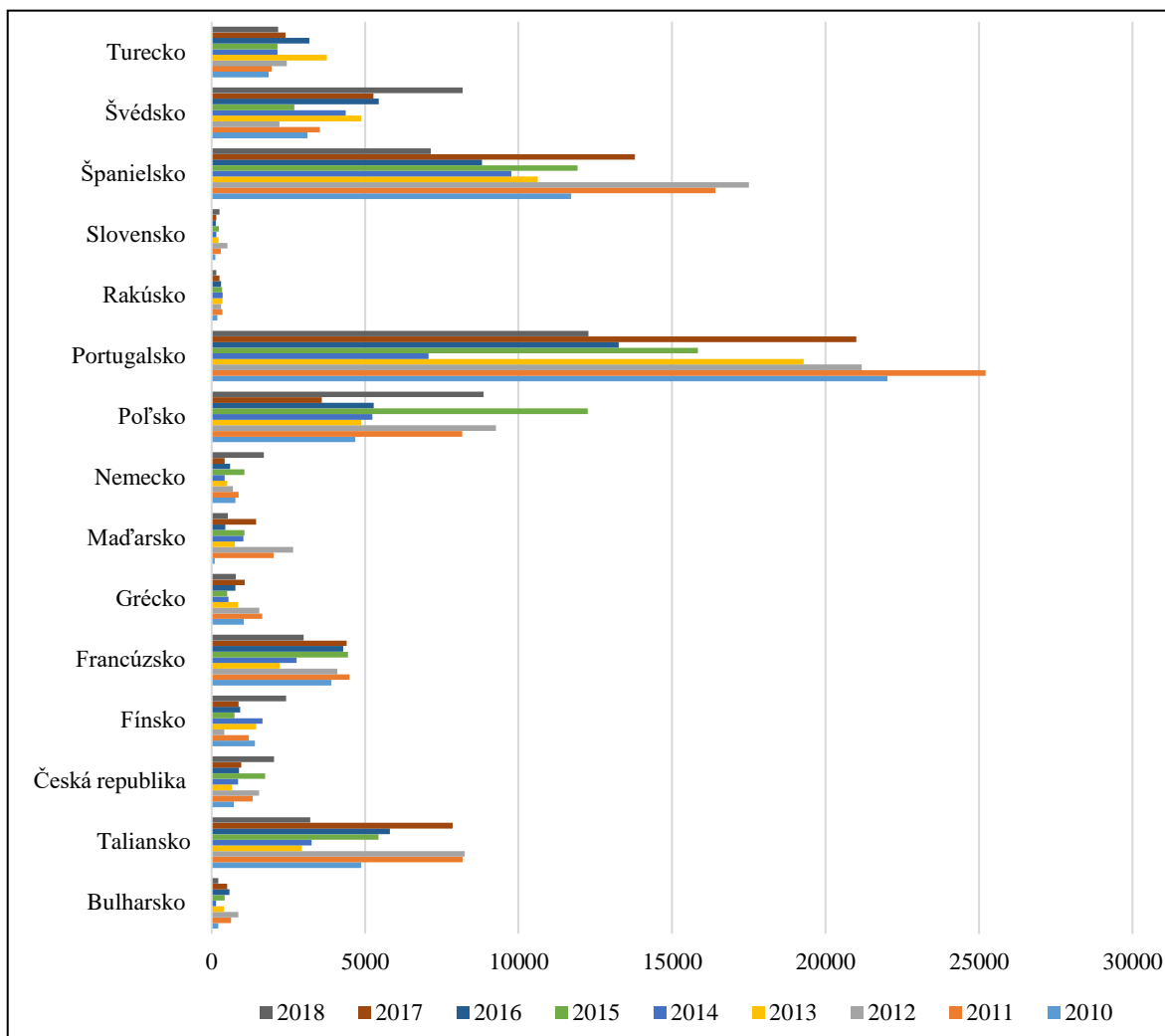
ako napr. Food and Agriculture Organization (FAO) a United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Cieľom Európskeho informačného systému o lesných požiaroch je poskytovať harmonizované informácie o lesných požiaroch a posudzovať ich vplyvy v celoeurópskom regióne. V súčasnosti EFFIS poskytuje operačnú podporu Generálnemu riaditeľstvu Európskej komisie pre civilnú ochranu a operácie humanitárnej pomoci (DG ECHO), Generálnemu riaditeľstvu pre vnútorný trh, priemysel, podnikanie a malé a stredné podniky (DG GROW) pri vykonávaní nariadenia Copernicus, ako aj Generálnemu riaditeľstvu pre regionálnu a mestskú politiku (DG REGIO) pokiaľ ide o vykonávanie nariadenia o Fonde solidarity Európskej únie pre závažné požiare [45].

V súčasnosti do systému EFFIS prispievajú informáciami o lesných požiaroch 25 členských štátov Európskej únie (EÚ), 12 krajín mimo EÚ a 5 krajín ako Alžírsko, Izrael, Libanon, Maroko a Tunisko [45].

Z predposlednej správy, ktorá bola vydaná v roku 2018 vyplýva, že v Európskej únii v roku 2017 vyhořelo viac ako 1,2 milióna ha prírodného územia. Pri týchto požiaroch prišlo o život 127 ľudí, medzi ktorými patrilo i civilné obyvateľstvo. Viac ako 25 % z celkovej spálenej oblasti bolo v sústave chránených území európskeho významu NATURA 2000, čo zničilo veľkú časť úsilia krajín EÚ o zachovanie kľúčovej biodiverzity a prirodzených biotopov pre budúce generácie. EFFIS odhadol straty spôsobené týmito požiarimi na približne 10 miliárd eur [44].

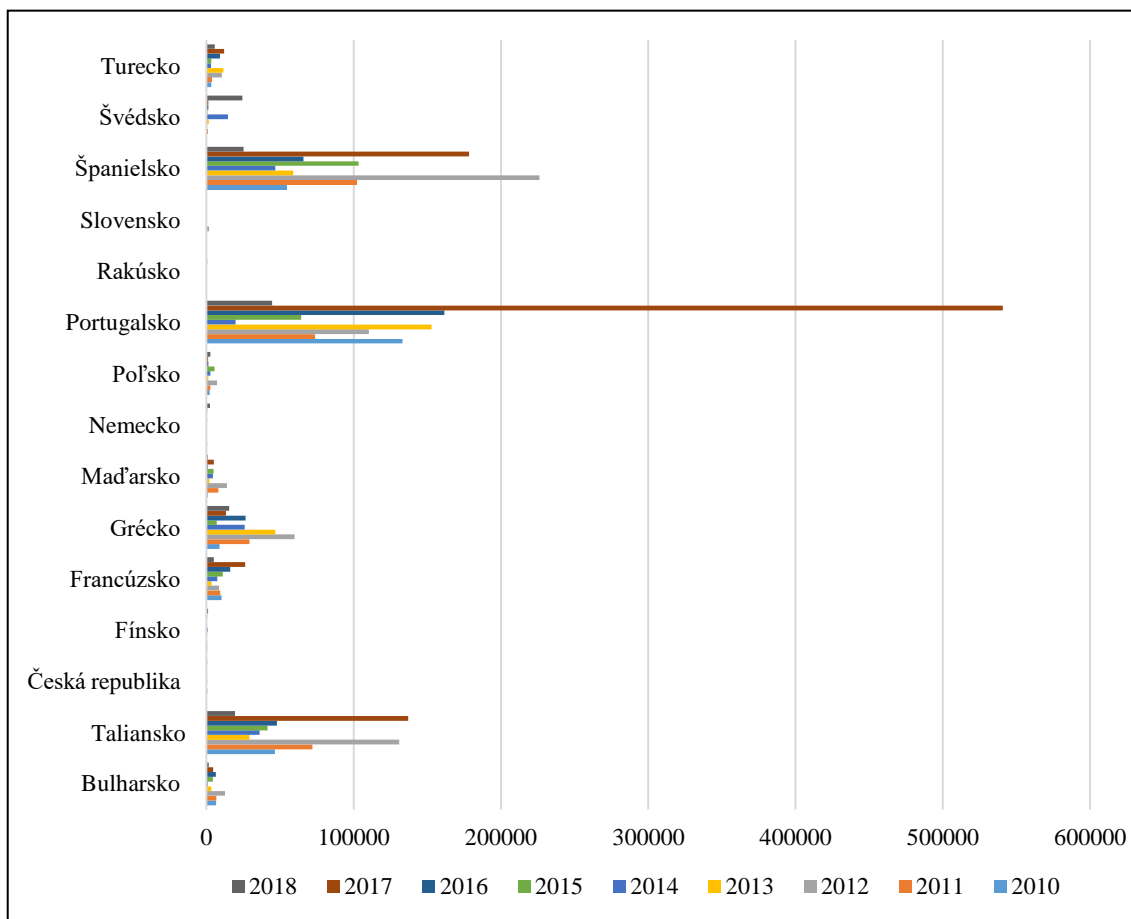
Posledná správa uvádza, že v roku 2018 bolo požiarimi s rozlohou viac ako 30 ha zasiahnutých 22 krajín EÚ s celkovou výmerou 137 539 ha, čo tvorí približne 14 % z hodnoty zaznamenatej v roku 2017. Z toho celkom 49 835 ha (36 %) spálenej oblasti bolo na územiach NATURA 2000. Najvyšší počet požiarov bol zaznamenaný v Taliansku (147 požiarov, 14 649 ha zhorenej plochy), v Španielsku (104 požiarov, 12 793 ha), v Portugalsku (86 požiarov, 37 357 ha), v Spojenom kráľovstve (79 požiarov, 18 032 ha) a vo Švédsku (74 požiarov, 21 605 ha). Najhoršiu požiarňu sezónu v histórii hlásenia zažilo Švédsko, kde zaznamenaná celková spálená plocha 24 310 ha bola tretia najvyššia v EÚ, čo je neobvyklé postavenie v rebríčku severných krajín. Aj keď Portugalsko bolo opäť krajinou s najvyššou spálenou oblasťou, jeho celková časť predstavovala len malý zlomok plochy zhorenej v roku 2017 [46]. Z dôvodu nedostupnosti štatistiky požiarov v roku 2019, uvádzame požiarovosť vo vybraných krajinách EÚ za obdobie rokov 2010 – 2018, ktorá je znázornená na obrázku 4 [46].

Za sledované obdobie najviac lesných požiarov sa zaznamenali v južnej časti Európy a to v Portugalsku, Španielsku, Taliansku a Grécku. Naopak najmenej v počte výskytu požiarov patria štáty ako Nemecko, Rakúsko a Slovensko.



Obrázok 4 Prehľad vývoja počtu požiarov vo vybraných krajinách EÚ v rokoch 2010 - 2018 [46]

Obrázok 5 zobrazuje celkovú plochu požiarom postihnutého územia v hektároch (ha) za sledované obdobie 2010 – 2018. Celková plocha zasiahnutého územia dosiahla hodnotu 3 293 855 ha. Najväčšia zhorená plocha bola na území Portugalska, čo predstavuje 39,50 % z celkovej plochy všetkých hodnotených štátov.



Obrázok 5 Prehľad vývoja celkovej plochy (ha) požiarmi postihnutého územia za sledované obdobie 2010 - 2018 [46]

Celkový počet a rozsah územia zasiahnutého požiarmi sa v jednotlivých rokoch a v jednotlivých štátoch pomerne líšia a to z dôvodov, že niektoré krajiny sú rozlohovo podstatne menšie a na druhej strane majú výrazný vplyv taktiež klimatické podmienky, ktoré sa v jednotlivých krajinách líšia. Avšak z hľadiska počtu požiarov a celkovej zhorenej plochy prevládajú krajiny ležiace najmä na juhu Európy ako Portugalsko, Španielsko a Grécko.

2 LESNÝ POŽIAR A JEHO CHARAKTERISTICKÉ PRVKY

Celková požiarovosť na území Slovenskej republiky, najmä pokiaľ ide o počet požiarov, je už niekoľko rokov ovplyvňovaná najmä počtom požiarov v prírodnom prostredí, t. j. požiarov lesov, lúk, pasienkov, poľnohospodárskych plôch, násypov ciest a železničných tratí, záhrad a podobne [47]. Tieto nekontrolované sa šíriace požiare vegetácie lesov, trávnatých porastov a poľnohospodárskych kultúr sa stávajú častejším globálnym problémom, ktorý je odpoveďou na prebiehajúcu klimatickú zmenu i geografického vývoja obyvateľstva [48]. Tiež sú jedným z najviac študovaných prírodných javov, vzhľadom na ich povahu a vplyvy [49]. Avšak zvyšovanie počtu lesných požiarov je nielen dôsledkom globálneho otepľovania, ale podľa FAO [50] je najčastejšou príčinou človek a jeho úmyselné a neúmyselné konanie. Podľa Cohena [51] požiare najčastejšie vznikajú na rozhraní území wildland-urban, kde táto oblasť je definovaná, ako prechodná zóna medzi voľnou prírodou a mestským a priemyselným prostredím [52].

Z hľadiska slovenskej legislatívy definícia samotného lesného požiaru nie je bližšie špecifikovaná. Lesný požiar môžeme charakterizovať, ako náhlu čiastočne alebo úplne neovládanú časovo a priestorovo ohraničenú mimoriadnu udalosť, ktorá má nepriaznivý dopad na všetky spoločenské funkcie lesa [53].

Z lesníckeho hľadiska bol lesný požiar definovaný, ako mimoriadne škodlivý činiteľ antropogénneho alebo prírodného pôvodu, ktorý poškodzuje všetky zložky lesných biocenóz a to tak biotop, ako aj rastlinnú a živočíšnu zložku [54].

Z pohľadu dynamiky horenia ide o komplex fyzikálnochemických javov, ktorých základom sú nestacionárne (meniace sa v priestore a v čase) procesy horenia, výmeny plynov a prenosu tepla [55].

Horenie pri lesnom požiare charakterizujeme, ako horenie celého súboru organických materiálov, z ktorých je lesný porast zložený. Je to podmienené nehomogénnym zložením lesa, ktorý sa horizontálne rozčleňuje na niekoľko podlaží – etáži [56]. Zo spoločenského hľadiska je najdôležitejšou charakteristikou veľkých lesných požiarov ich potenciál vážne a nevratne poškodiť územia s významnou prírodnou hodnotou [57].

2.1 Typy lesných požiarov

Požiare môžu byť rozdelené do niekoľkých základných typov, ktoré charakterizujeme podľa druhu horiaceho materiálu, to znamená, ktorá vrstva lesného porastu je zasiahnutá.

V domácich podmienkach alebo vo svete sa v súčasnosti môžeme stretnúť s nasledovnými typmi lesných požiarov:

- podzemné požiare,
- pozemné požiare,
- korunové požiare,
- požiar dutého stromu,
- požiar kalamitnej plochy,
- kombinácia alebo prechody pozemného do korunového požiaru a
- požiare rašelinísk.

2.1.1 Podzemné požiare

Jedná sa o pomaly šíriace sa požiare, ktoré sa plazia pod povrchom pozemných palív ako sú korene stromov, odumreté guľatiny a rašelinová vrstva rozkladajúcich sa organických a anorganických látok, ktorá sa vytvára na vrchole pôdy, najmä v lese ihličnatých stromov. Podzemné požiare sa môžu šíriť aj v miestach, ako sú rašeliniská, uhoľné ložiská, pokiaľ je vlhkosť paliva dostatočne nízka. Pretože prchavé zlúčeniny a väčšina celulózy sú v rozklade, obsah popola a lignínu je vysoký a produkcia horľavých plynov je nízka, prebieha proces horenia tlením.

Podľa hĺbky, v ktorej podzemný požiar pôsobí, delíme požiare na:

- slabé: do hĺbky 250 mm,
- stredné: od hĺbky 250 do 500 mm,
- silné: do hĺbky nad 500 mm.

Tento druh požiaru môže mať deštruktívny charakter na korene stromov, semená rastlín a pôdnych organizmov na veľkých plochách, pričom spôsobujú odumieranie a pád zdravých stromov navonok neovplyvnených požiarom. Navyše s nárastom prívodu kyslíka spôsobeného silným vetrom môžu tieto nenápadne požiare prejsť do plameňového horenia nad zemou [56, 58].

2.1.2 Pozemné požiare

Väčšina požiarov v prírodnom prostredí patrí k povrchovým požiarom. Zdrojom paliva sú spadnuté listy zo stromov, suché ihličie, vetvy, stonky, odpady kôry (obzvlášť dôležitá vlastnosť eukalyptov v otvorených lesoch južnej Austrálie), drevný materiál vrátane pňov a konárov ponechané lesnou hospodárskou činnosťou. Taktiež lišajníky, trávy, byliny, kríky a mladé stromy sú tiež vhodným palivom pre spaľovanie, čo vedie k vyššej výške plameňov. Tieto požiare môžu byť intenzívne a spaľujú odumreté vetvy dreva až do priemeru 7,6 cm [58].

Pozemné požiare možno rozdeliť na letné a vytrvalé. Letné požiare vznikajú prevažne v jarnom a v letnom období a šíria sa rýchlosťou menšou než $0,5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Podľa rýchlosti šírenia sa delia na slabé do $1 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, stredné od 1 do $3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a silné nad $3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Rozlišujú sa aj výškou plameňa na slabé do $0,5 \text{ m}$, stredné od $0,5 - 1,5 \text{ m}$ a silné nad $1,5 \text{ m}$ [56].

2.1.3 Korunové požiare

Ku korunovému požiaru dochádza najmä v dôsledku nahromadenia povrchového paliva v pestovne zanedbaných porastoch s vysokou burinou a trávou a hlboko zavetvenými stromami, čoho výsledkom je zvýšenie teploty požiaru. V tomto prípade sa môže plameň šíriť cez kmene stromov do korún. Hlavným zdrojom paliva pre korunové požiare sú listy a jemné vetvičky, ale aj odumreté suché stromy. V prvom rade musia byť listy dostatočne suché (zvyčajne menej ako 100% vlhkosti) a tepelná energia dostatočne vysoká, aby zapálila samotné listy a vetvičky. Zatiaľ, čo mnohé korunové požiare produkujú teploty len okolo $800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$, v prípadoch veľkého množstva suchého paliva s výskytom vetra, ktorým sa kyslík privádza do procesu horenia, môžu teploty dosiahnuť $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Ide o najdramatickejšie a najrýchlejšie sa šíriace požiare, ktoré sú zvyčajne krátkodobé a veľmi nebezpečné.

Korunové požiare rozdeľujeme na letný vrcholcový a vytrvalý stojatý. Pri letnom požiaru sa požiar pohybuje v korune stromov vlnovito ako voda. Pri silnom prúdení vzduchu sú obvykle týmto požiarom zasiahnuté kmene aj korene stromov, taktiež môže dôjsť k vyvráteniu stromov. Pri vytrvalom stojatom požiaru tvorí oheň priamu stenu a požiar sa pohybuje pomalšie.

Taktiež korunové požiare možno rozdeliť podľa rýchlosti šírenia požiaru na slabé do $3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, stredné od $3 - 10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a silné nad $100 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ [56, 59].

2.1.4 Požiar dutého stromu

Takéto požiare sa vyskytujú len zriedka v dôsledku úderom blesku, zásahom človeka alebo samovznietením u bŕtlavého stromu. Požiar zachvacuje na rozdiel od ostatných typov požiarov len jednotlivé stromy, preto z hľadiska požiarneho zásahu, nie je problém ho uhasiť. Pokiaľ sa v blízkosti nachádzajú ďalšie stromy, môže byť príčinou k vzniku i veľkého požiaru [56]. Podľa štúdie Chromeka et al. [60] a ich kritického posúdenia atribútov požiaru, by sa požiare dutých stromov nemali považovať za kategóriu lesných požiarov, aj keď prítomnosť spráchnivených stromov je vážnym problémom, pretože tieto stromy predstavujú dlhotrvajúce zdroje požiaru v lesných porastoch a komplikujú hasenie požiaru.

2.1.5 Požiar kalamitnej plochy

Tento typ požiaru sa dostal do popredia po rozsiahlej vetrovej kalamite vo Vysokých Tatrách dňa 19. 11. 2004. V súčasnej dobe je čoraz častejší výskyt požiarov na miestach spracovanej kalamity, ktoré sú špecifické tým, že nepatria ani k jednej skupine vyššie uvedených typov požiarov. Plocha prípadného požiariska nie je výškovo diferencovaná, ale je tvorená rozličnými zlomami, vývratmi, stojacimi stromami, zvyškami rozkladajúcich sa stromov a zlomenými stromami. Rozloženie drevnej hmoty je často krát nerovnomerné a drevo je nakopané v niekoľkometrových vrstvách. Na plochách sa navyše častokrát nachádza veľké množstvo ťažbového odpadu, ktorý v sebe skrýva vysokú hrozbu v podobe vzniku a šírenia požiaru. Horenie po zapálení drevnej hmoty môže byť celoplošné, z časového hľadiska dlhodobé v celom priestore požiariska. Takáto plocha je taktiež obvykle veľmi ťažko dostupná v dôsledku obmedzenej zjazdnosti lesných ciest, dôsledkom čoho, nie je možné použiť základné spôsoby hasenia lesných požiarov [61].

2.1.6 Požiare rašelinísk

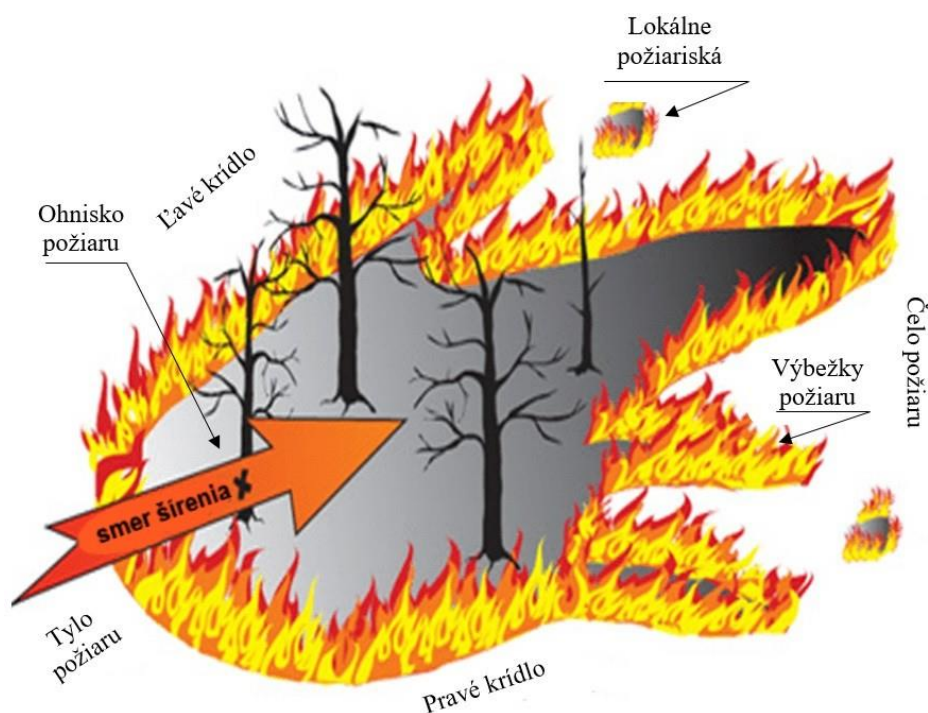
Požiare rašelinísk môžu byť iniciované zásahmi bleskov, iskrami alebo plameňmi z lesného požiaru, ktorý zasahuje do močiarov, alebo antropogénnymi aktivitami, ako sú táborové požiare alebo ohorok z cigariet [62]. Rašelinové požiare v nížinách môžu byť považované za podzemné, pretože dosahujú maximálnu hĺbku približne 1,20 až 1,50 m pod povrchom [63]. Tropické rašelinové bažiny a odlesnené rašeliniská sú dôležitými zásobami uhlíka, ktorého uvoľňovanie vo veľkých množstvách prostredníctvom spaľovania môže významne prispieť k procesom zmeny klímy [64]. To bolo dokázané výskytom rozsiahlych požiarov zalesnených rašelinísk v Indonézii v priebehu roka 1997. Odhaduje sa, že v dôsledku spaľovania rašeliní a vegetácie sa do atmosféry uvoľnilo 0,81 až 2,57 Gt uhlíka, čo zodpovedá 13 – 40 % priemernej ročnej globálnej emisie uhlíka a výrazne prispelo k najväčšiemu ročnému nárastu koncentrácie oxidu uhličitého (CO₂) v atmosfére od roku 1957 [65]. Možno spomenúť ešte katastrofické rašelinové požiare v roku 2010 v Rusku, kde samotný požiar bol dôsledkom zhoršenia vlny horúčav. Táto prírodná katastrofa spôsobila zdravotné problémy pre veľký počet ľudí, dopravné problémy na zemi a vo vzduchu, kde štipľavý dym pohltil mestá Petrohrad a Moskvu [62].

Takýto typ požiaru je zložitý najmä na likvidáciu, keďže požiar rašelinísk môže prebiehať aj pri vlhkosti 200 % a vyššej. Z tohto dôvodu dochádza k spaľovaniu aj počas dažďov alebo pod snehom cez zimu [62]. Rein et al. [66] experimentálne definovali limitnú vlhkosť zapálenia na 135 %. Príkladmi, keď požiare rašelinísk sa spaľujú aj roky sú zo Španielska, Južnej Afriky, Indonézie, Malajzie a ďalších krajín [67-69].

2.2 Charakteristické časti lesného požiaru

Tvar požiariska môže byť definovaný jeho obodom, teda okrajom spálenej oblasti. V tejto oblasti sa tiež môžu vyskytnúť ostrovčeky nezhoreného miesta, dymiace plochy ako aj miesta úplného vyhorenia paliva. Taktiež obsahuje miesto vzniku požiaru – ohnisko požiaru, ktoré môže, ale aj nemusí byť identifikované bez podrobného vyšetrovania. Ku charakteristickým častiam lesného požiaru, ako je to znázornené na obrázku 6, zahrňame:

- ohnisko požiaru,
- krídla požiaru,
- tylo požiaru,
- čelo požiaru,
- lokálne požiariská,
- výbežky požiaru a
- ostrovčeky nevyhoreného paliva [70, 71].
- čerky nevyhoreného paliva [25, 26].



Obrázok 6 Charakteristické časti lesného požiaru [71]

2.2.1 Ohnisko požiaru

Ohniskom požiaru označujeme oblasť, kde vznikol požiar, resp. bod, z ktorého sa oheň začal šíriť. Tento východiskový bod, ak je to možné, by sa mal ponechať bez porušenia na ďalšie

vyšetrovanie príčiny vzniku požiaru. Miesto vzniku požiaru sa môže nachádzať v blízkosti urbanistických celkov, komunikácií, ale rovnako aj vo veľmi odľahlých a nedostupných horských oblastiach [56, 70].

2.2.2 Tylo požiaru

Tylo požiaru je časť obvodu oproti frontu požiaru. Zvyčajne horí proti smeru vetra alebo smerom dole kopcom. Obyčajne je to najmenej intenzívna časť obvodu požiaru s nízkymi plameňmi a pomalšou rýchlosťou šírenia [70].

2.2.3 Krídla požiaru

Krídla požiaru sú bočné strany lesných požiarov, kde pravé a ľavé krídla, oddeľujú front od tyla požiaru. Sú zhruba paralelné s hlavným smerom šírenia, kde intenzita je často krát nižšia ako v čele požiaru, pretože nie sú až tak závislé na sile vetra a sklonu terénu. Môžu byť opísané ich geografickou polohou napr. východné krídlo požiaru, alebo ich orientáciou pri pohľade od tyla požiaru napr. ľavé alebo pravé krídlo požiaru [56, 70].

2.2.4 Čelo požiaru

Čelo alebo front požiaru je oblasť s najväčšími plameňmi a intenzitou horenia. Najrýchlejšie sa šíri v smere vetra alebo smerom do kopca. Táto oblasť je ovplyvňovaná smerom vetra, dostupnosťou paliva, topografickými podmienkami alebo rôznymi prírodnými a umelými prekážkami (bariérami) [70].

2.2.5 Lokálne požiariská

Lokálne požiariská sa nachádzajú mimo hlavného požiariska, ktoré sú spôsobené odlietavajúcimi žeravými uhlíkmi, ktoré sú prenášané vetrom alebo konvekčným stĺpcom. Vývojom požiaru sa môžu spojiť s hlavným požiarom a dostať do obkľúčenia osoby alebo techniku zasahujúcu na hlavnom požiaru. Najrýchlejšia likvidácia týchto miest zabráni vytvoreniu nových frontov a rýchlejšiemu šíreniu požiaru [56, 72].

2.2.6 Výbežky požiaru

Výbežky požiaru charakterizujeme ako predĺžené spálené plochy vyčnievajúce z hlavnej oblasti požiaru, ktoré vytvárajú nepravidelný obvod požiariska. Vzor na zemi sa môže podobáť prstom na ruke [72].

2.2.7 Ostrovčeky nevyhoreného paliva

Ostrovčeky nevyhoreného paliva sú plochy nevyhoreného paliva, nachádzajúce sa vo vnútri požiariska. Je potrebné ich mať pod kontrolu, pretože sa na nich nachádza potenciálny zdroj paliva, ktoré by mohlo začať horieť a zintenzívniť požiar [56, 72].

3 LESNÝ POŽIAR – PROCES HORENIA A DYNAMIKA POŽIARU

3.1 Charakteristika procesu horenia lesného paliva

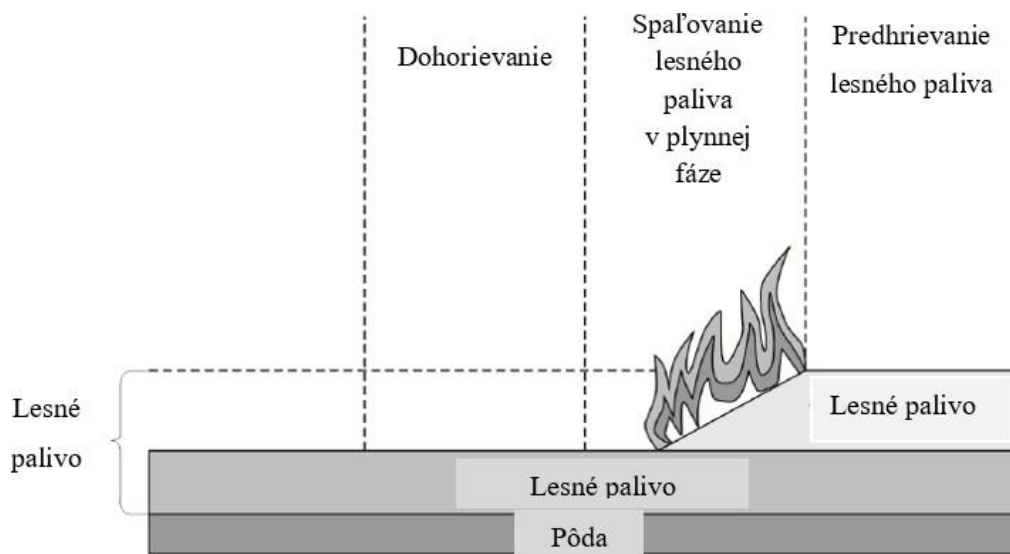
Horenie pri lesnom požiari má viacero špecifických vlastností. Toto horenie môžeme charakterizovať ako horenie súboru organických materiálov prírodného pôvodu, z ktorého je zložený lesný porast. Pre pochopenie vzniku a priebehu lesného požiari je nevyhnuté charakterizovať základné tepelné rozhrania pri horení jednotlivých zložiek a vplyv tepla na organickú hmotu predstavujúcu dreviny. Keď v lesnom poraste vypukne požiar, pôsobí na dreviny radiačné teplo a nastáva čiastočné alebo aj celkové odumieranie podkôrných pletív, prípadne aj celého stromu. Živé bunky v lyku drevín začínajú odumierať už pri teplote vyššej než 54 °C, kde pri teplote 40 – 80 °C sa u ihličnatých drevín čiastočne vylučuje živica, ktorá má nízky bod varu. Pri teplote 80 – 150 °C dochádza k strate celého obsahu vody v pletivách i dreve. Ak pôsobenie plameňa s teplotou 250 °C trvá dlhý čas, z dreva sa začnú uvoľňovať horľavé plyny a drevo sa samo zapáli pri teplote okolo 300 °C. Pri teplote nad 450 °C sa vznietia plyny uvoľňované z dreva pri kontakte s vonkajším vzduchom a pri teplote nad 600 °C sa drevo samo stáva zdrojom horenia. Teplota plameňa horiaceho dreva dosahuje 700 – 800 °C. Popri plynach unikajúcich za horenia, vzniká na povrchu dreva i zuhoľnatená vrstva (nespálený uhlík), ktorá zabraňuje prenikaniu tepla do vnútra dreva a tým spomaľuje jeho rozklad. Unikanie spalných plynov sa tak zvoľňuje a plameň sa znižuje [73, 74].

Najčastejším iniciátorom vzniku lesného požiari je požiar trávnatého porastu. Pri požiari hustej trávy s plameňom do výšky 5 cm dosahuje teplota hodnotu 165 °C, vo výške 5 cm nad zemou 800 °C, v 25 cm asi 700 °C. Vo výške 100 cm je teplota pri takomto požiari ešte 45 °C. Pri horení hrabanky alebo voľne ležiaceho raždia na zemi, dosahuje teplota plameňa približne 680 – 880 °C [73, 74].

Popri vznikajúcej teplote na rozvoj požiari priamo vplýva aj výška plameňa z jednotlivých zdrojov. Pri horení nízkej trávy plamene dosahujú výšku 5 – 10 cm. Kríky čučoriedok, brusníc alebo vysoká burina dokáže vyvinúť plameň dosahujúci 60 – 150 cm. Plamene z horiaceho raždia alebo kôry dosahujú výšku 2 – 4 m, pričom zapálená kopa raždia, ktorá býva výsledkom práce po uprataní zvyškov po ťažbe, vyprodukuje plamene s výškou 6 a viac metrov. Od takéhoto zdroja je to len kúsok, najmä v ihličnatých lesoch, k vzniku korunového požiari. Pri horení koruny ihličnatého stromu vznikajú teploty okolo 1 000 °C s výškou plameňa až 100

metrov, kde pri horení ihličnatého lesa dosahuje teplota v plameni hodnotu až 1 300 °C [73, 74].

Baranovskiy a Kuznetsov [75] predstavujú trojfázový proces vývoja lesného požiaru, ktorý je znázornený na obrázku 7. V prvej fáze dochádza k predhrievaniu lesného paliva, v druhej fáze dochádza k spaľovaniu lesných palív v plynnej fáze a v tretej fáze nasleduje horenie tlením a samotné dohorievanie lesného paliva.



Obrázok 7 Fázy rozvoja lesného požiaru [75]

Pokiaľ počas požiaru nedôjde k začatiu vykonávania lokalizačných a následne likvidačných prác, možno jednotlivý priebeh lesného požiaru klasifikovať podľa požiarnej taktiky do štyroch fáz:

I. iniciačná fáza – je čas od vzniku požiaru po rozvoj požiaru. Trvá asi 4 – 10 minút. Táto fáza je charakteristická pomalým nárastom plochy požiaru, nízkou teplotou a nízkou intenzitou výmeny plynov. Požiar v tejto fáze zvyčajne nespôsobuje veľké škody a samotná likvidácia je menej náročná na sily a prostriedky.

II. fáza rozvoja – je charakteristická rýchlym zväčšovaním plochy požiaru, teploty a intenzity výmeny plynov. Na lokalizáciu a likvidáciu požiaru je potrebné nasadenie väčšieho množstva síl a prostriedkov.

III. fáza plne rozvinutého požiaru – v tejto fáze prebieha intenzívne horenie všetkých horľavých látok. Následne dochádza k postupnému poklesu teploty a znižovaniu plochy požiariska. Na lokalizáciu požiaru sa často vyžaduje letecký zásah podporovaný pozemným zásahom s maximálnym využitím síl a prostriedkov.

IV. fáza dohorievania – je čas odhorievania horľavých látok až do ich úplného dohorenia [74].

3.1.1 Zapáliteľnosť a horľavosť lesnej biomasy

Vznik požiaru v lese ovplyvňuje mnoho faktorov, ako napríklad vhodný suchý materiál, ktorý je horľavý a ľahko zapáliteľný. Rovnaký význam pri procese horenia a jeho rozvoja má aj pôdna pokrývka. Za teplotu vznietenia/vzplanutia, v závislosti od druhu iniciátora, sa považuje teplota, pri ktorej sa vznieti daná látka pri určitej vlhkosti vzduchu a bez vplyvu ďalšieho zdroja tepla. Zapáliteľnosť teda závisí od vnútorných vlastností látky a od vonkajších podmienok napr. vlhkosť vzduchu, tvar paliva a pod [76].

