

Hodnocení obsahu vody v odumřelých kmenech smrku ztepilého na Šumavě

Water content in dead Norway spruce trunks in the Bohemian Forest

Tomáš Chromčák¹, Václav Pouska^{2,3,*}, Jaroslav Červenka² & Martin Hais¹

¹ Faculty of Science, University of South Bohemia, Branišovská 1760, CZ-37005 České Budějovice, Czech Republic

² Šumava National Park, 1. máje 260, CZ-38501, Vimperk, Czech Republic

³ Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, CZ-16500 Praha, Czech Republic

*pouska@fld.czu.cz

Abstract

The global climate change increases the fire risk in temperate forests. Water content in dead wood is among factors influencing the fire risk. This study aims to compare moisture in three types of trunks (lying, lying without ground contact, standing), also in the surface layer and centre of each trunk. We selected two localities in the Šumava NP with different climatic conditions that were affected by bark-beetle outbreak: Alpa and Koňský vrch. Dead wood moisture was measured continually using probes connected to data-loggers and gravimetrically from wood samples. Continuous measurements showed the highest moisture in lying trunks, followed by standing trunks and trunks lying without ground contact in Alpa, whereas the moisture values were similar in Koňský vrch. Gravimetric measurements of wood samples revealed significant differences between trunk types (standing and lying trunks wetter than trunks lying without ground contact), depth in trunks (surface vs. centre) and the localities. There was a higher moisture content, and its values were more variable over time in the surface layer in comparison to trunk centre. Gravimetrically measured moisture content of all samples ranged 16–62 % in the surface layer. Despite differences between trunk types and the depth, wood moisture was relatively stable at both localities even during dry periods, which implies relatively low fire risk of dead wood in the studied area.

Key words: dead wood, moisture content, *Picea abies*

ÚVOD

Požárové disturbance lesních porostů jsou podmíněny klimatickými parametry (teploty a srážky), druhovou skladbou porostu a také množstvím materiálu pro zahoření a šíření ohně (KEELEY 2009). Vysokým rizikem požárů jsou v celosvětovém měřítku známé zalesněné oblasti s malým množstvím srážek a vysokými teplotami během vegetační sezóny (západní pobřeží USA, oblast mediteránu v Evropě apod.). S globálním vzrůstem teplot, měnící se distribucí srážek v průběhu roku, ale i s vývojem rozdílů srážkových úhrnů mezi regiony lze

počítat do budoucna i s vyššími riziky lesních požárů (FLANNIGAN et al. 2013, JOLLY et al. 2015). Na druhou stranu i samotné podmínky lesa mohou toto riziko měnit. Například monokulturní smrkové porosty mohou být více ohrožené zahořením než přírodě blízké porosty nebo porosty smíšené (TANSKANEN et al. 2005). Obecně platí, že listnaté a smíšené lesy mají nižší riziko požárů než lesy jehličnaté (GONZÁLEZ et al. 2006). Velkou roli může sehrát i odvodnění porostu hydromelioračními úpravami, kdy zejména v době letních přísusů může riziko požárů významně narůstat (HART et al. 2019). S tím souvisí i množství suchého opadu, kdy nejvyšší teploty takového materiálu jsou na pasekách vlivem vyšší sluneční radiace, přičemž i v rozpadlých porostech vlivem lýkožrouta smrkového jsou tyto teploty oproti pasekám nižší (HAIS & KUČERA 2008). Nicméně těsně po disturbanci způsobené hmyzem se riziko pro zahoření v porostu krátkodobě zvýší (HICKE et al. 2012), s postupující dekompozicí dřeva a stoupajícím obsahem vody v mrtvé dřevní hmotě však opět v čase klesá (HARMON & SEXTON 1995). Kmeny s větším průměrem jsou celkově vlhčí a vykazují menší výkyvy vlhkosti (POUSKA et al. 2016). Za změnu vlhkosti dřeva mohou být zodpovědné různé enviromentální faktory (LAIHO & PRESCOTT 2004). Vlhkost dřeva může být řízena sezonalitou, teplotou, srážkami (FRAVER et al. 2002), vzdušnou vlhkostí (HARTLEY & HAMZA 2016), kondenzací vody vlivem relativně nízkých teplot (PETRÍK 1986), stejně jako stíněním, prouděním vzduchu (PICHLER et al. 2012), případně kontaktem se zemí (BÜTLER et al. 2007, PŘÍVĚTIVÝ & ŠAMONIL 2021).

Dnešní metody pro sledování rizika požárů vycházejí z metod dálkového průzkumu Země a terénních měření. Pomocí dálkového průzkumu Země je možné stanovovat riziko zahoření pomocí teplot povrchů (Surface temperatures) s využitím termálních kamer a scannerů na družicích, letadlech a bezpilotních leteckých prostředcích (UAV – např. drony) (KUENZER & DECH 2013). Toto měření lze provádět i pozemním způsobem. Další možností dálkového průzkumu je využití spektrálních dat v podobě různých vegetačních indexů, které vypovídají o množství biomasy (např. NDVI – TUCKER 1979), vlhkostních podmínkách či vitalitě porostu (např. NDMI – JIN & SADER 2005, WETNESS – KAUTH & THOMAS 1976). Pro účely hodnocení rizika zahoření byly vyvinuty i lokální modely využívající IČ spektra (z NOAA-AVHRR) k zhodnocení změny evapotranspirace, která koresponduje s rizikem požárů (VIDAL et al. 1994).

Kromě metod dálkového průzkumu je možné stanovovat obsah vody v dřevní hmotě jako proxy proměnnou rizika zahoření. Vlhkost dřeva lze měřit pomocí přímých a nepřímých metod. Přímou metodou je výpočet vlhkosti jako hmotnostní podíl vody vůči vzorku dřeva před sušením nebo po jeho vysušení (gravimetricky) (BORREGA & KÄRENLAMPI 2008, HARMON & SEXTON 1995, PŘÍVĚTIVÝ et al. 2017, SEXTON & HARMON 2009, WILLIAMSON & WIEMANN 2010). Tato metoda se považuje za nejpřesnější (TESTING & MATERIALS 1992) a někdy je označována jako „Oven-dry method“ (BOONE & WENGERT 1998). Alternativním přístupem je vyjádření vlhkosti jako objemový podíl vody vůči objemu celého vzorku dřeva. Nepřímou metodou se měří vlhkost dřeva pomocí vlhkostních sond, které měří elektrickou vodivost a permitivitu. S rostoucím obsahem vlhkosti se zvětšuje i jeho vodivost. Permitivita souvisí se schopností materiálu přenášet elektrické pole neboli na polarizační schopnosti. I když je dřevo považováno za izolant při vlhkosti 8 % a nižší, s rostoucím obsahem vody v jeho struktuře se zvyšuje jeho schopnost polarizace pomocí elektromagnetického vlnění (SIAU 2008, HORÁČEK 1984). Dle funkčního vztahu pak lze vypočítat výslednou vlhkost dřevní hmoty (BRISCHKE et al. 2008, FREDRIKSSON et al. 2013, 2021). Takový funkční vztah

se liší mezi různými druhy dřevin a stupněm rozkladu, na druhou stranu na něj nemá vliv typ dřeva (jádrové x bělové) (FREDRIKSSON et al. 2013). V současné době se používají i další in-situ metody měření vlhkosti dřeva. Příkladem je monitoring rizik požárů pomocí sond, které jsou trvale instalovány do dřevěné tyče, která reaguje na změny vlhkosti vzduchu a srážky (<https://www.firerisk.cz/>).

