



# VPLYV STANOVIŠTNÝCH FAKTOROV NA POŠKODENIE LESOV SUCHOM V ROKU 2022

Tomáš Bucha ▪ Bohdan Konôpka ▪ Pavel Pavlenda

**Bucha, T., Konôpka, B., Pavlenda, P.: Impact of site conditions on drought-related forest damage in 2022.** APOL, 2024, vol. 5, no. 1, p. 63–71.

**Abstract:** In the summer of 2022, Slovak forests experienced significant browning, yellowing, and leaf loss due to extremely low rainfall and high temperatures from June to early August. This study analysed 223,663 hectares of forest stands damaged by drought in 2022, as derived from Sentinel-2 satellite images. The analysis examined the relationship between defoliation and key predisposing site factors, such as exposition, forest vegetation zones, and soil conditions. It revealed that the worst damage occurred in western and southern central Slovakia, particularly on south-facing slopes. We found that the difference in damage between various expositions was less substantial than expected. The difference between the highest and lowest proportion of damaged stands (SSE 12.2% vs. NWW 8.2%) was only 4%, indicating the vulnerability of stands across all exposures. Damage decreased with higher elevations and lower soil sand content. Compared to older literature, we observed a vertical shift in the occurrence of drought-damaged stands from forest vegetation zones 1–3 (elevation range 100–500 m) to zone 1–5 (mainly in range 100–800 m a.s.l.). These new findings can be considered evidence of climate change's real impact on temperate forests in the Western Carpathians, with implications for forestry practices.

**Key words:** Sentinel-2 images; rainfall deficit; defoliation; climate change; abiotic environment

---

## Úvod a cieľ práce

Počas leta 2022 bolo na Slovensku pozorované rozsiahle zhoršovanie zdravotného stavu listnatých lesov (SHMÚ 2022). Hlavnými príznakmi boli zmeny farby (najmä rôzne druhy hnednutia) a defoliácia. V bukových a hrabových porastoch bola zároveň zaznamenaná silná plodivosť (fruktifikácia). Hoci vyššia fruktifikácia môže viesť k zvýšenej defoliácii, zhoršenie v roku 2022 bolo primárne dôsledkom pôsobenia meteorologického a pôdneho sucha. Na celom území Slovenska boli v roku 2022 pomerne extrémne meteorologické podmienky. Veľký deficit zrážok bol zaznamenaný v marci, extrémne sucho bolo na juhozápadnom Slovensku. V apríli sa situácia zlepšila a až do polovice mája prevládali normálne až mierne suché podmienky. Teplotne nadpriemerné a veľmi obmedzené zrážky sa vyskytli od druhej polovice mája. V tretej dekáde júla bolo extrémne sucho pozorované na približne polovici meteorologických staníc. Po zrážkových udalostiach v auguste bolo na východe ešte začiatkom septembra mimoriadne sucho.

Pôdne sucho odrážalo aktuálne meteorologické podmienky, pritom v niektorých oblastiach stav vlhkosti v lesnej pôde prekračoval kritické hodnoty. Koncom júna sa začalo kritické pôdne sucho, ktoré postihlo až 55 % územia. V druhej polovici júla čelilo extrémnemu suchu takmer 60 % územia, ktoré vyvrcholilo 24. júla a zasiahlo najmä západné a stredné Slovensko (SHMÚ 2022). Rôzne ukazovatele vrátane klimatickej vodnej bilancie a obsahu vody v pôde potvrdili závažnosť sucha, najmä v júli. Analýza deficitu vody na základe porovnania zrážok 2022 s predchádzajúcim desaťročným priemerom odhalila, že na všetkých intenzívneho monitoringu monitorovacích plochách na Slovensku zrážky od mája do júla nedosahovali ani 50 % desaťročného priemeru zrážok za príslušné mesiace, pričom 3 zo 7 plôch zaznamenali menej ako 25 % priemerných hodnôt (Pavlenda et al. 2022). Mapy „InterSucho“ v práci Bucha et al. (2024) dokumentujú intenzitu a rozsah sucha v roku 2022, ako aj v roku 2020, počas ktorého sa sucho nevyskytlo.