Ak hovoríme o lesnom organickom materiály, zapáliteľnosť závisí od druhu paliva a ročného obdobia (vegetačné štádium, klimatické podmienky). K najľahšiemu vznieteniu paliva, najmä odumretého suchého jemného paliva, dochádza na jar. Vtedy bod zapáliteľnosti (bod vznietenia, resp. vzplanutia) vybraných rastlín a drevín v suchom stave, je napríklad pre: ovsík 260 °C, borovicu lesnú 302 °C, duglasku tisolistú 313 °C, topoľ 319 °C, buk 321 °C, brezu 321 °C, smrekovec opadavý 329 °C, vrbu 331 °C. Počas vegetačného obdobia sa stupne zápalnosti zvyšujú. U borovici lesnej je to zvýšenie na 330 °C, u smrekovca opadavého na 334 °C, pri breze na 364 °C, vrbe 397 °C a topoli 407 °C [76].

Uvedené rozdiely v hodnotách limitného bodu zapáliteľnosti nezávisia len od vlhkosti dreveniny (rastliny), ale aj od prirodzených inhibítorov brzdiacich proces horenia. Vrstva odumretého rozkladajúceho sa pôdneho krytu či hrabanka si v čase dažďa uchováva veľké množstvo vlhkosti, z čoho vyplýva, že je ťažšie zapáliteľná. Rovnaké je to aj s machmi a lišajníkmi, ktoré sa počas vlhka nevznietia, no po vyschnutí patria k ľahko zápalným palivám. Ihličnaté dreveniny sú v zásade oveľa zápalnejšie ako listnaté, a to z dôvodu veľkého množstva horľavej živice. Faktor ako tvar stromu môže taktiež napomáhať zápalnosti. Je to v prípadoch, keď sú spodné konáre stromu ovisnuté smerom nadol, napríklad u smreka, kde sa ľahko vznietia a zapríčinia vznik korunového požiaru. Zmiešané porasty požiar menej ohrozuje a to z dôvodu, že rýchlosť šírenia je u takýchto porastov nízka. Ak sa posudzuje zapáliteľnosť z hľadiska vekovej skladby lesa, najzápalnejším sú porasty prvého vekového stupňa, z dôvodu veľkého množstva trávy a buriny. Vlastnosť materiálu, ktorá po zapálení sa dokonale oxiduje za daný čas a pri dokonalých podmienkach prístupu vzduchu, nazývame horľavosť. Horľavosť organického objektu, akým je práve les, je relatívne značná. Záleží však na jeho štruktúre, vlhkosti ovzdušia a mnoho ďalších vlastnostiach [76].

3.2 Prenos tepla pri požiari v prírodnom prostredí

Popri chemických reakciách zohrávajú veľmi dôležitú úlohu pri horení fyzikálne procesy, ako je prenos hmoty a tepla, ktoré sú základnými hnacími silami difúzneho horenia látok. Prenos tepla sa uskutočňuje vedením tepla (kondukcia), prúdením (konvekcia) a žiarením (radiácia) [77]. Všetky tri mechanizmy prenosu tepla prispievajú k procesu horenia, ale rôznym spôsobom. Dominantný mechanizmus prenosu tepla závisí od usporiadania paliva, rýchlosti vetra pôsobiaceho na plamene a sklonu terénu. Z hľadiska významu šírenia požiaru prenosom tepla z jedného paliva na druhé má najväčší vplyv konvekcia, nasleduje radiácia a kondukcia [78]. Avšak prenos tepla radiáciou a konvekciou dochádza k prenosu tepla iba na povrch paliva. Jediným spôsobom, ako sa teplo dostane do vnútra materiálov ako sú lesné palivá je kondukcia. Preto je prenos tepla vedením mimoriadne dôležitý najmä v procese horenia väčších palív a organických pozemných palív [79].

3.2.1 Prenos tepla radiáciou

Akékolvek horúce predmety vyžarujú teplo vo forme elektromagnetického žiarenia. Ide o formu tepelnej energie, ktorá sa pohybuje vo všetkých smeroch od jej zdroja (oheň) k blízkym objektom, t. j. predhrieva palivá v bezprostrednej blízkosti požiaru. Je to priame teplo sálajúce z požiaru. Sálavé teplo nepotrebuje médium na prechádzanie, môže prechádzať vákuom. Najjednoduchším príkladom je teplo sálajúce zo slnka.

Ak hovoríme o lesnom požiari, dochádza pri horení paliva a taktiež priamo z plameňa k vyžarovaniu (sálaniu) veľkého množstva tepla. Avšak intenzita vyžarovania veľmi rýchlo klesá so zvyšujúcou sa vzdialenosťou, takže palivá sa zohrievajú veľmi pomaly a je pravdepodobné, že nedôjde k ich zapáleniu. K samotnému zapáleniu paliva dôjde až pri priamom kontakte paliva s plameňom alebo po vystavení paliva sálavému teplu po dlhší čas. Taktiež žiarenie prechádza iba priamočiaro. Preto sa často stáva, že palivo je chránené pred priamym žiarením iným palivom (obrázok 8). Sálavé teplo pochádza z plameňov a všetkých tlejúcich palív. Pritom platí, že čím majú plamene vyššiu teplotu, tým väčšie množstvo sálavého tepla sa vyžaruje a tým dochádza k rýchlejšiemu šíreniu požiaru práve v dôsledku pôsobenia tohto sálavého tepla [70, 80, 81].



Obrázok 8 Prenos tepla radiáciou [80]

3.2.2 Prenos tepla konvekciou

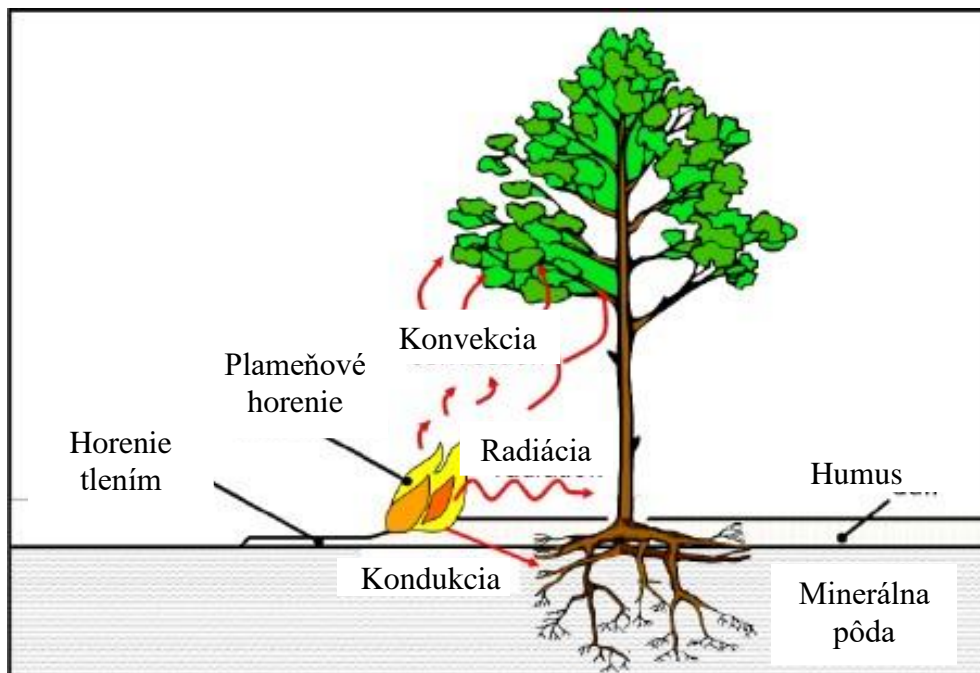
Prenos tepla konvekciou je založený na tom, že hustota látky sa významne mení s teplotou, a preto keď majú jej rôzne oblasti rôznu teplotu, dochádza vplyvom gravitačných síl k prirodzenému prúdeniu a následne premiešavaniu a vyrovnávaniu teplôt. Prúdenie je prenos tepla ohrevom vzduchu. Vzduch sa pohybuje nahor, keď je teplejší ako okolitý vzduch. Príkladom je zvýšenie teploty vo vzostupnom stĺpci nad požiarom. Konvekciou dochádza k rýchlemu predhriatiu paliva a zvyšuje ho na teplotu vznietenia. Prúdenie horúceho vzduchu má tendenciu pohybovať sa vertikálne smerom nahor, pokiaľ vietor alebo svah nespôsobí určitý stupeň laterálneho pohybu. Tok horúceho vzduchu je primárne zodpovedný za predhriatie vyšších vrstiev kríkov a koruny stromov.

Prenos tepla konvekciou má taktiež niekoľko dôležitých dopadov pre zasahujúce hasičské jednotky:

- požiar neustále nasáva čerstvý vzduch z okolia a tým si zabezpečuje dodávku kyslíka potrebného k intenzívnejšiemu horeniu,
- veľké požiare vytvárajú silné prúdenia, ktoré môžu následne zmeniť smer a ovplyvniť samotné správanie požiaru a
- správanie požiaru je charakteristické tvorbou iskier a odletovaním žeravých uhlíkov, ktoré sú prenášané vo vzduchu prostredníctvom vetra alebo horúceho vzduchu – konvenčného stĺpca, ktorý stúpa z ohňa. Horiace palivo môže byť prenesené dopredu pred požiar a spôsobiť požiar mimo hlavného požiariska tzv. lokálne požiariska (angl. spot fires) [70, 72, 78, 81].

3.2.3 Prenos tepla kondukciou

Vedenie je prenos tepla molekulovou aktivitou dvoch susediacich materiálov, ktoré sú v kontakte. Pri lesných požiaroch sa vedenie zvyčajne uskutočňuje vo väčších palivách, ako sú napr. odumreté konáre, pne. Avšak drevo nie je najlepším vodičom tepla, čo spôsobuje, že spôsob prenosu tepla vedením je najmenej dôležitý pre šírenie požiarov, ale má významný vplyv na pôdu a koreňové systémy. Tepelná vodivosť lesných druhov paliva sa stáva vyššou vzhľadom na zvýšenie hustoty paliva. Pretože tepelná kapacita palív sa tiež zvyšuje s hustotou, palivá s vysokou hustotou zvyčajne vyžadujú viac tepla na zapálenie ako palivá s nižšou hustotou. Teplo môže byť vedené rýchlejšie do hlbších vrstiev palív s vyššou hustotou, čím sa spomaľuje nárast teploty na povrchu, takže je potrebné zvýšenie teploty na zvýšenie povrchovej teploty na bod zapálenia. Na zvýšenie teploty povrchovej vrstvy je potrebné väčšie množstvo tepla, pretože palivo s väčšou hustotou má väčšiu tepelnú kapacitu. Tento rozdiel v požiadavkách na teplotu vznietenia (zapálenia) je jedným z dôvodov, prečo sa drevo v rozklade môže často zapáliť iskrou, ale pevné a husté drevo si vyžaduje zápalný zdroj s vyššou tepelnou energiou. Na obrázku 9 je graficky znázornený prenos tepla z plameňa do okolitého prostredia všetkými tromi spôsobmi [78, 81].



Obrázok 9 Spôsoby prenosu tepla z plameňa do okolitého prostredia [82]

Spôsob vedenia tepla pri šírení plameňa po povrchu tuhých palív značne komplikuje modelovanie procesu horenia. Celkové množstvo tepla prijaté látkou pred postupujúcim čelom plameňa sa dá všeobecne vyjadriť nasledovne (1):

$$Q = Q_r + Q_c + Q_t + Q_k - Q_s \quad (1)$$

kde:

Q_r – sálavé teplo od plameňa (W),

Q_c – teplo získané kondukciou (W),

Q_t – teplo z reakčnej zóny (W),

Q_k – teplo získané konvekciou (W),

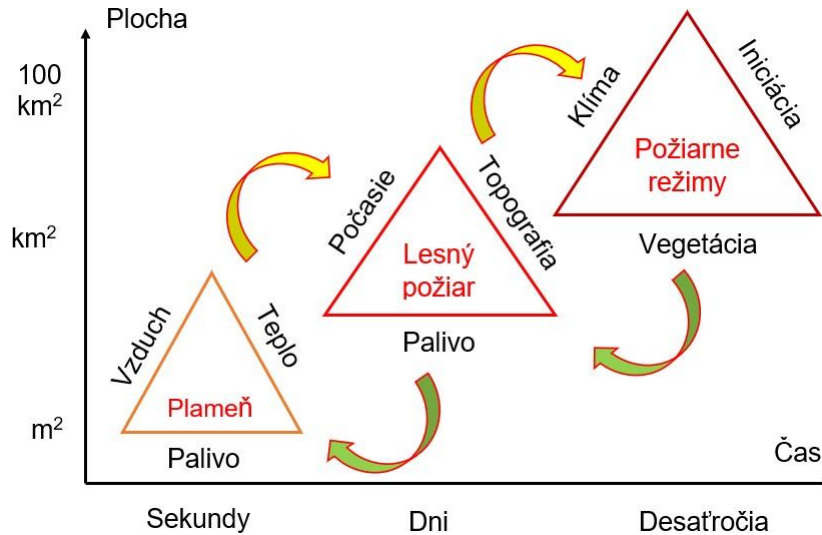
Q_s – straty vedenia tepla konvekciou, kondukciou a radiáciou do okolia (W) [83].

3.3 Faktory ovplyvňujúce dynamiku lesného požiaru

Správanie lesného požiaru je v mnohých ohľadoch oveľa komplikovanejšie ako je tomu u iných druhov požiarov. Faktory, ktoré ovplyvňujú proces horenia sa takmer nepretržite menia, nakoľko sa menia aj podmienky v samotnom priestore požiaru. Každá z týchto zmien môže byť buď prínosom alebo nevýhodou pre získanie kontroly nad požiarom a samotné zdolávanie požiaru [84].

Medzi základné faktory, ktoré ovplyvňujú zapálenie lesného porastu patrí zdroj iniciácie (iniciátor), palivo (substrát – materiál), oxidačný prostriedok (kyslík) a ich vzájomná interakcia. Pritom nemôžeme zabúdať na dôležitosť týchto jednotlivých zložiek a ich špecifikácií. Akákoľvek absencia zložiek súboru potrebného pri horení determinuje možnosť zapálenia a aj keď splníme túto podmienku, neznamená to, že bude súbor horieť. Na to, aby začalo horenie musia jednotlivé zložky medzi sebou pôsobiť. Zdroj energie býva väčšinou rozdelený na plameňový a bezplameňový zdroj zapálenia. Palivo je reprezentované dendromasou a fytomasou, čo sú asimilačné časti stromov a rastlín. Oxidačný prostriedok predstavuje vzdušný kyslík. Taktiež dynamika horenia do značnej miery ovplyvňuje následné možnosti rozvoja a šírenia požiaru [85].

Obrázok 10 zobrazuje dominantné faktory, ktoré ovplyvňujú horenie v lesnom prostredí a to na stupnici plameň, lesný požiar a požiarový režim. To ukazuje rozšírenie tradičného konceptu trojuholníka horenia pri vnútorných požiaroch o tzv. trojúrovňový trojuholník, ktorý v sebe zahŕňa široké spektrum ďalších veličín, ktoré vplývajú na vznik, šírenie a predikciu požiarových režimov [86].



Obrázok 10 Parametre trojuholníka horenia ovplyvňujúce správanie požiaru v lesnom prostredí [86]

3.3.1 Iniciačný zdroj

Neantropogénna iniciácia v lese môže vzniknúť len v prípade objektov, ktoré sa prirodzene vyskytujú v lese a nie sú ovplyvnené ľudskou činnosťou. Medzi neantropogénne iniciátory zaraďujeme hlavne blesky a samovznietenie. Stanovením určitých hraničných podmienok vieme predpokladať ich vznik. Blesky vznikajú hlavne z frontálnych búrkových systémov alebo z tzv. búrok z tepla (miestnych popoludňajších búrok).

Medzi antropogénne iniciátory, zaraďujeme najmä tie, ktoré podľa štatistík spôsobujú požiare v lesoch, ale nie sú prirodzenou súčasťou prírody. Tieto požiare sú ťažko predvídateľné a sú buď úmyselne alebo neúmyselne iniciované. Najčastejšími zdrojmi zapálenia lesného paliva je fajčenie (ohorok z cigarety), manipulácia s otvoreným ohňom (zápalka, zapalovač), spaľovanie odpadu a odpadkov, úmyselné zapálenie, vypaľovanie trávy a suchých porastov, zakladanie ohňov v prírode, technické poruchy ťažných strojov a pod. [85].

3.3.2 Oxidačný prostriedok

Vzdušný kyslík, určený hlavne barometrickým tlakom, statickým tlakom, dynamickým tlakom ovzdušia ako i teplotou vzduchu, vlhkosťou vzduchu (absolútnou, relatívnou), hustotou a entalpiou, ovplyvňuje horenie. Taktiež aj pohyb vzduchu v ovzduší horizontálny či vertikálny, spôsobený teplotným gradientom i teplotným zvrstvením. Závisí od meteorologických podmienok, ako napríklad oblačnosť, zrážky a slnečné žiarenie. Výmena plynov prebieha na základe smeru a sily vetra, atmosférického tlaku a pod. Jeho zloženie, pohyb a smer je dôležitým parametrom pri rozvoji požiaru [87].

3.3.3 Meteorologické podmienky

Pochopenie vplyvu počasia na lesné požiare je nevyhnutné najmä pre bezpečné a účinné činnosti, ktoré vedú k lokalizácii a následnej likvidácii takéhoto požiaru. Zasahujúci príslušníci by si mali byť vedomí ako nepriaznivé počasie môže spôsobiť extrémne správanie sa požiaru, ktoré môže ohroziť ako zasahujúcich príslušníkov tak i ostatné obyvateľstvo. Medzi prvky počasia, ktoré podporujú extrémne správanie sa požiaru patrí nízka relatívna vlhkosť vzduchu, silný povrchový vietor, nestabilný vzduch a dlhotrvajúce sucho [88].

Meteorologické prvky, predovšetkým teplota a vlhkosť vzduchu môžu výrazne ovplyvňovať pravdepodobnosť vzniku požiaru. Počasie následne ovplyvňuje nielen rýchlosť šírenia požiaru (rýchlosť spotreby paliva pri požari), ale aj smer jeho šírenia. V dôsledku zmeny počasia a poveternostnej situácie sa môžu vyskytovať dlhotrvajúce požiare, ktoré pretrvávajú aj týždne. Táto situácia je typická najmä pre územia Austrálie a USA [89].

Významným faktorom ovplyvňujúcim správanie požiaru je vietor. Vietor je priamym dôsledkom ohrievania a ochladzovania zemského povrchu, následkom ktorému vznikajú v atmosfére oblasti s rôznym tlakom vzduchu. Vietor je presunom vzduchu z tlakovej výše do tlakovej nize. Pri likvidácii požiaru zohráva kľúčovú úlohu v pozitívnom aj negatívnom zmysle podľa toho, či spomaľuje alebo zrýchľuje postup šírenia požiaru. Medzi základné vplyvy vetra na požiar patria zmena rýchlosti a zmena smeru jeho šírenia. Dvojnásobné zvýšenie rýchlosti vetra však neznamená automaticky dvojnásobné zrýchlenie šírenia požiaru. Rýchlosť požiaru narastá geometrickou postupnosťou [89].

Prevládajúce poveternostné podmienky sú v skutočnosti vyjadrením súboru smerov vetra a jeho rýchlosti, ktoré sú bežné v danom mieste aj v období bez požiaru. Z výsledkov dlhodobých pozorovaní vyplýva, že s východom Slnka rastie rýchlosť vetra a spolu so západom Slnka postupne klesá. Povrch krajiny sa ohrieva najrýchlejšie medzi 6:00 h až 9:00 h a ochladzuje medzi 17:00 h až 19:00 h. Vtedy je rýchlosť vetra najväčšia. Dôležitým faktorom ovplyvňujúcim správanie sa požiaru (smer a intenzitu) sú veterné turbulencie, ktoré sa vytvárajú na hrebeňoch, v kaňonoch, v údoliach a iných terénnych zlomoch na zemskom povrchu [89].

Vietor ovplyvňuje vo veľkej miere rýchlosť, ktorou sa požiar môže šíriť. „Ventilátorový“ efekt vetra tlačí plameň dopredu a tým predhrieva dosiaľ nezapálené horľavé lesné palivo. Vietor taktiež napomáha vysúšať vegetáciu a tým zvyšuje ľahkosť zapálenia. Taktiež podporuje vznik vzduchom nadnášaných ohorkov, ktoré stúpajú v konvekčných prúdoch zahrievaného vzduchu. Sprievodný vietor pri požari môže odviať žeravé uhlíky a horúce iskry pred oblasť

hlavného požiaru a zapáliť sekundárne požiare v oblastiach s nespálenými horľavými materiálmi [90].

Tri rôzne typy vetra, ktoré ovplyvňujú správanie požiaru, sú klasifikované ako meteorologický, denný a požiarový vietor.

Meteorologický vietor je spôsobený rozdielmi v atmosférickom tlaku v hornej úrovni masy vzduchu, čo vytvára regionálne typy počasia. Tieto hlavné pohyby vzduchu vytvárajúce vietor a tlakové pásma vznikajú v dôsledku zemskej rotácie, vplyvom oceánov a topografických charakteristík.

Denný vietor vzniká vplyvom slnečného zahrievania a nočného ochladzovania. Ako sa vzduch počas dňa ohrieva, stúpajúci vzduch vytvára vzostupné vetry hore svahom. Keď sa vzduch po západe slnka ochladzuje, tento hustejší, ťažší vzduch klesá dole a spôsobuje vietor smerujúci dole svahom.

Požiarový vietor je spôsobený samotným požiarom. Tento vietor vzniká v dôsledku toho, ako stúpajúce prúdy splodín horenia vtáhujú okolitý vzduch. Vietor tohto typu ovplyvňuje šírenie požiaru [90].

Nasledujúcim významným meteorologickým javom je teplotná inverzia. Ako už bolo spomenuté, v nejakej vrstve teplota s rastúcou výškou rastie. Vrstva inverzie vytvára na požiarisku nepreniknuteľnú vrstvu, čo môže spôsobiť abnormálny transport dymu, tepla a letiacich žeravých uhlíkov. Pod inverznou vrstvou horí požiar veľmi pomaly, kvôli zníženej rýchlosti vetra. Splodiny nedokážu preniknúť inverznou vrstvou a vytvárajú tvar hríba. Ak nastane tento jav, je potrebné mu venovať zvýšenú pozornosť, lebo pri dosiahnutí dostatočnej intenzity požiaru v konvekčnom stĺpci, prerazí požiar inverznú vrstvu a nastane efekt otvorenia. Tento efekt výrazne zrýchli postup požiaru. Následne rýchlo rastúci teplotný stĺpec môže vytvoriť zónu s nízkym tlakom, čím vzniknú lokálne prízemné vetry, ktoré v priebehu niekoľkých minút môžu dosiahnuť parametre víchrice. Prípadne môže požiar prehorieť do vyšších vrstiev a preniknúť okrajom inverznej vrstvy, čím spôsobí šírenie požiaru po svahu [89].

Hodnovernosť poveternostných podmienok sa takmer vždy spája s hodnovernosťou predpovedí správania požiaru. Zmeny topografických podmienok a počasia zákonite vytvárajú premenlivosť správania sa požiaru. Vysoko a rýchlo sa pohybujúce oblaky v podmienkach bez prízemných vetrov, môžu byť počiatkom pre jeho návrat. Ak na svahy padá tieň a dochádza k ich rýchlemu ochladzovaniu, opäť je predpoklad návratu údolných vetrov. Zmeny smeru dymových stĺpcov sú znakom nestabilného pohybu vzduchu [89].

Pre režim požiarov sú v rámci Európy dôležité dva limitujúce faktory. V podmienkach suchej stredomorskej oblasti je limitujúcim faktorom množstvo paliva. Vo vlhkej oblasti strednej a severnej Európy je hlavným limitujúcim faktorom suché počasie. Územie Slovenska sa nachádza na rozhraní týchto území pričom limitujúcim faktorom je v súčasnosti viac suché počasie ako nedostatok množstva paliva. Tento stav sa môže v budúcnosti meniť v závislosti od klimatickej zmeny. Zmena režimu požiarov sa očakáva, ako v stredozemnej oblasti, tak aj v oblasti lesov mierneho pásma a boreálnych lesov [89].

Frekvencia požiarov v jednotlivých mesiacoch za sledované obdobie je rôzna a vykazuje dva vrcholy počas roka. Prvým je jarné obdobie, ktoré je pre vznik požiarov ideálne z viacerých dôvodov. Najvýznamnejším je nedostatok zrážok v tomto období a s tým spojené väčšie množstvo za sebou nasledujúcich slnečných dní, ktoré môžu aj pri nižšej teplote vzduchu výrazne vysušiť množstvo jemného organického materiálu nahromadeného v krajine po zimnom období a tiež ideálne podmienky pre vznik požiarov prispieva vypaľovanie trávy práve v jarnom období. Druhý vrchol nastáva na prelome júla a augusta. Toto obdobie sa vyznačuje aj poklesom zrážkovej činnosti oproti predchádzajúcim mesiacom. K vysušaniu krajiny dochádza aj z dôvodu vysokej evapotranspirácie [89].

Ďalším faktorom je slnečný svit, ktorý spôsobuje na nechránených plochách lesa tvorbu slnečných škvŕn, čím vzniká rýchlejšie ohrievanie opadanky s následným rýchlejšim vyparovaním vody. Tepelná vodivosť v listnatých lesoch začiatkom jari je $\lambda = 0,161$, čo je porovnateľné s vodivosťou železa $\lambda = 0,16$. Tento faktor spôsobuje prehrievanie opadanky vo zvýšenej miere. Čím je väčšia tepelná vodivosť pôdy, tým viac sa ohrieva. Do značnej miery je ovplyvnená množstvom vody v pôde [91].

Nasledujúcim faktorom, ktorý má priamy vplyv na zapálenie a správanie sa lesného požiaru je teplota okolitého vzduchu, ktorá priamo ovplyvňuje teplotu paliva. Jedným z faktorov, ktorý ovplyvňuje teplotu je slnko. Keď žiarivá slnečná energia zahrieva zemský povrch a vegetáciu, horľavé materiály sa stávajú náchylnejšie na zapálenie. Medzi zatienenými priestormi a priestormi priamo osvetlenými slnkom, môžu byť teplotné rozdiely vyše 10 °C. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim teplotu je nadmorská výška. Nižší tlak vzduchu vo väčších výškach umožňuje, aby tu vzduch expandoval a ochladzoval sa [90].

Relatívna vlhkosť vzduchu je pomer množstva vlhkosti vo vzduchu k maximálnemu možnému množstvu pri rovnakej teplote. Vyjadruje sa v percentách (%). Vzdušná vlhkosť priamo ovplyvňuje množstvo vlhkosti v palive a obrátene. Suchý vzduch vytiahne vlhkosť z vegetácie, a tým ju urobí náchylnejšou na zapálenie. Jemné palivá sú citlivejšie na relatívnu vlhkosť ako veľké palivá. Ak má vzduch vysokú relatívnu vlhkosť, vegetácia nasaje časť z tejto

vlhkosti, stane sa trochu odolnejšou proti zapáleniu a môže spomaliť rýchlosť šírenia požiaru. Teplý vzduch môže zadržať viac vody ako chladnejší vzduch. Toto vidíme včas ráno pri rannej hmle. Ako sa nočný vzduch ochladzuje, stráca svoju schopnosť zadržať vlhkosť. Vlhkosť kondenzuje pri rosnom bode vzduchu a vytvára hmlu [90].

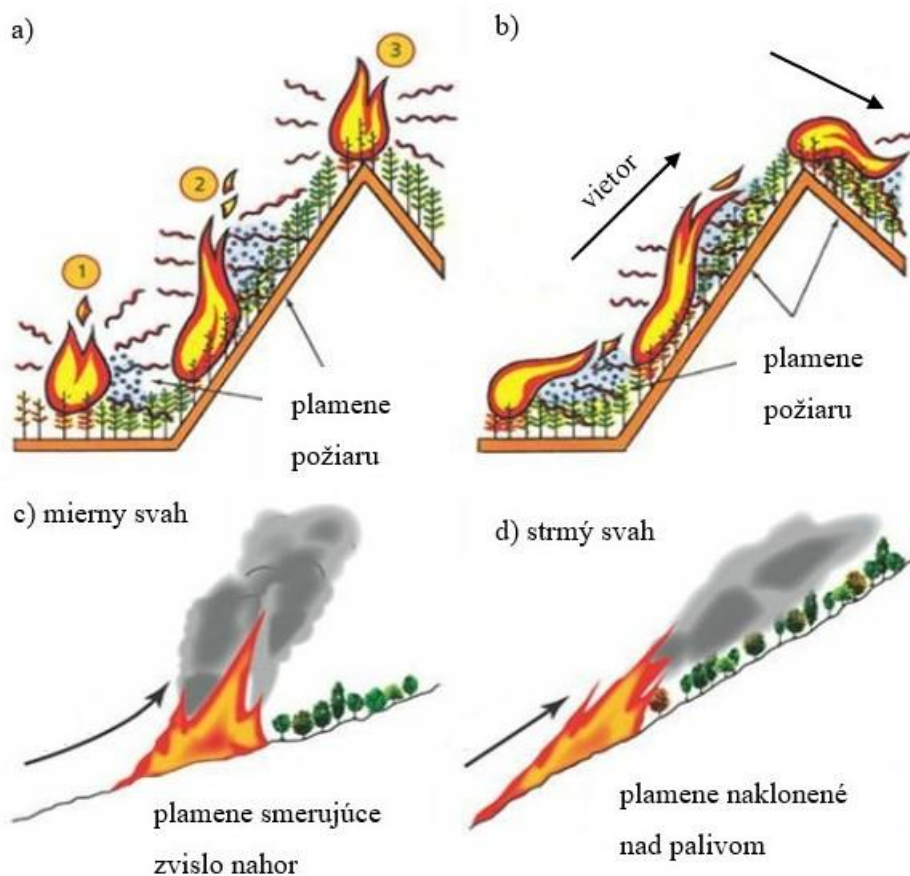
K meteorologickým prvkom, ktoré ovplyvňujú zapáliteľnosť paliva a následnú rýchlosť šírenia požiaru patria zrážky a s tým spojené obdobia sucha. Pre horenie je potrebné palivo v suchom stave, zvyčajne s vlhkosťou menej ako 15 % (t. j. menej ako 15 g vody na každých 100 g suchého paliva). Vlhkosť paliva je zrejme viazaná na množstvo zrážok a jeho rýchlosť odparovania. Významným faktorom z hľadiska lesného požiaru, nie je len celkové množstvo zrážok, ale najmä časové úseky medzi dňami s výskytom zrážok, ktoré dávajú palivu čas nato, aby vyschlo. Flannigan a Harrington [92] skúmali tri desaťročia záznamy v Kanade a zistili, že mesiace, ktoré boli zasiahnuté väčšími požiarimi neboli závislé od množstva zrážok, ale boli silno ovplyvnené dĺžkou obdobia sucha – čím dlhšie obdobia sucha, tým sa vyskytli väčšie požiare. Najvýznamnejším faktorom vzniku veľkých požiarov, boli dlhé obdobia s menej ako 1,5 mm zrážok a dlhé časové obdobia s relatívnou vlhkosťou vzduchu pod 60 %. Napríklad, v Kanade je všeobecne akceptované, že stačia tri dni horúceho (25 °C) a suchého (relatívna vlhkosť vzduchu menej ako 30 %) počasia na vysušenie paliva na vznik a následný rozvoj požiaru [58].

Taktiež cyklické zmeny ročného obdobia a produkcie paliva súvisia so vznikom tzv. požiarnej sezóny. Zvyčajne sa predpokladá, že to bude najhorúcejšie a najsuchšie obdobie roka – zvyčajne v lete, ale existujú aj rozdiely. Na území Slovenskej republiky sa za obdobie možného výskytu lesných požiarov považuje obdobie od apríla do októbra, kedy SHMÚ denne aktualizuje stupeň požiarneho nebezpečenstva v lesoch Slovenska. Na severe Austrálie sa požiare najčastejšie vyskytujú od apríla do novembra (obdobie sucha), zatiaľ čo na juhu je hlavná sezóna požiarov od novembra do marca. Na západe Južnej Afriky sú požiare v porastoch krovín najčastejšie počas letných suchých mesiacov, zatiaľ čo koncom leta a na jeseň sú časté požiare v Južnej Afrike. Vo všeobecnosti v miernych a tropických oblastiach sezóna požiarov trvá 3 – 4 mesiace, a v suchých oblastiach je to obdobie 6 mesiacov a viac [58].

3.3.4 Topografické podmienky

Topografia sa vzťahuje na formu zemského povrchu, či už prírodného alebo pretvoreného človekom. Predstavuje tvar krajiny a zvyčajne je charakterizovaný tromi hlavnými zložkami – sklonom svahu, expozíciou (orientácia svahu vo vzťahu k slnečnému žiareniu) a terénom (tvar povrchu). Všetky tieto prvky majú dôležitý, predovšetkým komplexný účinok na rýchlosť a smer šírenia požiaru [58].

Ako môžeme vidieť na obrázku 11 (a) požiare 1 a 3 majú tendenciu predhrievať pomerne malé množstvo paliva, pretože plamene a energia (teplo) vychádzajúca z plameňov, smerujú zvislo nahor. Lenže, keď sa sklon svahu zvyšuje, postupujúce plamene sú naklonené bližšie k nevyhorenému palivu (palivo sa ohrieva, a ľahšie sa zapáli), a to aj pri neprítomnosti vetra, čo slúži na zvýšenie konvekčného a sálavého tepla, čo vedie k vyššej rýchlosti šírenia požiaru (obrázok 11a požiar 2). Ak zoberieme do úvahy účinky vetra na svah (obrázok 11 b), ohýbanie plameňov smerom k nevyhorenému palivu a predhrievanie je ešte intenzívnejšie (aj na rovnej ploche) a požiar sa šíri ešte rýchlejšie [13].



Obrázok 11 Vplyv sklonu svahu a vetra na rýchlosť šírenia požiaru [58]

Veterné prúdenie, ktoré počas dňa väčšinou smeruje nahor, môže v alarmujúcej miere urýchliť šírenie požiaru smerom dohora. Na svahu môže dôjsť k tomu, že horiace zvalené kmene stromov a uhlíky sa skotúľajú dole kopcom a zapália nové ohniská požiaru aj poniže primárneho ohniska a okolo kontrolných línií (obvodu plochy požiariska) [90].

Ďalším faktorom topografie, ktorý je potrebné vziať do úvahy je orientácia svahu voči slnečnému žiareniu. V prípade svahu je to smer, ktorým sa svah zvažuje. Toto je dôležitý aspekt z dôvodu zahrievania slnečnými lúčmi (alebo absencie zahrievania),

ktorému je vystavené palivo a zemský povrch, a má to vplyv na zápalný potenciál a rýchlosť šírenia požiaru. Svahy obrátené na slnečnú stranu sú zvyčajne suchšie a môžu mať horľavejšie palivo alebo vegetáciu horľavejšieho typu oproti svahom, na ktoré nedopadá slnečné žiarenie, čo má za následok ľahšie zapálenie a rýchlejšie šírenie požiaru. Vegetácia má tiež tendenciu byť tenšia (pretože je suchšia), čo umožňuje, aby sa viac tepla dostalo do všetkých častí paliva a umožnilo voľnému prúdeniu vzduchu, takže živé a odumreté palivo vyschne rýchlejšie. Taktiež žiarenie zo slnka spôsobuje skoršie a silnejšie svahové vetry. Takže kombinácia vyšších teplôt, silnejších vetrov, nižšej vlhkosti vzduchu a nižšej vlhkosti paliva má za následok, že južné a juhozápadné svahy (na severnej pologuli) predstavujú väčšie nebezpečenstvo požiaru. Na južnej pologuli je to naopak – severné svahy sú suchšie a teplejšie ako južné svahy. Taktiež oblasti so zriedkavými zrážkami a chudobnou pôdou môžu mať chudobnejšiu vegetáciu, ktorá nepodporuje šírenie požiaru, pokiaľ sa tu nevyskytujú extrémne silné vetry [58, 90].

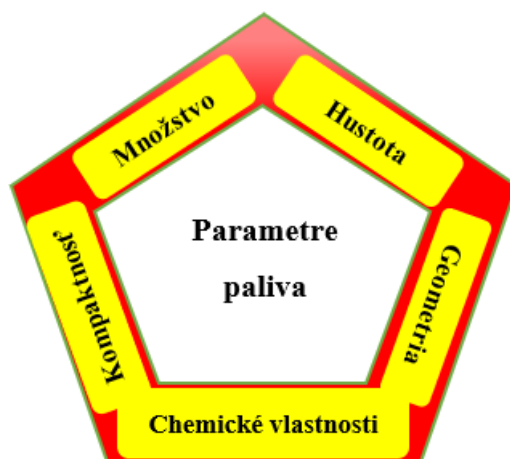
Terén alebo tvar povrchu zohráva veľkú úlohu v dynamike požiaru tým, že poskytuje tzv. bariéry v šírení požiaru. V oblastiach s viacerými protipožiarnymi bariérami (napr. kamenisté svahy, útesy, mokrade a rieky) bývajú menšie požiare s menšou frekvenciou horenia. Terén je taktiež dôležitý z hľadiska požiarov, ktoré vznikajú v dôsledku údermi bleskov, u ktorých sa očakáva, že zasiahnu vysoké body – vrcholy [58].