Požárové disturbance byly v prostředí Šumavy během holocénu přirozenou součástí dynamiky lesních porostů. Jejich frekvence byla v závislosti na klimatických faktorech přibližně 3–4 události na 1 000 let, nicméně se vzrůstajícím osídlením od doby bronzové tato frekvence i vlivem lidské činnosti vzrostla až na 6 požárů/1 000 let (KUNEŠ & SUDA 2018). Autoři této studie dále dokládají další zvýšení frekvence požárů v posledním tisíciletí, kde vedle antropogenních vlivů sehrála roli změna vegetační skladby úbytkem buku a jedle. Probíhající klimatická změna může případnou frekvenci požárů ještě zvýšit, zejména při změně distribuce srážek během roku. Současné roční úhrny překračující 1 500 mm ročně v oblasti hraničního pásma Šumavy (CHMI 2021) udržují riziko požárů poměrně nízké. Sezónní rozložení srážek se podle některých modelů do budoucna může měnit směrem k vyšším úhrnům v zimním období (KYSELÝ & BERANOVÁ 2009). Proto se nabízí otázka, jaký je obsah vody v odumřelých kmenech několik málo let po kůrovcových disturbancích, jak se obsah vody mění vlivem teplot a srážek a jaká je dynamika těchto změn.

METODIKA A MATERIÁL

Lokalita

Námi studované území se nachází v jižní části NP Šumava (Obr. 1) mezi vrcholy Smrčina a Plechý. Lesní společenstva ve studované oblasti dle nadmořské výšky spadají do smrkového a klečového lesního vegetačního stupně a z hlediska biotopů patří mezi klimaxové podmáčené smrčiny a papratkové smrčiny montánních poloh (NEUHÄUSLOVÁ 2001).

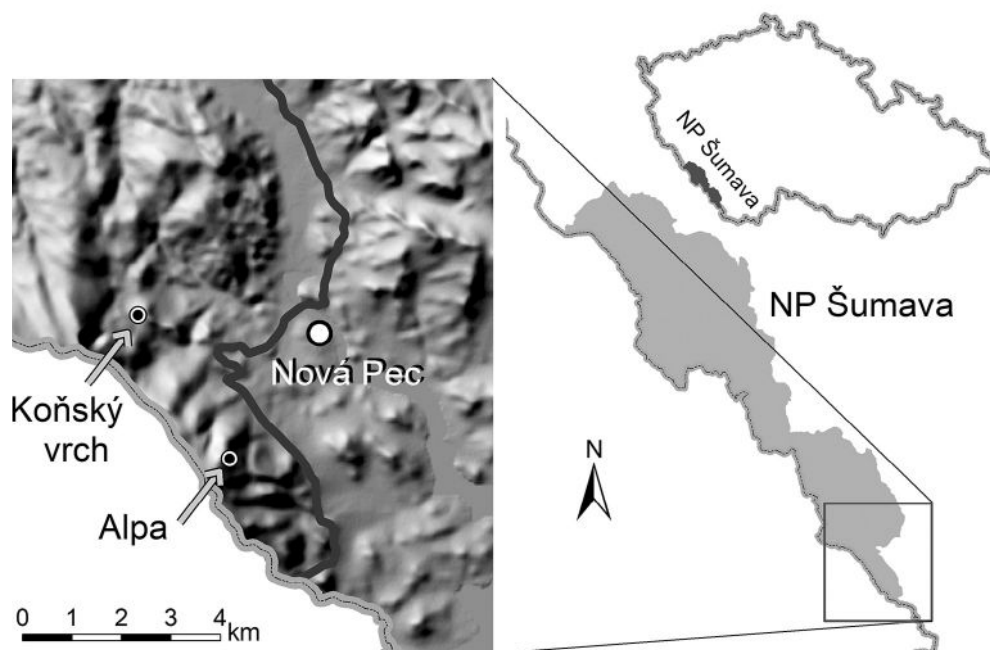
Pro studium byly vybrány dvě lokality, jedna pod vrcholem Alpa a druhá v přírodní zóně Koňský vrch, které reprezentují odlišné klimatické podmínky. Obě lokality patří z hlediska ochrany přírody do zóny přírodní a v obou došlo k rozpadu smrčiny vlivem lýkožrouta smrkového v roce 2019. Proto je zde i stejná dekompozice kmenů dle stupnice SIPPOLA & RENVALL (1999), kterou jsme identifikovali stupněm 2. Lokality byly zvoleny tak, aby se zde nacházely odumřelé kmeny ve všech plánovaných variantách (viz níže). Přesné souřadnice lokalit dokládá Tabulka 1.

První zkoumané území bylo vybráno v oblasti pod vrcholem Alpa, který náleží k hlavnímu vrcholu Smrčina (1333 m n. m.). Tato lokalita se nachází jižně od obce Nová Pec v nadmořské výšce 1258 m n. m. Zde byl předpoklad vyššího úhrnu srážek doprovázeného nižší průměrnou teplotou kvůli postavení lokality téměř na hřebenu a vlivem relativně vysoké nadmořské výšky. Současně zde bylo méně zapojené korunové patro, které by zabraňovalo dopadu sluneční energie (PETRÍK 1986). Svah, na kterém se výzkumná lokalita nachází, má východní orientaci. Druhým místem odběrů byla lokalita v přírodní zóně Koňský vrch (945 m n. m.). Zde byl naopak předpoklad menšího úhrnu srážek kvůli závětrí, které je tvořeno vrcholem Plechý (1378 m n. m.). Dále jsme očekávali vyšší průměrné teploty, jednak kvůli nižší nadmořské výšce a také kvůli orientaci svahu, která je jihovýchodní. Korunové patro bylo zapojeno více než na první lokalitě.

Tabulka 1. Přehled lokalit.

Table 1. Localities with their coordinates and elevation.

Lokalita / Locality	GPS souřadnice / Coordinates	Nadmořská výška / Elevation
1 – Smrčina (Alpa)	48.744421N, 13.92821E	1258 m n. m.
2 - Koňský vrch	48.779846N, 13.88743E	945 m n. m.



Obr. 1. Umístění zájmového území v rámci České republiky a NP Šumava.

Fig. 1. The location of the study area in the Czech Republic and Šumava NP.

Varianty kmenů

Na každé výzkumné ploše byly vybrány reprezentativní kmeny s různým postavením (Obr. 2).

1. Stojící kmen – jedná se o dosud stojící nenakloněnou souš, která je v kontaktu se zemí pouze prostřednictvím paty kmene.
2. Ležící kmen bez kontaktu se zemí – kmen již spadlý, který se dotýká země částí menší než 10 % z celkové délky kmene – obecně velké množství kmenů v rámci polomů, kdy kmeny leží většinou na ostatních kmenech.
3. Ležící kmen – kmen, který je spadlý a jeho kontakt se zemí přesahuje 90 % z celkové délky kmene.

Na každé lokalitě byly vybrány dvojice kmenů ke každé variantě, to znamená šest zkoumaných kmenů na lokalitu. Kmeny kromě stejného stupně rozkladu a kontaktu se zemí musely splňovat co nejvíce podobnou výčetní tloušťku kmene (minimum registrace bylo 30 cm) a orientaci v terénu. Toto kvůli plánovaným odběrům pomocí přírůstového vrtáku a měření pomocí sond, aby vysychání vlivem slunečního záření a proudícího vzduchu probíhalo podobně. Cílem tohoto způsobu výběru bylo minimalizovat rozdílnosti, které by mohly zkreslovat naměřená data.



Obr. 2. Ukázka kmenů v třech šetřených postaveních: stojící kmen, kmen ležící bez kontaktu se zemí a kmen ležící (foto: T. Chromčák).

Fig. 2. Three types of trunks: standing, lying without ground contact and lying (photo: T. Chromčák).

SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DAT

Měření obsahu vody vážením a sušením vzorků dřeva

První způsob sběru dat byly odběry dřevní hmoty pomocí přírůstového vrtáku Haglöf. Zvolen byl vrták o délce 400 mm a průměru 10 mm. Vývrty byly odebírány ze severní strany kmene, kde je nejmenší sluneční osvit v průběhu dne a tím i menší výkyvy teploty a vlhkosti. Dále se vývrty z kmenů označených jako „stojící kmen“ prováděly ve výčetní výšce (DBH). U kmenů „ležících bez kontaktu se zemí“ a „ležících“ pak rovnoběžně se zemí a kolmo ke kmenu, nejméně ale 150 cm od konce kmene. Odběry dřevní hmoty byly prováděny z úseku kratšího než 2 m v rozestupu cca 10 cm od sebe, aby se její vlastnosti lišily co nejméně. Po odebrání vzorku byl otvor zaslepen pomocí štěpařského vosku. Tím jsme se snažili minimalizovat ovlivnění okolí vývrtů pro následující odběry. Samotný odběr z každého kmene se prováděl ve dvou fázích: 1) odběr z povrchu kmene: pomocí přírůstového vrtáku byl navrtán kmen a bylo odebráno krajních 60 mm dřeva směrem od povrchu do centra kmene, 2) odběr ze středu kmene: odebralo se 60 mm dřeva ve směru od středu k povrchu kmene. Tím jsme získali pomocí jednoho vývrtu z kmene dva vzorky. Jeden reprezentující krajních 60 mm dřevní hmoty a druhý reprezentující 60 mm dřevní hmoty směřující od středu kmene směrem k povrchu. Chtěli jsme tak odhalit možný rozdíl vlhkosti v profilu kmene, tedy povrchů a středů. Odběry přesného množství dřeva byly prováděny pomocí odběrné sady. Vzorky byly neprodleně po odběru uzavřeny do vzduchotěsných lékovek, kde nedochází k úniku vody odparem. Dále byly vzorky neprodleně zváženy na laboratorních vahách (váženo na čtyři desetinná místa), vysušeny v sušičce při 105 °C po dobu 24 hodin (BORREGA & KÄRENLAMPI 2008, WILLIAMSON & WIEMANN 2010) a znovu zváženy. Při teplotě 105 °C dojde k výparu jak vody volné (kapilární), tak vázané (hygroskopické). Odběrné nádoby – lékovky, byly před pokusy označeny a zváženy v prázdném stavu (jejich hmotnost se lišila v řádu desetin gramu) tak, aby bylo možné získat v následujících váženích váhu pouze samotného vzorku.

Pro stanovení procentuálního zastoupení vody ve vzorku byl použit vztah:

$$W = (m_1/m_2) \times 100$$

Kde:

m_1 – rozdíl hmotnosti vlhkého vzorku a vzorku po vysušení, tedy hmotnost vody v gramech

m_2 – hmotnost vzorku dřeva ve vlhkém stavu v gramech,

W – hmotnost (podíl) vody ve vzorku v %

V roce 2021 bylo tímto způsobem provedeno celkem devět odběrů, a to v období 24. 5.–9. 11. 2021. V roce 2022 odběry proběhly mezi daty 19. 5.–4. 10. 2022 v celkovém počtu osmi odběrů. Odběry jsme se snažili situovat do období klimatických extrémů (suché a mokré periody), případně je provádět v pravidelných intervalech. Odběry nelze provádět za deště, a to z důvodu znehodnocení vzorků při extrakci z kmene a následném přendávání vzorků do lékovek.

Měření vlhkosti dřeva automatickým záznamníkem

Pro zachycení obsahu vody v rámci sezóny jsme se rozhodli použít čidla Campbell CS65X, která byla napojena na datalogery MicroLog SDI CS od společnosti EMS Brno. Čidla CS65X

mají dvě paralelní elektrody. Délka těchto elektrod je 120 mm. Elektrody jsou schopny mezi sebou měřit konduktivitu, permitivitu, rozdíl napětí a teplotu (CALDWELL et al. 2018) a z těchto veličin vypočítat hodnotu SWC (Soil water content). S jednotkou jsme pracovali jako s bezrozměrnou, kterou je nutné dále kalibrovat hodnotami sušených a vážených vzorků dřeva. Celkově byly použity dva dataloggery, na které byla napojena tři čidla CS65X. Byly tedy k dispozici dvě měřicí sady – jedna sada se třemi čidly pro každou lokalitu s možností měřit všechny tři varianty postavení kmenů. Jako interval záznamu jsme zvolili 30 minut, přičemž každé čidlo odečítalo hodnotu v deseti minutových intervalech a zaznamenával se až průměr ze tří po sobě jdoucích měření. Pro doplnění informací o sezónním úhrnu srážek jsme na každou lokalitu umístili srážkoměry Pronamic, které byly napojeny na dataloggery Minikin ERi od EMS Brno.

Instalace čidel

Čidla CS65X byla umístěna na každé lokalitě do tří variant kmenů (stojící kmen, ležící kmen bez kontaktu se zemí, ležící kmen). Pro správnou funkci čidel a nezkršené výsledky byly elektrody instalovány do dřeva rovnoběžně a bylo minimalizováno jejich vychýlení při zavádění do kmene. Elektrody byly do kmene umístěny kolmo a vedle sebe ve směru růstu stromu. Ve všech typech kmenů byla čidla umístěna na severní stranu kmene, a to z důvodu minimalizování osvitů čidla a tím zkreslení naměřených hodnot. U kmenů „stojících“ byla čidla instalována ve výčetní výšce (DBH) a u zbylých dvou typů vždy minimálně 150 cm od silnějšího konce kmene. Měření na obou lokalitách probíhalo v roce 2021 od 21. 7. do 9. 11. a v roce 2022 od 19. 5. do 4. 10.

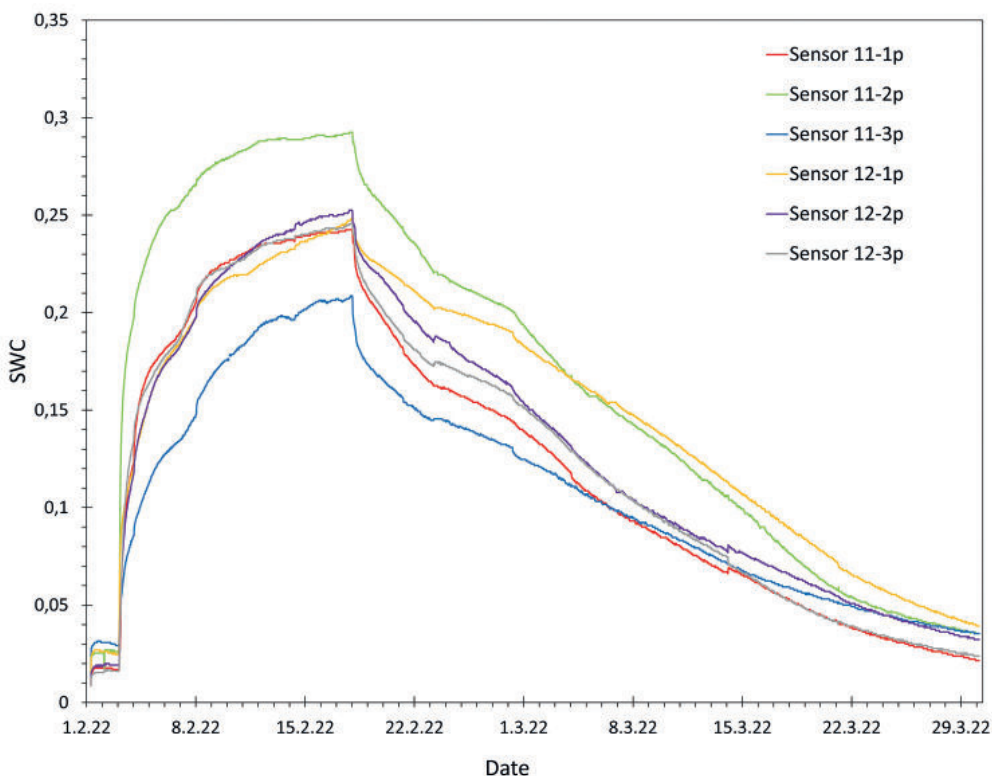
Laboratorní experiment

Pro kalibraci dat z kontinuálního záznamu vlhkosti dřeva jsme provedli laboratorní experiment. Pro tento účel byly vybrány starší smrkové trámy – celkově v počtu šesti kusů. Trámy byly vyschlé a tento stav byl považován za výchozí. Do trámů byla zavedena čidla a ponechána 2 dny pro ustálení měřených hodnot. Poté byl proveden odběr pomocí přírůstového vrtáku. Následně byly trámy zality vodou, voda byla doplňována následujících 15 dní, až do stavu, kdy dle naměřeného průběhu křivek z dataloggerů došlo k nasycení dřeva (Obr. 3). V tu dobu byl proveden odběr, který byl považován za maximální nasycení vzorků vodou. Poté se trámy nechaly vysychat na kovovém sítu, pro přístup vzduchu ze všech stran. V průběhu vysychání, které trvalo šest týdnů, bylo provedeno dalších šest odběrů, které byly použity pro kalibraci sond.