Potreba komplexnej klasifikácie škôd na lesoch spôsobených suchom vyplýva z požiadavky na čo najpresnejšiu identifikáciu zraniteľných oblastí. Takáto kvantifikácia umožní navrhnuť a následne realizovať lesnícke a ochrannárske opatrenia na minimalizáciu rizík, ktoré predstavujú dopady sucha na lesné porasty, ich produkciu a kvalitu vyprodukovaného dreva.

Hlavným cieľom práce je analýza stanovištných faktorov, ktoré vplyvajú na poškodenie lesov suchom. Na základe doterajších poznatkov boli sformulované nasledujúce hypotézy:

1. Najvyššia intenzita poškodenia lesov spôsobených suchom bude spojená s južnými expozíciami z dôvodu ich najsilnejšieho vystavenia dopadajúcemu slnečnému žiareniu.
2. Poškodenie spôsobené suchom sa najvýraznejšie prejaví v oblastiach s horšími vodozadržnými vlastnosťami pôdy, najmä na pôdach s vysokým podielom skeletu (štrku, kameňov alebo balvanov) a hrubšou zrnitosťou (vysokým podielom pieskovej frakcie v jemnozemi), ktoré sa vyznačujú nízkou schopnosťou zadržiavania pôdnej vlhkosti a následnou rýchlou stratou vlhkosti pôdy.
3. Lesné vegetačné stupne (LVS) v nižších polohách, najmä v regiónoch južného Slovenska, budú vykazovať vyššiu mieru poškodenia lesov, keďže v týchto oblastiach je spravidla menej zrážok a majú vyššie teploty vzduchu ako vo vyšších nadmorských výškach.

## Materiál a metodika

### Vstupné údaje – poškodenia lesov vplyvom sucha v roku 2022

V príspevku nadväzujeme na našu predchádzajúcu prácu Bucha et al. (2024), v ktorej sme kvantifikovali poškodenie lesov suchom v roku 2022 na základe využitia satelitných snímok Sentinel-2. Metodický postup spočíval v stanovení defoliácie lesov v roku 2022 a jej porovnaní s referenčným rokom 2020, ktorý bol v celoslovenskom rozsahu bez výskytu sucha. Klasifikácia defoliácie v referenčnom roku je nevyhnutná na odlíšenie poškodenia spôsobeného suchom od poškodení, ktoré sa vyskytli v referenčnom roku a pred ním, a prejavujú sa viacročným zvýšením defoliácie. Ide napríklad o preriedené porasty a zníženie zápoja po kalamitách, výchovných zásahoch, ťažbe, pôsobením imisií, grádáciami biotických škodcov.

Na základe rozdielu v defoliácii medzi 2020 a 2022 sme kvantifikovali zmenu zdravotného stavu porastov. Zhoršenie bolo definované ako nárast defoliácie o  $\geq 30\%$ , zlepšenie ako pokles o  $\leq 30\%$ , a zmeny medzi  $-30\%$  a  $+30\%$  sa považovali za nevýznamné. Zhoršenie o  $\geq 30\%$  indikujúce poškodenie suchom sme identifikovali na 223 663 ha porastov (Tab. 1).