Počasiu sa taktiež mení s nárastom nadmorskej výšky. Teplota vzduchu sa zvyčajne znižuje a relatívna vlhkosť sa zvyšuje rovnako ako zrážky, čoho výsledkom je zvýšenie vlhkosti paliva [59].

3.3.5 Palivo

Brown a Davis [93] uvádzajú, že iniciácia, intenzita a správanie sa požiarov v lesnom prostredí závisia na dostupnom palive oveľa viac, než na akomkoľvek inom faktore. Je to palivo, ktoré sa spaľuje, ktoré uvoľňuje energiu (teplo), s ktorou sa musí zasahujúci hasič vysporiadať. Dostupné palivo do veľkej miery určuje rýchlosť a intenzitu uvoľňovania tejto energie. V prípade, že nie je k dispozícii dostatok paliva správneho druhu (suchého paliva), nie je možné iniciovať požiar v lese a taktiež vytvoriť podmienky na jeho šírenie. Palivá sú pravdepodobne najkomplexnejšou zložkou trojuholníka horenia, avšak v mnohých ohľadoch sú najmenej pochopené. Aj keď sú palivá všeobecne chápané ako homogénny (odumretý) materiál, v podstate sú vegetáciou pokrývajúce celé spektrum od živej a rastúcej vegetácie po odumreté a rozložené palivo na lesnej pôde. Charakteristiky, ktoré ovplyvňujú spôsob spaľovania jednotlivých častíc paliva možno zhrnúť do päťuholníka parametrov paliva, ktorý je zobrazený na obrázku 12. Zatiaľ čo jedna z charakteristík môže dominovať na iniciáciu požiaru, ďalší parameter vplýva na šírenie a intenzitu požiaru, kde zároveň všetky

charakteristiky interagujú a v konečnom dôsledku ovplyvňujú to, ako palivá horia v danom čase [59, 88].



Obrázok 12 Rozhodujúce charakteristiky paliva na správanie požiaru - päťuholník paliva [88]

Množstvo paliva predstavuje hmotnosť vysušeného paliva vyjadreného v tonách na hektár. Napríklad množstvo paliva modelu trávy sa pohybuje v rozmedzí $1 - 5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, krovitý model $2 - 80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, lesný opad $4 - 12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a rúbaniská $10 - 200 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ [94]. Pri interpretácii a predpovedaní správania sa požiaru sa viac zaoberáme množstvom povrchového paliva. Ide najmä o odumreté palivá s priemerom menším ako 76,2 mm a živé palivá s priemerom menším ako 6,35 mm [81]. Pri posudzovaní množstva paliva sa všeobecne využívajú tri kritériá a to celková hmotnosť paliva, potenciálna a dostupná hmotnosť paliva. Celková hmotnosť paliva alebo celková biomasa sa považuje za celé množstvo horľavého materiálu v oblasti. Potenciálne množstvo predstavuje palivo, ktoré by mohlo horieť pri požari a dostupná hmotnosť je množstvo celkovej hmotnosti paliva, ktoré sa spotrebuje v konkrétnej situácii. Aj keď v niektorých prípadoch môžu byť tieto množstvá podobné, z komplexného hľadiska sa budú tieto hodnoty lesných palív značne líšiť. Tieto rozdiely budú vychádzať z meteorologickej situácie, poveternostných podmienok a rozloženia veľkostných tried paliva [88].

Kompaktnosť paliva môže byť jednoducho definovaná, ako vzdialenosť medzi časticami paliva. Vzdialenosť a fyzické usporiadanie častíc paliva ovplyvňujú jednak iniciáciu materiálu, ako aj šírenie a intenzitu horenia. Vo väčšine prípadov, keď sú palivá zhutnené, dochádza k pomalšiemu rozvoju a šíreniu požiaru. Voľnejšie usporiadané palivá zvyčajne reagujú rýchlejšie na zmeny vlhkosti, ale naproti tomu majú k dispozícii dostatočné množstvo kyslíka potrebného pre horenie [78].

Chemické vlastnosti paliva majú taktiež vplyv na správanie sa lesného požiaru. Všetky palivá (živé a odumreté) obsahujú celulózu. Palivá rôzneho chemického zloženia a obsahu

minerálov môžu jednak zvýšiť resp. spomaliť proces horenia. Medzi chemické zložky patrí prítomnosť prchavých látok, ako sú oleje, vosky a živica. Existujú palivá s pomerne vysokým množstvom týchto prchavých látok, ktoré prispievajú k rýchlejšiemu procesu horenia a vyššej intenzite požiaru. Na druhej strane niektoré palivá môžu mať vysoký obsah minerálov, čo môže znížiť šírenie a intenzitu požiaru. Tu možno zaradiť najmä humus, ktorý má len zriedkakedy významnejší vplyv na rýchlosť šírenia požiaru [81].

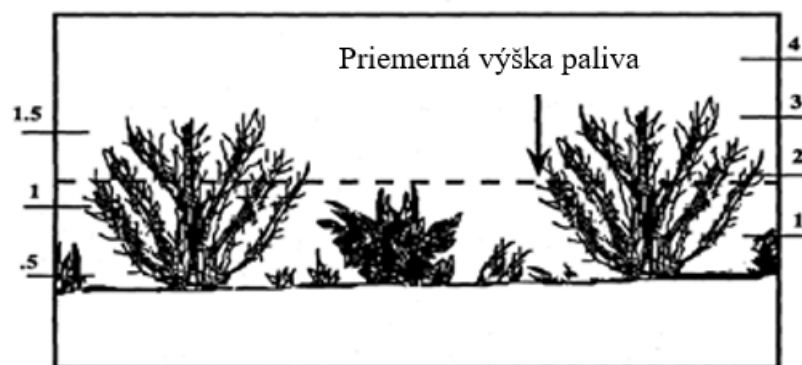
Geometria paliva zahŕňa veľkosť a tvar paliva, ktoré majú vplyv na zapáliteľnosť a následné šírenie požiaru. Pretože teplo potrebné na zvýšenie teploty palivovej častice na vznietenie prechádza cez povrch paliva, tieto palivá s vysokým pomerom povrchu k objemu horia ľahšie, než tie s nižšou hodnotou. Jemnejšie palivové častice sa vznietia a horia jednoduchšie než veľké palivá. Na zníženie vlhkosti paliva a na zvýšenie teploty paliva na teplotu vznietenia je potrebné menšie množstvo tepla. Tvar častíc paliva je taktiež dôležitým faktorom pri určovaní aerodynamických vlastností žeravých zápalných materiálov (angl. firebrand) spojené s tvorbou iskier a odletovaním žeravých uhlíkov, ktoré sú prenášané vo vzduchu prostredníctvom vetra alebo konvekčného stĺpca (stĺpca prúdenia) [59].

Obsah vlhkosti paliva predstavuje množstvo vody prítomnej v palive vyjadrené, ako percento hmotnosti vysušeného paliva [43]. Pri absencii zrážok majú odumreté jemné palivá (s priemerom menším ako 0,6 cm) obsah vlhkosti od 3 do 35 %. Táto horná hranica je známa ako bod nasýtenia vlákien a je to obsah vlhkosti dosiahnutý pri 100 % relatívnej vlhkosti. Avšak pri vystavení zrážok, sa voda bude ukladať aj v dutinách buniek a na povrchu paliva, kde v takomto prípade môže vlhkosť paliva dosiahnuť hodnoty až 300 % [95].

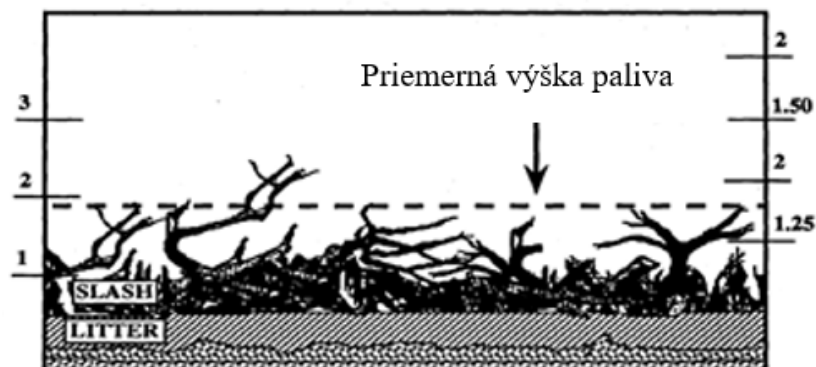
V podmienkach sušenia dochádza pri odumretých palivách k desorpcii, kde pomocou odparovania sa uvoľňuje vlhkosť do okolitého prostredia, až kým tlak pár v palive nedosiahne tlak okolitého vzduchu. Po dosiahnutí tohto stavu sa palivo považuje za palivo s rovnovážnym obsahom vlhkosti. Na druhej strane, keď je obsah vlhkosti paliva pod rovnovážnym obsahom vlhkosti, palivo adsorbuje vlhkosť zo vzduchu. Pomer zmáčania a sušenia sú určené chemickými a fyzikálnymi charakteristikami paliva ale taktiež i meteorologickými podmienkami (teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra) [96].

Vlhkosť paliva je najdôležitejším parametrom ovplyvňujúci správanie sa požiaru, pretože určuje zapáliteľnosť paliva, rýchlosť šírenia požiaru a množstvo spotrebovaného paliva [59]. Merná tepelná kapacita vody dosahuje hodnotu približne $4\,180\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, čo naznačuje, že značné množstvo energie sa využije na zvyšovanie teploty vody na teplotu varu, ktorá by sa inak spotrebovala na zvýšenie teploty paliva na teplotu vznietenia a na vytváranie horľavých plynov, ktoré podporujú plamene [88].

Výška paliva predstavuje priemernú výšku všetkých povrchových palív. Podľa toho, ako palivo prenáša plameň, môže byť horizontálne alebo vertikálne usporiadanie paliva. Vertikálnymi nosičmi plameňa sú napr. tráva, kríky (obrázok 13). Horizontálni nosiči plameňa sú polomy, rúbaniská a lesný opad (obrázok 14) [43]. Rýchlosť a účinnosť horenia sa zvyšuje s rastúcim množstvom vzdušného priestoru v palivovom lôžku až do optimálnej vzdialenosti. Vysoko zhutnené palivo má nižšiu mieru šírenia požiaru. V niektorých prípadoch sa palivá stávajú príliš riedkymi alebo príliš zhutnenými, aby podporili ďalšie šírenie požiaru. Jednoduchým prostriedkom pre hodnotenie usporiadania paliva je objemová hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ alebo $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) [59].



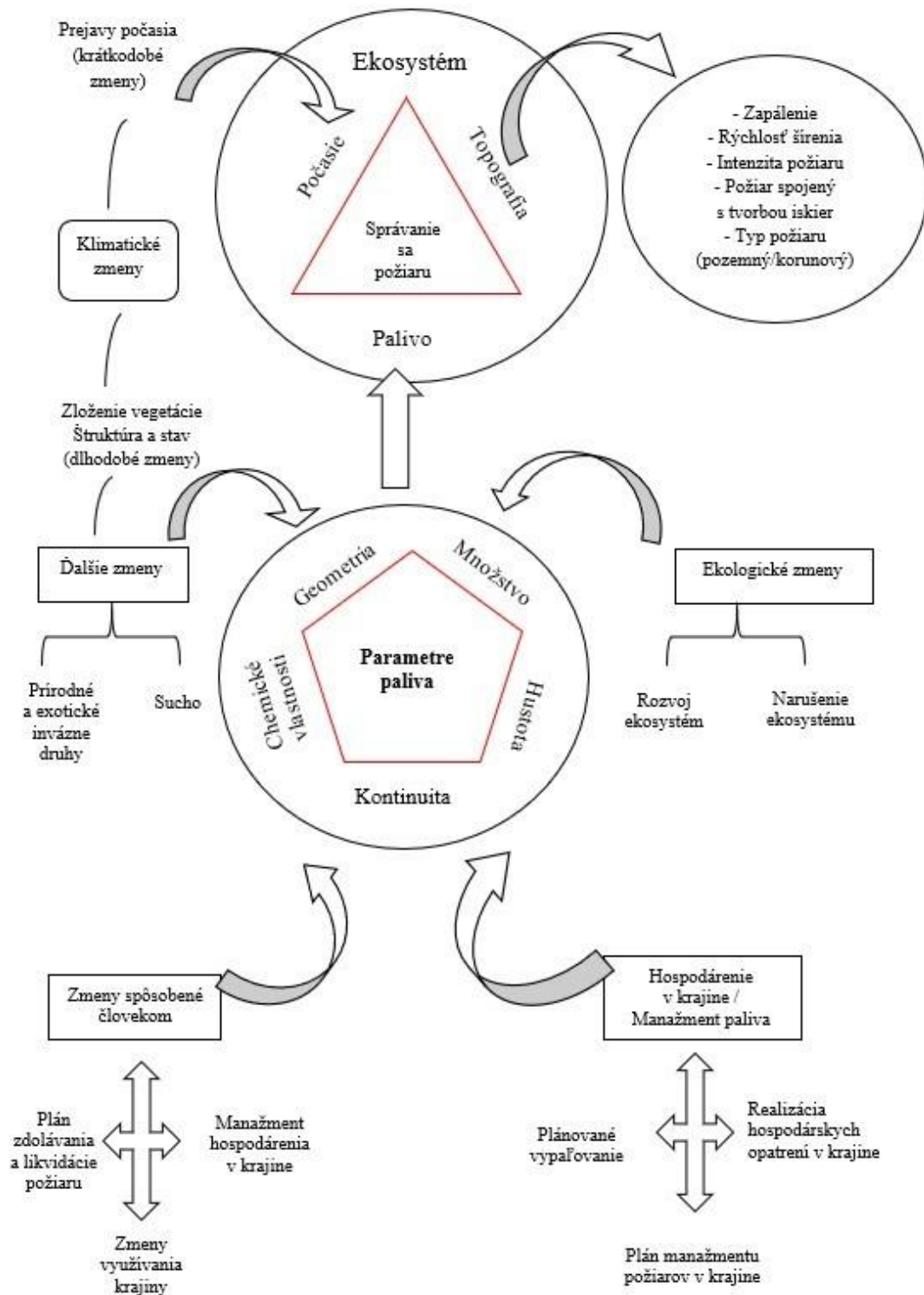
Obrázok 13 Vertikálne orientované palivo [81]



Obrázok 14 Horizontálne orientované palivo [81]

Pri extrémnom správaní sa požiaru je úloha paliva zložitá, pretože všetky vlastnosti paliva v päťuholníku, ktorý zahŕňa parametre paliva vzájomne interagujú v kontexte požiarneho prostredia s cieľom určiť ako palivá horia. Vyššie spomínané charakteristiky paliva ovplyvňujú horľavosť najmä jemných palív resp. v obmedzenom množstve dostupného paliva. Manažment krajiny pod ktorej činnosti patrí aj distribúcia a priestorové usporiadanie paliva významne ovplyvňuje potenciál rýchlosti šírenia požiarov a intenzity požiaru. Zmeny základných charakteristík paliva v priebehu času, ktoré vyplývajú z jedného alebo viacerých faktorov,

môžu viesť k zmene pravdepodobnosti vznietenia, rýchlosti šírenia a intenzite požiaru. Palivá sú vysoko citlivé na zmeny vyplývajúce z interakcie s prostredím (obrázok 15), ku ktorým dochádza často zložitým spôsobom a v rôznych priestorových a časových mierkach [88].



Obrázok 15 Interakcia medzi trojuholníkom správania sa požiaru, päťuholníkom parametrov paliva a zmenami, ktoré môžu ovplyvniť vlastnosti paliva a následný rozvoj požiaru – upravené [88]

4 MODELOVANIE SPRÁVANIA SA LESNÉHO POŽIARU

Pokrok v oblasti vývoja hardvérového vybavenia počítačov, informačných technológií a geoinformatiky stimuloval v posledných desaťročiach vývoj počítačových systémov schopných modelovať rôzne aspekty požiaru v prírodnom prostredí. Spomedzi existujúcich systémov určených na podporu rozhodovania rôznych zložiek krízového manažmentu v boji proti lesným požiarom osobitné miesto patrí systémom, ktoré sú schopné simulovať šírenie požiaru a jeho časové a priestorové správanie v danom teréne a pri daných podmienkach [97].

4.1 Prístupy k modelovaniu správania lesných požiarov

Pri modelovaní správania (dynamiky) lesných požiarov sa v súčasnosti používajú dva dominantné princípy, ktoré sú založené na sofistikovaných laboratórnych experimentoch a experimentoch s riadeným lesným požiarom a na starostlivej validácii a verifikácii jednotlivých modelov [98].

Modelovanie požiarov na veľkých plochách, kde sa využívajú semi-empirické modely, ktoré sú spravidla založené na Rothermelovej formulácii šírenia požiaru, v ktorej sú príslušné charakteristiky požiaru na jeho prednej línii závislé od aktuálnych podmienok v danej oblasti, ako sú: typ vegetácie, sklon terénu, rýchlosť a smer vetra, vlhkosť paliva a pod. V programových systémoch, v ktorých sú takéto modely implementované, sa používa zvyčajne priestorové rozlíšenie 10 m a viac a neuvažuje sa nad heterogenitou podmienok na menších plochách. Takéto systémy pracujú s údajmi zodpovedajúcimi spriemerovaným hodnotám parametrov na danú priestorovú jednotku a nie sú výrazne limitované vzhľadom na veľkosť simulovaného priestoru [99].

Na modelovanie požiarov na menších plochách sa využívajú takzvané fyzikálne modely, v ktorých je proces horenia opísaný pomocou fyzikálnych zákonov zachovania hmotnosti a zložky, hybnosti, energie, pričom palivo je modelované ako porézne prostredie. Takéto modely berú do úvahy procesy prenosu energie zo zóny horenia do zóny požiarom nezasiahnutého paliva a spravidla vedú k výpočtovo náročným systémom diferenciálnych rovníc vyžadujúcich si vysokovýkonné počítačové prostriedky [100].

Empirické metódy, ktoré šírenie požiaru popisujú pomocou funkcií získaných aproximáciou experimentálnych údajov, nezohľadňujú žiadny fyzikálny mechanizmus. Výsledky sa dajú použiť len v podobných podmienkach, v akých boli získané [43]. Základom použitia empirických metód je stanovenie rýchlosti postupu línie požiaru ovplyvňovanej typom paliva

a jeho hustotou, vlhkosťou, topografiou terénu, rýchlosťou vetra, teplotou ovzdušia, ako aj ďalšími vplyvmi z predchádzajúcich dní [101].

Pri praktickej simulácii požiaru je potrebné použiť v prípade empirických a semi-empirických modelov okrem konkrétneho modelu aj špecifickú simulačnú techniku, ktorou je daný spôsob reprezentácie prostredia a požiaru. Medzi najpoužívanejšími simulačnými technikami sú celulárne automaty a eliptické šírenie [102].

Celulárne automaty, kde povrch krajiny a vegetácia sú reprezentované ako mriežka zložená z buniek charakterizovaných topografickými a palivovými parametrami. Sú dané pravidlá, ktoré určujú pravdepodobnosť rozšírenia požiaru do konkrétnej bunky na základe jej parametrov a stavu susedných buniek. Na tomto princípe je založený napr. portugalský systém FireStation [102].

Eliptické šírenie – obáľkové modely. Krajina je reprezentovaná ako spojité dvojrozmerné médium pokryté palivom, pričom na popis šírenia požiaru sa využíva Huygensov princíp. Každý bod aktuálnej línie požiaru sa stáva zdrojom šírenia malých sekundárnych požiarov eliptického tvaru. Rozmery, tvar a orientácia elíps sú dané sklonom svahu, smerom a rýchlosťou vetra a typom paliva v danom bode. Obálka obklopujúca všetky sekundárne elipsy udáva líniu požiaru v nasledujúcom časovom kroku. Na princípe eliptického šírenia je založený systém FARSITE [102].

4.2 SOFTVÉROVÉ PROSTREDIA PRE MODELOVANIE SPRÁVANIA SA POŽIAROV

V súčasnosti existuje viacero sofistikovaných programových systémov, ktoré sú schopné simulovať reálne (alebo potenciálne) rozsiahle lesné požiare pri reálnych (alebo možných) meteorologických, palivových a topografických podmienkach, pričom rozsah simulovaných požiarov sa meria až na desiatky hektárov zasiahnutej plochy a na hodiny alebo dni trvania daného požiaru [98].

Medzi najčastejšie využívané programy pre účely modelovania správania sa lesných požiarov možno zaradiť FARSITE, FlamMap, BEHAVE Plus a Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS). Principiálne sa zakladajú na využití tých istých matematických modeloch požiaru, navzájom sa dopĺňajú a sú vhodné pre nasadenie ako nástroj podpory a zdolávania lesných požiarov [43].

4.2.1 FARSITE

Najčastejšie používaným softvérovým prostriedkom určeným na dynamické modelovanie správania sa požiaru je práve FARSITE.

FARSITE (angl. Fire Area Simulator) je matematickým modelom pre časovú a priestorovú simuláciu šírenia a správania sa požiaru v podmienkach rôznorodého terénu, paliva a počasia. V modelovaní a simulácii rastu a rozširovania sa čela požiaru sa využíva Huygensov princíp šírenia vln. Tento proces je v skutočnosti veľmi podobný široko používaným metódam, ktoré sa používajú pre rovnaký účel a sú určené pre manuálne spracovanie (Rothermel 1983). Rozdiel je v tom, že proces výpočtu v prostredí FARSITE je automatizovaný, rýchlejší a oveľa presnejší ako je tomu pri manuálnom spracovaní. Okrem toho je obvod požiariska a parameter správania sa požiaru sú použiteľné pre prácu v ostatných PC aplikáciách, ako aj v samotnom prostredí geografických informačných systémov. Avšak spomínané výhody prinášajú nové požiadavky na viaceré ďalšie informácie o topografii územia, palive a meteorologickej situácii [103].

Zahŕňa v sebe viacero semi-empirických modelov, ako sú napr. modely pre poruchový požiar, pre korunový požiar, pre postfrontálne horenie, pre vznik požiarov vznietených horľavými úlomkami a pre hasenie. Ako už bolo spomenuté, využíva Rothermelove rovnice pre výpočet lokálnych rýchlostí šírenia požiaru a Huygensové zásady pre modelovanie. Tieto modely nie sú príliš výpočtovo náročné, čo umožňuje použitie FARSITE a simulačných systémov založených na podobných princípoch v reálnom čase pri hasení prebiehajúcich požiarov. Je založený na báze GIS, vstupom do modelovania i výstupom z modelovania sú GIS vektorové a rastrové vrstvy. Je možné získať dobré priblíženie reálneho priebehu požiaru využitím pomerne malého výpočtového výkonu [102].

Použité modely však len v malej miere popisujú fyzikálny mechanizmus horenia, preto niektoré fenomény môžu byť popísané len približne a niektoré nie sú popísané vôbec.

Keďže FARSITE modeluje les ako spojitú médium, je pri správnom nastavení parametrov možné simulovať priebeh požiaru na veľkých plochách pre rozsiahle lesy s malým stupňom heterogenity, a to s takou presnosťou, s akou je pre túto zidealizovanú situáciu použiteľný eliptický model. Model však nedokáže zohľadniť lokálne javy prejavujúce sa na škále rozmeru jedného stromu alebo malej skupiny stromov, ani javy na rozmedzí vegetácie a ľudských konštrukcií (napr. cesty, stavby, dopravné prostriedky). Táto situácia je pritom mimoriadne dôležitá v praxi, a to najmä v husto zaľudnených oblastiach Európy, kde na rozdiel od USA či Austrálie skôr než obrovské požiare neprerušeneho lesa hrozia menšie požiare, často v blízkosti ľudských obydlií.

Semi-empirické modely tiež nedokážu popísať nelineárne javy, ako sú náhle erupcie požiaru, ktoré pritom zapríčiňujú veľký počet obetí aj medzi príslušníkmi hasičských zborov, ktorí takéto nečakane erupcie zdanlivo stabilného charakteru nepredpokladajú. A napokon, FARSITE pokladá vietor za stabilný, nemodeluje priebeh atmosférických procesov ani vplyv topografie či spätnej väzby požiaru na priebeh vzdušných prúdov, čo sa môže prejavovať ako nedostatok zvlášť v prípade členitej topografie, aká je na území Slovenska veľmi častá. Hoci použiteľnosť FARSITE v stredoeurópskych podmienkach dokázali jednak naše výsledky, jednak výsledky iných výskumníkov, vyššie uvedené nedostatky semi-empirických modelov si vyžadujú doplniť naše znalosti dynamiky požiaru komplexnejším prístupom. V poslednej dobe sa orientácia výskumu jednoznačne presúva na fyzikálne modely. FARSITE nám poskytuje odpovede na otázky ako: Kam sa požiar bude šíriť? Aký veľký bude požiar? Kedy pravdepodobne požiar dosiahne isté územie [102].

Vstupné údaje:

- Údaje vo formáte GIS: nadmorská výška, sklon a orientácia svahu, typ paliva, výška koruny, výška nasadenia koruny a hustota koruny, pokrytie koruny.
- Meteorologické údaje: teplota a relatívna vlhkosť ovzdušia, rýchlosť a smer vetra prepočítaná na priestor lesa, množstvo zrážok,
- Charakteristiky paliva: zahŕňajú nasledovné údaje: množstvo (1, 10, 100 h) odumretého paliva ($t \cdot ha^{-1}$) priemeru 0,0 - 0,635 cm; 0,635 – 2,54 cm; 2,54 - 7,62 cm; množstvo živého bylinného a dreveného paliva ($t \cdot ha^{-1}$) bez ohľadu na priemer; pomer povrchu k objemu odumretého, živého bylinného a živého dreveného paliva, hrúbka palivovej vrstvy, medzná vlhkosť vznietenia, výhrevnosť odumretého a živého paliva.

Výstupné údaje: tabuľky, grafy, vektorové a rastrové vrstvy reprezentujúce: plochu požiariska, intenzitu požiaru, smer šírenia požiaru, dĺžku plameňov, rýchlosť šírenia požiaru [99].

4.2.2 FlamMap

FlamMap je program na simuláciu a modelovanie lesných požiarov, ktorý dokáže vypočítať rýchlosť šírenia, dĺžku plameňa a intenzitu požiaru na celom sledovanom území za podmienok, že počasie a vlhkosť paliva sú konštantné. Výpočty sú realizované pre každú jednu bunku rastra. Ako vstup si vyžaduje súbor vo formáte FARSITE (.LCP) a osem ďalších GIS rastrov, ktoré popisujú palivo a georeliéf. V modelovaní je možné použiť akékoľvek rozlíšenie rastra, ale podmienkou je, aby všetky vrstvy mali rovnaké rozlíšenie a priestorové parametre (Finney 2006).

Medzi základné vstupy do prostredia FlamMap patrí: raster nadmorských výšok, resp. digitálny model terénu, raster sklonov terénu, raster expozícií, raster reprezentujúci priestorovú distribúciu paliva v modelovom území, údaje o zápoji porastu, výške korún stromov, výške nasadenia koruny a objemovej hustote koruny.

Tieto rastrové formáty údajov je možné prehliadať priamo v prostredí FlamMap alebo je ich možné exportovať do akéhokoľvek GIS prostredia.

Prostredie FlamMap je odlišné od väčšiny aplikácií Windows. Okrem ponuky menu, príkazov a lišty nástrojov ponúka, pre uľahčenie práce s prostredím, v tabuľke na ľavej strane hlavného okna projektu rozbaľovaciu stromovú štruktúru a kontextové menu.

FlamMap využíva tie isté priestorové a tabuľkové údaje ako prostredie FARSITE. Nemožno ho považovať za náhradu prostredia FARSITE alebo za komplexný simulátor rozvoja požiaru. FlamMap v sebe totiž nezahŕňa časovú zložku. Využíva len priestorovú informáciu o topografii a palive pre súčasné vypočítanie charakteristík modelovaného požiaru.

4.2.3 BEHAVE Plus

BEHAVE Plus je systémom pre modelovanie správania požiarov, ich dopadov a parametrov prostredia zasiahnutého požiarom.

Vstupné údaje do modelovania zadáva sám užívateľ manuálne, systém nie je založený na báze GIS a preto vstupom sú len numerické a textové údaje, nie priestorové.

Výstupmi z modelovania nie sú rastrové vrstvy reprezentujúce jednotlivé požiarne charakteristiky. BEHAVE Plus ponúka výstupy vo forme tabuliek, grafov a diagramov.

Prostredie BEHAVE Plus sa využíva na pochopenie základných princípov modelovania požiarov, plánovanie riadených požiarov, posúdenie požiarnej hrozby, predpovedanie budúceho rozvoja požiaru, atď.

Plánovanie riadených požiarov si vyžaduje definovanie kritérií, ktoré definujú rozpätie podmienok, počas ktorých môže dôjsť k zapáleniu a kontrolovaniu riadeného požiaru. BehavePlus poskytuje nástroj pre analýzu súčasných podmienok až po podmienky akceptovateľné pre vznik a následné šírenie požiaru. Pre plánovanie možných scenárov vývoja požiaru možno využiť pozorovacie vzdialenosti, pravdepodobnosť vzniku požiaru, rozvoja požiaru z lokálnych ohnísk a kontrolné modelovanie.

Proces posudzovania aktuálnej požiarnej hrozby je založený na modelovaní účinku zmeny v povrchovom a korunovom palive na počítanom správaní požiaru v podmienkach rôznych vlhkostí paliva a poveternostných podmienok.

Pochopenie modelu je kritickým pre akúkoľvek aplikáciu výsledkov modelovania či už z prostredia BEHAVE Plus alebo iných prostredí (FlamMap, FARSITE, a iné).

5 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V experimentálnej časti uvádzame metodické prístupy a výsledky testovania vybraných požiarotechnických vlastností lesného paliva vyskytujúceho sa v lesných porastoch s prevahou duba zimného a borovice lesnej v drevinovom zložení, stanovenie vplyvu zmeny parametrov prostredia na zmenu parametrov lesného požiaru s využitím nástrojov počítačom podporovaného modelovania v programe FARSITE. Cieľom realizovaných experimentov bolo stanoviť kritické parametre pre iniciáciu a ďalšie šírenie lesného požiaru.

5.1 Predmet výskumu

Vzhľadom na neustále sa zvyšujúce teploty počas letných mesiacov spolu s nízkymi hodnotami zrážok a vlhkosti vzduchu spolu s horúcim prúdením vzduchu, ktoré podporuje vysušenie lesného paliva, ktoré sa stáva ľahšie zapáliteľným a významne prispieva k ďalšiemu šíreniu požiaru do okolia bolo predmetom experimentálneho laboratórneho výskumu stanovenie požiarotechnických parametrov v teréne identifikovaných a odobratých vzoriek paliva z dvoch lesných porastov – jeden z prevahou dreveniny dub zimný a druhý, v ktorého drevinovom zložení dominovala borovica lesná (*Pinus sylvestris*).

Súčasťou výskumu realizovaného v rámci spracovania štúdie zaoberajúcou sa bol aj terénny prieskum za účelom mapovania a stanovenia kvantitatívnych parametrov lesného paliva na experimentálnom území, ktorého súčasťou bolo monitorovanie vybraných meteorologických a poveternostných parametrov a tiež meranie zmeny obsahu vlhkosti živého a odumretého paliva v priebehu dňa.

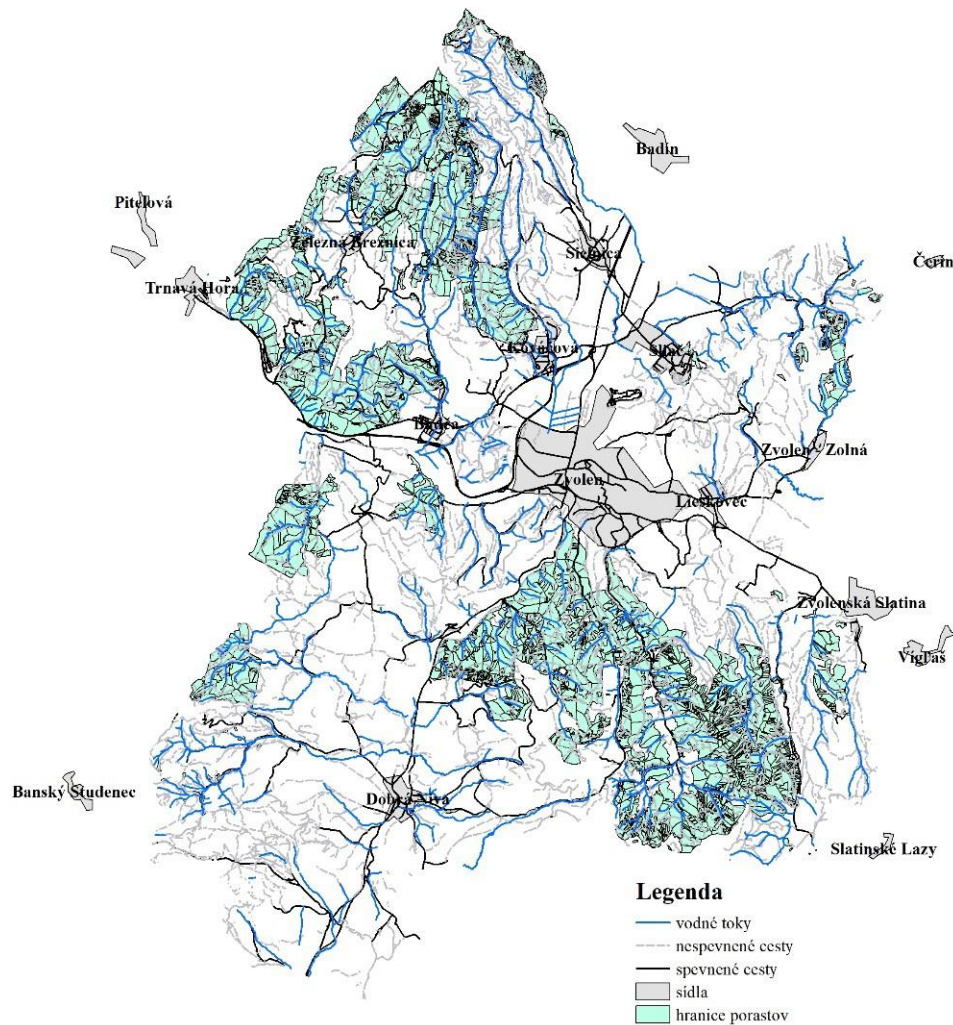
Poslednou výskumnou časťou práce bola aplikácia výsledkov realizovaného terénneho a laboratórneho výskumu do modelovania správania sa požiaru v počítačovom programe FARSITE, využívaného pre modelovanie a štúdium podmienok vzniku a rozvoja lesného požiaru, stanovenie rozsahu požiariska, rýchlosti šírenia požiaru a výšky plameňa pri požiari, pri meniacich sa podmienkach prostredia a paliva.

5.2 Objekt výskumu

5.2.1 Popis experimentálneho územia

Za experimentálne územie bolo vybrané záujmové územie Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (VšLP), ktoré je špecializovaným, výučbovým

pracoviskom Technickej univerzity vo Zvolene. V súčasnosti obhospodaruje VšLP lesy o výmere 9 729 ha. Lesy sú účelovo využívané v troch oblastiach, a to pre výchovno-vzdelávaciu činnosť, vedeckovýskumnú činnosť a poloprevádzkovú činnosť. Z hľadiska vedeckovýskumnej činnosti územie predstavuje vhodné modelové podmienky, ktoré umožňujú vytvárať rôzne pokusné plochy a demonštračné objekty. Na obrázku 16 uvádzame lesné porasty v správe VšLP [104].



Obrázok 16 Lesné porasty v správe Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene [104]

5.2.2 Geologicko-geografické pomery

Územie patrí do viacerých orografických jednotiek – Kremnické pohorie, Štiavnické vrchy, Javorie a okrajovo zasahuje do Zvolenskej kotliny rozdelené tokmi riek Hron a Slatina [104].

5.2.3 Pôdne pomery

Variabilné petrografické, klimatické a vegetačné pomery umožnili na území VšLP vývin pestrej pôdnej prikrývky, v ktorej prevládajú hnedé lesné pôdy, v nižších polohách

ilimerizované pôdy. Hnedé lesné pôdy sú rozšírené po celom území, s výnimkou Zvolenskej kotliny a údolia potoka Neresnica. Zaberajú asi 85 % z lesných plôch. V nižších polohách sa viažu na členitejší terén, v nadmorskej výške 500 – 1 000 m tvoria súvislé pásma. S pribúdaním výšky rastie v nich hrúbka humusového horizontu a intenzita prehumóznenia [104].