Zpracování dat

Pro analýzu dat ze vzorků dřeva byl použit lineární model se smíšenými efekty (linear mixed-effects model, funkce lme), přičemž příslušnost vzorků ke kmenům byla zadaná jako faktor s náhodným efektem, a F-statistika (funkce anova). Mnohonásobné porovnání mezi typy kmenů (Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts) bylo provedeno pomocí funkce glht. Tyto analýzy byly provedeny v programu R 4.2.1 (R CORE TEAM 2022). Pro porovnání vlhkosti vzorků dřeva a hodnot získaných z kontinuálního měření pomocí čidel (SWC) byla použita lineární regrese, a to jak u dat z terénu, tak u dat z laboratorního

experimentu. Lineární regrese byly provedeny v programu Statistica (Dell Inc. 2016). Pro co největší zobecnění a sílu vztahu jsme použili všechny vzorky dřeva smíchané v rámci lokalit, typů kmenů a časů odběru, nicméně funkční vztah nebyl zjištěn. Funkční regresní vztah byl zjištěn v rámci laboratorního experimentu. Regresní vztah tohoto šetření ukazuje Příloha 1. V analýzách nebyly použity dvě hodnoty vlhkosti vzorků dřeva z terénu z důvodu naměření zjevně chybných hodnot vlhkosti vlivem navrtání prasklin ve dřevu.



Obr. 3. Ukázka průběhu křivek naměřených čidly v laboratorním experimentu. Na vodorovné ose je znázorněn čas, svislá osa pak ukazuje naměřenou hodnotu v jednotkách SWC, s kterými jsme pracovali jako s bezrozměrným číslem. V levé části grafu je zachycen výchozí stav trámů po ustálení hodnot. Následující vzestup křivky znázorňuje zalití trámů vodou až do dosažení maximálního stavu nasycení. Pokles znázorňuje pomalé vysychání trámů po dobu šesti týdnů až do téměř výchozího stavu. Rozdíl v hodnotách u dvou křivek je dán pravděpodobně rozdílnou kvalitou dřeva. U zbylých čtyřech trámů, které byly získány rozřezáním jednoho většího kusu, je rozsah hodnot SWC téměř identický. Průběh křivek se nicméně shoduje u všech šesti trámů.

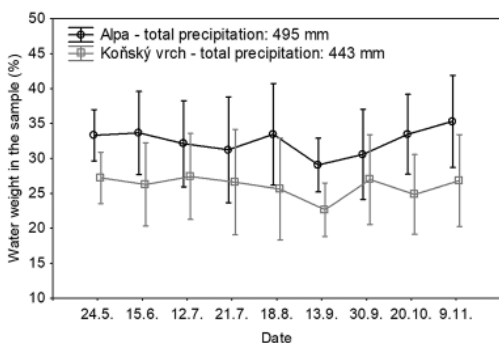
Fig. 3. Curves from the laboratory experiment (continuous measurements using probes). Time is on the horizontal axis and the vertical axis shows SWC values that we used as unitless numbers. The left side of the chart shows the initial condition of beams when the measured values were stabilised. Following increase of curves represents watering of beams until their maximal saturation was reached. The decrease represents a slow desiccation of beams during six weeks till the initial condition was almost reached. The difference in two curves is probably caused by a different wood quality. Four beams were cut from a single larger piece and the range of their SWC values is almost identical. The course of the curves in all six beams is similar.

VÝSLEDKY

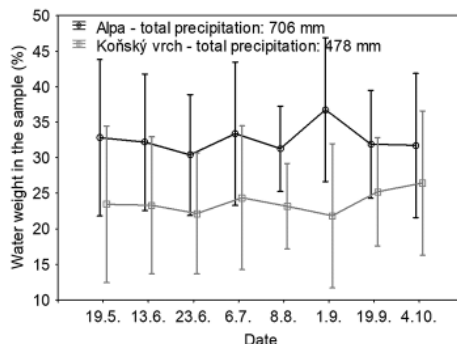
Výsledky z vážených a sušených vzorků

U vlhkosti dřeva z vážených a sušených vzorků z let 2021 a 2022 vychází průkazně vliv lokality, typu kmene a faktor profilu kmene. Dřevo bylo vlhčí na lokalitě Alpa než na lokalitě Koňský vrch (Obr. 4) a povrch kmenů byl signifikantně vlhčí než střed (Obr. 5). Vlhkost se nelišila mezi roky, kdy byly vzorky dřeva odebrány, ani mezi třemi ročními obdobími v těchto dvou sezónách (Tabulka 2). Mnohonásobné porovnání mezi typy kmenů ukázalo, že „ležící kmeny bez kontaktu se zemí“ jsou průkazně sušší než ostatní typy ($p < 0,05$). V obou letech dochází k prolínání hodnot vlhkosti kmenů u variant „stojících“ a „ležících“ kmenů (Obr. 6). Porovnání jednotlivých profilů pro oba roky 2021 a 2022 ukazuje Obr. 5. Jedná se o výsledky, kde jsou data z vážených a sušených vzorků spojena bez zohlednění lokality a typu kmene.

A 2021



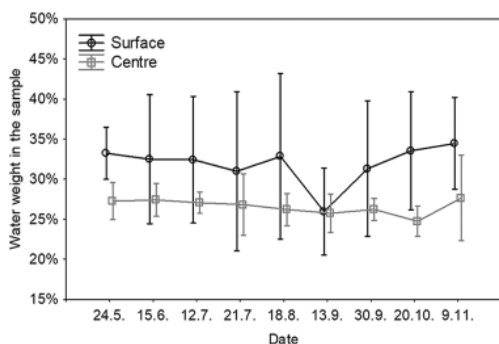
B 2022



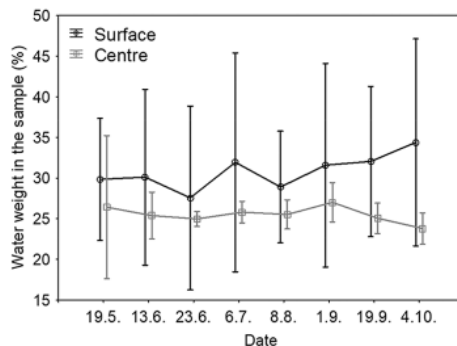
Obr. 4. Porovnání vlhkosti vzorků mezi lokalitou Alpa a Koňský vrch v letech 2021 (A) a 2022 (B).

Fig. 4. The comparison of moisture content of wood samples between the localities Alpa and Koňský vrch in 2021 (A) and 2022 (B).

A 2021



B 2022



Obr. 5. Procentuální hmotnost vody ve vzorcích – vlhkost dřeva v profilu (povrch a střed kmenů) v letech 2021 (A) a 2022 (B).

Fig. 5. Moisture content of wood samples from the surface and centre of trunks in 2021 (A) and 2022 (B).

Tabulka 2. Výsledek modelu se všemi proměnnými. Hodnoty p menší než 0,05 jsou zobrazeny tučně.
Table 2. Results of model with all variables included. P-values smaller than 0.05 are in bold.