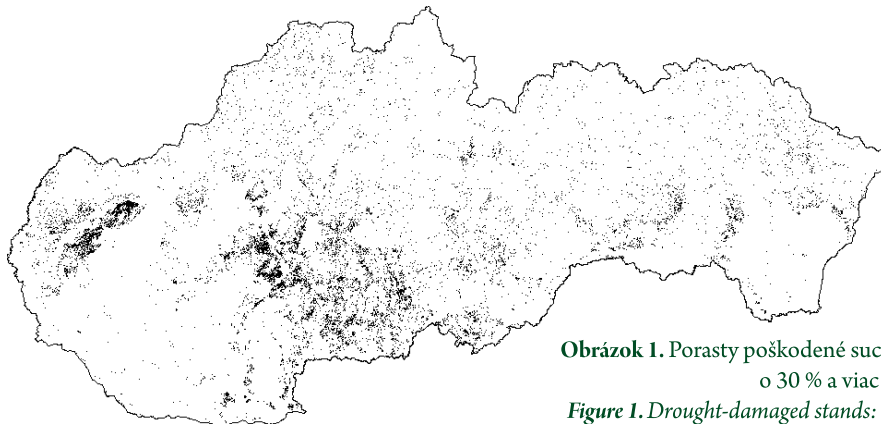
**Tabuľka 1.** Klasifikácia poškodenia lesov Slovenska – sumárne výsledky za rok 2022 (stav v prvej dekáde augusta)

**Table 1.** Classification of forest damage in Slovakia – summary results for the year 2022 (status in the first decade of August)

Kategória	Slovný opis zmeny	Zmena (ha)	Zmena (%)
1	Zlepšenie zdravotného stavu o 30 % a viac	33 250	1,5
2	Bez zmeny alebo zmeny do $\pm 30\%$	1 903 390	88,1
3	Zhoršenie zdravotného stavu o 30 % a viac	223 663	10,4

### Zaujímavé územie

Zaujímavé územie reprezentujú lesné porasty Západných Karpát a Panónskej nížiny na území Slovenska. Predmetom výskumu sú len lesné porasty poškodené v dôsledku sucha v roku 2022 plošne kvantifikované kategóriou 3 v tab. 1. Ich priestorové rozšírenie zobrazuje obr. 1.



**Obrázok 1.** Porasty poškodené suchom: zhoršenie defoliácie o 30 % a viac medzi rokmi 2020 a 2022  
**Figure 1.** Drought-damaged stands: Deterioration from 2020 to 2022 with 30% or greater defoliation

Z mapky (obr. 1) je zrejmé, že vplyv sucha na lesné porasty v rámci územia Slovenska nebol rovnomerný. Poškodenie suchom, reprezentované plošným výskytom pixelov, je sústredené do oblasti západného Slovenska a južnej časti stredného Slovenska. Menej poškodené sú porasty východného Slovenska, kde prejavy sucha boli pozorovateľné v južnej časti Volovských, Slanských a Vihorlatských vrchov a Slovenskom krase. Na obr. 1 sú po celom Slovensku dobre viditeľné aj roztrúsené jednotlivé pixely alebo menšie skupinky pixelov. V týchto prípadoch ide najmä o ťažby, ktoré sa realizovali medzi rokmi 2020 a 2022, a nie o prejavy sucha. Podľa Zelených správ o lesoch z rokov 2020 a 2021 ide o výmeru cca 30 tis. ha, kde sa vykonala obnova lesa. Postihnutie týchto oblastí suchom však nie je možné vylúčiť. Preto boli zahrnuté do ďalších analýz, v ktorých sme pracovali s celou rozlohou 223 663 hektárov (Tab. 1 – kategória 3).

### Vzťah medzi poškodením lesov suchom a abiotickým prostredím

Mapa suchom poškodených porastov v roku 2022 bola podkladom pre ďalšie analýzy. Z lesníckeho hľadiska je kľúčové poznať závislosť poškodenia porastov od stanovištných podmienok, v ktorých rastú. Tieto sú v našej práci dané:

- (i) Morfometrickými parametre reliéfu reprezentovaného expozíciou.
- (ii) Pôdnym prostredím vyjadreným edafickými jednotkami lesnej typológie: edaficko-trofickými radmi a textúrou pôdy.
- (iii) Klimaticky podmieneným vertikálnym rozložením lesnej vegetácie vyjadrenej lesnými vegetačnými stupňami (LVS).