5.2.4 Klimatické pomery

Územie je klimaticky pomerne diferencované. Zasahuje do všetkých troch klimatických oblastí a to:

- teplá oblasť s teplotou nad 25 °C počas 50 dní a viac (údolná niva Hrona, Slatiny a priľahlá časť Zvolenskej kotliny),
- mierne teplá oblasť s počtom letných dní pod 50, kde júlová teplota predstavuje 16 °C a viac (južné polohy Kremnických vrchov, SZ Zvolenskej kotliny, Javorie a Štiavnické vrchy) a
- chladná oblasť, kde priemerná júlová teplota je pod 16 °C (Kremnické vrchy nad 500 m, vrcholové a priľahlé polohy v Javorí a Štiavnických vrchoch, v nadmorskej výške 700 – 750 m).

Priemerná ročná teplota sa pohybuje v rozpätí 4 – 8 °C a ročný úhrn zrážok predstavuje 600 – 1 000 mm [104].

5.2.5 Vegetačné pomery

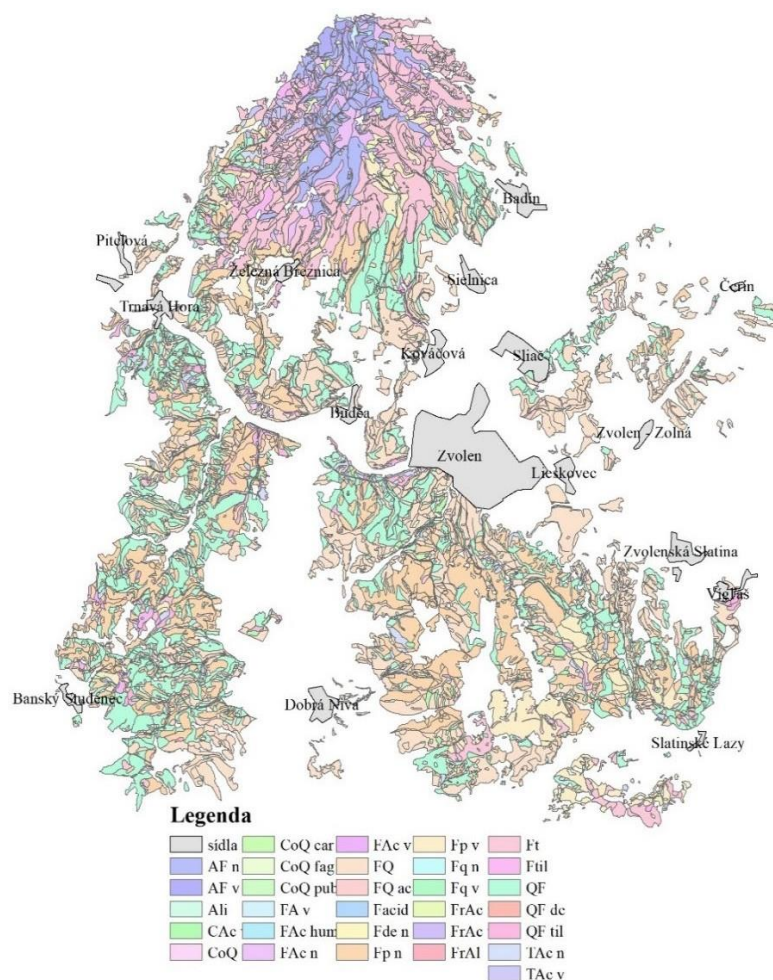
Územie VŠLP je tvorené piatimi lesnými vegetačnými stupňami a to:

- dubový: vyskytuje sa len fragmentárne na extrémnych lokalitách, kde sa vytvorili podmienky pre existenciu xerothermných spoločenstiev s bohatou účasťou výrazne teplomilných druhov bylinového a krovitého podrastu; hlavnou drevinou je dub zimný (*Quercus petraea*),
- bukovo-dubový: patria sem spoločenstvá v nadmorských výškach do 400 m s výraznou prevahou duba (*Quercus petraea* a *Quercus robur*) a malou účasťou buka (*Fagus sylvatica*); na mnohých miestach je dub nahradený cerom (*Quercus cerris*),
- dubovo-bukový: sa vyskytuje vo výške 400 – 600 m n. m., fragmentárne i vyššie; z drevín tu prevláda buk (*Fagus sylvatica*), dub (*Quercus petraea* a *Quercus robur*), lipa (*Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*) a javor (*Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides*),
- bukový: vyskytuje sa v polohách nad 600 m; vyznačuje sa prevahou buka (*Fagus sylvatica*) so zastúpením drevín, ako v predchádzajúcom lesnom vegetačnom stupni s výnimkou duba, ktorý tu chýba;

- a jedľovo-bukový: vytvára súvislý pás v nadmorskej výške okolo 800 m; hlavnú drevinovú zložku tvorí buk (*Fagus sylvatica*) a jedľa (*Abies alba*), ďalej sa vyskytujú javory (*Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides*) a jaseň (*Fraxinus excelsior*) [104].

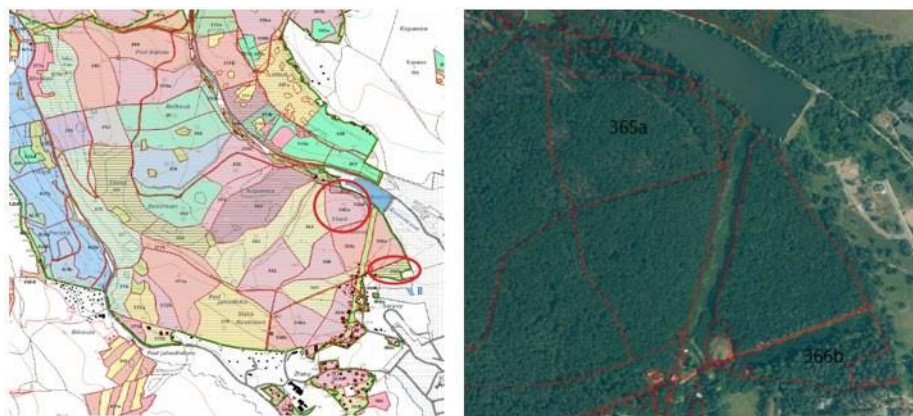
Zájmové územie dosahuje výmeru lesných pozemkov 9 729,65 ha. Z pohľadu drevinovej skladby lesov prevládajú listnaté dreviny (85 %) nad ihličnatými drevinami (15 %). Drevinou s najväčším plošným podielom je buk, ktorý tvorí 51,57 %, nasleduje dub s 16,21 % a hrab s 8,03 %. Z ihličnatých drevín má najvyššie zastúpenie smrek 7,84 % a jedľa s 3,23 % [104].

Na obrázku 17 je zobrazený prehľad skupín lesných typov a priestorovom rozložení nachádzajúcich sa na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Na tomto území sa nachádza 30 rôznych skupín lesných typov.



Obrázok 17 Skupiny lesných typov na území Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene [104]

V rámci realizácie terénneho prieskumu za účelom stanovenia kvantitatívnych parametrov lesného paliva a merania vlhkosti jemného paliva boli vybrané 2 lesné porasty s číslom 366b a 365a, ktoré sú zvýraznené na obrázku 18.



Obrázok 18 Porastová mapa a ortofotomozaika lesných porastov realizácie terénneho prieskumu [105]

Lesná oblasť patrí do kategórie B – lesy so stredným stupňom ohrozenia požiarom. Základné lesohospodárske údaje pre jednotlivé porasty sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Základné lesohospodárske údaje vybraných porastov [105]

Porast	Porast 366b	Porast 365a
Drevinové zloženie (%)	Borovica lesná – 90 Hrab obyčajný – 7 Dub cerový – 3	Dub zimný – 100
Vek porastu (rokov)	135	110
Veková trieda (rokov)	81 +	81 +
Výmera (ha)	2,17	5,59
Zakmenenie	0,60	0,80
Expozícia	východná	severná
Sklon (%)	10	30
Nadmorská výška (m n. m.)	325 - 360	320 - 380
Palivový model	23	23

5.2.6 Základné charakteristiky drevín vyskytujúcich sa na záujmovom území

Porast 365a je tvorený predovšetkým drevinou dub zimný (*Quercus petraea* Liebl.). Dub zimný sa vyznačuje s vajcovitou a uzavretejšou korunou, s rovným až mierne sprehýbaným priebežným kmeňom. Dorastá do výšky 30 m s priemerom kmeňa 1 m. Kôra je hnedosivá, neskôr sivá, hnedosivá až čiernastá borka je pozdĺžne rozpukaná v plochých obdĺžnikových pásoch. Štíhle púčiky sú na vetvičke postavené špirálovito. Listy sú elipsovitého tvaru, najširšie v strede, na vrchole zaokrúhlené, na báze klinovito zúžené, perovito laločnaté, laloky tupé. Vrchná strana je tmavozelenej farby, spodná svetlejšia, lysá, chĺpky sú len v pazuchách žíl, bočné žily ústia len do lalokov. Plodmi sú nažky súdkovitého tvaru, posadené v hnedej, tenkostennej čiaške, na okraji s priemerom 8 – 14 mm, zvonku pokrytej strechovito

prítlačenými, drobnými, plochými, vajcovito kopijovitými chlpatými šupinami. Semenami sú žalude prevažne kratšieho a zavalitejšieho tvaru [106].

Porast 366b je tvorený drevinami borovica lesná (sosna), dub cerový, hrab obyčajný.

V prípade borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.) ide o strom stredných rozmerov ojedinele dorastajúci do výšky až 45 m s priemerom valcovitého kmeňa do 100 cm. Koruna je kužeľovitá, niekedy kopulovitá až dáždnikovo sploštená s konármi v praslenoch. Kôra je hladká, žltohnedá, až svetlo červenohnedá, ktorá sa odlupuje v tenkých šupinách, v dolnej časti kmeňa je hrubá, sivohnedá, hlboko rozpukaná borka. Ihličie je na spodnej strane tmavozelené, na vrchnej sivozelené, tuhé, ostré ihlice vyrastajú po dve na brachyblastoch a zotrávajú tri roky. Plodom je šiška vajcovito kužeľovitá, na zakrivenej stopke s pretiahnutou špičkou. Šišky ostávajú na strome do leta až jesene tretieho roku po kvitnutí, kedy vcelku opadávajú [106].

Dub cerový (*Quercus ceris* L.) je strom vysoký do 30 m s rozložitou nepravidelnou korunou. Kôra je sivohnedá, neskôr tmavosivá, pomerne v mladom veku sa tvorí sivá až čiernastá, pozdĺžne hlboko rozpukaná, pevná, v puklinách hrdzavohnedá borka. Listy sú na vrchnej strane tmavozelené lesklé, na spodnej strane svetlé, na žilách trvalo chlpaté sú nesené do 2 cm dlhou stopkou s čepelou perovito delenou. Plodmi sú veľké nažky podlhovasto súdkovitého tvaru takmer do polovice posadená v huňato mäkko ostnatej čiaške. Semenami sú žalude prevažne elipsovitého až valcovitého tvaru, v zrelom stave tmavohnedej farby [106].

Hrab obyčajný (*Carpinus betulus* L.) je opadavý listnatý strom dorastajúci do výšky až 25 m. Kôra je sivá, hladká, zvrásnená borka, na kmeni so sieťovitou vertikálnou kresbou svetlej farby. Listy sú striedavé, podlhovasto vajcovité dlhé do 10 cm. Čepel listu je výrazne zriadená a jej okraj dvojito pílkovitý. Plodmi sú vajcovité oriešky na trojlaločnom svetlozelenom krídle [107].

5.3 Popis použitých metodických postupov a ich zdôvodnenie

Pre účely skúmania vplyvu parametrov prostredia a paliva na správanie sa lesného požiaru bol aplikovaný prístup založený na experimentálnom posudzovaní týchto parametrov prostredníctvom realizácie laboratórnych skúšok a počítačom podporovaného modelovania v programe FARSITE.

Jedným zo základných predpokladov pre modelovanie správania sa lesného požiaru v softvérovom prostredí sú rozhodujúce informácie o priestorovej distribúcii lesného paliva na danom území, jeho množstve a vybraných fyzikálnych a požiarotechnických parametroch. Taktiež informácie o aktuálnych meteorologických podmienkach v čase daného simulovaného

požiaru, ktoré výrazným spôsobom ovplyvňujú samotný vznik a následné správanie lesného požiaru, sú dôležitým faktorom.

5.3.1 Metodické postupy identifikácie druhov, štruktúry, množstva a priestorovej distribúcie lesného paliva

Na účely identifikácie druhov, štruktúry lesného paliva bol použitý metodický postup pre klasifikáciu paliva (biomasy) na území Slovenska do palivových modelov publikovaný Majlingovou, Sedliakom, Smrečekom [108].

Základom tejto metodiky je klasifikácia paliva (biomasy) v danom území do palivových modelov podľa geobiocenologickej klasifikácie lesov Slovenska, ktorá predstavuje najpodrobnejšiu klasifikáciu lesov vychádzajúcu z princípov vývojových, vegetačne indikačných, diferenciačných a indikačných podľa vlastností prostredia [48].

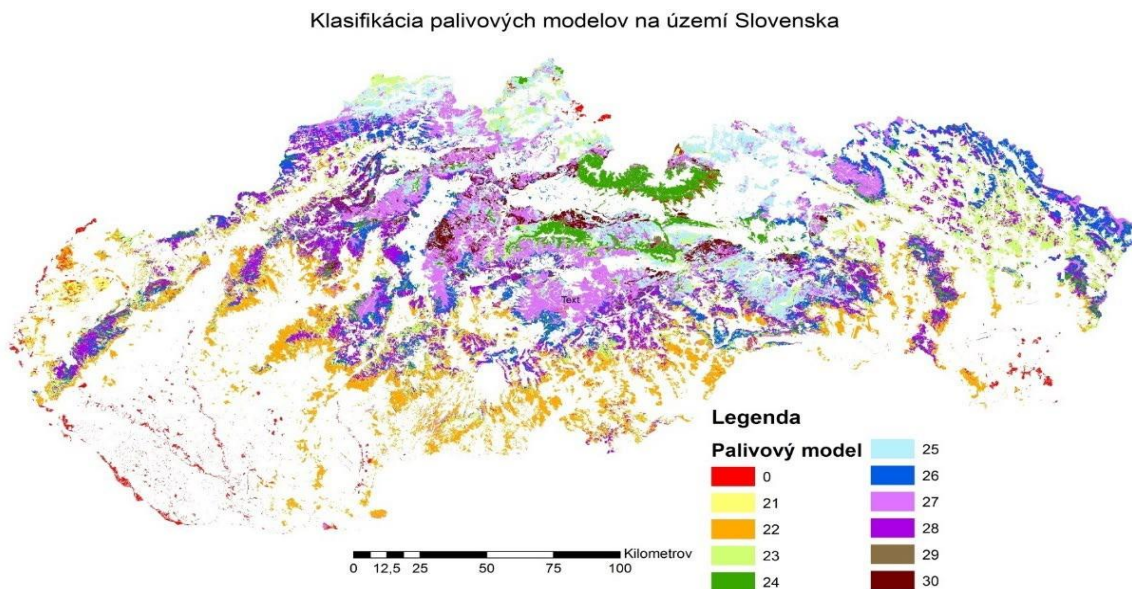
Pre klasifikáciu palivových modelov bola ako základ zvolená skupina lesných typov (SLT) z nasledujúcich dôvodov:

- menší počet SLT oproti počtu lesných typov zjednodušuje následnú kvantifikáciu parametrov palivových modelov,
- je dostupná z údajov databázy lesných hospodárskych plánov (LHP), ktoré sa pravidelne spracovávajú pre všetky lesy,
- je v lesníckej praxi bežne používaná ako charakteristika popisujúca lesnú fytoocenózu
- a v širokej miere zohľadňuje okrem biotických aj abiotické podmienky stanovišťa [109].

Pre účely modelovania lesných požiarov bola v domácich podmienkach pre územie Slovenska vypracovaná, aj prostredníctvom nástrojov GIS, klasifikácia lesného povrchového paliva. Pre podmienky lesov Slovenska bolo klasifikovaných 10 palivových modelov (PM) pre lesné palivo, ktoré je spotrebované pri povrchovom type lesného požiaru:

- machy a lišajníky (PM 21),
- trávy do 30 cm (PM 22),
- trávy a byliny do 30 cm (PM 23),
- byliny, trávy, machy do 30 cm (PM 24),
- byliny do 15 cm (PM 25),
- byliny do 30 cm (PM 26),
- vysoké byliny do 100 cm (PM 27),
- bez dominant bylinnej synúzie (pokryvu) – pauper (PM 28),
- trávy, byliny do 30 cm suchších SLT radu D (PM 29),
- a trávy, byliny do 30 cm vlhších SLT radu D (PM 30) [110].

Výsledky jej aplikácie – rastrová geografická vrstva reprezentujúca priestorovú distribúciu lesného povrchového paliva na území Slovenskej republiky, po extrakcii len pre záujmové územie – VŠLP, bola použitá aj pre účely riešenia tejto práce.



Obrázok 19 Priestorová distribúcia palivových modelov na území Slovenskej republiky [110]

Výsledky mapovania povrchového paliva na Slovensku, ktoré bolo uskutočnené v minulosti, je na území VŠLP najzastúpenejším palivovým modelom PM 28 – bez dominantnej bylinnej synúzie – Pauper a to 36,39 %. Všeobecne územie VŠLP sa dá považovať za značne rôznorodé z pohľadu priestorového rozmiestnenia jednotlivých PM a teda aj SLT [110].

Jedným z ďalších parametrov je stanovenie kvantitatívnych parametrov lesného paliva, konkrétne množstvo paliva, počiatočnú vlhkosť paliva, pomer plochy k obsahu častíc podľa komponentov paliva a ich veľkosti a výšku paliva. Pre tieto účely bolo vykonané terénne zisťovanie podľa modifikovanej metodiky publikovanej Brownom, Oberheuom a Johnstonom [111]. Táto metodika je založená na deštruktívnom terénnom zisťovaní (meraní) charakteristík týkajúcich sa nasledovných typov paliva – humus, opad, živá trávovitá a bylinná vegetácia, podrast a odumreté (suché) palivo [112].

V rámci štvorcovej skusnej plochy so stranou 1 m sme zisťovali hĺbku humusovej vrstvy pôdy, hrabanky, opadu, počet opadaných konárikov a ich hrúbku, počet a veľkosť plodov a semien, percentuálnu pokryvnosť machov, bylín, tráv, opadu a skál, výšku bylín a tráv ako aj počet stromčekov a kríkov. Odobratý materiál sme priamo v teréne vážili závesnými digitálnymi váhami KERN HCB 20K10.

Pred samotným terénnym zisťovaním sme pomocou štatistických metód na základe veľkosti plochy porastu vypočítali potrebný počet skusných plôch, ktoré bolo potrebné si založiť, aby sa zachytila variabilita, čo sa týka paliva a podmienok prostredia.

Z každej skusnej plochy sme odobrali materiál pre laboratórne experimenty, s cieľom zistiť vybrané fyzikálne (vlhkosť paliva) a požiarotechnické parametre paliva.

Charakteristika pomeru plochy k obsahu častíc podľa komponentov paliva a ich veľkosti je stanovená len pre častice s priemerom menším ako 0,635 cm (živé aj odumreté). Pre zjednodušenie bol použitý postup navrhnutý podľa Harvey et al. [113]:

- pre ploché častice (listy): plocha častice k jej objemu = $2 / \text{hrúbka častice}$ a
- pre kruhové častice (ihlice, trávy): plocha častice k jej objemu = $4 / \text{priemer častice}$.

V prípade, ak palivový typ (napr. opadanka) obsahovala rôzne objemovo identifikovateľné komponenty (listy, konáriky, ihličie a pod.), pomer plochy k objemu sa pre palivový typ vypočítalo percentuálnym podielom jednotlivých komponentov [94].

Výsledky meraní vykonaných počas terénneho zisťovania boli ďalej implementované do prostredia ArcGIS for Desktop ver. 10.2, kde boli za účelom stanovenia celkového množstva paliva a jeho distribúcie v priestore ďalej spracované metódami priestorovej interpolácie.

5.3.2 Metodické postupy stanovenia obsahu vlhkosti živého a odumretého paliva v záujmovom území

Meranie obsahu vlhkosti živého a odumretého paliva prebiehalo v rámci terénneho zisťovania vo vybraných porastoch v letnom období na prelome mesiacoch júl – august 2019 pomocou vlhkomeru na meranie vlhkosti jemného paliva ME 2000 od spoločnosti Wiltronics. Vlhkometer sa využíva na rýchle a presné stanovenie percentuálneho obsahu vlhkosti v listoch, vetvičkách a kôre nachádzajúcej sa na povrchu pôdy v lese, a tiež aj vlhkosť živého a odumretého dreveného paliva napr. kríky. Materiál / palivo typu tráva, listy, ihličie a byliny je nazývaný ako jemné palivo, ktoré patrí k najdôležitejším faktorom pri určovaní intenzity požiaru, rýchlosti šírenia čela požiaru aj ako pravdepodobnosť vzniku bodových požiarov v prednej časti požiaru. Princíp merania vlhkosti, resp. obsahu vody v palive, je založený na elektrickom odpore. Ide o metódu, ktorá sa v zahraničí úspešne využíva už niekoľko rokov nielen v lesníctve, ale aj poľnohospodárstve. Vlhkometer meria odpor až do veľkosti 10^{12} ohm, čo zodpovedá obsahu vlhkosti v palive najmenej 2 % hmotnosti po jeho vysušení v sušiarňi [114].

Vzorky materiálu boli odoberané počas dňa od rána od 7:00 h do večera do 18:00 h a to v hodinových intervaloch. Vzorky boli tvorené odumretými (suchými) listami, zelenými živými listami malých stromčekov, ihličím a konárikmi s priemerom do 0,5 cm. Pred každým

meraním boli odobraté vzorky paliva pomleté a v tejto forme použité na meranie aktuálnej vlhkosti. Pretože obsah vlhkosti v palive sa môže líšiť aj na malej ploche lesa, vykonané boli 3 opakované merania pre každý typ vzorky.

V dňoch, keď prebiehal intenzívny odber a meranie vzoriek, sme na miesto odberu vzoriek nainštalovali prenosnú profesionálnu meteorologickú stanicu Oregon Scientific WMR300. Táto certifikovaná meteorologická stanica zhromažďuje záznamy a automaticky nahráva presné a podrobné údaje o počasí vo zvolenom časovom intervale. Uložené údaje je možné preniesť do počítača, kde pomocou ovládacieho softvéru programu Weather OS Pro je možné údaje analyzovať. Súčasťou stanice je hlavná jednotka s dotykovým displejom, ktorá zobrazuje aktuálne a historické hodnoty nameraných veličín a ktorá je zároveň centrálnym ovládacím panelom celej stanice. Na obrázku 20 je zobrazená inštalovaná meteorologická stanica v lesnom poraste, kde prebiehalo odoberanie vzoriek spolu s prístrojom ME 2000 na meranie vlhkosti jemného paliva.



Obrázok 20 Zabudovaná meteorologická stanica v lesnom poraste spolu s prístrojom ME 2000 na meranie vlhkosti jemného paliva

5.3.3 Metodické postupy stanovenia vybraných fyzikálnych a požiarnotechnických charakteristík paliva odobratého zo záujmového územia

Laboratórny výskum bol zameraný na zisťovanie vybraných fyzikálnych a požiarnotechnických parametrov paliva, ktoré sú potrebné pre vykonanie modelovania správania požiaru v prostredí FARSITE, ako aj na účely stanovenia limitných parametrov paliva ovplyvňujúcich vznik, rozvoj a následné šírenie lesného požiaru. Na tento účel bolo

využitie existujúce prístrojové vybavenie laboratórií Technickej univerzity vo Zvolene. Ďalej sme uviedli stručný popis skúmaných parametrov.

Obsah vlhkosti v palive je definovaný ako množstvo vody obsiahnutej v palive vyjadrenej v percentách vysušeného paliva. Vlhkosť paliva sme stanovili na základe údajov o úbytku na hmotnosti pri sušení paliva v sušiarňi pri teplote v rozmedzí 103 – 105 °C v zmysle STN EN ISO 18134-3: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Časť 3: Vlhkosť v analytickej vzorke na všeobecný rozbor (ISO 18134-3: 2015) [115].

Metódou sušenia v sušiarňi sa sledoval úbytok na hmotnosti vzorky vybraných typov paliva po dobu 100 h, a to v intervale po 1 h, 10 h a 100 h. Získané údaje budú využité na stanovenie vlhkosti paliva a určenie doby, ktorá je potrebná na dosiahnutie absolútneho suchého stavu paliva, kedy už nedochádza k jeho horeniu [94].



Obrázok 21 Sledovanie úbytku na hmotnosti vzoriek paliva

Ďalším parametrom, ktorý bol odvodený počas laboratórneho zisťovania je vlhkosť vyhasnutia. Táto hodnota neudáva vlhkosť v pravom slova zmysle, ale poukazuje na priestorové rozloženie biomasy (hustotu) a z toho vyplývajúcu pravdepodobnosť rozširovania sa požiaru, ako to uvádzajú Burgan a Rothermel in [113].

Túto charakteristiku sme vypočítali na základe výšky palivového typu a jeho hmotnosti pre každý palivový typ osobitne podľa vzťahu (2):

$$M_{xii} = 100 \cdot 0,12 + \frac{m_i}{106,7 \cdot \delta\delta_{ii}} \quad (2)$$

kde m_{ii} – hmotnosť biomasy palivového typu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$),
 $\delta\delta_{ii}$ – maximálna výška biomasy palivového typu (m).

Posledným parametrom, ktorý sme stanovovali, bola výhrevnosť odumretého paliva, ktorú sme vypočítali na základe prepočtu z hodnôt spaľovacieho tepla, určeného v zmysle normy STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti [116]. Na tento účel sme využili kalorimeter IKA C200. Hodnoty výhrevnosti boli následne prepočítané na nami stanovenú vlhkosť paliva.

5.3.4 Metodické postupy posúdenia parametrov prostredia (meteorologické podmienky) ovplyvňujúcich vznik a rozvoj lesného požiaru s využitím nástrojov počítačom podporovaného modelovania

Cieľom v tejto časti práce bolo posúdenie správania sa požiaru na záujmovom území VŠLP pri zohľadnení aktuálnych meteorologických podmienok vyskytujúcich sa v danom časovom období. Za účelom posúdenia pravdepodobnosti vzniku a rozvoja požiaru sme vykonali modelovanie v programe FARSITE, pričom sme v modelovaní aplikovali výsledky vlastného terénneho zisťovania mikroklimatických a fyzikálnych parametrov (vlhkosť) lesného opadu. Modelovanie bolo vykonávané s aktuálnymi meteorologickými údajmi, ktoré sme namerali počas terénneho zisťovania prostredníctvom nainštalovanej prenosnej meteorologickej stanice s cieľom posúdiť vplyv počasia na rozsah (obvod, plochu) požiariska.

Na účely zhodnotenia vplyvu zmeny teploty prostredia, poveternostných podmienok a relatívnej vlhkosti vzduchu vplývajúcich na vznik a rozvoj lesného požiaru boli taktiež definované modelové scenáre. Prvý scenár bol založený na modelovaní správania potenciálneho požiaru s aktuálnymi meteorologickými údajmi (teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra, smer vetra, množstvo zrážok), získanými prostredníctvom prenosnej meteorologickej stanice. Druhý scenár bol vykonaný s modelovými podmienkami, ktorých hodnoty uvádzame nižšie. Tretí scenár bol vykonaný s modelovými podmienkami (zmena teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu) a s hodnotami rýchlosti vetra získaného z terénu. Štvrtý scenár bol založený na údajoch o aktuálnej teplote vzduchu a vlhkosti vzduchu pri zmene hodnôt rýchlosti vetra.

Hodnoty modelových podmienok boli stanovené nasledovne:

- Maximálna teplota vzduchu/minimálna teplota vzduchu: 34 °C / 20 °C.
- Maximálna relatívna vlhkosť vzduchu/minimálna vlhkosť vzduchu: 60 % / 36 %.
- Rýchlosť vetra: od 7:00 h do 19:00 h – 16 km·h⁻¹, od 21:00 h do 5:00 h – 8 km·h⁻¹.
- Úhrn zrážok: 0 mm.
- Vlhkosť (obsah vody) živého drevného a bylinného paliva: 80 % / 37 %.

Analyzovaný a posudzovaný bol vplyv týchto jednotlivých parametrov na výslednú plochu požiariska (ha) a obvod požiariska (km).

5.4 Zdroje údajov pre modelovanie požiaru na vybranom území VŠLP

Pre účely modelovania vzniku, rozvoja a šírenia sa lesného požiaru pri meniacich sa podmienkach prostredia a paliva na záujmovom území boli využité nasledovné geografické údaje:

- digitálny model terénu 3. generácie (DMR-3) s priestorovým rozlíšením 10 m, ortofotosnímky záujmového územia s priestorovým rozlíšením 0,5 m (poskytovateľ Topografický ústav plk. Jána Lipského v Banskej Bystrici),
- vektorová vrstva (JPRL) jednotiek priestorového rozdelenia lesa v mierke 1:10 000, vektorovej vrstvy skupín lesných typov v mierke 1:10 000 (poskytovateľ Národné lesnícke centrum vo Zvolene – Ústav lesných zdrojov a informatiky),
- údaje o počasi (zabudovaná meteorologická stanica v teréne),
- terénne parametre (sklon terénu, expozícia terénu – orientácia svahov voči svetovým stranám, prevýšenie terénu) boli odvodené v prostredí ArcGIS for Desktop ver. 10.2 z digitálneho modelu terénu.

5.5 Použité softvérové prostriedky

Vzhľadom na predchádzajúce skúsenosti pri riešení podobných problematík doma i vo svete, boli využité pre účely spracovania geografických údajov riešenia dizertačnej práce geografické informačné systémy (GIS), konkrétne prostredie ArcGIS for Desktop ver. 10.2. Pre účely štúdia meniacich sa podmienkach prostredia a paliva na vznik, rozvoj a šírenie požiaru sme využili softvérové prostredie FARSITE.

5.6 Výsledky experimentov a ich diskusia

5.6.1 Výsledky terénneho zisťovania množstva lesného paliva

V tejto podkapitole uvádzame výsledky terénneho zisťovania, ktoré bolo vykonané za účelom klasifikácie paliva a stanovenie kvantitatívnych parametrov paliva v lesných porastoch 365a a 365b.

Výsledky terénneho zisťovania v poraste 365a

V tejto podkapitole popisujeme výsledky terénneho zisťovania, ktoré bolo vykonané za účelom klasifikácie paliva a stanovenie kvantitatívnych parametrov paliva.

Terénny prieskum bol vykonaný dňa 23. 7. 2019 za teplého bezoblačného počasia bez výskytu zrážok. Pre účely klasifikácie paliva a množstva paliva bolo založených celkovo 17

výskumných plôch, aby sme dostatočne zachytili variabilitu, čo sa týka paliva a podmienok prostredia. Na ploche porastu boli identifikované skupiny jemného paliva tvorené najmä bylinami, nárastom drevín a ojedinele trávami s výškou v rozmedzí od 7,2 cm do 29 cm a miestami až 45 cm, pričom ich priemerná výška v celom poraste bola vypočítaná na 21 cm. Tento druh paliva, tzv. palivový typ sa vyskytoval v priemere na 5 – 15 % porastu, na miestach s rozpojeným zápojom korún pokrývnosť bylinnej synúzie dosahovala hodnotu v rozmedzí 20 – 70 %. Počas terénneho zisťovania boli mapované aj ďalšie palivové typy. Išlo najmä o drevité palivo – konáre, konáriky, ležanina a samotný opad.

V tabuľke 4 uvádzame prehľad nameraných hodnôt s prepočtom na jednotku t·ha⁻¹, ktorá sa používa aj ako vstupná jednotka pre stanovenie množstva paliva pre účely modelovania správania sa požiaru vo väčšine dostupných programových prostriedkov.

Tabuľka 4 Množstvo drevitého paliva podľa hrúbkových tried a opadu v poraste

Sklon terénu	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15%	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15 %
Drevné palivo	(g·m ⁻²)			(t·ha ⁻¹)		
Trieda 0,5 cm	24,27	19,65	6,12	0,24	0,20	0,06
Trieda 1 cm	44,55	674,12	41,20	0,45	6,74	0,41
Trieda 1,5 cm	31,48	665,00	79,77	0,31	6,65	0,80
Trieda 2,0 cm	156,30	2 611,17	142,91	1,56	26,11	1,43
Trieda 3,0 cm	39,46	2 216,16	256,00	0,39	22,16	2,56
Trieda 5,0 cm	217,50	3 866,63	230,00	2,18	38,67	2,30
Trieda 7,0 cm	0,00	5 020,00	297,50	0,00	50,20	2,98
Opad	1 025,00	11 750,00	1 347,50	10,25	117,50	13,48
Suma	1 538,56	26 822,73	2400,99	15,39	268,23	24,01
% podiel				5,00	87,19	7,81

Z hodnôt uvedených v tabuľke 4 vidíme, že najväčší objem drevitého typu paliva sa nachádza v rozmedzí sklonu terénu 5 – 10 % (150,73 t·ha⁻¹), spolu ide o 166,40 t·ha⁻¹ drevitého paliva.

Z tabuľky 4 je tiež zrejmé množstvo dubového opadu nachádzajúceho sa v príslušnom poraste, kde celkové množstvo predstavuje hodnotu 141,23 t·ha⁻¹, pričom jeho najväčšie množstvo (117,50 t·ha⁻¹) sa nachádza v sklone terénu 5 – 10 %.

V tabuľke 5 uvádzame aj percentuálny podiel množstva drevitého paliva a opadu v závislosti od sklonu terénu.

Tabuľka 5 Percentuálny podiel množstva dreveného paliva podľa hrúbkových tried a opadu v závislosti od sklonu terénu

Sklon terénu	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15 %
Drevené palivo	(%)		
Trieda 0,5 cm	1,58	0,07	0,25
Trieda 1 cm	2,90	2,51	1,72
Trieda 1,5 cm	2,05	2,48	3,32
Trieda 2,0 cm	10,16	9,73	5,95
Trieda 3,0 cm	2,56	8,26	10,66
Trieda 5,0 cm	14,14	14,42	9,58
Trieda 7,0 cm	0,00	18,72	12,39
Opad	66,62	43,81	56,12

Z tabuľky 5 je rovnako zrejmy vysoký podiel množstva opadu v poraste oproti ostatným typom paliva, nakoľko to potvrdzujú aj výsledky terénneho mapovania pokryvnosti povrchu jednotlivých výskumných plôch, kde opad pokrýva približne 59 % povrchu porastu, byliny a nárast zmladenia 20 %, žalude a šišky sa vyskytujú na približne 4 % plochy porastu, konáriky na 29 % a hrubšie konáre (ležanina) na 4 % porastu.

Príslušný porast spadá 80 % plochy do lesného typu 2312 Živná ostricová buková dúbava a 20 % plochy do lesného typu 3403 Ostricovo-bažanková dubová bučina s lipou. Výsledkom klasifikácie povrchového paliva bolo priradené celé skúmané územie do palivového modelu pre povrchové palivo č. 23 (PM 23), ktorý je charakteristický výskytom tráv a bylín do 30 cm.

Prieskumom bolo taktiež zistené, že pozemné palivo, najmä čo sa týka opadu bolo tvorené tiež listami buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) a ihličím jedle bielej (*Abies alba*), ktoré boli pozostatkami predošlého obhospodarovania lesa.

Na základe vyhodnotenia údajov z realizovaného terénneho zisťovania bolo vypočítané aj priemerné množstvo paliva pre daný palivový model a orografický celok a to na 25,14 t·ha⁻¹. Tento údaj predstavuje zároveň aj jednu z kľúčových veličín vstupujúcich do modelovania správania požiaru.

Výsledky terénneho zisťovania v poraste 366b

Terénny prieskum v poraste 366b bol vykonaný dňa 24. 7. 2019 za slnečného počasia bez výskytu zrážok. Pre účely klasifikácie paliva a množstva paliva bolo založených celkovo 7 výskumných plôch, aby sme dostatočne zachytili variabilitu, čo sa týka paliva a podmienok prostredia. Na ploche porastu boli identifikované skupiny jemného paliva tvorené najmä bylinami, nárastom drevín a ojedinele trávami s výškou v rozmedzí od 20 cm do miestami 67

cm, pričom ich priemerná výška v celom poraste bola vypočítaná na 26 cm. Tento druh paliva, tzv. palivový typ sa vyskytoval v priemere na 21 % plochy porastu. Počas terénneho zisťovania boli mapované aj ďalšie palivové typy. Išlo najmä o drevité palivo – konáre, konáriky, ležanina a samotný opad (zmiešaný listnatý a ihličnatý).

V tabuľke 6 uvádzame prehľad nameraných hodnôt s prepočtom na jednotku $t \cdot ha^{-1}$, ktorá ako už bolo spomínané sa používa aj ako vstupná jednotka pre stanovenie množstva paliva pre účely modelovania správania sa požiaru vo väčšine dostupných programových prostriedkov.