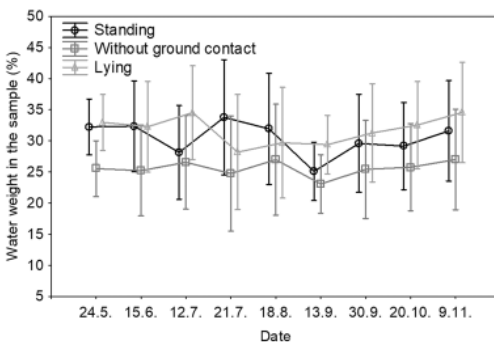
Proměnná / Variable	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	355	840,5325	<0,0001
Lokalita / Locality	1	20	10,9687	0,0035
Rok / Year	1	355	0,3404	0,5600
Období / Season	2	355	0,1711	0,8428
Typ kmene / Type of trunk	2	20	4,3757	0,0265
Profil / Profile	1	21	13,4621	0,0014
Interakce typ kmene:profil / Interaction type of trunk: profile	2	21	1,4172	0,2647

Z obou grafů vyplývá, že obecně vlhčí bývají povrchy kmenů a zároveň je zde pozorována větší variabilita. Oproti tomu středy kmenů si drží konstantní vlhkost v čase. Při odběru dne 13. 9. 2021, kdy byl odběr uskutečněn po dlouhé periodě sucha (za období 17 dní před odběrem na lokalitách v průměru spadlo 11 mm srážek), je zřetelné, že se vlhkost povrchů (bělového dřeva) přiblížila vlhkosti středů (jádrového dřeva). Vlhkosti středů naproti tomu na tuto sušší periodu nereagovaly.

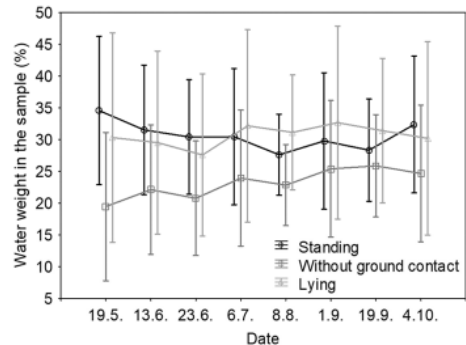
Pokud porovnáme lokality mezi sebou, v obou měřených letech (Obr. 4) pozorujeme vyšší hodnoty vlhkosti dřeva na lokalitě Alpa. Současně byl na této lokalitě zaznamenán vyšší úhrn srážek za stejné měřené období než na Koňském vrchu.

Hmotnost vody ve vzorcích se pohybovala v rozmezí 16–62 % hmotnosti vzorků na lokalitě Alpa, respektive 17–60 % na lokalitě Koňský vrch.

A 2021



B 2022



Obr. 6. Porovnání vlhkosti jednotlivých typů postavení kmene v letech 2021 (A) a 2022 (B).

Fig. 6. The comparison of moisture content of wood samples from three types of trunks in 2021 (A) and 2022 (B).

Výsledky z kontinuálního měření vlhkosti dřeva pomocí dataloggerů

Data z vlhkostních čidel na lokalitě Alpa ukazují nejvyšší vlhkost u ležícího kmene na zemi, následuje stojící kmen a nejsušší je ležící kmen bez kontaktu se zemí (Obr. 7, 8). Vlhkost na lokalitě Koňský vrch se u jednotlivých variant kmenů téměř nelišila, nebo jen v části sezóny (Obr. 9, 10). Pokles vlhkosti na lokalitě Koňský vrch od 18. 9. 2022 u „stojícího kmenu“ je dán poruchou čidla (Obr. 10).

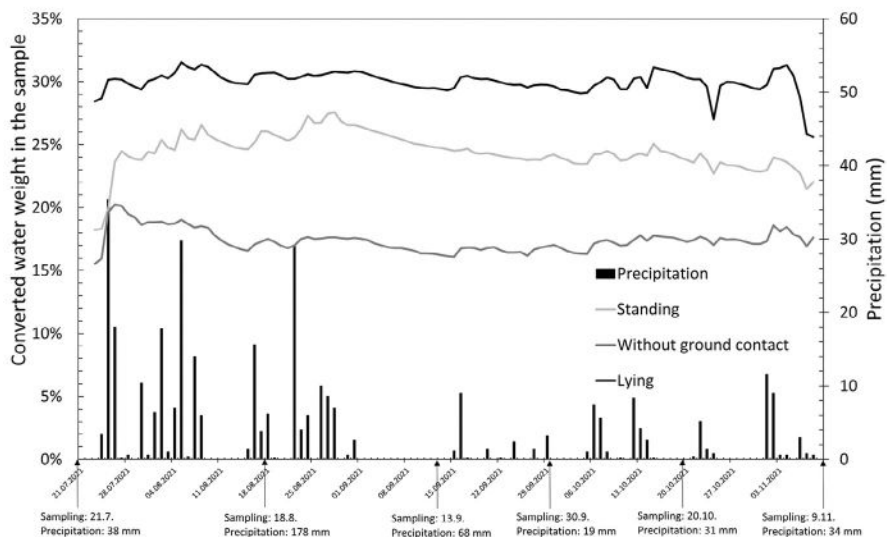
Přepočet hodnot SWC na % vlhkosti byl proveden podle rovnice $y = 1,1456x + 0,0787$, viz Příloha 1. Výsledné hodnoty procentuální vlhkosti z vlhkostních čidel jsou nižší než hodnoty vlhkosti ze vzorků odebraných z kmenů.

DISKUZE

Odumřelé kmeny stromů mají velký význam pro fungování ekosystému lesa. Jsou zdrojem živin a vody pro následnou obnovu lesa ale i pro mechorosty, lišejníky, houby a hmyz, ve stojící podobě mj. vytvářejí úkryty pro ptáky i malé obratlovce i pro řadu bezobratlých živočichů (STOKLAND et al. 2012). Tyto kmeny v neposlední řadě ovlivňují mikroklima biotopu, kde v různých fázích dekompozice představují velmi heterogenní mozaiku různě osvětlených, zastíněných a vlhkých ploch (ZIELONKA & PIATEK 2004). Na druhou stranu může odumřelé dřevo ponechané v porostech zvyšovat riziko korunových požárů. Především v prvních dvou letech po napadení kůrovcem, kdy jsou větve a některé jehličí stále přítomny na odumřelých stromech (HICKE et al. 2012). Odumřelé kmeny by mohly představovat riziko pro zahoření, pokud se docházelo k výrazným poklesům jejich vlhkosti. Obecně platí, že riziko zahoření dřeva se zvyšuje s jeho teplotou a poklesem vlhkosti, přičemž vztah obou parametrů pro dřevo vyjadřují hygroskopické křivky (WALLNER 2012).