Expozícia je smer, do ktorého smeruje maximálny sklon. V našom príspevku rozlišujeme osem kategórií expozície s krokom 45° od severu v smere hodinových ručičiek. Deviata kategória obsahuje oblasti na rovinách. GIS vrstva expozície bola odvodená v prostredí IDRISI TerrSet z digitálneho modelu reliéfu DMR3.5 s rozlíšením pixelov 25 × 25 m.

Charakter pôdneho prostredia je vyjadrený v ôsmich kategóriách. Podľa Zlatníka (1976) ide o rozdelenie na šesť edaficko-trofických radov a medziradov A, A/B, B, B/C, C, D a dva azonálne súbory – a, c. Tieto typologické jednotky odrážajú chemické aj fyzikálne podmienky pôdy. Rad A reprezentuje oligotrofné stanovišťa (kyslé, na živiny chudobné pôdy), rad B sa vyznačuje na živiny stredne bohatými pôdami, rad C je nitrofilný, s veľmi kamenistými pôdami a vysokým obsahom humusu a dusíka, a rad D je kalcifilný s plytkými alebo veľmi kamenistými karbonátovými pôdami. Rady A/B a B/C sú prechodné. Dva špeciálne súbory (a, c) sú silne ovplyvnené stojatou (a) alebo tečúcou (c) podzemnou vodou.

Hlavnou vlastnosťou pôdy súvisiacou s jej schopnosťou zadržiavať vodu je textúra jemnozeme. Klasifikácia textúry pôdy je založená na obsahu minerálnych frakcií: ílu, hliny a piesku. Použili sme klasifikáciu podľa obsahu ílu (frakcia pod 0,01 mm) s triedami: 1 piesočnatá, 2 hlinito-piesočnatá, 3 piesočnato-hlinitá, 4 hlinitá, 5 ílovito-hlinitá a 6 ílovitá. Okrem toho je dôležitým parametrom podiel skeletu (frakcia s veľkosťou viac ako 2 mm).

Lesné vegetačné stupne sú vyjadrené ôsmimi kategóriami (Zlatník 1976). Kategóriou 9 sme označili všetky azonálne spoločenstvá. Základné členenie LVS je uvedené v opise pod obr. 3.

Celoslovenské GIS vektorové vrstvy LVS a pôdných pomerov boli získané z databázy Lesníckeho informačného systému (NLC 2023a, 2023b), ktorý spravuje Národné lesnícke centrum. Vektorové vrstvy boli rastované a prevzorkované spolu s klasifikáciou poškodenia lesa zo Sentinel-2 na veľkosť pixelov 30 × 30 m pre ďalšie analýzy.

### Vyhodnotenie údajov

Pri posudzovaní vzťahov medzi poškodením lesa suchom a abiotickým prostredím sme vychádzali z plochy poškodených porastov ako priamym ukazovateľom rozsahu poškodenia. Plocha je uvádzaná v hektároch a členená do jednotlivých kategórií expozícií, edaficko-trofických jednotiek a LVS. Je z nej možné odvodiť relatívne miery poškodenia k zvoleným základom, ktorými môžu byť celková výmera lesných porastov, celková výmera suchom poškodených porastov alebo celková výmera porastov v danej kategórii poškodenia.

Pre posledný prípad, bolo relatívne zastúpenie kategórie ( $w_c$ ) stanovené ako podiel suchom poškodených porastov v danej kategórii a celkovej výmere danej kategórie. Podiel  $w_c$  bol vypočítaný pre všetky kategórie expozície, LVS, pôdných radov a súborov, a zrnitosti pôdy, a vyjadrený v percentách podľa vzťahu [1]:

$$w_c\% = \frac{A_{c\_d}}{A_{c\_all}} \cdot 100 \quad [1]$$

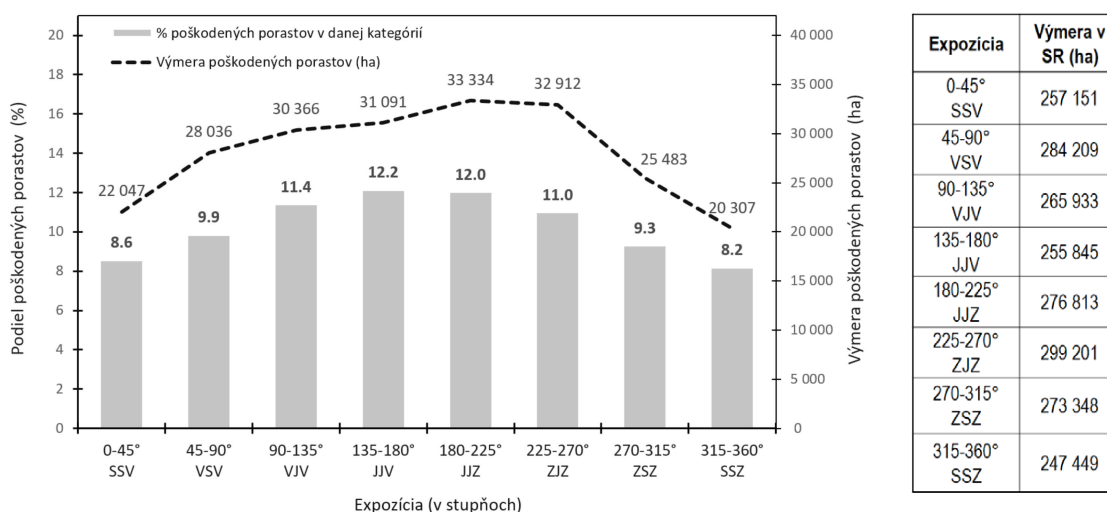
kde  $A_{c\_d}$  – plocha kategórie s lesom poškodeným suchom,  
 $A_{c\_all}$  – celková plocha kategórie (les bez poškodenia + les poškodený suchom).

## Výsledky

### Vzťah medzi poškodením lesa suchom a expozíciou

Expozícia je morfometrický parameter reliéfu, ktorý prostredníctvom príjmu slnečného žiarenia ovplyvňuje vlhkosť režim pôd, evapotranspiračné procesy a výskyt sucha. Vzťahy medzi expozíciou svahov, podielom suchom poškodených porastov v danej kategórii a výmerou poškodených porastov sú dokumentované na obr. 2. Tabuľka pri obrázku preukazuje, že výmery jednotlivých expozícií sa v SR líšia. Z toho dôvodu bol pre vzájomné porovnanie miery poškodenia vypočítaný relatívny podiel kategórie podľa vzťahu [1].

Zaznamenali sme postupný nárast podielu (relatívnej početnosti) lesov poškodených suchom od severných k južným expozíciám. Najvyššie podiely poškodených porastov boli pozorované na južných stranách od 135° do 180° a od 180° do 215°. Výskyt poškodených porastov na severnejších expozíciách bol síce nižší ako na južných, ale stále bol značný. Na svahoch so severovýchodným sklonom (od 0° do 90°) dosiahol 18,5 % a na severozápadných svahoch (od 270° do 360°) 17,5 %.



**Obrázok 2.** Výmera poškodených porastov a ich percento v závislosti od expozície. Percento je vypočítané z pomeru výmery poškodeného lesa k celkovej výmere lesa v danej kategórii expozície uvedenej v tabuľke vpravo

**Figure 2.** Area of damaged stands and their percentage depending on the aspect. Percentage is calculated as the acreage ratio of damaged forest to the total area of forests in the given aspect, which is shown in the table right

Z pohľadu výmery, najvyššie výskytu poškodených porastov boli zistené na JJZ a ZJZ expozícií od 180° do 270° (obr. 2 – čiarový graf). Je to však ovplyvnené aj vyššou celkovou výmerou týchto expozícií (JJZ – 278 813 ha a ZJZ – 299 201 ha) oproti ostatným expozíciám (tabuľka pri obr. 2).