Tabuľka 6 Množstvo drevitého paliva podľa hrúbkových tried a opadu v poraste

Sklon terénu	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15 %	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15 %
Drevné palivo	(g·m ⁻²)			(t·ha ⁻¹)		
Trieda 0,5 cm	8,27	15,29	30,28	0,08	0,15	0,30
Trieda 1 cm	51,69	61,40	13,82	0,52	0,61	0,14
Trieda 1,5 cm	104,44	81,92	0,57	1,04	0,82	0,01
Trieda 2,0 cm	122,70	92,53	14,96	1,23	0,93	0,15
Trieda 3,0 cm	213,05	55,76	74,57	2,13	0,56	0,75
Trieda 5,0 cm	617,67	0,00	0,00	6,18	0,00	0,00
Trieda 7,0 cm	0,00	500,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Opad	1 550,00	1 020,00	795,00	15,50	10,20	7,95
Suma	2 667,82	1 826,89	929,19	26,68	18,27	9,29
% podiel				49,00	34,00	17,00

Z hodnôt uvedených v tabuľke 6 je vidieť, že najväčší objem drevitého typu paliva sa nachádza v rozmedzí sklonu terénu 0 – 5 % ($11,18 t \cdot ha^{-1}$), spolu ide o $20,6 t \cdot ha^{-1}$ drevitého paliva.

Z tabuľky 6 je tiež zrejmé množstvo zmiešaného ihličnatého (Borovica lesná) a listnatého (Dub cerový, Hrab obyčajný) opadu nachádzajúceho sa v poraste 366b. Vychádzajúc z výsledkov terénneho zisťovania na jednotlivých výskumných plochách jeho celkové množstvo predstavuje hodnotu $33,65 t \cdot ha^{-1}$, pričom jeho najväčšie množstvo ($15,50 t \cdot ha^{-1}$) sa nachádza v sklone terénu do 5 %.

V tabuľke 7 uvádzame percentuálny podiel množstva drevitého paliva a opadu v závislosti od sklonu terénu.

Tabuľka 7 Percentuálny podiel množstva drevitého paliva podľa hrúbkových tried a opadu v závislosti od sklonu terénu

Sklon terénu	< 5 %	5 % - 10 %	10 % - 15 %
Drevné palivo	(%)		
Trieda 0,5 cm	0,31	0,84	3,26
Trieda 1 cm	1,94	3,36	1,49
Trieda 1,5 cm	3,91	4,48	0,06
Trieda 2,0 cm	4,60	5,06	1,61
Trieda 3,0 cm	7,99	3,05	8,02
Trieda 5,0 cm	23,15	0,00	0,00
Trieda 7,0 cm	0,00	27,37	0,00
Opad	58,10	55,83	85,56

Z tabuľky 7 je tiež zrejмый vysoký podiel množstva opadu v poraste oproti ostatným typom paliva. To potvrdzujú aj výsledky terénneho mapovania pokrývnosti povrchu jednotlivých výskumných plôch, kde opad pokrýva približne 60 % povrchu porastu, byliny a nárast zmladenia 21 %, šišky sa vyskytujú na približne 15 % plochy porastu, konáriky na 31 % a hrubšie konáre (ležanina) na 8 % porastu.

Porast 366b spadá 90 % plochy do lesného typu 2312 Živná ostricová buková dúbava a 10 % plochy do lesného typu 2310 Buková dúbava ťažkých pôd s ostricou horskou. Výsledkom klasifikácie povrchového paliva bolo priradené celé skúmané územie do palivového modelu pre povrchové palivo č. 23 (PM 23), ktorý je charakteristický výskytom tráv a bylín do 30 cm.

Na základe vyhodnotenia údajov z realizovaného terénneho zisťovania bolo vypočítané aj priemerné množstvo paliva pre daný palivový model a orografický celok a to na 19,31 t·ha⁻¹. Tento údaj predstavuje zároveň aj jednu z kľúčových veličín vstupujúcich do modelovania správania požiaru.

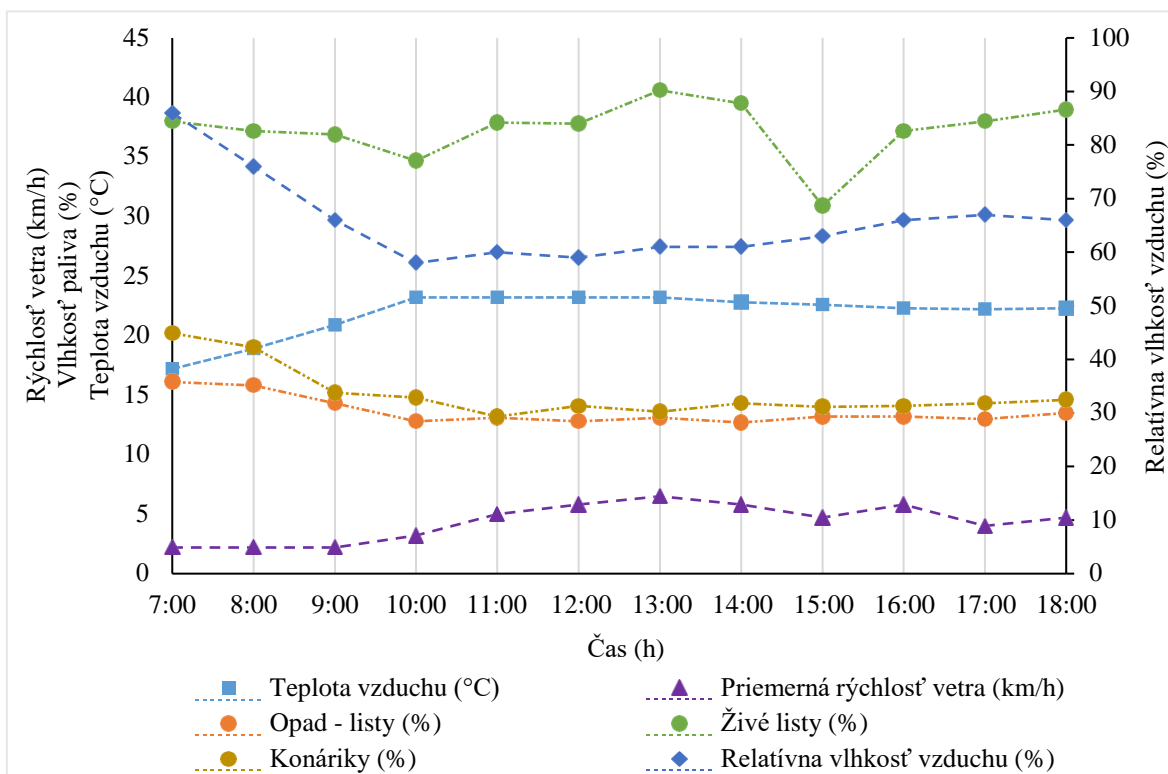
5.6.2 Výsledky terénneho zisťovania vlhkosti jemného paliva a meteorologických podmienok

V tejto časti práce uvádzame výsledky vlhkosti jemného paliva a meteorologických podmienok, ktoré boli zisťované v rámci terénneho prieskumu v porastoch 365a a 366b. Výsledky boli spracované v tabelárnej (prílohy 1 a 2) a v grafickej podobe. Skúmaná bola aj závislosť medzi vlhkosťou jemného paliva a relatívnou vlhkosťou vzduchu, ktorá sa v priebehu dňa mení v závislosti od aktuálneho vývoja počasia.

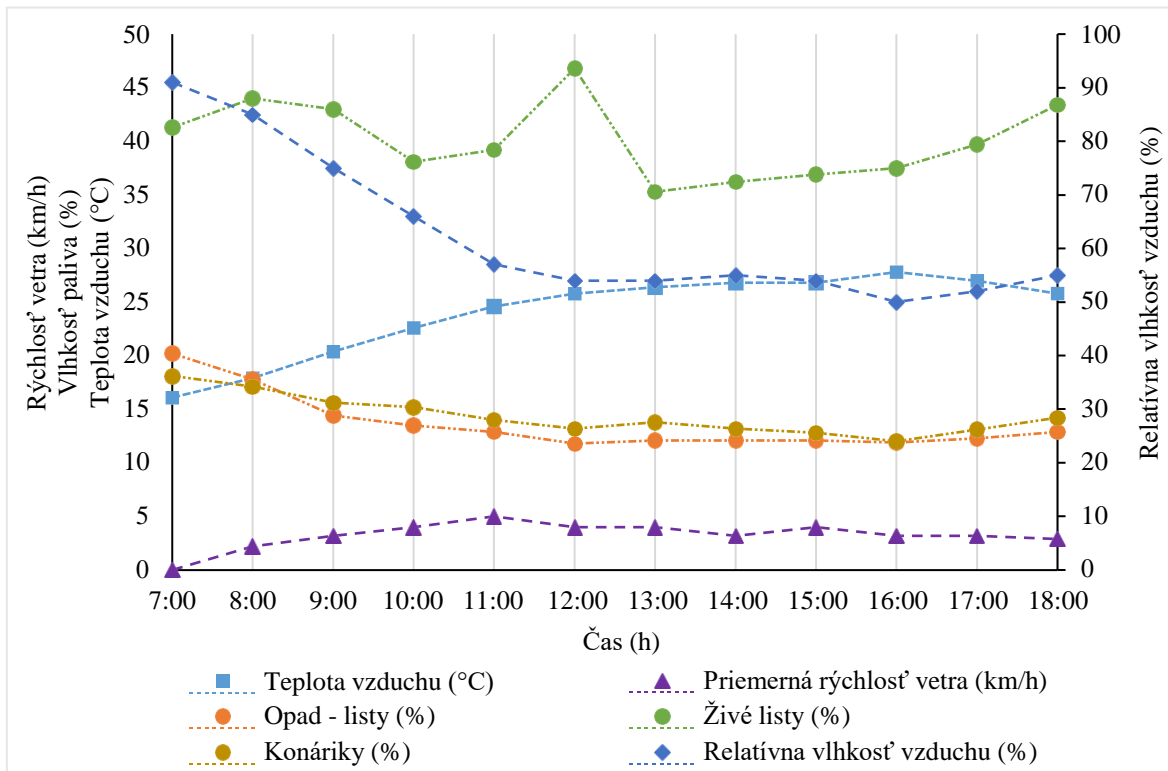
Výsledky vlhkosti jemného paliva a meteorologických podmienok v poraste 365a

Meranie vlhkosti živého a odumretého jemného paliva prebiehalo v dňoch od 23. 7. 2019 do 26.7.2019 v hodinových intervaloch od 7:00 h rána do 18:00 h večera. Na obrázku 22 až 24 je znázornený denný priebeh obsahu vlhkosti v jemných palivách a tiež

vývoj počasia ako priemerná rýchlosť vetra ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a relatívna vlhkosť vzduchu (%). Počas zisťovania vlhkosti paliva v dňoch 23. 7. 2019 a 24. 7. 2019 sa zrážky nevyskytli. Teplota a relatívna vlhkosť vzduchu vykazujú typické trendy v priebehu dňa, kde so zvyšujúcou teplotou vzduchu klesá relatívna vlhkosť vzduchu. Vlhkosť jemného paliva (listový opad, konáriky) kopíroval priebeh vývoja zmien počasia najmä čo sa týka pohybu relatívnej vlhkosti vzduchu. Priebeh vývoja obsahu vlhkosti v živých listov závisí najmä od fyziológie danej rastliny. Avšak na intenzitu transpirácie vplyvajú aj faktory ako vlhkosť vzduchu, vietor, teplota vzduchu, ktoré buď zvyšujú intenzitu vyparovania vody alebo naopak znižujú intenzitu transpirácie. Z tohto dôvodu neuvádzame korelačnú závislosť medzi týmito typom paliva a relatívnou vlhkosťou vzduchu. Avšak treba spomenúť, že v správaní pozemného požiaru zohrávajú dôležitú úlohu, najmä čo sa týka rýchlosti šírenia požiaru. V prípade lesného porastu s výskytom väčšieho množstva bylinnej synúzie dôjde k zníženiu intenzity horenia v dôsledku spotrebovania väčšieho množstva tepla na odparenie vody obsiahnutej v palive.

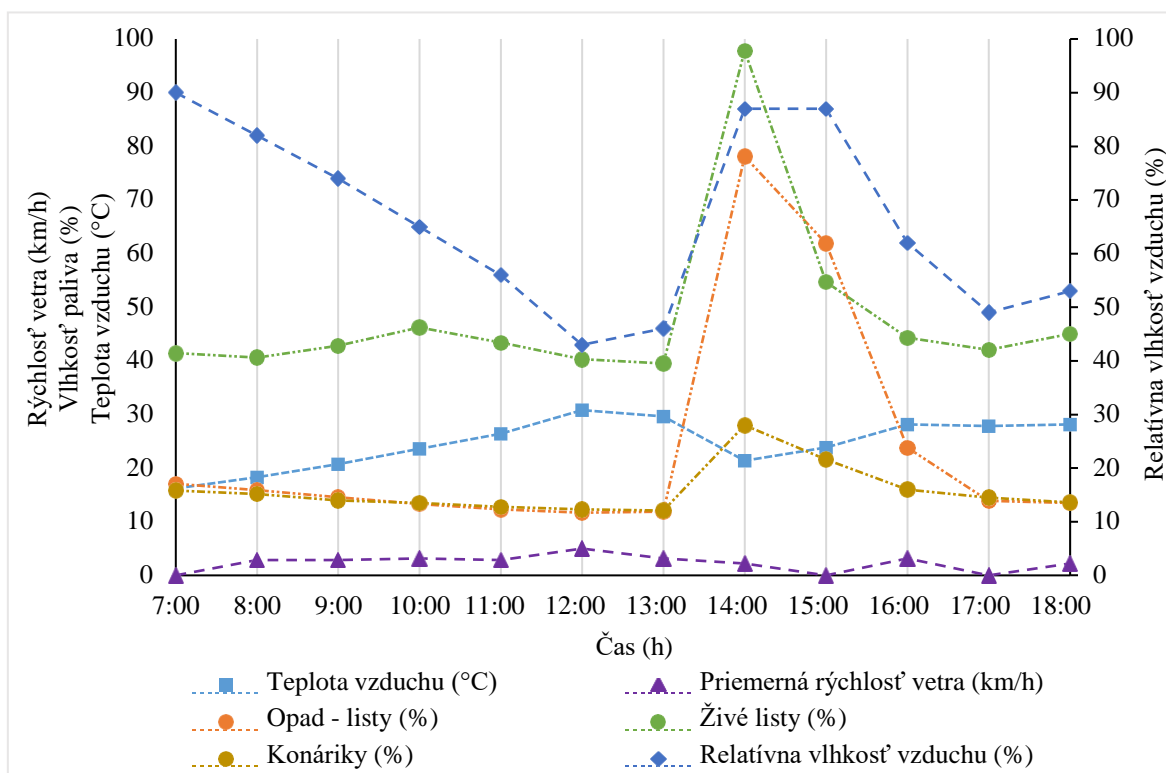


Obrázok 22 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 23. 7. 2019



Obrázok 23 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 24. 7. 2019

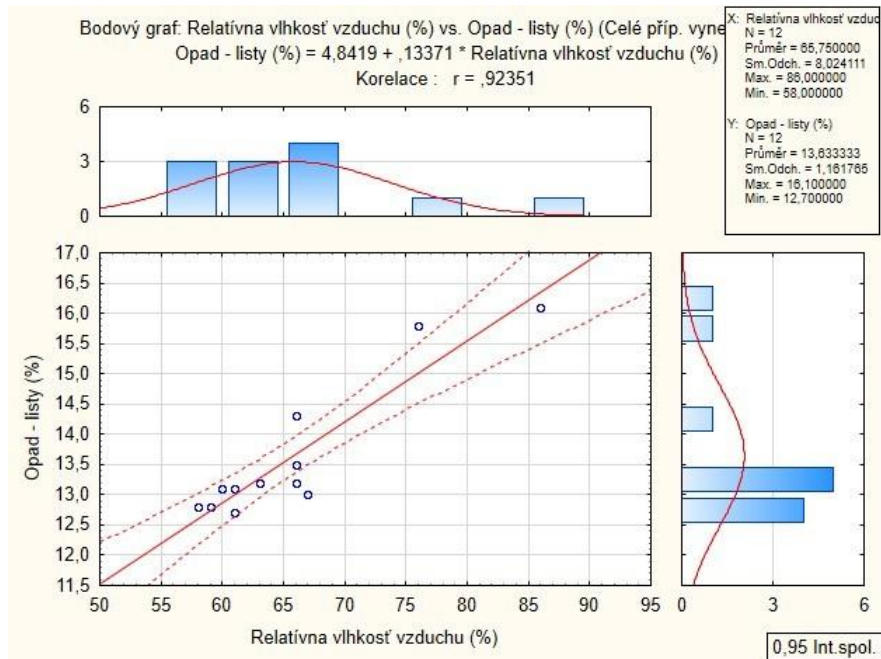
V priebehu merania vlhkosti jemného paliva dňa 26. 7. 2019 sa vyskytli zrážky po 13:00 h, čo môžeme vidieť aj na prudkom zvýšení relatívnej vlhkosti vzduchu (87 %) a zvýšení vlhkosti opadu a konárikov. Celkový nárast zrážok predstavoval 0,52 mm. Najviac na zmenu vlhkosti reagoval listový opad, ktorého vlhkosť o 14:00 h sa zvýšila o 66,2 % oproti vlhkosti pred zrážkami. Avšak o 15:00 h bol rozdiel vlhkosti 50 % a o 16:00 h 11,9 %. V prípade konárikov sa vlhkosť zvýšila o 15,9 % a o 16:00 h sa obsah vlhkosti vyrovnal s obsahom vlhkosti meranej o 7:00 h ráno. Tu je potrebné zdôrazniť, že jemné palivo reaguje na zmeny vlhkosti najrýchlejšie, a zároveň rovnako rýchlo prebieha aj proces desorpcie, kde odparovaním sa uvoľňuje vlhkosť do okolitého prostredia.



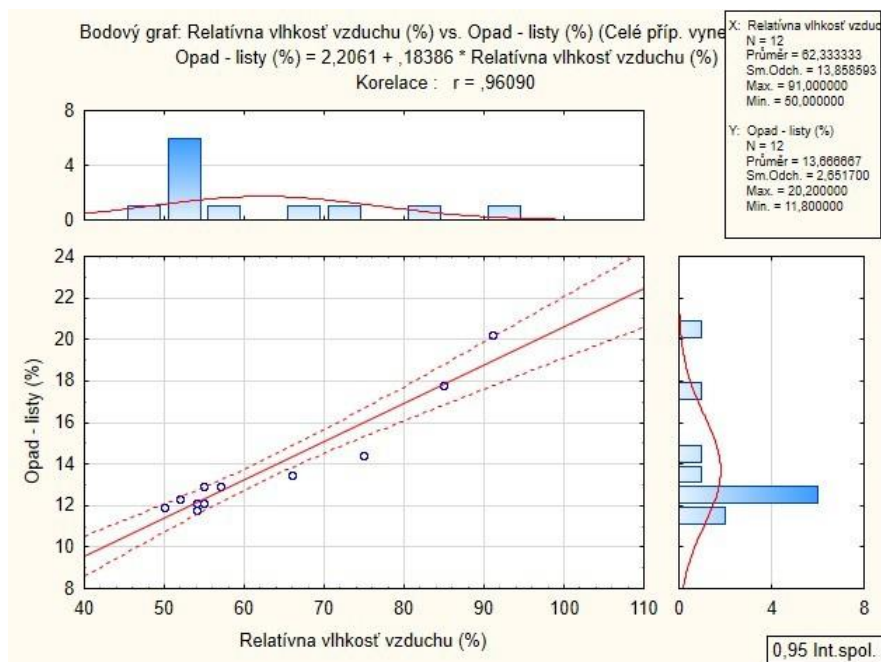
Obrázok 24 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 26. 7. 2019

Ďalej uvádzame výsledky hodnotenia závislosti medzi vlhkosťou jemného paliva a relatívnou vlhkosťou vzduchu. Na tento účel sme využili grafické výstupy regresnej a korelačnej analýzy, kde uvádzame závislosti vlhkosti jednotlivých jemných palív od relatívnej vlhkosti vzduchu pre každý deň merania vlhkosti paliva v teréne.

Na obrázku 25 a 26 môžeme vidieť závislosť vlhkosti opadu – listov od relatívnej vlhkosti vzduchu. V prvých dňoch merania za absencie zrážok výsledky korelačnej analýzy poukázali strednú až silnú závislosť posudzovaných premenných, kde hodnoty korelačných koeficientov (r) sú 0,92 a 0,96. Koeficient determinácie (r^2) 0,85 a 0,92 ukazuje, že na 85 % a 92 % z celkového rozptylu hodnôt vlhkosti opadu tvoreného listami je vysvetlený vplyvom a kolísaním relatívnej vlhkosti vzduchu. Z toho usudzujeme, že na kolísanie vlhkosti opadu budú mať na 15 % a 8 % vplyv iné faktory, najmä teplota vzduchu, rýchlosť vetra a ďalšie faktory súvisiace najmä s počasím.



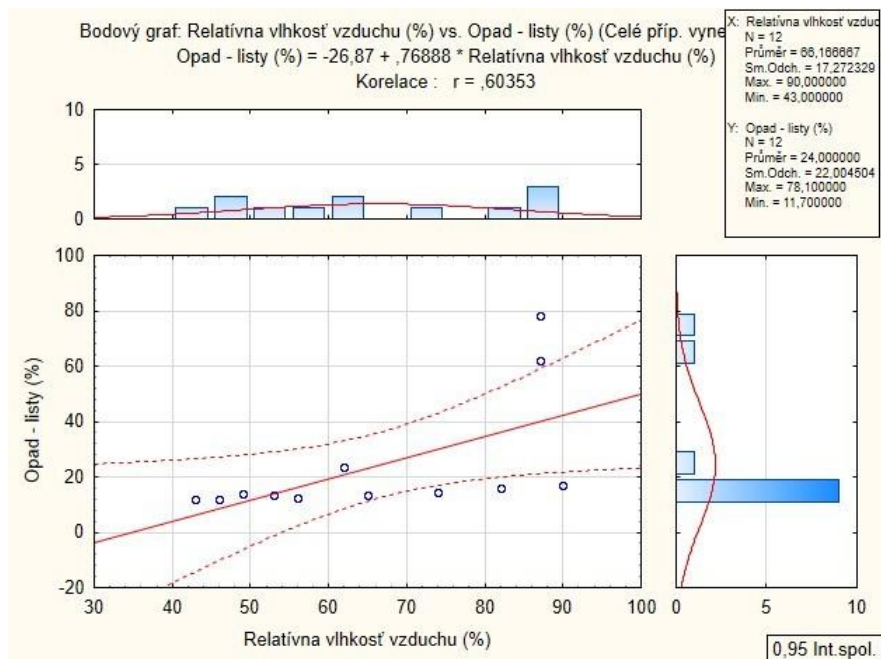
Obrázok 25 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 23. 7. 2019



Obrázok 26 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 24. 7. 2019

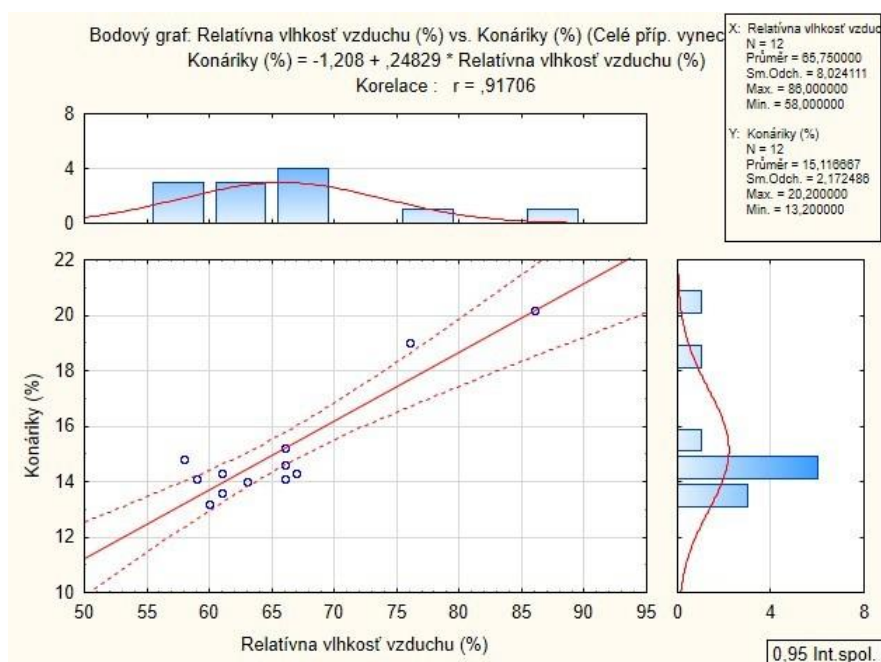
Pre tretí deň merania (obrázok 27) výsledky korelačnej analýzy poukázali na slabú až strednú závislosť medzi posudzovanými premennými, kde hodnota korelačného koeficientu predstavuje 0,60. Hodnota koeficientu determinácie 0,36 ukazuje, že iba 36 % z celkového rozptylu hodnôt vlhkosti opadu je vysvetlený vplyvom a kolísaním relatívnej vlhkosti vzduchu. Tento jav môžeme vysvetliť tým, že v priebehu merania sa vyskytli zrážky, ktorých celkový

nárast predstavoval 0,52 mm. V tomto prípade je zreteľne vidieť, že na vlhkosť paliva sa 64 % podieľali zrážky, ktoré vlhkosť paliva ovplyvnili samotným zmáčaním a taktiež spôsobili zvýšenie relatívnej vlhkosti vzduchu, ktoré sme uviedli vyššie, vid' obrázok 25.

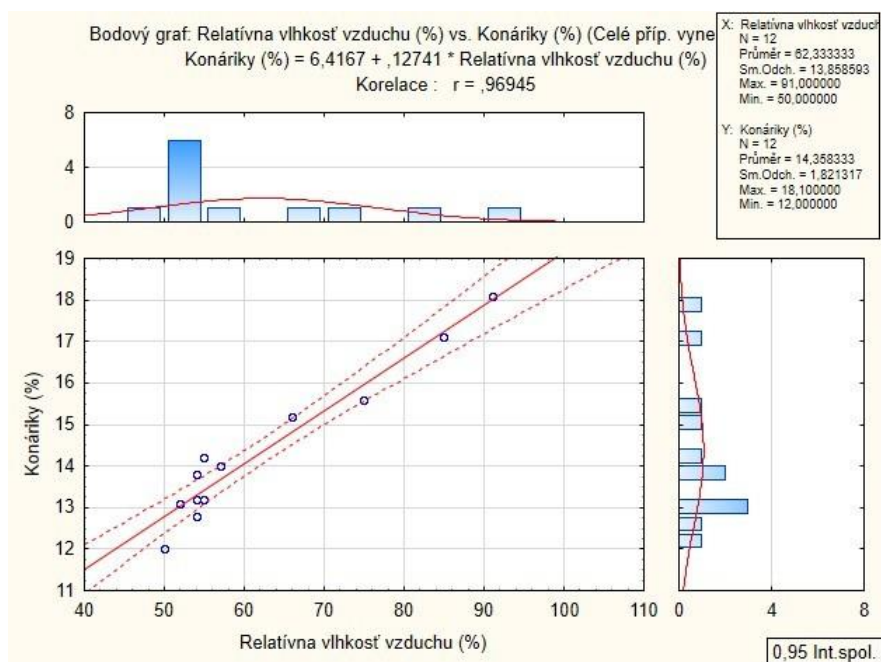


Obrázok 27 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 26. 7. 2019

Na obrázku 28 a 29 uvádzame závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu. Hodnoty korelačného koeficientu ($r = 0,92$ a $r = 0,97$) poukázali v prvých dňoch merania za absencie zrážok strednú až silnú závislosť posudzovaných premenných. To je porovnateľné s hodnotami korelačných koeficientov získaných z analýzy závislosti vlhkosti opadu, tak ako bolo popísané vyššie. Koeficient determinácie poukazuje, že na 85 % a 94 % z celkového rozptylu hodnôt vlhkosti konárikov je vysvetlený vplyvom a kolísaním relatívnej vlhkosti vzduchu.

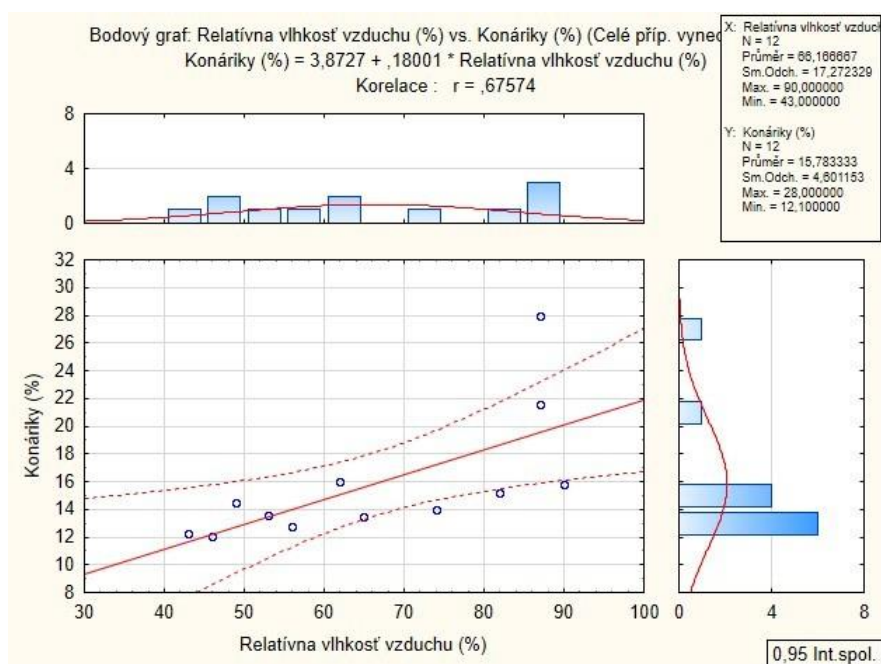


Obrázok 28 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 23. 7. 2019



Obrázok 29 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 24. 7. 2019

V tretí deň merania (obrázok 30) výsledky korelačnej analýzy poukázali na slabú až strednú závislosť medzi posudzovanými premennými, kde hodnota korelačného koeficientu sa znížila na 0,68. Tento pokles môžeme opäť vysvetliť tým, že v priebehu merania sa vyskytli zrážky, ktoré mali signifikantný vplyv na vlhkosť paliva.



Obrázok 30 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu
 dňa 26. 7. 2019

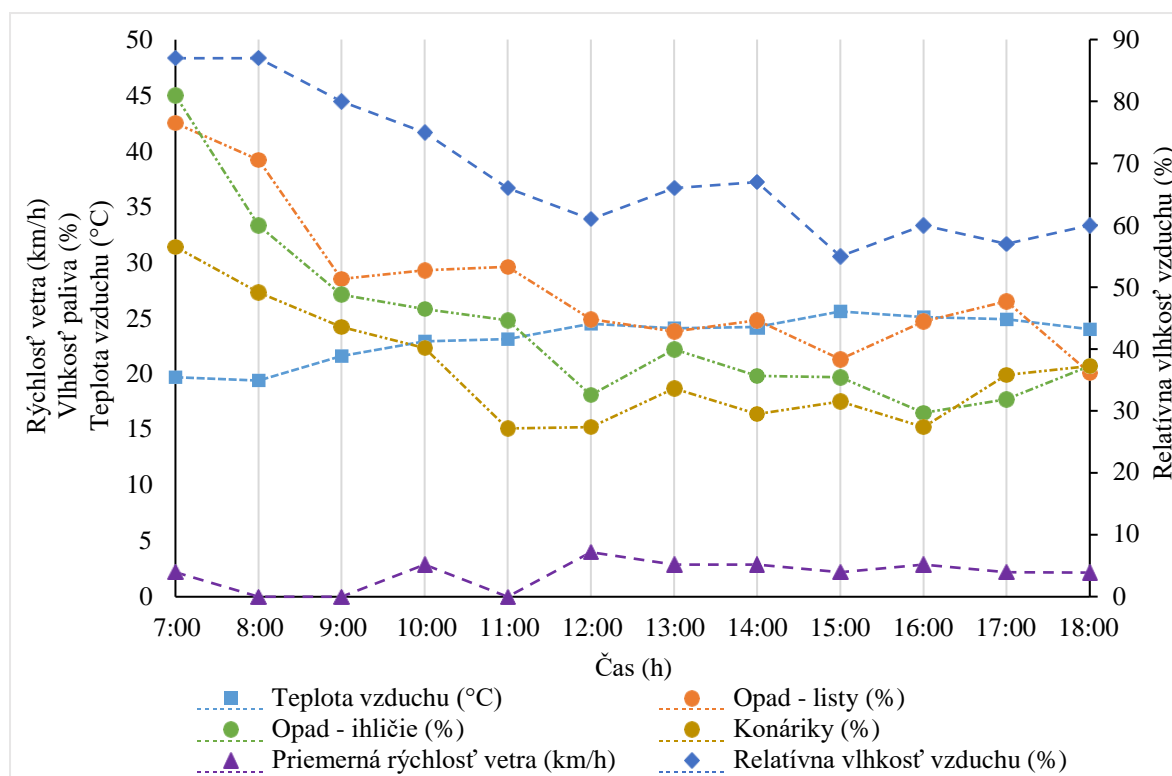
Popri meraní sily (tesnosti) závislosti medzi vlhkosťou paliva a relatívnou vlhkosťou vzduchu sme vo všetkých prípadoch opísaných vyššie použili jednoduchú lineárnu regresiu. Taktiež v jednotlivých grafoch je uvedená regresná rovnica obsahujúca koeficienty a to absolútny koeficient (alebo aj koeficient polohy) a regresný koeficient, ktorého hodnota vyjadruje, o koľko % sa zmení vlhkosť opadu, ak sa relatívna vlhkosť vzduchu zmení o jednu jednotku, v našom prípade o 1 %. Regresná analýza má najmä praktický význam, kde pri určitej relatívnej vlhkosti vzduchu, ľahko získanej z údajov meteorologických staníc vieme odhadnúť vlhkosť jemného paliva, ktorého hodnota je kľúčová najmä pri dlhých obdobiach sucha a má kľúčový význam pre určenie stupňa možného nebezpečenstva vzniku lesného požiaru.

Presnosť regresných koeficientov a samotného regresného modelu je potrebné v týchto prípadoch interpretovať s určitou dávkou opatrnosti z niekoľkých dôvodov. Prvé odôvodnenie spočíva v krátkosti zberu informácií o vlhkosti jemného paliva pri aktuálnych meteorologických podmienkach. Nasledujúca chybovosť spočíva, že údaje boli odoberané z jedného porastu, územia a nemôžu sa interpretovať pre celé územie Slovenska s obdobným typom paliva. Taktiež na vlhkosť jemného paliva má vplyv ako už samotné meteorologické podmienky, ďalej sú to topografické podmienky najmä sklon svahu, terén (tvar povrchu) a v neposlednom rade expozícia, teda orientácia svahu vo vzťahu k slnečnému žiareniu. To je dôležité najmä vo vzťahu zahrievania slnečnými lúčmi a rýchlejšieho vysychania paliva.