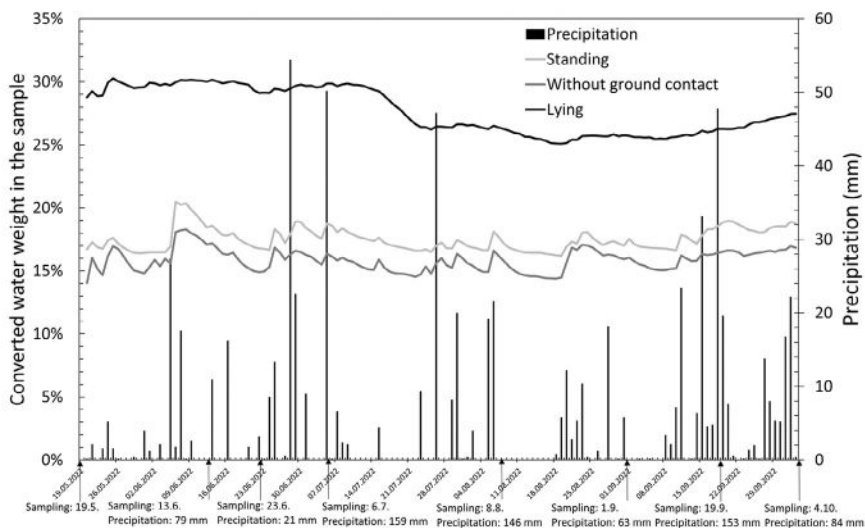
V naší studii se vlhkosti dřeva pohybovaly v rozmezí 16–62 %, což je více v porovnání s běžně udávanou hodnotou procentuální vlhkosti dřeva dlouhodobě chráněného před deštěm, která je 12 % při 20 °C a 65% vlhkosti vzduchu (BARONAS et al. 2001, TEODORESCU et al. 2021). Na 12 % vlhkosti hodnoty naměřené na obou lokalitách neklesly ani v době letních přísušků při absenci srážek nebo jejich minimu. Nejpravděpodobnějším vysvětlením je velká míra vlhkosti na obou lokalitách i v době beze srážek, a to vlivem relativně nízkých teplot, při kterých dochází ke kondenzaci vody zejména před východem slunce (PETRÍK 1986). Vlhkost povrchové vrstvy dřeva mohla být menší v hodně osluněných částech kmenů, kde jsme však vzorky neodebírali. Například v porovnání s prostředím dřevěných obytných budov, kde vlhkost dřeva klesá až na 3 % (LOG 2019), je riziko zahoření tlejícího dřeva významně nižší. Další otázkou je, jak se bude vlhkost dřeva vyvíjet s jeho dekompozicí. Naše studie zahrnuje hodnoty vlhkosti tlejícího dřeva v raných fázích dekompozice (2 resp. 3 roky po disturbanci), které odpovídají dle PRÍVĚTIVÉHO et al. (2017) přibližně vlhkosti kmenů smrku v době jejich odumření (20 %), nicméně autoři studie ukazují zvýšení obsahu vody na dvojnásobek (40 %) již 12 let po disturbanci, přičemž od 30 let po disturbanci dosahují kmeny nejvyšší a stabilní vlhkosti (47 %).

Mezi měřeními povrchové vrstvy bělového dřeva (6 cm) a vrstvou jádrového dřeva 6 cm od středu kmene vycházely průkazné rozdíly, vyšší hodnoty byly naměřeny v bělovém dřevě, a to i v období beze srážek (s výjimkou několika případů téměř stejných hodnot v obou hloubkách). To koresponduje s publikovanými výsledky pro smrk ztepilý (*Picea abies*), kde experimentální měření ukázalo, že jádrové dřevo má nižší absorpci vody, je celkově sušší



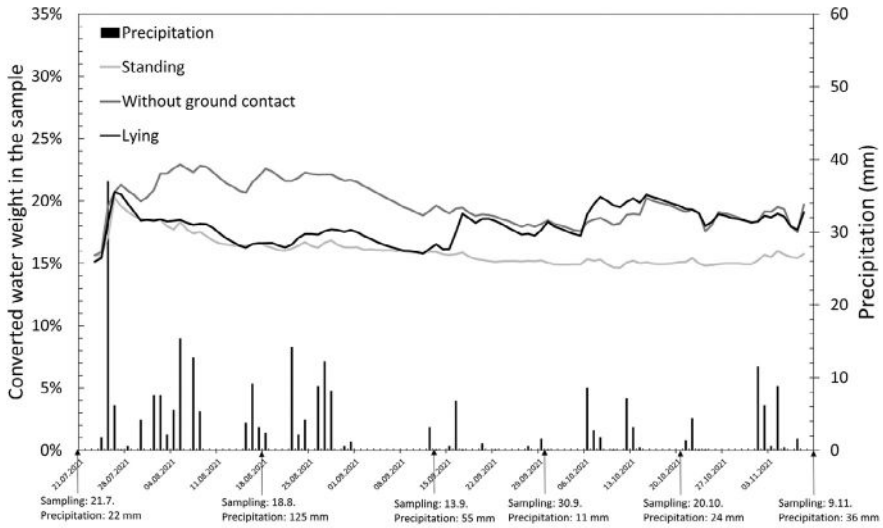
Obr. 7. Zachycení průběhu vlhkosti (hodnoty SWC přepočteny na % hmotnosti dřeva) jednotlivých kmenů na lokalitě Alpa v roce 2021. Šipky na ose x ukazují úhrny srážek mezi jednotlivými odběry. Úhrn srážek v tomto období byl 368 mm.

Fig. 7. Curves representing moisture changes in three trunks at the locality Alpa in 2021. SWC values calculated as % of the fresh weight of wood. Arrows on the horizontal axis show total precipitation since last wood sampling. Total precipitation in this period was 368 mm.



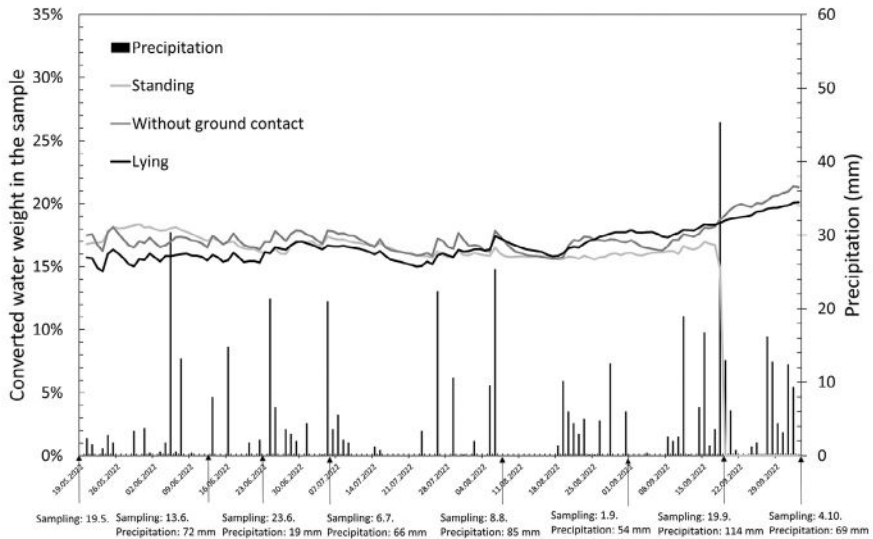
Obr. 8. Zachycení průběhu vlhkosti (hodnoty SWC přepočteny na % hmotnosti dřeva) jednotlivých kmenů na lokalitě Alpa roce 2022. Šipky na ose x ukazují úhrny srážek mezi jednotlivými odběry. Úhrn srážek v tomto období byl 706 mm.

Fig. 8. Curves representing moisture changes in three trunks at the locality Alpa in 2022. SWC values calculated as % of the fresh weight of wood. Arrows on the horizontal axis show total precipitation since last wood sampling. Total precipitation in this period was 706 mm.



Obr. 9. Zachycení průběhu vlhkosti (hodnoty SWC přepočteny na % hmotnosti dřeva) jednotlivých kmenů na lokalitě Koňský vrch v roce 2021. Šipky na ose x ukazují úhrny srážek mezi jednotlivými odběry. Úhrn srážek v tomto období byl 274 mm.

Fig. 9. Curves representing moisture changes in three trunks at the locality Koňský vrch in 2021. SWC values calculated as % of the fresh weight of wood. Arrows on the horizontal axis show total precipitation since last wood sampling. Total precipitation in this period was 274 mm.



Obr. 10. Zachycení průběhu vlhkosti (hodnoty SWC přepočteny na % hmotnosti dřeva) jednotlivých kmenů na lokalitě Koňský vrch v roce 2022. Šipky na ose x ukazují úhrny srážek mezi jednotlivými odběry. Úhrn srážek v tomto období byl 478 mm.