Výsledky vlhkosti jemného paliva a meteorologických podmienok v poraste 366b

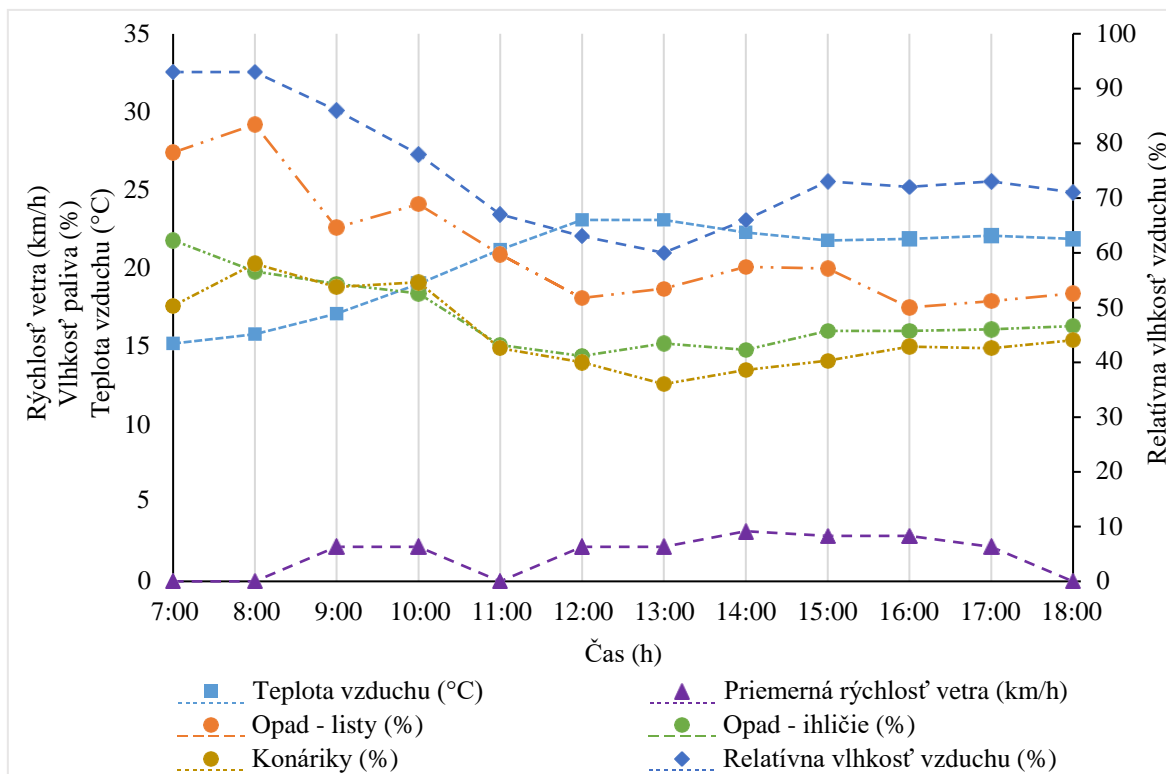
Meranie vlhkosti odumretého jemného paliva prebiehalo v dňoch od 1. 8. 2019 do 3. 8. 2019 v hodinových intervaloch od 7:00 h rána do 18:00 h večera. Na obrázkoch 31 až 33 je znázornený denný priebeh obsahu vlhkosti v jemných palivách a tiež vývoj počasia vyjadrený ako priemerná rýchlosť vetra ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$), teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a relatívna vlhkosť vzduchu (%). V jednotlivých dňoch počas zisťovania vlhkosti jemného paliva sa zrážky nevyskytli, avšak v predchádzajúcich dňoch sa vyskytli intenzívnejšie zrážky, ktoré mali za následok prvý deň merania vyššie hodnoty vlhkosti palív, oproti ostatným dňom. Opäť teplota a relatívna vlhkosť vzduchu vykazujú typické trendy v priebehu dňa, kde najnižšia relatívna vlhkosť vzduchu bola dosiahnutá v rozmedzí 12:00 h až 16:00 h.

Pre porovnanie vlhkosti jednotlivých palív (opad – listy/ihličie, konáriky) najvyššia priemerná vlhkosť počas celodenného merania (obrázok 34) sa dosiahla pri opade tvorenom listami (27,93 %), nasleduje opad tvorený ihličím, ktorých priemerný obsah vlhkosti dosiahol 24,23 %. Vlhkosť konárikov dosiahla hodnotu 20,33 %. Z porovnania je zrejmé, že jemné palivo tvorené opadom reaguje na zrážky citlivejšie oproti drevitému palivu reprezentovanému konárikmi.

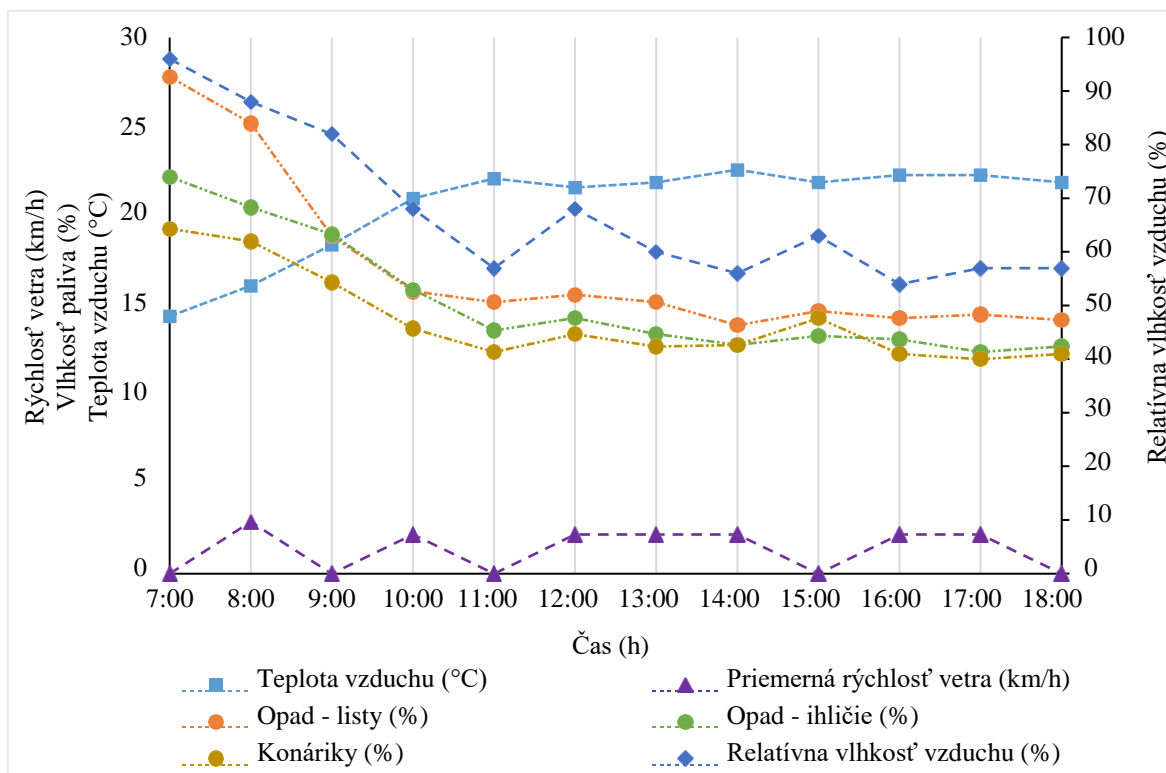


Obrázok 31 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 1. 8. 2019

V druhý deň merania (obrázok 35) bola priemerná vlhkosť paliva nižšia (opad – listy 21,20 %, opad – ihličie 16,9 %, konáriky 15,9 %), čo sa dá vysvetliť tým, že prevládalo suché slnečné počasie.



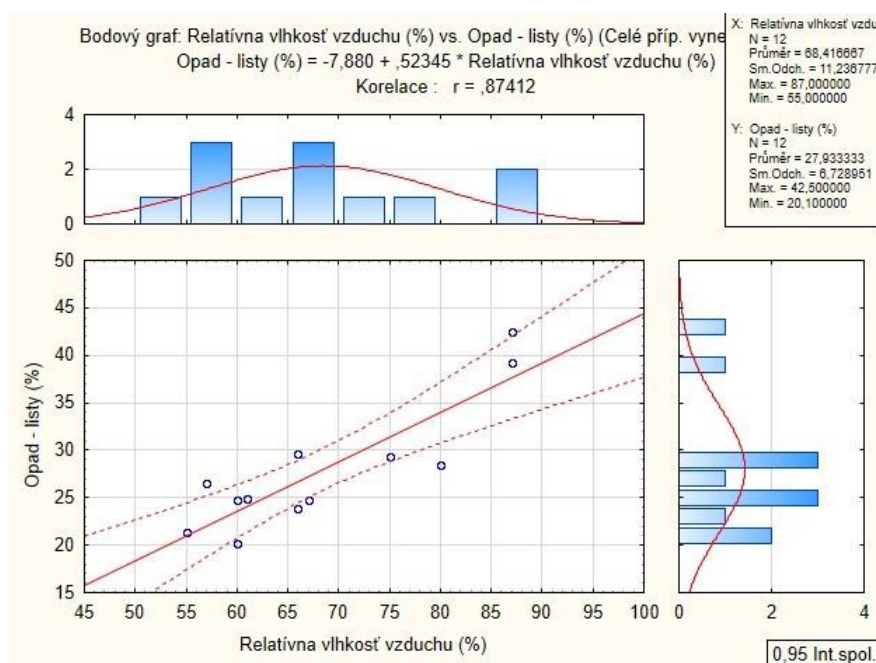
Obrázok 32 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 2. 8. 2019



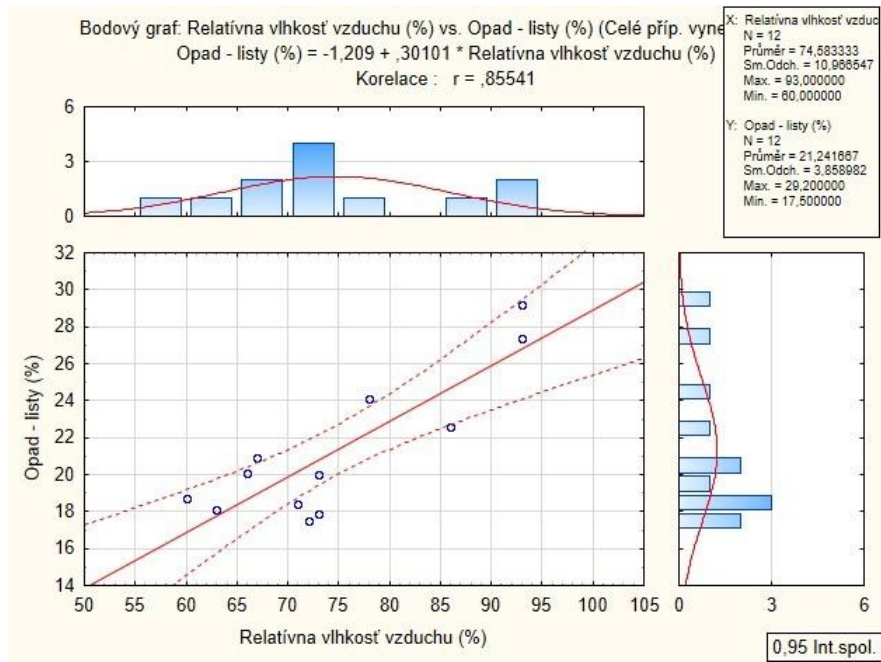
Obrázok 33 Časový priebeh vlhkosti jemného paliva a vývoja počasia dňa 3. 8. 2019

V posledný deň merania (obrázok 33) sa preukázal opätovný úbytok vlhkosti palív (opad – listy 17,1 %, opad – ihličie 15,3 %, konáriky 14,2 %), čo opäť bolo spôsobené pretrvávajúcim slnečným počasím bez zrážok. Najväčší pokles obsahu vlhkosti oproti prvému dňu merania sa dosiahol u opade tvorený listím (10,83%), nasleduje opad tvorený ihličím (8,93 %) a najmenej stratilo vlhkosť hrubšie palivo – konáriky (6,13 %). To potvrdzuje skutočnosť, že jemné palivo je náchylnejšie na zmenu obsahu vlhkosti oproti hrubším palivám. Ako už bolo spomenuté vyššie, proces adsorpcie a desorpcie vody v jemných palivách je určený ako chemickými a fyzikálnymi charakteristikami paliva, na tento priebeh majú vplyv i meteorologické podmienky ako teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu a rýchlosť vetra.

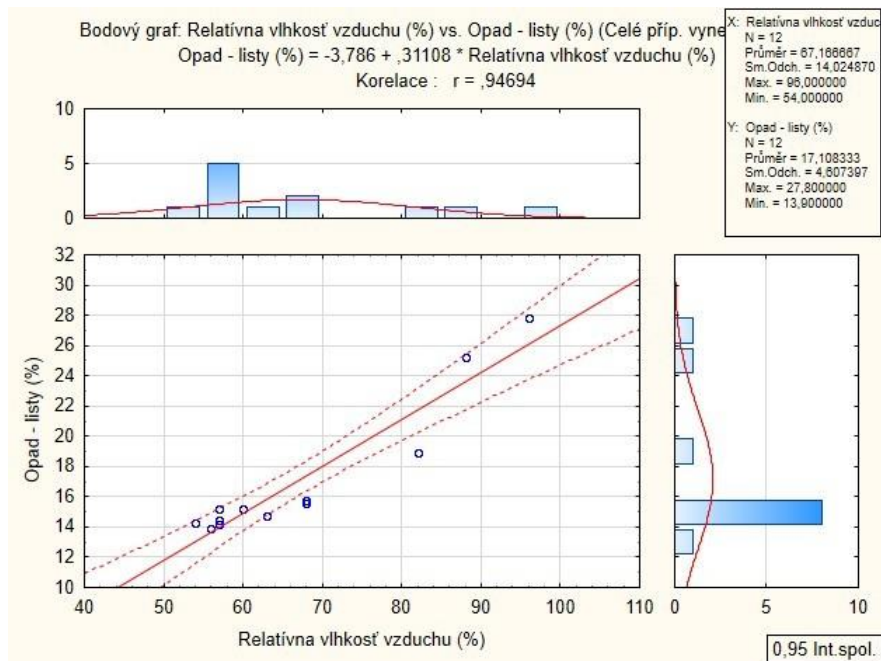
Na obrázku 34, 35 a 36 zobrazujeme grafické výstupy regresnej a korelačnej analýzy hodnotenia závislosti medzi vlhkosťou opadu – listov od relatívnej vlhkosti vzduchu. Vo všetkých troch prípadoch sme použili jednoduchú lineárnu regresiu, kde regresná funkcia je vyjadrená regresnou rovnicou, ktorá je uvedená v jednotlivých grafoch. Výsledky korelačnej analýzy poukázali vo všetkých troch prípadoch na strednú až silnú závislosť posudzovaných premenných, kde hodnoty korelačných koeficientov (r) sú 0,87, 0,86 a 0,95. Koeficienty determinácie (r^2) 0,76, 0,74 a 0,90 poukazujú, že v intervale hodnôt vlhkosti od 74 % po 90 % je celkový rozptyl hodnôt vlhkosti opadu tvoreného listami ovplyvnený kolísaním hodnôt relatívnej vlhkosti vzduchu.



Obrázok 34 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 1. 8. 2019



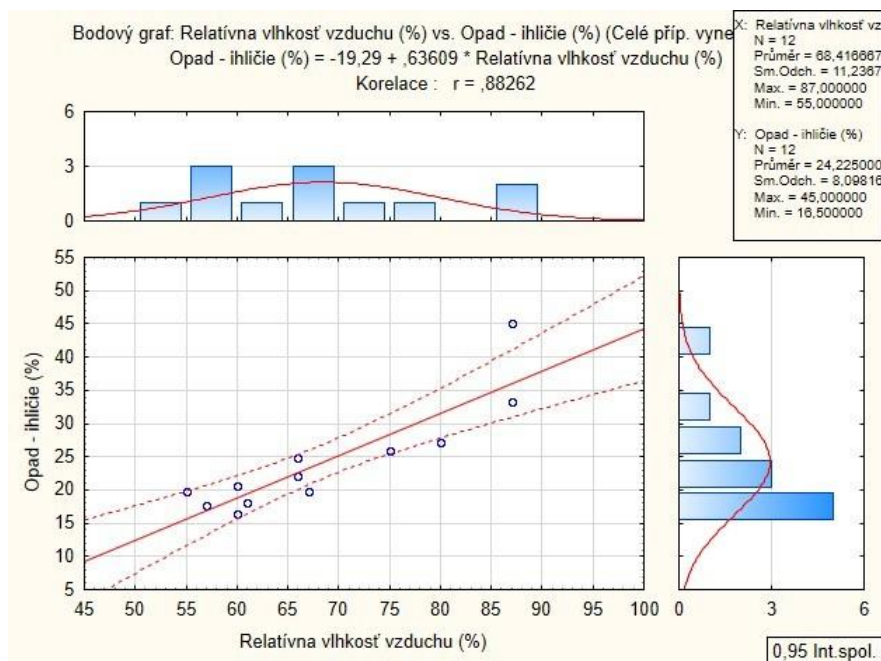
Obrázok 35 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 2. 8. 2019



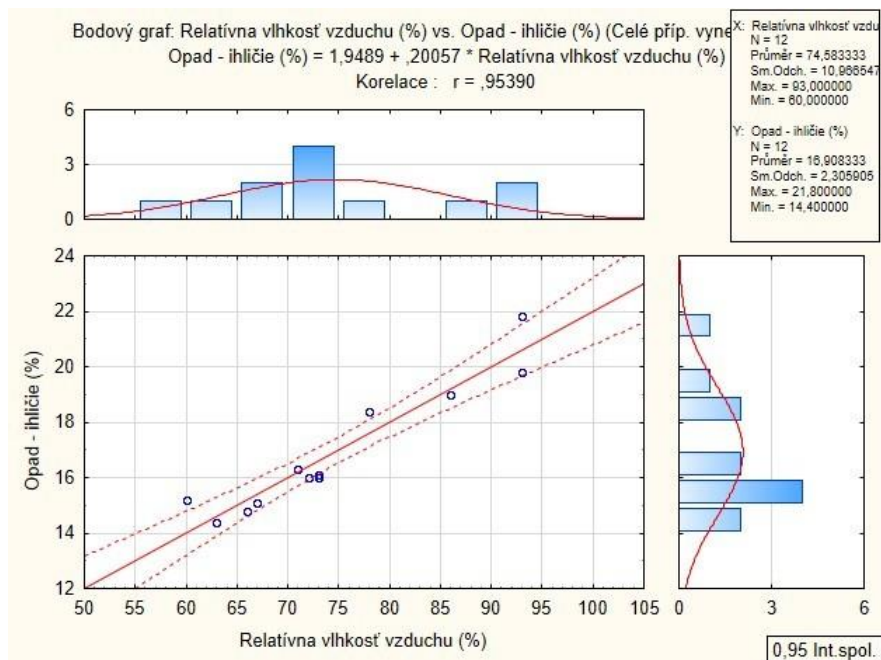
Obrázok 36 Závislosť vlhkosti opadu - listov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 3. 8. 2019

Okrem toho, na kolísanie vlhkosti opadu tvoreného listami mali vplyv najmä faktory, ako sú teplota vzduchu, rýchlosť vetra, slnečné počasie a najmä fakt, že meranie prebiehalo v dňoch s absenciou zrážok.

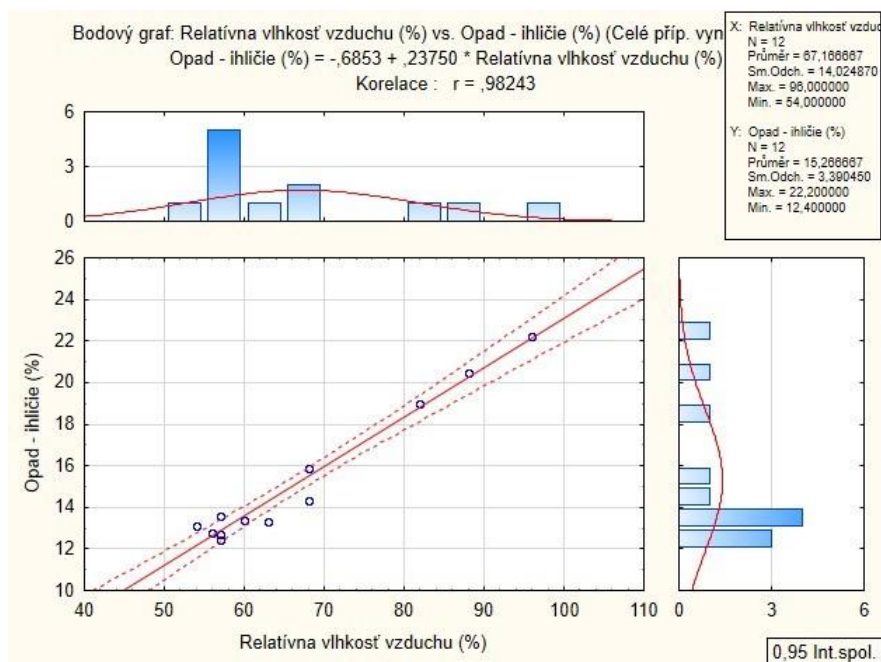
Grafické výstupy regresnej a korelačnej analýzy hodnotenia závislosti medzi hodnotami vlhkosti opadu tvoreným z ihličia a v teréne nameranými hodnotami relatívnej vlhkosti vzduchu sú zobrazené na obrázkoch 37, 38 a 39.



Obrázok 37 Závislosť vlhkosti opadu - ihličia od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 1. 8. 2019



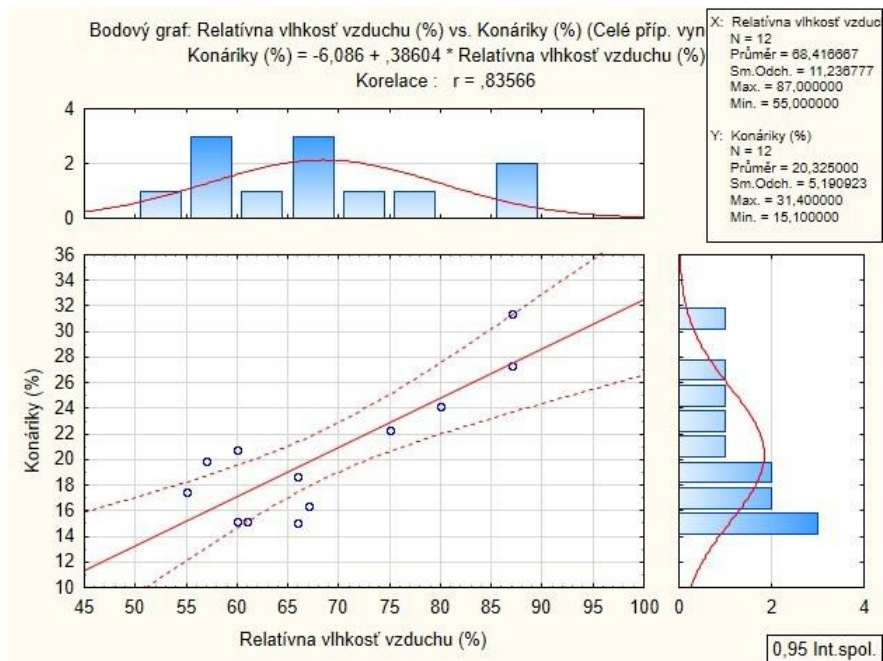
Obrázok 38 Závislosť vlhkosti opadu - ihličia od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 2. 8. 2019



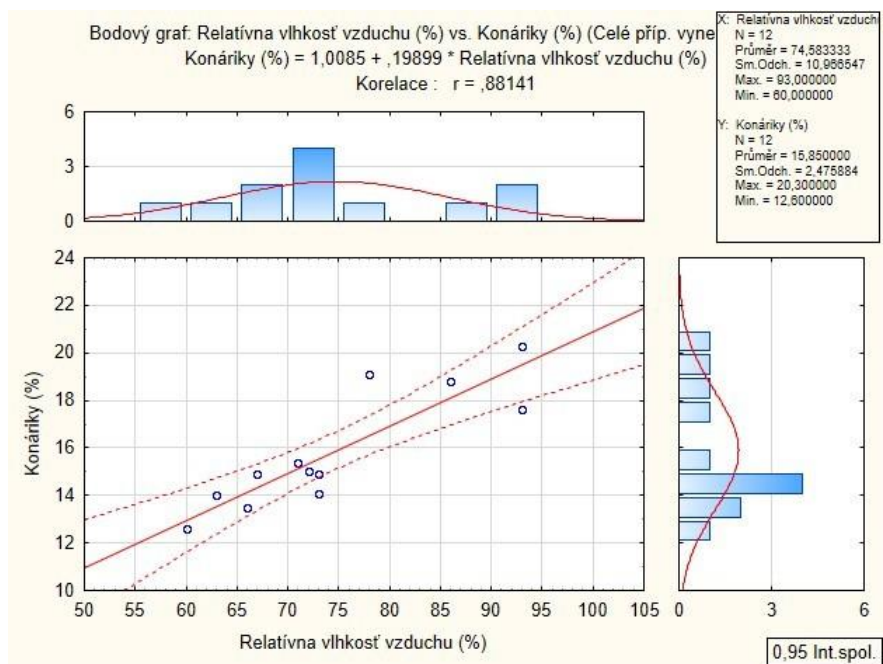
Obrázok 39 Závislosť vlhkosti opadu - ihličia od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 3. 8. 2019

Hodnoty korelačných koeficientov 0,88; 0,95 a 0,98 opätovne poukázali na strednú až silnú závislosť posudzovaných premenných. Koeficienty determinácie 0,77; 0,90 a 0,96 poukazujú, že od 77 % po 96 % je celkový rozptyl hodnôt vlhkosti opadu tvoreného ihličím vysvetlený vplyvom a kolísaním hodnôt relatívnej vlhkosti vzduchu, pričom možno konštatovať, že v tomto prípade v porovnaní s vyššie popísanou závislosťou pri opade tvorenom lístím došlo k miernemu nárastu tesnosti závislosti.

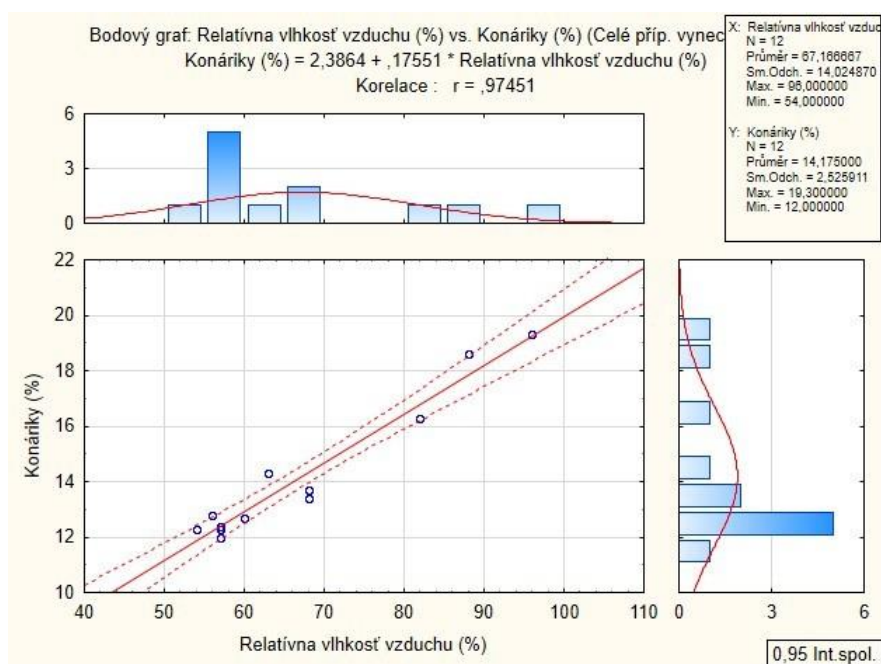
Obdobne, na obrázku 40, 41 a 42 uvádzame grafické výstupy regresnej a korelačnej analýzy zameranej na hodnotenie závislosti medzi hodnotami vlhkosti konárikov a nameranými hodnotami relatívnej vlhkosti vzduchu. Hodnoty korelačnej koeficientov 0,84; 0,88 a 0,97 poukázali na strednú až silnú tesnosť korelácie medzi posudzovanými premennými.



Obrázok 40 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 1. 8. 2019



Obrázok 41 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu dňa 2. 8. 2019



Obrázok 42 Závislosť vlhkosti konárikov od relatívnej vlhkosti vzduchu
 dňa 3. 8. 2019

Obsah vody prítomnej v jemných palivách je jedným z kľúčových ukazovateľov pre posudzovanie nebezpečenstva vzniku lesných požiarov [117]. Boer et al. [118] vo svojej štúdií poukazujú, že systémy hodnotenia nebezpečenstva požiaru v lesných porastoch, by mali byť založené na spoľahlivom predpovedaní obsahu vlhkosti paliva tzv. limitnej alebo kritickej hodnote vlhkosti paliva. K tejto hodnote dospeli na základe výskumu, ktorý vykonali v strednom Portugalsku v júni 2017, kde katastrofické lesné požiare vypukli krátko potom, keď palivá v regióne sa vysušili na tzv. limitnú hodnotu vlhkosti, t. j. kritickú vlhkosť.

V súčasnosti existuje niekoľko spôsobov predpovedania obsahu vlhkosti v jemnom palive. Jedným zo spôsobov je rovnovážny obsah vlhkosti, ktorého hodnota závisí od relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu, ktorému je palivo vystavené [117, 119]. Ďalším spôsobom je metóda regresnej analýzy s meteorologickými prvkami (teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu) na základe opakovaných meraní obsahu vlhkosti v palive [120, 121]. Taktiež tu možno zaradiť odhad vlhkosti pomocou diaľkového snímania [121] a modelovania procesov [122].

Medzi novšie modely, ktoré sa vzťahujú na rôzne triedy veľkosti paliva patrí model opísaný v Nelsone [123], ktorý okrem údajov o teplote a vlhkosti vzduchu vyžaduje údaje o slnečnom žiarení, množstve zrážok a obsah vlhkosti v palive sa odvodzuje skôr z iteračnej schémy než z priameho vyhodnotenia konkrétnej funkcie. Medzi v súčasnosti využívaný nástroj patrí aj index požiarneho nebezpečenstva Fosberg, ktorý hodnotí nebezpečenstvo požiaru na základe

teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra, úhrnu zrážok a úpravou indexu aj dosiahnutie zahrnúť vplyv sucha [124].

Zhu et al. [125] na základe experimentov dosiahli modifikovaný model úpravou Catchpoleovej metódy na predikciu obsahu vlhkosti v jemnom palive, kde na úpravu teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu v blízkosti povrchu paliva použili rôzne hodnoty zápoja korún stromov, nakoľko porasty s rôznym stupňom zápoja korún stromov prepúšťajú rôznu intenzitu slnečného žiarenia. Tým dochádza k výraznému ovplyvňovaniu obsahu vody v palive. Je preto potrebné, aby modely predpovedania obsahu vody v palive (vlhkosti) posudzovali aj tento faktor.

5.6.3 Výsledky zisťovania kvalitatívnych parametrov paliva z porastu 366b

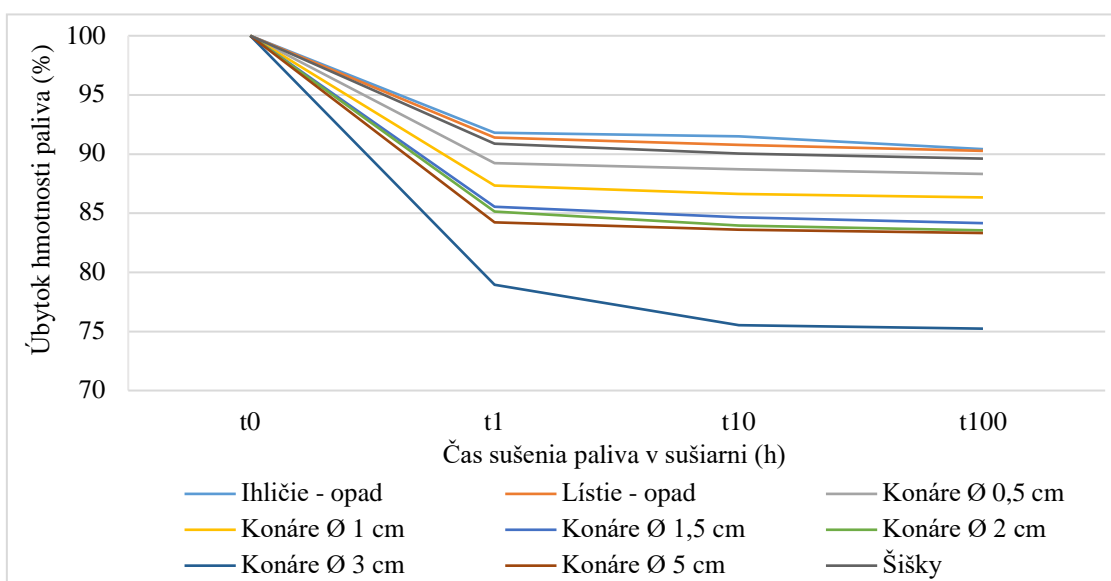
V tabuľke 7 uvádzame relatívnu a absolútnu vlhkosť jednotlivých palivových typov, ktoré boli vypočítané ako úbytok na hmotnosti jednotlivých vzoriek paliva počas sušenia v sušiarňi po dobu 100 h, a to v intervale po 1 h, 10 h a 100 h. Taktiež uvádzame absolútne a relatívne hodnoty hmotnosti paliva, ktoré boli zisťované v priebehu sušenia paliva v definovaných časových intervaloch.

Tabuľka 7 Odvozené vlhkosti pre jednotlivé palivové typy

Palivo	Ihličie (opad)					Lístie (opad)			
	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Čas sušenia (h)									
Hmotnosť vzorky (g)	10,01	9,19	9,16	9,05		9,87	9,02	8,96	8,91
Zostatok hmotnosti (%)	100,00	91,81	91,51	90,4 ₁		100,00	91,39	90,78	90,27
Relatívna vlhkosť (%)	9,59	8,19	8,49	9,59		9,73	8,61	9,22	9,73
Absolútna vlhkosť (%)	10,61	8,92	9,28	10,6 ₁		10,77	9,42	10,16	10,77
Palivo	Konáre Ø 0,5 cm					Konáre Ø 1 cm			
	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Čas sušenia (h)									
Hmotnosť vzorky (g)	10,02	8,94	8,89	8,85		10,02	8,75	8,68	8,65
Zostatok hmotnosti (%)	100,00	89,22	88,72	88,3 ₂		100,00	87,33	86,63	86,33
Relatívna vlhkosť (%)	11,68	10,78	11,28	11,6 ₈		13,67	12,67	13,37	13,67
Absolútna vlhkosť (%)	13,22	12,08	12,71	13,2 ₂		15,84	14,51	15,44	15,84

Palivo	Konáre Ø 1,5 cm					Konáre Ø 2 cm			
	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Čas sušenia (h)	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Hmotnosť vzorky (g)	10,04	8,59	8,50	8,45		10,09	8,59	8,47	8,43
Zostatok hmotnosti (%)	100,00	85,56	84,66	84,16		100,00	85,13	83,94	83,55
Relatívna vlhkosť (%)	15,84	14,44	15,34	15,84		16,45	14,87	16,06	16,45
Absolútna vlhkosť (%)	18,12	16,88	18,12	18,12		19,69	17,46	19,13	19,69
Palivo	Konáre Ø 3 cm					Konáre Ø 5 cm			
	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Čas sušenia (h)	t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀		t ₀	t ₁	t ₁₀	t ₁₀₀
Hmotnosť vzorky (g)	9,93	7,84	7,50	7,47		10,13	8,53	8,47	8,44
Zostatok hmotnosti (%)	100,00	78,95	75,53	75,23		100,00	84,21	83,61	83,32
Relatívna vlhkosť (%)	24,77	21,04	24,47	24,77		16,68	15,79	16,39	16,68
Absolútna vlhkosť (%)	32,93	26,66	32,4	32,93		20,02	18,76	19,60	20,02
Palivo					Šišky				
Čas sušenia (h)	t ₀				t ₁	t ₁₀			t ₁₀₀
Hmotnosť vzorky (g)	9,43				8,57	8,49			8,45
Zostatok hmotnosti (%)	100,00				90,88	90,03			89,61
Relatívna vlhkosť (%)	10,39				9,12	9,97			10,39
Absolútna vlhkosť (%)	11,60				10,04	11,07			11,60

Z hodnôt uvedených v tabuľke 7 je jasne vidieť, že najväčší úbytok na hmotnosti nastal po prvej hodine sušenia (t₁). V ďalších hodinách úbytok na hmotnosti klesal v závislosti od typu paliva. Najväčší úbytok na hmotnosti sa zaznamenal u konárikov s priemerom 3 cm, ktorého hmotnosť klesla po 100 h sušenia o 24,77 %. Tento trend môžeme pozorovať aj na obrázku 43.



Obrázok 43 Priebeh úbytku hmotnosti paliva počas sušenia

V tabuľke 8 uvádzame výsledky hodnôt spaľovacieho tepla, výhrevnosti a hmotnosti popola, ktoré boli stanovené pre jednotlivé palivové typy v zmysle normy STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti. Hodnoty výhrevnosti pre jednotlivé typy palív sú prepočítané na relatívnu vlhkosť, ktoré obsahovalo palivo v teréne.

Tabuľka 8 Hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti pre jednotlivé palivové typy

Palivový typ	Hmotnosť navážky (g)	Spaľovacie teplo ($J \cdot g^{-1}$)	Výhrevnosť ($J \cdot g^{-1}$)	Hmotnosť popola (g)
Lístie + ihličie (opad)	0,81	21 459,00	18 331,00	0,09
Ihličie	0,70	21 860,00	18 425,00	0,12
Kôra (Bo)	0,87	20 672,00	17 143,00	0,06
Konáre (Bo) Ø 0,5 cm	1,03	20 342,00	16 792,00	0,05
Konáre (Bo) Ø 5 cm	1,21	21 053,00	16 128,00	0,02
Šišky	0,86	19 086,00	15 757,00	0,10

Z tabuľky 8 sú zrejme vyššie hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti oproti palivám z porastu 365a (dubový porast). U ihličia sme zaznamenali nárast hodnoty výhrevnosti o 24,88 % oproti lístiu z porastu 365a a u konárikov s priemerom 0,5 cm, kde ide o nárast výhrevnosti o 5,56 %. Tieto rozdiely sú spôsobené najmä rozdielnym

chemickým zložením. K vyššej hodnote výhrevnosti v prípade borovice lesnej prispievajú aj prítomné živicové kanáliky, ktoré sa nachádzajú v kôre, v lyku, v dreve a ktoré obsahuje horľavú živicu a taktiež prchavé organické zlúčeniny ako terpény, ktoré svojimi vlastnosťami prispievajú k vyššej horľavosti týchto typov paliva.