Fig. 10. Curves representing moisture changes in three trunks at the locality Koňský vrch in 2022. SWC values calculated as % of the fresh weight of wood. Arrows on the horizontal axis show total precipitation since last wood sampling. Total precipitation in this period was 478 mm.

a při jeho vysoušení také rychleji klesá obsah vody a během pětiletého sledování má větší odolnost vůči dekompozici (SANDBERG 2009). To má dle našeho názoru i důležité ekologické důsledky. Pro zahoření je důležitý zejména obsah vody v bělovém dřevě, které nejnásazně přichází do prvotního kontaktu s případným ohněm. V případech vyššího obsahu vody v bělovém dřevě je menší riziko zahoření než při případné expozici dřeva jádrového, což může nastat v místě zlomů dřeva či jiného narušení kmene.

Porovnání vlhkosti různých variant kmenů (ležící kmeny, ležící kmeny bez kontaktu se zemí, stojící kmeny) ukázalo, že ležící kmeny bez kontaktu se zemí byly sušší než další dvě varianty. Kmeny bez přímého kontaktu se zemí vznikají především při vývratech, plošných polomech (několik kmenů ležících přes sebe), nebo pokud leží na balvanech. U stojících a ležících kmenů byly hodnoty vlhkosti velmi podobné. Nicméně je důležité zmínit fakt, že u stojících kmenů byla vlhkost vždy měřena ve výčetní výšce a nemáme údaje z vertikálního gradientu. Je možné předpokládat pokles vlhkosti s rostoucí výškou nad zemí. Dolní části stojících kmenů a ležící kmeny jsou díky přímému a nepřetržitému kontaktu se zemí vlhčí, přičemž tento kontakt zlepšuje dostupnost živin pro mycelia hub a způsobuje rychlejší rozklad (SIITONEN et al. 2000). S postupným rozkladem se vlhkost těchto kmenů zvyšuje (POUSKA et al. 2016, PRÍVĚTIVÝ et al. 2017).

Vlhkost kmenů byla celkově větší na lokalitě Alpa než na lokalitě Koňský vrch. To může být dáno úhrny srážek, které zde byly také signifikantně vyšší. Závislost vlhkosti tlejících kmenů na ročním období a množství srážek byla již dříve potvrzena (PICHLER et al. 2012). Mezi další faktory ovlivňující vlhkost dřeva mohou patřit větrné podmínky nebo přítomnost horizontálních srážek (BRACKEBUSCH 1975). Vliv může mít i teplota na dané lokalitě. Ta v našem případě měřena nebyla a obecně tento faktor nebyl ještě studován (PRÍVĚTIVÝ & ŠAMONIL 2021).

Obě dvě použité metody měření vlhkosti tlejícího dřeva lze považovat za vhodné, mají však také své limity. Hodnoty vlhkosti měřené sondami na principu elektrického odporu citlivě reagovaly na srážkové události, a u laboratorního experimentu bylo možné najít použitelný regresní vztah mezi hodnotami naměřenými sondami a daty z vážení a sušení vzorků dřeva. Nicméně tento vztah nebyl nalezen v datech z měření *in-situ* v terénu. Dle našeho názoru jsou nejpravděpodobnějším vysvětlením nehomogenity dřeva, jejichž důsledkem jsou odchylky naměřené vlhkosti. Takové nehomogenity mohou být způsobeny prasklinami ve dřevě či v heterogenitě dekompozičních procesů. Navíc vrtané a vážené vzorky lze odebrat spolehlivě jen do určitého stupně dekompozice, u čtvrtého a pátého stupně již vrtákem nelze odebrat definovatelný objem vývrtu (vzorek se rozpadá a musel by být použit jiný destruktivnější přístup), naproti tomu u kontinuálního měření sondami lze pořizovat záznam pravděpodobně i u vyšších stupňů dekompozice (byť kalibrace může být problematická), získávání dat je méně pracné a je možné takto sledovat diurnální i sezónní dynamiku vývoje hodnot vlhkosti.

ZÁVĚR

Naše studie ukázala, že vlhkost tlejícího dřeva 2 resp. 3 roky po disturbanci je relativně stabilní v čase a pohybuje se v intervalu 16–62 % v závislosti na teplotách a srážkách. Vyšší vlhkost vykazovalo bělové dřevě než dřevě jádrové. Mezi variantami kmenů (ležící, ležící bez kontaktu se zemí, stojící) byly nejsušší kmeny bez kontaktu se zemí a dřevě na lokalitě Alpa bylo vlhčí než na lokalitě Koňský vrch. Za vhodnou metodu měření vlhkosti dřeva

považujeme kontinuální měření sondami na základě elektrického odporu dřeva, nutná je však jejich kalibrace laboratorním experimentem. Vrtané a vážené vzorky mohou více odrážet nehomogenitu dřeva vznikající v průběhu jeho dekompozice. Přestože měření v různých variantách kmenů či profilu dřeva ukázalo signifikantní rozdíly, vlhkost dřeva byla relativně vysoká a nevykazovala výrazné poklesy ani v období bez srážek. I v případě rozdílů na obou lokalitách lze rozdíly vlhkosti dřeva přisoudit odlišným srážkovým úhrnům, které jsou však poměrně vysoké proti průměru ČR. Lze tedy shrnout, že vlhkost dřeva je v oblasti NP Šumava relativně stabilní parametr, který ani v periodách bez srážek neklesá na hodnotu sušeného dřeva, na které nepůsobí srážky (12 %). Díky vysokému srážkovému úhrnu a nízkým teplotám na Šumavě je možné považovat riziko požáru za poměrně malé vyjma jeho cíleného založení či mimořádné události (např. úniky hořlavých látek). Naopak tlející dřevo je nezbytnou součástí ekosystémových procesů a integrity lesních porostů.

Poděkování. Tato práce vznikla s podporou projektu POPFK – č. 115V177002027 „Sledování změn vlhkosti v odumřelých kmenech v průběhu vegetační sezony“. Děkujeme J. Lepšovi a P. Šmilauerovi za konzultace ohledně statistického vyhodnocení dat.

LITERATURA

- BARONAS R., IVANAUSKAS F., JUODEIKIENĖ I. & KAJALAVIČIUS A., 2001: Modelling of moisture movement in wood during outdoor storage. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 6: 3–14.
- BOONE R.S. & WENGERT E.M., 1998: Guide for using the oven-dry method for determining the moisture content of wood. *Forestry Facts*, 89: 1–4.
- BORREGA M. & KÄRENLAMPPI P.P., 2008: Mechanisches Verhalten von wärmebehandeltem Fichtenholz (*Picea abies*) bei konstanter Holz – und Luftfeuchte [Mechanical behavior of heat-treated spruce wood (*Picea abies*) at constant wood and air humidity]. *Holz Als Roh – Und Werkstoff*, 66: 63–69 (in German).
- BRACKEBUSCH A.P., 1975: Gain and Loss of Moisture in Large Forest Fuels. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, USA, 50 pp.
- BRISCHKE C., RAPP A.O. & BAYERBACH R., 2008: Measurement system for long-term recording of wood moisture content with internal conductively glued electrodes. *Building and Environment*, 43: 1566–1574.
- BÜTLER R., PATTY L., LE BAYON R., GUENAT C. & GUENAT C., 2007: Log decay of *Picea abies* in the Swiss Jura Mountains of central Europe. *Forest Ecology and Management*, 242: 791–799.
- CALDWELL T.G., BONGIOVANNI T., COSH M.H., HALLEY C. & YOUNG M.H., 2018: Field and Laboratory Evaluation of the CS655 Soil Water Content Sensor. *Vadose Zone Journal*, 17: 1–16.
- FLANNIGAN M., CANTIN A.S., DE GROOT W.J., WOTTON M., NEWBERY A. & GOWMAN L.M., 2013: Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*, 294: 54–61.
- FRAVER S., WAGNER R. & DAY M., 2002: Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 2094–2105.
- FREDRIKSSON M., THYBRING E.E. & ZELINKA S.L., 2021: Artifacts in electrical measurements on wood caused by non-uniform moisture distributions. *Holzforschung*, 75: 517–525.
- FREDRIKSSON M., WADSÖ L. & JOHANSSON P., 2013: Small resistive wood moisture sensors: A method for moisture content determination in wood structures. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71: 515–524.
- GONZÁLEZ J.R., PALAHÍ M., TRASOBARES A. & PUKKALA T., 2006: A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science*, 63: 169–176.
- HAIŠ M. & KUČERA T., 2008: Surface temperature change of spruce forest as a result of bark beetle attack: Remote sensing and GIS approach. *European Journal of Forest Research*, 127: 327–336.
- HARMON M.E. & SEXTON J., 1995: Water balance of conifer logs in early stages of decomposition. *Plant and Soil*, 172: 141–152.
- HART S.J., HENKELMAN J., MCLOUGHLIN P.D., NIELSEN S.E., TRUCHON-SAVARD A. & JOHNSTONE J.F., 2019:

- Examining forest resilience to changing fire frequency in a fire-prone region of boreal forest. *Global Change Biology*, 25: 869–884.
- HARTLEY I. & HAMZA M., 2016: Wood: Moisture content, hygroscopicity and sorption. In: *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, BUSCHOW K.H.J. (ed.), Oxford, Elsevier: 9668–9673.
- HICKE J.A., JOHNSON M.C., HAYES J.L. & PREISLER H.K., 2012: Effects of bark beetle-caused tree mortality on wildfire. *Forest Ecology and Management*, 271: 81–90.
- HORÁČEK P., 2008: Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. (Vol. 2) [Physical and mechanical properties of wood I. (Vol. 2)]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 124 pp. (in Czech).
- CHMI 2021: Věděli jste, že... tentokrát z jižních Čech [Did you know that... from South Bohemia]. Ms., press release, 4 pp. Online: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/TZ_Zajimavosti_z_jiznich_Cech_2021.pdf (accessed on 29 August 2023) (in Czech).
- JIN S. & SADER S.A., 2005: Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94: 364–372.
- JOLLY W.M., COCHRANE M.A., FREEBORN P.H., HOLDEN Z.A., BROWN T.J., WILLIAMSON G.J. & BOWMAN D.M.J.S., 2015: Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6: 7537.
- KAUTH R.J. & THOMAS G.S., 1976: The tasseled cap—a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *LARS symposia*, 159 pp.
- KEELEY J.E., 2009: Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18: 116–126.
- KUENZER C. & DECH S., 2013: Theoretical background of thermal infrared remote sensing. *Thermal Infrared Remote Sensing: Sensors, Methods, Applications*, 1–26.
- KUNĚŠ P. & SUDA T., 2018: Vegetační vývoj lokality Soos a jejího okolí pohledem kvartérní paleoekologie [Vegetation development of the Soos locality and its surroundings from the perspective of quaternary paleoecology]. In: *Květena Soosu a okolí*, BRABEC & VELEBIL (eds) Základní organizace Českého svazu ochránců přírody a Muzeum Cheb, 24–36 pp. (in Czech).
- KYSELÝ J. & BERANOVÁ R., 2009: Climate-change effects on extreme precipitation in central Europe: Uncertainties of scenarios based on regional climate models. *Theoretical and Applied Climatology*, 95: 361–374.
- LAIHO R. & PRESCOTT C., 2004: Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 763–777.
- LOG T., 2019: Modeling indoor relative humidity and wood moisture content as a proxy for wooden home fire risk. *Sensors (Switzerland)*, 19(22): 5050.
- NEUHÄUSLOVÁ Z., 2001: Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky [Map of potential natural vegetation of the Czech republic]. Academia Praha (in Czech).
- PETŘÍK M., 1986: Lesnícka bioklimatológia (1st ed.) [Forest bioclimatology]. *Priroda*, 365 pp. (in Slovak).
- PICHLER V., HOMOLÁK M., SKIERUCHA W., PICHLEROVÁ M., RAMÍREZ D., GREGOR J. & JALOVÍAR P., 2012: Variability of moisture in coarse woody debris from several ecologically important tree species of the Temperate Zone of Europe. *Ecohydrology*, 5: 424–434.
- POUSKA V., MACEK P. & ZÍBAROVÁ L., 2016: The relation of fungal communities to wood microclimate in a mountain spruce forest. *Fungal Ecology*, 21: 1–9.
- PRÍVĚTIVÝ T., BALDRIAN P., ŠAMONIL P. & VRŠKA, T., 2017: Deadwood density and moisture variation in a natural temperate spruce-fir-beech forest. *Preprints*: 2017050215.
- PRÍVĚTIVÝ T. & ŠAMONIL P., 2021: Variation in downed deadwood density, biomass, and moisture during decomposition in a natural temperate forest. *Forests*, 12: 1352.
- R CORE TEAM, 2022: R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- SANDBERG K., 2009: *Norway spruce heartwood: properties related to outdoor use*. Division of Wood Science and Technology, Luleå University of Technology, Skellefteå, 50 pp.
- SEXTON J.M. & HARMON M.E., 2009: Water dynamics in conifer logs in early stages of decay in the Pacific Northwest, U.S.A. *Northwest Science*, 83: 131–139.
- SIAU J.F., 1984: *Transport Processes in Wood*. Springer Berlin, Heidelberg, 149 pp.

- SIPPOLA A.-L., & RENVALL P., 1999: Wood-decomposing fungi and seed-tree cutting: A 40-year perspective. *Forest Ecology and Management*, 115: 183–201.
- SIITONEN J., MARTIKAINEN P., PUNTTILA P. & RAUH J., 2000: Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management*, 128: 211–225.
- STOKLAND J.N., SIITONEN J., & JONSSON B.G., 2012: Biodiversity in Dead Wood. *Cambridge University Press*. Cambridge, UK, 524 pp.
- TANSKANEN H., VENÄLÄINEN A., PUTTONEN P. & GRANSTRÖM A., 2005: Impact of stand structure on surface fire ignition potential in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* forests in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 410–420.
- TEODORESCU I., ERBASU R., BRANCO J.M. & TAPUSI D., 2021: Study in the changes of the moisture content in wood. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 664: 012017.
- TESTING AND MATERIALS, 1992: *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials 1*. ASTM International. Online: <http://file.yizimg.com/424653/2013121013320823.pdf> (accessed on 29 August 2023).
- TUCKER C.J., 1979: Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote sensing of environment* 8: 127–150.
- VIDAL A., PINGLO F., DURAND H., DEVAUX-ROS C. & MAILLET A., 1994: Evaluation of a temporal fire risk index in Mediterranean forests from NOAA thermal IR. *Remote Sensing of Environment*, 49(3): 296–303.
- WALLNER B., 2012: Versuchstechnische Evaluierung feuchteinduzierter Kräfte in Brettschichtholz verursacht durch das Einbringen von Schraubstangen [Experimental evaluation of moisture-induced forces in glued laminated timber caused by the insertion of screw rods]. Ms., diploma thesis, University of Technology, Graz, 154 pp. (Institute of Timber Engineering and Wood Technology, University of Technology, Gratz) (in German).
- WILLIAMSON G.B. & WIEMANN M.C., 2010: Measuring wood specific gravity...correctly. *American Journal of Botany*, 97: 519–524.
- ZIELONKA T. & PIATEK G., 2004: The herb and dwarf shrubs colonization of decaying logs in subalpine forest in the Polish Tatra Mountains. *Plant Ecology*, 172: 63–72.

Received: 4 July 2023
Accepted: 29 July 2023

Příloha 1. Získaný regresní vztah mezi daty naměřenými čidly (SWC) a hodnotami vlhkostí získané pomocí odběrů sušených a vážených vzorků („Oven-dry method“) v řízeném laboratorním experimentu.

Appendix 1. The regression of the values measured by the probes (SWC) and moisture content values from wood samples (“Oven-dry method”) in the laboratory experiment.