Na základe výsledkov realizovaného terénneho zisťovania sme došli k záveru, že celé experimentálne územie bolo možné na základe výskytu jednotlivých typov paliva a ich fyzických parametrov považovať za homogénne, preto sme ho klasifikovali ako jeden palivový model – PM 23, ktorý je charakteristický výskytom tráv a bylín do 30 cm. V tabuľke 18 uvádzame parametre, ktoré boli odvodené pre palivový model počas laboratórneho zisťovania, a ktoré predstavujú jeden zo základných vstupov do modelovania a simulácie správania sa požiaru v prostredí FARSITE.

Tabuľka 9 Odvodené parametre lesného paliva vstupujúce do modelovania

Charakteristika	PM 23
m_1 (t·ha ⁻¹)	0,18
m_2 (t·ha ⁻¹)	4,37
m_3 (t·ha ⁻¹)	5,53
m_4 (t·ha ⁻¹)	1,98
m_5 (t·ha ⁻¹)	1,98
σ_1 (cm ⁻¹)	61,94
σ_4 (cm ⁻¹)	49,20
σ_5 (cm ⁻¹)	49,20
δ (cm)	26,00
M_x (%)	Dubový porast – 11 Borovicový porast – 20
Výhrevnosť (kJ·kg ⁻¹)	Dubový porast – 14 931,40 Borovicový porast – 17 096,00

*Vysvetlivky k tabuľke 18: m_1 – odumretý materiál veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm, m_2 – odumretý materiál veľkosti \varnothing 0,635 – 2,54 cm, m_3 – odumretý materiál veľkosti \varnothing 2,54 – 7,62 cm, m_4 – živá bylinná synúzia veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm, m_5 – živé stromy a kry veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm, σ_1 – pomer plochy k objemu odumretého materiálu veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm, σ_4 – pomer plochy k objemu živej bylinnej synúzie veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm, σ_5 – pomer plochy k objemu živých stromov a krov s priemerom 0 – 0,635 cm, δ – priemerná výška vegetácie palivového modelu, M_x – vlhkosť vyhasnutia.

5.6.4 Výsledky simulácie správania sa lesného požiaru

Modelované boli štyri modelové scenáre pre dva lesné porasty: porast 365a a porast 366b.

Výsledky simulácie správania sa požiaru v poraste 365a

Z hľadiska výsledkov modelovania uvádzame výsledky simulácie správania sa požiaru pre oba porasty. Vytvorené boli 4 modelové scenáre požiaru.

Údaje o charaktere prostredia, údaje o vlhkosti pre palivový typ, parametre palivového modelu, údaje o priebehu počasia a poveternostnej situácie boli odvodené priebežne počas vyhodnocovania výsledkov v jednotlivých častiach práce.

Obrázok 44 zobrazuje trend vývoja plochy požiariska v poraste 365a pri modelovaní správania sa požiaru počas 24 h, v trvaní od 7:00 do 7:00 h rána nasledujúceho dňa pre jednotlivé modelové scenáre. Pri výpočte plochy a obvodu požiariska uvádzame hodnoty prepočítané na horizontálnu vzdialenosť a vertikálnu vzdialenosť, ktoré berie pri výpočte do úvahy členitosť terénu.

Najmenšia výsledná plocha požiariska sa dosiahla pri modelovaní s aktuálnymi meteorologickými podmienkami (scenár 1), získanými prostredníctvom prenosnej meteorologickej stanice inštalovanej v poraste. Rozvoj požiaru prebiehal na základe dosiahnutej plochy požiariska značne pomaly, kde v čase o 19:00 h plocha požiariska dosiahla hodnotu 0,21 ha (horizontálna členitosť územia) a 0,21 ha (vertikálna členitosť). V nasledujúcich hodinách až po ukončenie simulácie o 7:00 h sa plocha požiariska nezmenila. Obvod požiariska (obrázok 45) dosiahol 0,19 km (horizontálna členitosť) a 0,19 km (vertikálna členitosť).

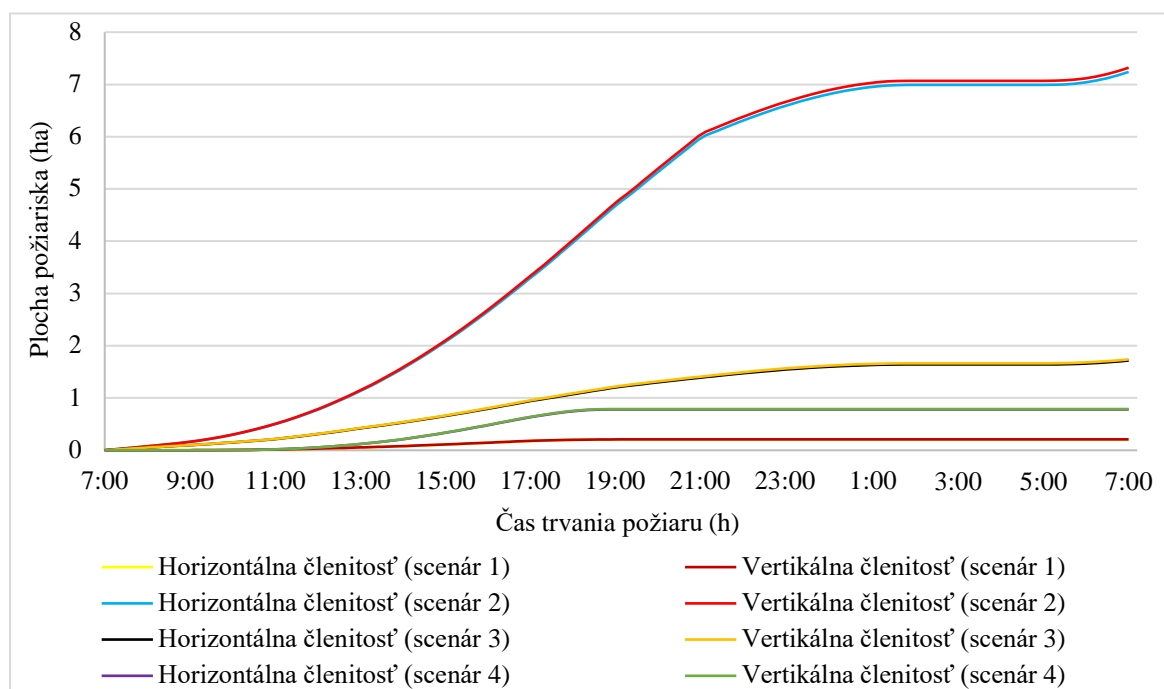
Najväčšia výsledná plocha požiariska sa dosiahla pri druhom scenári modelovania. Pri tomto scenári sme uvažovali s modelovými podmienkami, kde sme zvýšili teplotu vzduchu, znížili relatívnu vlhkosť vzduchu a nastavili priemernú hodnotu rýchlosti vetra vyskytujúcu sa na experimentálnom území. Rozvoj požiaru prebiehal na základe dosiahnutej plochy požiariska značne dynamickejšie, kde v čase o 19:00 h plocha požiariska dosiahla hodnotu 4,70 ha (horizontálna členitosť) a 4,75 ha (vertikálna členitosť). V nasledujúcich hodinách prebiehal rozvoj požiaru pomalšie, až došlo k zastaveniu šírenia požiaru o 2:00 h ráno a rozvoj požiaru pokračoval od 5:00 h až po ukončenie simulácie, kde výsledná plocha dosiahla hodnotu 7,24 ha (horizontálna členitosť) a 7,32 ha (vertikálna členitosť). Obvod požiariska (obrázok 70) dosiahol dĺžku 0,97 km (horizontálne i vertikálne).

Pri treťom scenári sme uvažovali s modelovými podmienkami pri teplote vzduchu a vlhkosti vzduchu a ponechali sme aktuálnu rýchlosť vetra nameranú v teréne. Výsledná plocha

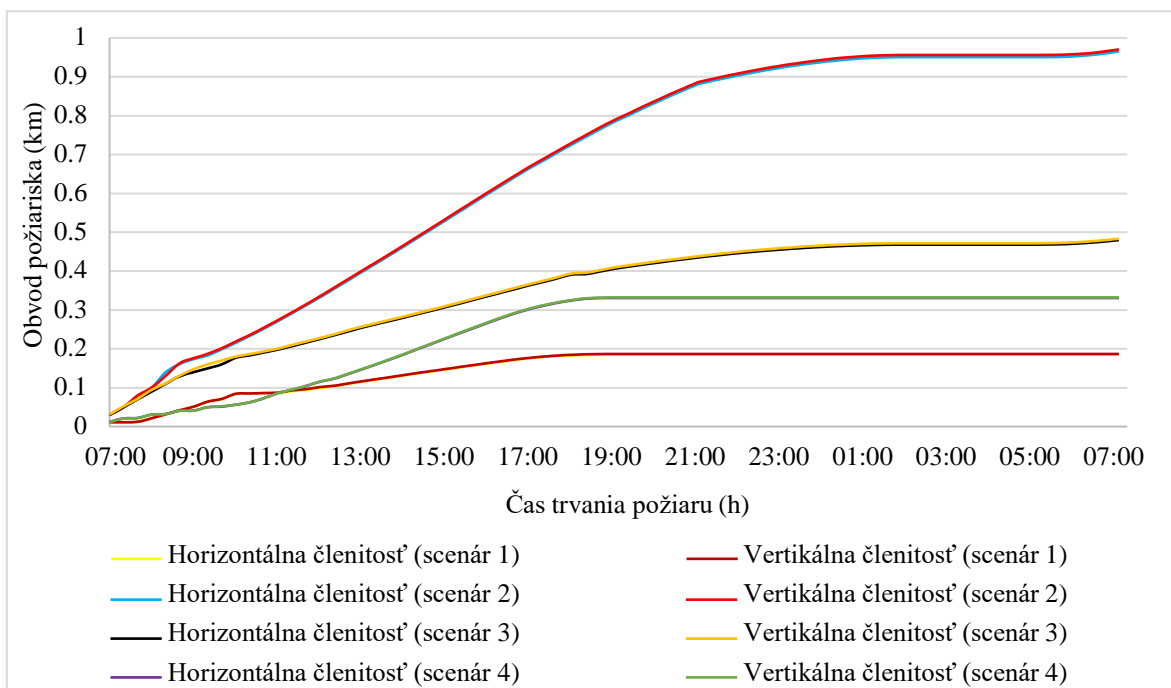
požiariska oproti scenáru 1 sa zväčšila 8-násobne (1,72 ha a 1,74 ha). Obvod požiariska dosiahol 0,48 km (horizontálne i vertikálne). Pri tomto scenári môžeme pozorovať, že zvýšenie teploty vzduchu a zníženie relatívnej vlhkosti vzduchu malo za následok taktiež nižšiu vlhkosť paliva, čo sa odrazilo na 8-násobnom zväčšení plochy požiariska oproti aktuálnym podmienkam nameraných v danom čase.

Pri štvrtom scenári sme uvažovali s aktuálnymi hodnotami teploty a vlhkosti vzduchu a zvýšili sme hodnotu rýchlosti vetra. Výsledná plocha požiariska dosiahla hodnotu 0,78 ha (horizontálne) a 0,79 ha (vertikálne). Hodnota obvodu požiariska bola 0,33 km (horizontálne i vertikálne).

Na základe porovnania scenárov 1 a 4 možno pozorovať, že pri zvýšení rýchlosti prúdenia vetra sa plocha zväčšila takmer 4-násobne, kde pri scenári 1 a 3 pri zvýšení teploty došlo k nárastu plochy 8-násobne. Z tohto porovnania možno usúdiť, že teplota a vlhkosť vzduchu majú väčší vplyv na vlhkosť paliva a následne aj na výslednú plochu požiariska, než vyššia rýchlosť prúdenia vetra.

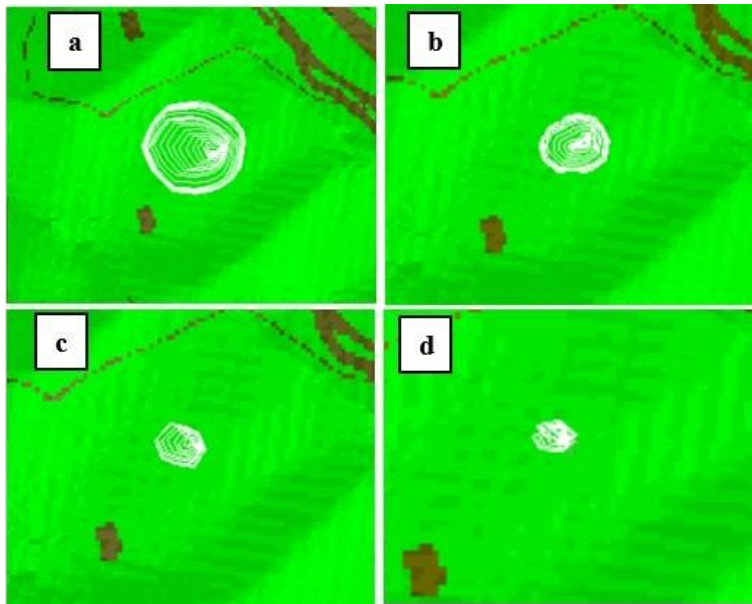


Obrázok 44 Vývoj plochy požiariska v závislosti od vstupných podmienok modelovania správania sa požiaru – porast 365a



Obrázok 45 Vývoj obvodu požiariska v závislosti od vstupných podmienok modelovania správania sa požiaru – porast 365a

Na obrázku 46 uvádzame výsledky modelovania voľného rozvoja požiaru bez akéhokoľvek zásahu alebo činnosti vedúce k jeho lokalizácii a následnej likvidácii.



Obrázok 46 Výsledok modelovania rozvoja požiaru v prostredí FARSITE – porast 365a (a – scenár 2, b – scenár 3, c – scenár 4, d – scenár 1)

Výsledky simulácie správania sa potenciálneho požiaru v poraste 366b

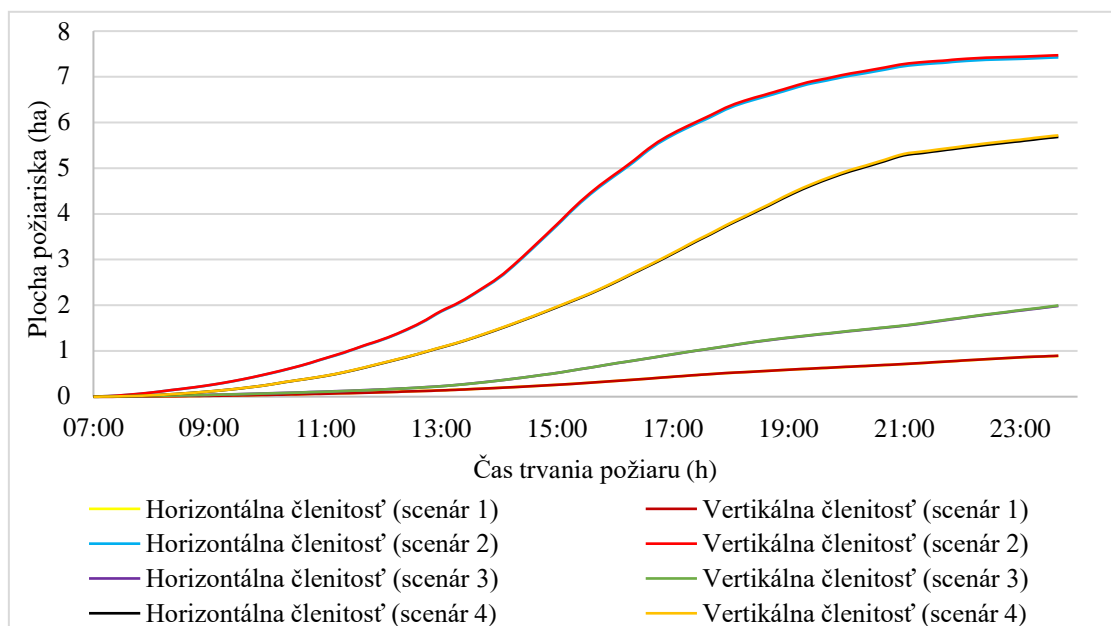
Na obrázku 47 je zobrazený trend vývoja plochy požiariska v poraste 366b pri modelovaní správania sa potenciálneho požiaru v trvaní od 7:00 h do 23:59 h pre jednotlivé modelové scenáre. Pri výpočte plochy a obvodu požiariska uvádzame hodnoty prepočítané na vertikálnu i horizontálnu členitosť georeliéfu. Avšak ako môžeme vidieť, jednotlivé krivky sa pretínajú, čo možno odôvodniť tým, že modelové územie nie je výškovo a tvarovo diferencované natoľko, aby sa výsledné hodnoty významne líšili.

Najmenšia výsledná plocha požiariska sa dosiahla pri modelovaní s aktuálnymi meteorologickými podmienkami (scenár 1), získanými z prenosnej meteorologickej stanice inštalovanej v poraste. Rozvoj požiaru prebiehal pozvoľne po celú dobu horenia, kedy v čase o 19:00 h plocha požiariska dosiahla hodnotu 0,59 ha z hľadiska výpočtu horizontálnej i vertikálnej dĺžky. Obvod požiariska (obrázok 48) dosiahol hodnotu 0,37 km (horizontálna) a 0,38 km (vertikálna – po teréne).

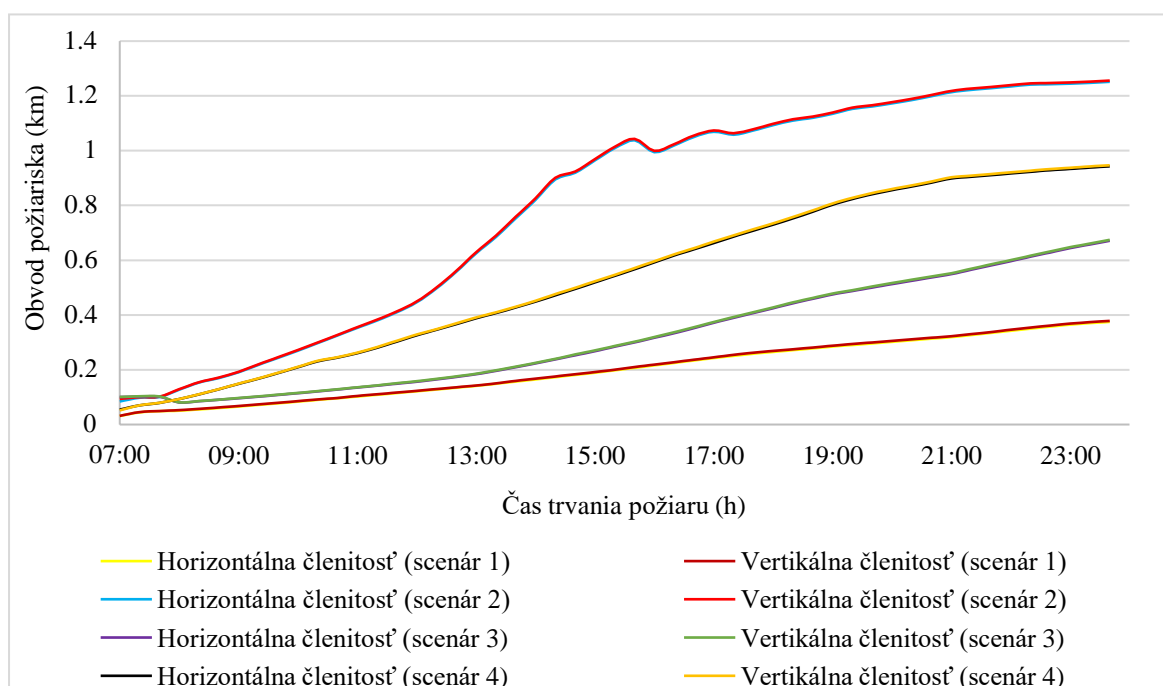
Najväčšia plocha požiariska bola dosiahnutá pri druhom scenári modelovania pri použití modelových podmienok. Modelové podmienky boli zhodné s podmienkami využitými pri modelovaní v poraste 365a. Aj v tomto prípade rozvoj požiaru prebiehal oveľa dynamickejšie, kde v čase o 19:00 h plocha požiariska dosiahla hodnotu 6,71 ha (horizontálna členitosť) a 6,76 ha (vertikálna členitosť). Plocha požiariska je v tomto prípade o 30 % väčšia než pri modelovaní v poraste 365a. Tento výsledok korešponduje s priebehom horenia pri laboratórnych experimentoch, kde opad z borovicového porastu bol značne ľahšie zapáliteľný a aj rýchlosť rozvoja a následného šírenia požiaru bola vyššia. Výsledná plocha pri ukončení simulácie bola 7,43 ha (horizontálna) a 7,47 ha (vertikálna – po teréne). Obvod požiariska (obrázok 48) dosiahol dĺžku 1,25 km (horizontálna) a 1,26 km (vertikálna – po teréne).

Pri treťom scenári sme uvažovali s modelovými podmienkami pri teplote vzduchu a vlhkosti vzduchu a ponechali sme aktuálnu rýchlosť vetra nameranú v teréne. Plocha požiariska v čase o 19:00 h sa oproti scenáru 1 zväčšila 2-násobne (1,29 ha a 1,30 ha). Obvod požiariska dosiahol 0,47 km (horizontálna) a 0,48 km (vertikálna – po teréne). Pri tomto scenári môžeme pozorovať (obdobne ako pri poraste 365a), že zvýšenie teploty vzduchu a zníženie relatívnej vlhkosti vzduchu malo pozitívny vplyv na obsah vlhkosti v palive, čo sa odrazilo na zväčšení plochy požiariska.

Pri štvrtom scenári sme uvažovali s aktuálnymi hodnotami teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu a zvýšili sme hodnotu rýchlosti vetra. Plocha požiariska v čase o 19:00 h dosiahla hodnotu 4,40 ha (horizontálne) a 4,42 ha (vertikálne). Hodnota obvodu požiariska v čase o 19:00 h bola 0,80 km a 0,81 km (horizontálne a vertikálne).



Obrázok 47 Vývoj plochy požiariska v závislosti od vstupných podmienok modelovania správania sa požiaru – porast 366b

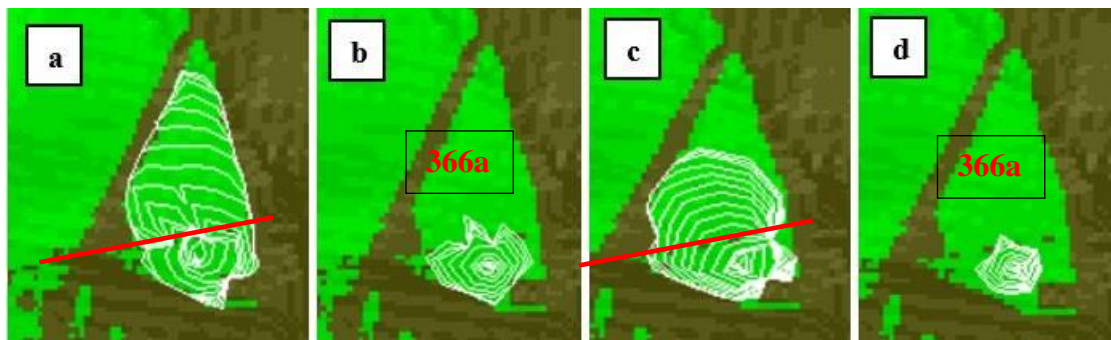


Obrázok 48 Vývoj obvodu požiariska v závislosti od vstupných podmienok modelovania správania sa požiaru – porast 366b

Pri porovnaní scenárov 1 a 4 možno pozorovať, že pri zvýšení rýchlosti prúdenia vetra sa plocha zväčšila 7,5-násobne, kde pri scenári 1 a 3 pri zvýšení teploty vzduchu došlo k nárastu plochy 2-násobne. Pri tomto zhodnotení sa ukazuje rozdiel aj v porovnaní s porastom 365a, kde zvýšenie teploty vzduchu a zníženie relatívnej vlhkosti vzduchu malo väčší vplyv na rozvoj

požiaru než rýchlosť prúdenia vzduchu. Tieto vzájomné rozdiely nemožno pripisovať len hodnotám teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, rýchlosti prúdenia vetra, ale vstupujú tu ďalšie faktory ako topografické podmienky, sklon svahu a v poslednom rade expozícia t. j. orientácia svahu vo vzťahu k slnečnému žiareniu, ktorá v týchto prípadoch bola rozdielna.

Na obrázku 49 uvádzame výsledky modelovania voľného rozvoja požiaru bez akéhokoľvek zásahu alebo činnosti vedúcej k jeho lokalizácii a následnej likvidácii.



Obrázok 49 Výsledok modelovania rozvoja požiaru v prostredí FARSITE - porast 366b (a – scenár 2, b – scenár 3, c – scenár 4, d – scenár 1)

Červenou líniou je ohraničený koniec porastu 366b a začiatok porastu 366a. Výsledok modelovania a vykreslené línie postupu požiaru ukazujú, že požiar vo všetkých scenároch modelovania presiahol do susedného porastu. Najviac zasiahnutý susedný porast bol pri modelovaní scenárov 2 a 4, kde v oboch prípadoch na šírenie požiaru malo vplyv zvýšenie rýchlosti prúdenia vetra.

6 MOŽNOSTI APLIKÁCIE VÝSLEDKOV REALIZOVANÉHO BEZPEČNOSTNÉHO VÝSKUMU V BEZPEČNOSTNEJ PRAXI

Otázka výskytu a významu lesných požiarov v podmienkach Slovenskej republiky, ale aj celej Strednej Európy naberá na význame. Za hlavnú príčinu tohto trendu mnoho odborníkov považuje dopady v súčasnosti prebehajúcej zmeny klimatických podmienok. Tieto prebiehajú vo všetkých priestorových mierkach, počnúc lokálnou až po globálnu úroveň.

Dopady klimatickej zmeny sa v súčasnosti v priestore Strednej Európy prejavujú najmä zvýšenými priemernými ročnými teplotami vzduchu, častejším výskytom extrémnych prejavov počasia. Medzi tieto extrémny patria najmä obdobia s nadpriemernými úhrnmi zrážok, ktoré sa striedajú s obdobiami sucha, typickými nízkymi hodnotami relatívnej vlhkosti vzduchu, ktorá sa následne odráža aj v suchu pôdnom a vegetačnom.

Z pohľadu výskytu požiarov sa za kritické považujú najmä obdobia sucha. Tieto sa vyskytujú najmä počas jarného a letného obdobia. Pôdne a vegetačné sucho má priamy vplyv na nebezpečenstvo vzniku požiaru. Z tohto pohľadu je kritický stav, keď vlhkosť vegetácie klesne na tzv. kritickú hodnotu, kedy je najmä „jemné“ lesné palivo schopné iniciácie akýmkoľvek druhom iniciátora. Z tohto pohľadu hrá kľúčovú úlohu aj informácia o teplote vzplanutia, resp. vznietenia tohto druhu paliva.

Pre následný rozvoj a šírenie požiaru sú dôležité najmä požiarnotechnické parametre paliva. V tomto smere boli doteraz na národnej úrovni realizované výhradne skúšky zamerané na zisťovanie požiarnotechnických parametrov vzoriek dreva. Pritom, kľúčovým typom paliva pre iniciáciu povrchového lesného požiaru, ktorý je v podmienkach Slovenskej republiky dominantným typom lesného požiaru sú kľúčové práve fyzikálne a požiarnotechnické parametre „jemného“ paliva akým je aj lesný opad.

Vedecká monografia prezentuje výsledky testovania fyzikálnych a požiarnotechnických parametrov dubového a borovicového opadu, pričom nejde o výhradne vzorky zložené len z listov či ihlíc spomínaných drevín. Vzorky boli pripravené na testovanie spôsobom, aby bola zabezpečené zastúpenie aj iných typov a druhov lesného paliva s cieľom čo najlepšie reprezentovať reálne podmienky týkajúce sa priestorovej distribúcie a štruktúry paliva v porastoch, v ktorých prebiehalo terénne zisťovanie.

Výsledky realizovaného terénneho a laboratórneho zisťovania predstavujú cenný materiál ako pre oblasť bezpečnostného výskumu, tak aj samotnej bezpečnostnej praxe.

Z hľadiska bezpečnostného výskumu je významným práve iniciácia výskumu zameraného na zisťovanie fyzikálnych, chemických a požiarotechnických vlastností lesného paliva, a to konkrétne „jemného“ paliva, ktoré doteraz skúmané v podmienkach Strednej Európy nebolo. Významným je i fakt, že do budúcnosti práve tento výskum naštartoval aj iniciatívu v oblasti skúmania fyzikálnych, chemických a požiarotechnických vlastností „jemného“ paliva nachádzajúceho sa v otvorenej krajine, t.j. lúk, pasienkov, trávnatých porastov, ale poľnohospodárskych kultúr.

Tieto informácie sú kľúčové aj pre ďalší rozvoj a zvyšovanie úrovne konkurencieschopnosti slovenskej bezpečnostnej praxe. Výsledky tu predstaveného výskumu predstavujú len časť širšie koncipovanej výskumnej činnosti Technickej univerzity vo Zvolene. Jej výsledky sú vstupom pre tvorbu automatizovaného systému pre vyhodnocovanie nebezpečenstva vzniku požiaru v lesnom prostredí na lokálnej a regionálnej úrovni. Pričom priestorovou jednotkou bude lesný porast, resp. jednotka priestorového rozdelenia lesa. Existencia tejto služby vhodne doplní existujúci služby poskytované automatizovaným stacionárnym detekčným systémom. Ten doteraz poskytuje len služby monitorovania lesa detekcie požiaru na báze detekcie dymu. Existencia automatizovaného systému pre vyhodnocovanie nebezpečenstva vzniku lesného požiaru umožní na dennej báze a s prognózou na 3 dni vopred identifikovať jednotlivé porasty s vysokým a veľmi vysokým stupňom nebezpečenstva vzniku požiaru stanoveného na báze kombinácie aktuálnych meteorologických údajov, údajov o indexe pôdneho sucha a vlhkosti jemného paliva. Do týchto porastov bude sústredený požiarový monitoring.

Získané údaje sú zároveň významnými vstupnými faktormi do modelovania správania sa požiarov v prírodnom prostredí. Modelovanie správania sa požiarov v reálnom čase jej jednou z aktuálnych požiadaviek bezpečnostnej praxe. K dispozícii sú v súčasnosti len softvérové prostredia umožňujúce takéto modelovanie, geografické vrstvy reprezentujúce najmä topografické charakteristiky terénu, avšak absolútne absentujú údaje o kvantitatívnych a kvalitatívnych (fyzikálne, chemické a požiarotechnické) vlastnostiach lesného paliva. Tieto je možné pre jednotlivé oblasti Slovenska poskytovať len postupne, po realizácii dôkladného terénneho a laboratórneho zisťovania.

Po vytvorení komplexnej (geo) databázy údajov o palive v lesnom, resp. prírodnom prostredí Slovenska je možné počítačom podporované modelovanie správania sa lesných požiarov využiť aj ako jeden z iniatívnych prístupov v oblasti zisťovania príčin vzniku požiarov.

7 ZÁVER

Prebiehajúca klimatická zmena v Európe, ale i vo svete prináša so sebou viacero negatívnych javov, medzi ktoré môžeme zaradiť neustále sa zvyšujúce počty lesných požiarov a najmä ich deštruktívnosť na lesné ekosystémy a na ľudské obydliá. Svojím rozsahom a nebezpečenstvom predstavujú lesné požiare v podmienkach Európy ohrozenie najmä v oblastiach Španielska, Portugalska, Grécka, ale aj v iných oblastiach sveta ako sú Austrália a Severná Amerika. Územie Slovenskej republiky patrí svojimi prírodnými hodnotami k najbohatším krajinám Európy, kde vysokú rozmanitosť všetkých foriem života (biodiverzitu) podmieňuje naša geografická poloha, zložitá geologická stavba, veľká rôznorodosť geomorfologických, pôdnych, hydrologických a klimatických pomerov. Z tohto dôvodu je adaptácia na stále sa meniace vonkajšie podmienky, najmä meteorologické podmienky, dôležitou súčasťou prípravy na ich dopady, ktoré sa vyskytujú aj vo forme ničivých lesných požiarov. Poznanie a pochopenie týchto meniacich sa javov, je kľúčovou podmienkou k pochopeniu vzniku a následnému správaniu sa lesných požiarov.

Zámerom realizovanej štúdie bolo skúmanie vybaaných parametrov prostredia a parametrov lesného paliva ovplyvňujúcich vznik a šírenie lesného požiaru a ich následné aplikovanie do počítačom podporovaného modelovania správania sa požiaru. Pre dosiahnutie tohto cieľa bol realizovaný terénny prieskum, účelom ktorého bolo mapovanie a stanovenia kvantitatívnych parametrov lesného paliva na experimentálnom území, ktorým bolo územie Vysokoškolského lesníckeho podniku. Jeho súčasťou bolo monitorovanie vybraných meteorologických a poveternostných parametrov a tiež meranie zmeny obsahu vlhkosti živého a odumretého paliva v priebehu dňa. Následne vo fáze laboratórneho zisťovania boli prostredníctvom výskumnej infraštruktúry, ktorou disponujú vybrané laboratória Technickej univerzity vo Zvolene stanovené základné fyzikálne a požiarotechnické vlastnosti skúmaných typov lesného paliva, odobratých na tento účel v porastoch počas terénneho zisťovania. Na účely posúdenia vplyvu zmeny meteorologických podmienok, poveternostnej situácie, topografických podmienok, fyzikálnych (najmä vlhkosť paliva) a požiarotechnických parametrov lesného paliva bolo vykonané modelovanie správania sa požiaru v počítačovom programe FARSITE. Výsledky modelovania poukázali na vzájomnú interakciu faktorov, ktoré majú vplyv na správanie sa požiaru. Zaradíme sem celý rad faktorov, od teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, rýchlosti prúdenia vetra, úhrnu zrážok, topografických podmienok, sklonom svahu, expozíciou svahu. Tieto všetky faktory majú vplyv na výsledné rozsah požiarom zničenej lesa.

8 SUMMARY

The ongoing climate change in Europe, but also in the world, brings with it a number of negative phenomena, among which we can include the ever-increasing number of forest fires and, in particular, the destruction of forest ecosystems and human settlements. Due to their extent and danger, forest fires in European conditions pose a threat especially in the areas of Spain, Portugal, Greece, but also in other parts of the world such as Australia and North America. Due to the natural values, the territory of the Slovak Republic is one of the richest countries in Europe, where the high diversity of all forms of life (biodiversity) is conditioned by its geographical location, complex geological structure, great diversity of geomorphological, soil, hydrological and climatic conditions. For this reason, adaptation to ever-changing external conditions, especially meteorological conditions, is an important part of preparing for climate change consequences, which also occur in the form of devastating forest fires. Knowledge and understanding of these changing environment conditions is a key condition for understanding the origin and subsequent behavior of forest fires.

The aim of the study was to investigate the selected environmental parameters and forest fuel parameters having impact on the origin and spread of forest fires as well as their subsequent application to computer-aided modeling of fire behavior. To achieve this goal, a field survey was carried out, the purpose of which was to map and specify the quantitative parameters of forest fuel in the experimental area, which was the area of the University Forestry Enterprise of the Technical University in Zvolen. It included monitoring of selected weather and wind parameters as well as measuring changes in the moisture content of living and dead fuel during the day. Subsequently, in the phase of the laboratory survey, the basic physics and fire properties of the investigated types of forest fuel, collected for this purpose in the forest stands during the field survey, were determined using the research infrastructure available in the laboratories of the Technical University in Zvolen. In order to assess the impact of changes in weather and wind situation, topography, physical (especially fuel moisture content) and fire properties of forest fuel, modelling of fire behavior was performed in the computer program FARSITE. The results of the modelling pointed to the interaction of factors that have direct impact on the behavior of forest fire. We include a number of factors, starting with air temperature, relative air humidity, wind speed, total precipitation, topography, terrain slope, terrain aspect. All these factors affect the resulting extent of the fire-destroyed forest area.

9 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

CO ₂	Oxid uhličitý
DG ECHO	Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations
DG GROW	Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs
DG REGIO	Directorate-General for Regional and Urban Policy
DMR-3	Digitálny model terénu 3. generácie
EFFIS	European Forest Fire Information System
EOSDIS	Earth Observing System Data and Information System
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EÚ	Európska únia
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FARSITE	Fire Area Simulator
GIS	Geografický informačný systém
Gt	gigatona
ha	hektár – plošná metrická jednotka
HDP	Hrubý domáci produkt
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JPRL	Jednotka priestorového rozdelenia lesa
LHP	Lesný hospodársky plán
m n. m.	metre nad morom
m_1	Odumretý materiál veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm
m_2	Odumretý materiál veľkosti \varnothing 0,635 – 2,54 cm
m_3	Odumretý materiál veľkosti \varnothing 2,54 – 7,62 cm
m_4	Živá bylinná synúzia veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm
m_5	Živé stromy a kry veľkosti \varnothing 0 – 0,635 cm
m_i	Hmotnosť biomasy palivového typu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
M_x	Vlhkosť vyhasnutia
M_{xii}	Priestorové rozloženie biomasy
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PM	Palivový model
PTEÚ	Požiarotechnický a expertízny ústav
Q	Celkové množstvo tepla prijaté látkou (W)
Q_c	Teplo získané kondukciou (W)

Q_k	Teplo získané konvekciou (W)
Q_r	Sálavé teplo od plameňa (W)
Q_s	Straty vedenia tepla konvekciou, kondukciou a radiáciou do okolia (W)
Q_t	Teplo z reakčnej zóny (W)
r	Korelačný koeficient
r^2	Koeficient determinácie
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SLT	Skupina lesných typov
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
VŠLP TU	Vysokoškolský lesnícky podnik Technickej univerzity vo Zvolene
WFDS	Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator
δ_i	Maximálna výška biomasy palivového typu (m)
λ	Tepelná vodivosť
σ_1	Pomer plochy k objemu odumretého materiálu veľkosti \emptyset 0 – 0,635 cm
σ_4	Pomer plochy k objemu živej bylinnej synúzie veľkosti \emptyset 0 – 0,635 cm
σ_5	Pomer plochy k objemu živých stromov a krov s priemerom 0 – 0,635 cm
w	Absolútna vlhkosť paliva (%)
w_m	Hmotnosť vlhkého paliva (g)
w_s	Hmotnosť suchého paliva (g)
δ	Priemerná výška vegetácie palivového modelu

10 TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK

Geografický informačný systém	Funkčný celok vytvorený integráciou technických a programových prostriedkov, údajov, pracovných postupov, obsluhy, užívateľov a organizačného kontextu, zameraný na zber, ukladanie, správu, analýzu, syntézu a prezentáciu priestorových údajov pre potreby opisu, analýzy, modelovania a simulácie okolitého sveta, s cieľom získať nové informácie potrebné na jeho správne využívanie.
Lesný opad	Vrstva lesného paliva na nachádzajúca sa na povrchu zeme, pozstávajúca z neživých organických zvyškov čerstvo spadnutých alebo mierne rozpadnutých častí rastlín (pod určitým priemerom), ako sú listy, kôra, vetvičky, kvety, plody a iné časti vegetácie.
Lesné palivo	Akýkoľvek materiál, ako je tráva, kry, odumreté lístie a konáriky, živé listy, ihličie, ktoré sa môžu zapáliť a spôsobiť nekontrolované šírenie požiaru. Palivo môžeme rozdeliť na živé palivo, odumreté palivo, hrubé palivo, jemné palivo, stojace a ležiace palivo.
Lesný požiar	Mimoriadne škodlivý činiteľ antropogénneho alebo prírodného pôvodu, ktorý poškodzuje všetky zložky lesných biocenóz, ich biotop, rastlinnú a živočíšnu zložku (Stolina et al 1985).
Model	Zjednodušená reprezentácia systému v určitom čiastkovom bode alebo mieste umožňujúca skúmanie a pochopenie skutočného systému.
Model požiaru	Počítačový program, ktorý slúži na predpovedanie a rekonštrukciu správania sa požiaru a rýchlosti jeho šírenia z miesta alebo oblasti vzniku požiaru.
Modelovanie	Proces poznávania istého systému pomocou jeho zobrazenia inými prostriedkami, umožňujúcimi napodobniť niektoré jeho vlastnosti dôležité z hľadiska účelu jeho pochopenia.
Palivový model	Matematická reprezentácia vlastností paliva v rámci určitej lokality (Európsky slovník lesných požiarov 2012).
Vlhkosť vyhasnutia	Obsah vlhkosti v palive stanovený naprieč všetkými palivovými triedami, v ktorých nedochádza k šíreniu požiaru.

11 VECNÝ REGISTER

- BEHAVE Plus, 50
- Čelo požiaru, 26
- EFFIS, 17
- FARSITE, 48
- FlamMap, 49
- Horenie, 21, 27
- Chemické vlastnosti paliva, 41
- Iničiačný zdroj, 34
- Klimatická zmena, 3, 7
- Kompaktnosť paliva, 41
- Korunové požiare, 23
- Krídla požiaru, 26
- lesné požiare, 3, 21, 27
- Lokálne požiariská, 26
- Meteorologické podmienky, 35
- Množstvo paliva, 41
- Obsah vlhkosti paliva, 42
- Ohnisko požiaru, 25
- Oxidačný prostriedok, 34
- Palivo, 40
- Podzemné požiare, 22
- Pozemné požiare, 22
- Požiar dutého stromu, 23
- Prenos tepla kondukciou, 32
- Prenos tepla konvekciou, 31
- Prenos tepla radiáciou, 30
- Topografické podmienky, 38
- Tylo požiaru, 26
- Výbežky požiaru, 26
- Výška paliva, 43

12 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1].HLAVÁČ, P. a kol. 2017. Lesné požiare. In *Správy z výskumu Lesníckej fakulty pre prax*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017. ISBN 978-80-228-2980-9, s. 32-38.
- [2].Climate change sets the world on fire. [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné na internete: <<https://www.dw.com/en/climate-change-sets-the-world-on-fire/a-40152365>>.
- [3].Slovenský hydrometeorologický ústav. 2020. *Lesné požiare v Austrálii a ich súvislosť so zmenou klímy* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné na internete: <<http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=1040>>.
- [4].World Meteorological Organization. 2020. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*. [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné na internete: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211>.
- [5].NASA's Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS): Worldview. [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné na internete: <<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>>.
- [6].World Economic Forum.2018. *The Global Risks Report 2018: 13th Edition*. [online]. Geneva : World Economic Forum, 2018. 80 p. [cit. 2018-01-12]. Dostupné na internete: <http://www3.weforum.org/docs/WEF_GRR18_Report.pdf>. ISBN 978-1-944835-15-6.
- [7].Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky. 2017. *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy – aktualizácia*. [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné na internete: <<https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-nepriaznive-dosledky-zmeny-klimy-aktualizacia.pdf>>.
- [8].HARVEY, B. J. 2016. Human-caused climate change is now a key driver of forest fire activity in the western United States. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016, vol. 113, no. 42, p. 11649-11650.
- [9].WESTERLING, A. L. et al. 2006. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. In *Science*. 2006, vol. 313, no. 5789, p. 940-943.
- [10]. CALDER, W. J. et al. 2015. Medieval warming initiated exceptionally large wildfire outbreaks in the Rocky Mountains. In *Proceedings of the National Academy of Science*. 2015, vol. 112, no. 43, p. 13261-13266.
- [11]. LITTELL, J. S. et al. 2009. Climate and wildfire area burned in western US ecoprovinces, 1916-2003. In *Ecological Applications*. 2009, vol. 19, no. 4, p. 1003-1021.
- [12]. ABATZOGLOU, J. T., WILLIAMS, A. P. 2016. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016, vol. 113, no. 42, p. 11770-11775.
- [13]. ADEDEJI, O., REUBEN, O., OLATOYE, O. 2014. Global Climate Change. In *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2014, vol. 2, p. 114-122.

- [14]. PARENTE, J. et al. 2018. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. In *Science of the Total Environment*. 2018, vol. 631-632, p. 534-549.
- [15]. LIU, Y., STANTURF, J., GOODRICK, S. 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. In *Forest ecology and management*. 2010, vol. 259, no. 4, p. 685-697.
- [16]. ALDERSLEY, A., MURRAY, S. J., CORNELL, S. E. 2011. Global and regional analysis of climate and human drivers of wildfire. In *Science of the Total Environment*. 2011, vol. 409, no. 18, p. 3472-3481.
- [17]. GILLETT, N. P. et al. 2004. Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. In *Geophysical Research Letters*. 2004, vol. 31, no. 18, 4 p.
- [18]. SCHOENNAGEL, T. et al. 2017. Adapt to more wildfire in western North American forests as climate changes. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017, vol. 114, no. 18, p. 4582-4590.
- [19]. MINĎÁŠ, J., PÁLENÍK, V., NEJEDLÍK, P. 2011. *Dôsledky klimatickej zmeny a možné adaptačné opatrenia v jednotlivých sektoroch: Záverečná správa*. Zvolen, Bratislava : EFRA, 2011. 252 s.
- [20]. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- [21]. IPCC. 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [edited by J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001, 1032 p.
- [22]. ANWER, M. 2015. Nature of Centennial Global Climate Change from Observational Records. In *American Journal of Climate Change*. 2015, vol. 4, p. 337-354.
- [23]. GOOD, P. et al. 2011. A review of recent developments in climate change science. Part I: Understanding of future change in the large-scale climate system. In *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2011, vol. 34, no. 3, p. 281-296.
- [24]. GOSLING, S. N. et al. 2011. A review of recent developments in climate change science. Part II: The global-scale impacts of climate change. In *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2011, vol. 35, no. 4, p. 443-464.
- [25]. VAN DEN BROEKE, M. et al. 2009. Partitioning recent Greenland mass loss. In *Science*. 2009, vol. 326, no. 5955, p. 948-986.
- [26]. VELICOGNA, I. 2009. Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE. In *Geophysical Research Letters*. 2009, vol. 36, no. 19.
- [27]. STROEVE, J. et al. 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. In *Geophysical Research Letters*. 2007, vol. 34, no. 9.
- [28]. GOOSSE, H. et al. 2009. Increased variability of the Arctic summer ice extent in a warmer climate. In *Geophysical Research Letters*. 2009, vol. 36, no. 23.

- [29]. NOTZ, D. 2009. The future of ice sheets and sea ice: Between reversible retreat and unstoppable loss. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009, vol. 106, no. 49, p. 20590-20595.
- [30]. RAHMSTORF, S. 2010. A new view on sea level rise. In *Nature reports climate change*. 2010, vol. 4, no. 4, p. 44-45.
- [31]. FEELY, R. A., DONEY, S. C., COOLEY, S. R. 2009. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO₂ world. In *Oceanography*. 2009, vol. 22, no. 4, p. 36-47.
- [32]. BERNIE, D. et al. 2010. Influence of mitigation policy on ocean acidification. In *Geophysical Research Letters*. 2010, vol. 37, no. 15.
- [33]. TUBIELLO, F. N., SOUSSANA, J. F., HOWDEN, S. M. 2007. Crop and pasture response to climate change. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007, vol. 104, no. 50, p. 19686-19690.
- [34]. AINSWORTH, E. A., MCGRATH, J. M. 2010. Direct effects of rising atmospheric carbon dioxide and ozone on crop yields. In *Climate Change and Food Security*. Advances in Global Change Research. 2010, vol. 37, p. 109-130.
- [35]. CHALLINOR, A. J., WHEELER, T. R. 2008. Crop yield reduction in the tropics under climate change: processes and uncertainties. In *Agricultural and Forest Meteorology*. 2008, vol. 148, no. 3, p. 343-356.
- [36]. WOLF, T. et al. 2015. The health effects of climate change in the WHO European Region. In *Climate*. 2015, vol. 3, no. 4, p. 901-936.
- [37]. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- [38]. MCGOWAN, A. H. 2013. Teaching global climate change. In *Natural Science*. 2013, vol. 5, no. 1A, p. 120-123.
- [39]. MONOŠI, M. 2014. Analýzy požiarovosti v prírodnom prostredí. In Manažérstvo životného prostredia 2014 : Zborník – XIV. medzinárodná vedecká konferencia, 28. – 29. marec 2014 v Bojniciach. Žilina : Strix, 2014. ISBN 978-80-89281-98-5, s. 90-93.
- [40]. Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. 2020. Ochrana lesov pred požiarmi. Bratislava : Prezídium Hasičského a záchranného zboru. [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné na internete: <http://www.minv.sk/swift_data/source/hasici_a_zachranari/malatinec/preventivno_v_ychovna_cinnost/Ochrana%20lesov%20pred%20poziarmi_2020.pdf>.
- [41]. Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. 2020. Vyžiadaná štatistika požiarovosti v prírodnom prostredí. Bratislava: Požiarnotechnický a expertízny ústav.
- [42]. Zákon NR SR č. 314/2001 Z.z. o ochrane pred požiarmi v z.n.p.
- [43]. MONOŠI, M., MAJLINGOVÁ, A., KAPUSNIAK, J. 2015. *Lesné požiare*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2015. 200 s. ISBN 948-80-554-0971.
- [44]. MINISTERSTVO VNÚTRA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. 2019. Vyžiadaná štatistika požiarovosti v prírodnom prostredí. Bratislava: Požiarnotechnický a expertízny ústav.
- [45]. SAN-MIGUEL-AYANZ, J. et al. 2018. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2017*. [online]. Ispra : Joint Research Centre, 2018. 142 p. [cit. 2020-06-01]. Dostupné na internete: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/40/Annual_Report_2017_final_print_images_updated.pdf>. ISBN 978-92-79-92831-4.
- [46]. SAN-MIGUEL-AYANZ, J. et al. 2019. *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2018*. [online]. Ispra : Joint Research Centre, 2019. 164 p. [cit. 2020-06-

- 01]. Dostupné na internete: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/40/Annual_Report_2018_final_pdf_06.11.2019_n208KFB.pdf>. ISBN 978-92-76-11234-1.
- [47]. PALUŠ, J. 2007. Ochrana lesov pred požiarimi a jej riešenie v legislatíve Slovenskej republiky. In *Ochrana lesov pred požiarimi : Medzinárodná konferencia a medzinárodné taktické ukázkové cvičenie*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2007. ISBN 978-80-228-1737-0, s. 4-8.
- [48]. WEISE, D. R., WRIGHT, C. S. 2014. Wildland fire emissions, carbon and climate: Characterizing wildland fuels. In *Forest Ecology and Management*. ISSN 0378-1127, 2014, vol. 317, p. 26-40.
- [49]. ANTONIO, X., ELLIS, E. A. 2015. Forest Fires and Climate Correlation in Mexico State: A Report Based on MODIS. In *Advances in Remote Sensing*. 2015, vol. 4, p. 280-286.
- [50]. FAO. 2007. *Fire management – global assessment 2006: A thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. 121 s. ISBN 978-92-5-105666-0.
- [51]. COHEN, J. D. 2000. Preventing Disaster: Home Ignitability in the Wildland-Urban Interface. In *Journal of Forestry*. 2000, vol. 98, no. 3, p. 15-21.
- [52]. CALVIÑO-CANCELA, M. et al. 2017. Interacting effects of topography, vegetation, human activities and wildland-urban interfaces on wildfire ignition risk. In *Forest ecology and management*. ISSN 0378-1127, 2017, vol. 397, p. 10-17.
- [53]. MAJLINGOVÁ, A. a kol. 2016. *Využitie údajov a nástrojov GIS, SDSS a dynamického modelovania v manažmente rizík vybraných druhov mimoriadnych udalostí*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 133 s. ISBN 978-80-228-2902-1.
- [54]. STOLINA, M. et al. 1985. *Ochrana lesa*. Bratislava : Príroda, 1985. 473 s. ISBN 64-051-85.
- [55]. KAČÍKOVÁ, D. a kol. 2008. *Hodnotenie vplyvu druhu dreva vybraných ihličnatých drevín na rozvoj lesného požiaru*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 144 s. ISBN 978-80-228-1883-4.
- [56]. KRAKOVSKÝ, A. 2004. *Lesné požiare*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2004. 78 s. ISBN 80-228-1301-X.
- [57]. VAKALIS, D. et al. 2004. A GIS based operational system for wildland fire crisis management II. System architecture and case studies. In *Applied Mathematical Modelling*. ISSN 0307-904X, 2004, vol. 28, no. 4, p. 411-425.
- [58]. THOMAS, P. A. et al. 2010. *Fire in the Forest*. 1. vyd. Cambridge : Cambridge University Press, 2010. 337 p. ISBN 978-0-521-82229-9.
- [59]. SCOTT, C. A. et al. 2014. *Fire on Earth: An Introduction*. Wiley Blackwell, 2014. 657 p. ISBN 978-1-119-95357-9.
- [60]. CHROMEK, I. et al. 2018. Hollow tree fire is a useless forest fire category. In *Central European Forestry Journal*. 2018, vol. 64, no. 1, p. 67-78.
- [61]. HLAVÁČ, P. et al. 2009. *Od projektu protipožiarnej ochrany lesa vo Vysokých Tatrách po vetrovej kalamite po zmeny legislatívy v oblasti ochrany lesov pred požiarimi v podmienkach Slovenskej republiky* [online]. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009 [cit. 2019-01-11]. ISBN 978-80-228-1976-3.

- [62]. MINAYEVA, T., SIRIN, A. A., STRACHER, G. B. 2013. The Peat Fires of Russia. In *Coal and Peat Fires: A Global Perspective. Volume 2: Photographs and Multimedia Tours*. Elsevier B.V, 2013. ISBN 978-0-444-59412-9, p. 375-394.
- [63]. MARTINELLI, G., CREMONINI, S., SAMONATI, E. 2013. The Peat Fires of Italy. In *Coal and Peat Fires: A Global Perspective. Volume 2: Photographs and Multimedia Tours*. Elsevier B.V, 2013. ISBN 978-0-444-59412-9, p. 205-216.
- [64]. SIEGERT, F. et al. 2004. Peat fires detected by the BIRD satellite. In *International Journal of Remote Sensing*. ISSN 1366-5901, 2004, vol. 25, no. 16, p. 3221-3230.
- [65]. PAGE, S. E. et al. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. In *Nature*. 2002, vol. 420, p. 61-65.
- [66]. REIN, G. et al. 2008. The severity of smouldering peat fires and damage to the forest soil. In *Catena*. ISSN 0341-8162, 2008, vol. 74, no. 3, p. 304-309.
- [67]. ELLERY, W. N. et al. 1989. A peat fire in the Okavango Delta, Botswana, and its importance as an ecosystem process. In *African Journal of Ecology*. 1989, vol. 27, no. 1, p. 7-21.
- [68]. GUMBRICHT, T. et al. 2002. Remote sensing to detect sub-surface peat fires and peat fire scars in the Okavango Delta, Botswana: research article. In *South African Journal of Science*. 2002, vol. 98, no. 7-8, p. 351-358.
- [69]. MORENO, L. et al. 2011. The 2009 smouldering peat fire in Las Tablas de Daimiel National Park (Spain). In *Fire Technology*. 2011, vol. 47, no. 2, p. 519-538.
- [70]. Basic Wildfire Awareness. 2011. [online]. ACT Fire & Rescue GPO Box 158 CANBERRA ACT 2601 AUSTRALIA, 2011. [cit. 2018-11-15]. Dostupné na internete: <<http://esa.act.gov.au/wp-content/uploads/2011-12-basic-wildfire-awareness-learning-manual-cfu-v1.pdf>>.
- [71]. Media Guide to Forest Fires – Anatomy of a Forest Fire. [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné na internete: <<https://novascotia.ca/natr/forestprotection/wildfire/media-guide/anatomy-fire.asp>>.
- [72]. European Glossary for Wildfires and Forest Fires. [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné na internete: <<http://gfmc.online/literature/EUFOFINET-Fire-Glossary.pdf>>.
- [73]. KVARČÁK, M. 2005. *Základy požární ochrany*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. 134 s. ISBN 80-86634-76-0.
- [74]. CHROMEK, I. 2006. História a definovanie lesných požiarov. In *Lesné požiare : aktuálne nebezpečenstvo v jarých a letných mesiacoch*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2006. ISBN 80-228-1579-9, s. 6-14.
- [75]. BARANOVSKIY, N. V., KUZNETSOV, G.V. 2017. *Forest fire occurrences and ecological impact prediction*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017. 259 p. ISBN 978-5-7692-1538-4.
- [76]. STOLINA, M. et al. 2001. *Ochrana lesa*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001. 255 s. ISBN 80-228-1067-3.
- [77]. BALOG, K. 1999. *Samovznietenie – Samozahrievanie, vznietenie, vzplanutie*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. 133 s. ISBN 80-86111-43-1.
- [78]. PYNE, S. J., ANDREWS, P. L., LAVEN, R. D. 1996. *Introduction to Wildland Fire*. New York: John Wiley & Sons, 1996. 168 s.

- [79]. COUNTRYMAN, C. M. 1977. *Heat and Wildland Fire – Part 3: Heat Conduction and Wildland Fire*. Berkeley: USDA Forest Service, 1977. 17 p.
- [80]. COUNTRYMAN, C. M. 1976. *Heat – Its Role in Wildland Fire – Part 5: Radiation and Wildland Fire*. Berkeley: USDA Forest Service, 1976. 14 p.
- [81]. TDA Prescribed Burn School Manual. 2002. Chapter 6: Fire behavior, fuels and topography. [online]. [cit.2018-01-18]. Dostupné na internete: <<https://docplayer.net/46732414-Fire-behavior-fuels-and-topography.html>>.
- [82]. MICHALETZ, S. T., JOHNSON, E. A. 2007. How forest fires kill trees: a review of the fundamental biophysical processes. In *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2007, vol. 22, no. 6, p. 500-515.
- [83]. BALOG, K., KVARČÁK, M. 1999. *Dynamika požáru*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. 117 s. ISBN 80-86111-44-X.
- [84]. COLEMAN, R. J. 1978. *Management of Fire Service Operations*. Massachusetts: Breton Publishers, North Scituate, 1978. 560 p. ISBN 0-87872-129-0.
- [85]. BENEDIK, V., MARKOVÁ, I. 2012. Faktory ovplyvňujúce vznik lesného požiaru. In *Požárni ochrana 2012 : zborník prednášok XXI. Ročníku mezinárodní konference*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-7385-115-6, s. 17-20.
- [86]. MORITZ, M. A. et al. 2005. Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005, vol. 102, no. 50, p. 17912-17917.
- [87]. BENEDIK, V. 2014. *Vplyv vlhkosti podložia, materiálu a sklonu terénu na vznik a rozvoj pozemného lesného požiaru : dizertačná práca*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2014. 100 s.
- [88]. WERTH, P. A. et al. 2016. *Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume 2 for Fire Behavior Specialists, Researchers, and Meteorologists*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-891. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2016. 258 p.
- [89]. KRIŠŤÁK, L. et al. 2017. *Aplikovaná fyzika v protipožiarnej ochrane a bezpečnosti*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2017. 220 s. ISBN 978-80-228-2955-7.
- [90]. MAJLINGOVÁ, A. et al. 2018. *Manažment a taktika hasenia požiarov v prírodnom prostredí*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2018. 140 s. ISBN 978-80-228-3114-7.
- [91]. ZLATNÍK, A. 1976. *Lesnická fytoecologie*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1976. 495 s.
- [92]. FLANNIGAN, M. D., HARRINGTON, J. B. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). In *Journal of Applied Meteorology*. 1988, vol. 27, no. 4, p. 441-452.
- [93]. BROWN, A. A., DAVIS, K. P. 1973. *Forest fire: Control and use*. 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 1973.
- [94]. MAJLINGOVÁ, A. 2016. Lesné palivo a metódy určovania jeho kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov. In *Zem v pasci? 2016: aplikácie analytických metód v environmentálnom a požiarom inžinierstve. Zborník príspevkov zo IV. medzinárodnej vedeckej konferencie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. ISBN 978-80-228-2888-8, s. 141-148.
- [95]. SLIJEPEVIC, A., ANDERSON, W. R., MATTHEWS, S. 2013. Testing existing models for predicting hourly variation in fine fuel moisture in eucalypt forests. In *Forest Ecology and Management*. 2013, vol. 306, p. 202-215.

- [96]. SLIJEPCEVIC, A., ANDERSON, W. R., MATTHEWS, S., ANDERSON, D. H. 2015. Evaluating models to predict daily fine fuel moisture content in eucalypt forest. In *Forest Ecology and Management*. 2015, vol. 335, p. 261-269.
- [97]. HALADA, L., GLASA, J., WEISENPACHER, P. 2011. Modelovanie lesného požiaru v prostredí FARSITE a možnosti jeho nasadenia do praxe HaZZ SR. In *Geoúdaje pre podporu záchranných jednotiek: zborník príspevkov a prezentácií z odborného seminára* [CD]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISBN 978-80-228-2299-2.
- [98]. GLASA, J., WEISENPACHER, P., HALADA, L. 2008. Analýza priebehu lesného požiaru pomocou počítačovej simulácie. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*. 2008, roč. 3, č. 1, s. 23-33.
- [99]. MAJLINGOVÁ, A., SEDLIAK, M. 2013. Možnosti využitia simulačného programu FARSITE v praxi HaZZ. In *Riešenie krízových situácií prostredníctvom simulačných technológií : Zborník vedeckých prác z medzinárodnej vedeckej konferencie v Liptovskom Mikuláši 22. októbra 2013*. Liptovský Mikuláš: Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 2013. ISBN 978-80-8040-481-9, s. 97-104.
- [100]. GLASA, J., HALADA, L., WEISENPACHER, P. 2011. Výskum požiarov v prírodnom prostredí. In *Spravodajca: Protipožiarna ochrana a záchranná služba*. ISSN 1335-9975, 2011, roč. 42, č. 1, s. 4-8.
- [101]. HALADA, L., GLASA, J. 2013. Počítačová simulácia lesných požiarov. In *Civilná ochrana: revue pre civilnú ochranu obyvateľstva*. ISSN 1335-4094, 2013, roč. 15, č. 4, s. 39-41.
- [102]. WEISENPACHER, P. 2007. Možnosti systému WFDS pri simulácii lesných požiarov. In *Ochrana území postihnutých prírodnými ničivými pohromami : Zborník z medzinárodnej konferencie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene & Žilinská univerzita v Žiline, 2007. ISBN 978-80-228-1803-2, s. 227-237.
- [103]. FINNEY, M. A., ANDREWS, P. L. 1999. FARSITE – A program for fire growth simulation. In *Fire management notes*. 1999, vol. 59, no. 2, p. 13-15.
- [104]. Národné lesnícke centrum – Ústav lesných zdrojov a informatiky. Lesnícky geografický informačný systém. Zvolen, 2020.
- [105]. Národné lesnícke centrum. Lesnícky geografický informačný systém [online]. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné na internete: <<http://gis.nlcsk.org/lgis/>>.
- [106]. SARVAŠ, M. et al. 2008. *Základné charakteristiky lesných drevín: ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkarstvo, obhospodarovanie génových základní: spracovanie drevnej suroviny v odvetví spracovania dreva*. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2008. 82 s. ISBN 978-80-8093-112-4.
- [107]. RUŽEK, I., BRISUDA, J., NEVŘELOVÁ, M. 2015. *Obrazový atlas drevín*. Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta: Vydavateľstvo UK, 2015. 118 s. ISBN 978-80-223-4017-5.
- [108]. MAJLINGOVÁ, A., SEDLIAK, M., SMREČEK, R. 2018. Spatial distribution of surface forest fuel in the Slovak Republic. In *Journal of Maps*. 2018, vol. 14, no. 2, p. 368-372.
- [109]. TUČEK, J., MAJLINGOVÁ, A. 2007. *Lesné požiare v Národnom parku Slovenský raj: Aplikácie geoinformatiky*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. 173 s. ISBN 978-80-228-1802-5.
- [110]. MAJLINGOVÁ, A., SEDLIAK, M. 2011. Výsledky mapovania povrchového paliva na Slovensku. In *Geoúdaje pre podporu záchranných jednotiek : zborník príspevkov a prezentácií z odborného seminára : 21.10.2011 Technická univerzita*

- Zvolen [CD-ROM]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011, 7 s. ISBN 978-80-228-2299-2.
- [111]. BROWN, J. K., OBERHEU, R. D., JOHNSTON, C. M. 1982. *Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West*. General Technical Report INT-129. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station. 1982, 48 p.
- [112]. SEDLIAK, M. et al. 2015. *Manažment rizík hospodárenia na lesnej pôde s dôrazom na lesné požiare*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015. 153 s. ISBN 978-80-228-27621.
- [113]. HARVEY, S., RÜEGSEGGER, M., ALLGÖWER, B. 1997. *Fuel models for Switzerland (Swiss National Park)*. Rapport final MINERVE 2 (DG XII Nr. EV5VCT94-0570), partie 3, synthèse des travaux par partenaire, Saint-Paul les Durance Cedex, France, 1997, 49 p.
- [114]. ME2000A Fine Fuel Moisture Meter. User Manual [online]. Austrália: Wiltronics Research Pty. Ltd., 2018 [cit. 2020-06-02]. Dostupné na internete: <<https://www.wiltronics.com.au/wp-content/uploads/datasheets/me2000a-fine-moisture-meter-user-manual.pdf>>.
- [115]. STN EN ISO 18134-3: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Časť 3: Vlhkosť v analytickej vzorke na všeobecný rozbor (ISO 18134-3: 2015).
- [116]. STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.
- [117]. SHARPLES, J. J. et al. 2009. A simple index for assessing fuel moisture content. In *Environmental Modelling & Software*. 2009, vol. 24, no. 5, p. 637-646.
- [118]. BOER, M. M. et al. 2017. Changing weather extremes call for early warning of potential for catastrophic fire. In *Earth's Future*. 2017, vol. 5, no. 12, p. 1196-1202.
- [119]. CATCHPOLE, E. A. et al. 2001. Estimating fuel response time and predicting fuel moisture content from field data. In *International Journal of Wildland Fire*. 2001, vol. 10, no. 2, p. 215-222.
- [120]. GONZÁLEZ, A. D. R. et al. 2009. Construction of empirical models for predicting Pinus sp. dead fine fuel moisture in NW Spain. I: Response to changes in temperature and relative humidity. In *International Journal of Wildland Fire*. 2009, vol. 18, no. 1, p. 71-83.
- [121]. CHLADIL, M. A., NUNEZ, M. 1995. Assessing grassland moisture and biomass in Tasmania-the application of remote-sensing and empirical-models for a cloudy environment. In *International Journal of Wildland Fire*. 1995, vol. 5, no. 3, p. 165-171.
- [122]. MATTHEWS, S. 2006. A process-based model of fine fuel moisture. In *International Journal of Wildland Fire*. 2006, vol. 15, no. 2, p. 155-168.
- [123]. NELSON JR, R. M. 2000. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. In *Canadian Journal of Forest Research*. 2000, vol. 30, no. 7, p. 1071-1087.
- [124]. GOODRICK, S. L. 2002. Modification of the Fosberg fire weather index to include drought. In *International Journal of Wildland Fire*. 2002, vol. 11, no. 4, p. 205-211.
- [125]. ZHU, J. et al. 2013. A modified model of direct estimation method for fine fuel moisture content prediction by considering crown density. In *Procedia Engineering*. 2013, vol. 62, p. 1015-1022.

PRÍLOHY

Príloha 1: Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky v poraste 365a

Príloha 2: Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky v poraste 366b

Príloha 1: Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky v poraste 365a

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 23. 7. 2019

Čas (h)	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Živé listy (%)	Konáriky (%)
7:00	17,2	86,0	2,2	16,1	38,0	20,2
8:00	18,9	76,0	2,2	15,8	37,2	19,0
9:00	20,9	66,0	2,2	14,3	36,9	15,2
10:00	23,2	58,0	3,2	12,8	34,7	14,8
11:00	23,2	60,0	5,0	13,1	37,9	13,2
12:00	23,2	59,0	5,8	12,8	37,8	14,1
13:00	23,2	61,0	6,5	13,1	40,6	13,6
14:00	22,8	61,0	5,8	12,7	39,5	14,3
15:00	22,6	63,0	4,7	13,2	30,9	14,0
16:00	22,3	66,0	5,8	13,2	37,2	14,1
17:00	22,2	67,0	4,0	13,0	38,0	14,3
18:00	22,3	66,0	4,7	13,5	39,0	14,6

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 24. 7. 2019

Čas	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Živé listy (%)	Konáriky (%)
7:00	16,1	91,0	0,0	20,2	41,3	18,1
8:00	17,9	85,0	2,2	17,8	44,0	17,1
9:00	20,4	75,0	3,2	14,4	43,0	15,6
10:00	22,6	66,0	4,0	13,5	38,1	15,2
11:00	24,6	57,0	5,0	12,9	39,2	14,0
12:00	25,8	54,0	4,0	11,8	46,8	13,2
13:00	26,4	54,0	4,0	12,1	35,3	13,8
14:00	26,8	55,0	3,2	12,1	36,2	13,2
15:00	26,8	54,0	4,0	12,1	36,9	12,8
16:00	27,8	50,0	3,2	11,9	37,5	12,0
17:00	27,0	52,0	3,2	12,3	39,7	13,1
18:00	25,8	55,0	2,9	12,9	43,4	14,2

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 26. 7. 2019

Čas (h)	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Živé listy (%)	Konáriky (%)
7:00	16,2	90,0	0,0	17,1	41,4	15,8
8:00	18,3	82,0	2,9	15,9	40,6	15,2
9:00	20,7	74,0	2,9	14,6	42,8	14,0
10:00	23,6	65,0	3,2	13,3	46,2	13,5
11:00	26,4	56,0	2,9	12,3	43,4	12,8
12:00	30,8	43,0	5,0	11,7	40,3	12,3
13:00	29,6	46,0	3,2	11,9	39,5	12,1
14:00	21,4	87,0	2,2	78,1	97,8	28,0
15:00	23,8	87,0	0,0	61,9	54,7	21,6
16:00	28,1	62,0	3,2	23,8	44,3	16,0
17:00	27,8	49,0	0,0	13,9	42,0	14,5
18:00	28,1	53,0	2,2	13,5	45,0	13,6

Príloha 2: Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky v poraste 366b

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 1. 8. 2019

Čas (h)	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Opad - ihličie (%)	Konáriky (%)
7:00	19,7	87	2,2	42,5	45	31,4
8:00	19,4	87	0,0	39,2	33,3	27,3
9:00	21,6	80	0,0	28,5	27,1	24,2
10:00	22,9	75	2,9	29,3	25,8	22,3
11:00	23,1	66	0,0	29,6	24,8	15,1
12:00	24,5	61	4,0	24,9	18,1	15,2
13:00	24,1	66	2,9	23,8	22,2	18,7
14:00	24,2	67	2,9	24,8	19,8	16,4
15:00	25,6	55	2,2	21,3	19,7	17,5
16:00	25,1	60	2,9	24,7	16,5	15,2
17:00	24,9	57	2,2	26,5	17,7	19,9
18:00	24,0	60	2,2	20,1	20,7	20,7

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 2. 8. 2019

Čas (h)	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Opad - ihličie (%)	Konáriky (%)
7:00	15,2	93,0	0,0	27,4	21,8	17,6
8:00	15,8	93,0	0,0	29,2	19,8	20,3
9:00	17,1	86,0	2,2	22,6	19,0	18,8
10:00	19,0	78,0	2,2	24,1	18,4	19,1
11:00	21,2	67,0	0,0	20,9	15,1	14,9
12:00	23,1	63,0	2,2	18,1	14,4	14,0
13:00	23,1	60,0	2,2	18,7	15,2	12,6
14:00	22,3	66,0	3,2	20,1	14,8	13,5
15:00	21,8	73,0	2,9	20,0	16,0	14,1
16:00	21,9	72,0	2,9	17,5	16,0	15,0
17:00	22,1	73,0	2,2	17,9	16,1	14,9
18:00	21,9	71,0	0,0	18,4	16,3	15,4

Hodnoty vlhkosti lesného opadu a meteorologické podmienky dňa 3. 8. 2019

Čas (h)	Teplota vzduchu (°C)	Relatívna vlhkosť vzduchu (%)	Priemerná rýchlosť vetra (km·h ⁻¹)	Opad - listy (%)	Opad - ihličie (%)	Konáriky (%)
7:00	14,4	96,0	0,0	27,8	22,2	19,3
8:00	16,1	88,0	2,9	25,2	20,5	18,6
9:00	18,4	82,0	0,0	18,9	19,0	16,3
10:00	21,0	68,0	2,2	15,8	15,9	13,7
11:00	22,1	57,0	0,0	15,2	13,6	12,4
12:00	21,6	68,0	2,2	15,6	14,3	13,4
13:00	21,9	60,0	2,2	15,2	13,4	12,7
14:00	22,6	56,0	2,2	13,9	12,8	12,8
15:00	21,9	63,0	0,0	14,7	13,3	14,3
16:00	22,3	54,0	2,2	14,3	13,1	12,3
17:00	22,3	57,0	2,2	14,5	12,4	12,0
18:00	21,9	57,0	0,0	14,2	12,7	12,3



ISBN 978-80-228-3232-8