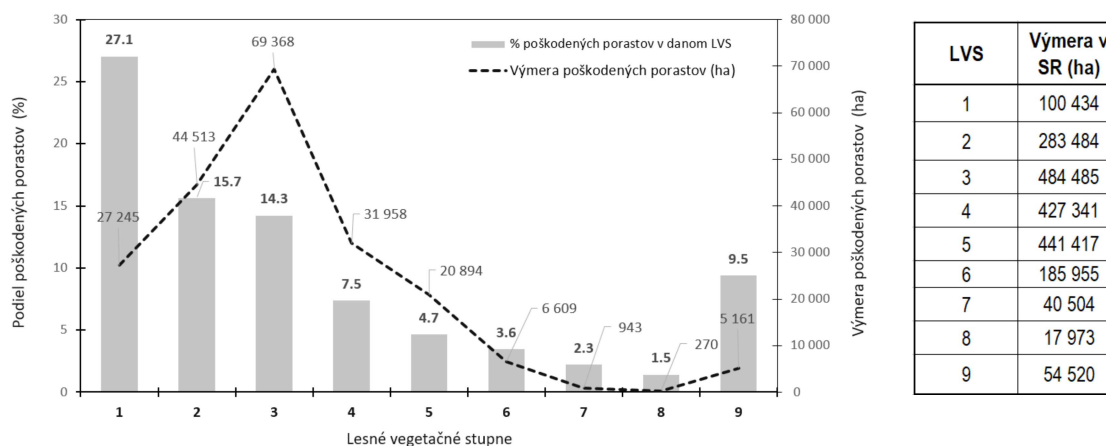
V stĺpcovom znázornení na obr. 2 je zrejмый posun najviac poškodených porastov smerom k juhovýchodnej expozícii. Tento posun vyplýva z metodiky výpočtu podľa vzťahu [1], ktorá umožňuje vzájomne porovnať mieru poškodenia v jednotlivých kategóriách. Pri aplikácii tohto prístupu majú najvyššie relatívne zastúpenie suchom poškodených porastov expozície JJV (12,2 %) a JJZ (12,0 %). Z pohľadu vplyvu sucha sú teda najviac ohrozené porasty na expozíciách od 135° do 225°.

### Vzťah medzi poškodením lesov suchom a lesnými vegetačnými stupňami

LVS predstavujú zmeny v zložení prirodzených lesných spoločenstiev podmienené výškovými zmenami klimatických podmienok. Výsledná výmera poškodených porastov v jednotlivých LVS je uvedená na obr.

3. V tabuľke pri obrázku sú uvedené celkové výmery jednotlivých LVS na Slovensku. Podiel poškodených porastov v LVS bol vypočítaný z uvedených výmer podľa vzťahu [1], čo umožňuje vzájomné porovnanie poškodení suchom medzi jednotlivými LVS.

Najvyššie plošné zastúpenie poškodených porastov bolo v 3. LVS (69 368 hektárov). Je to ovplyvnené tým, že 3. LVS je na Slovensku najrozšírenejší (484 485 hektárov). Najvyšší podiel poškodených porastov (27,13 %) bol však pozorovaný v 1. LVS, kde je najvyššia priemerná ročná teplota a najnižšie množstvo zrážok. Obr. 3 (stĺpcový graf) ukazuje postupný pokles podielu lesných porastov poškodených suchom so zvyšujúcou sa LVS.



**Obrázok 3.** Percento poškodených porastov a ich plocha v LVS: 1. dubový; 2. bukovo-dubový; 3. dubovo-bukový; 4. bukovo; 5. jedľovo-bukový; 6. jedľovo-bukovo-smrekový; 7. smrekový; 8. kosodrevinový; 9. azonálny

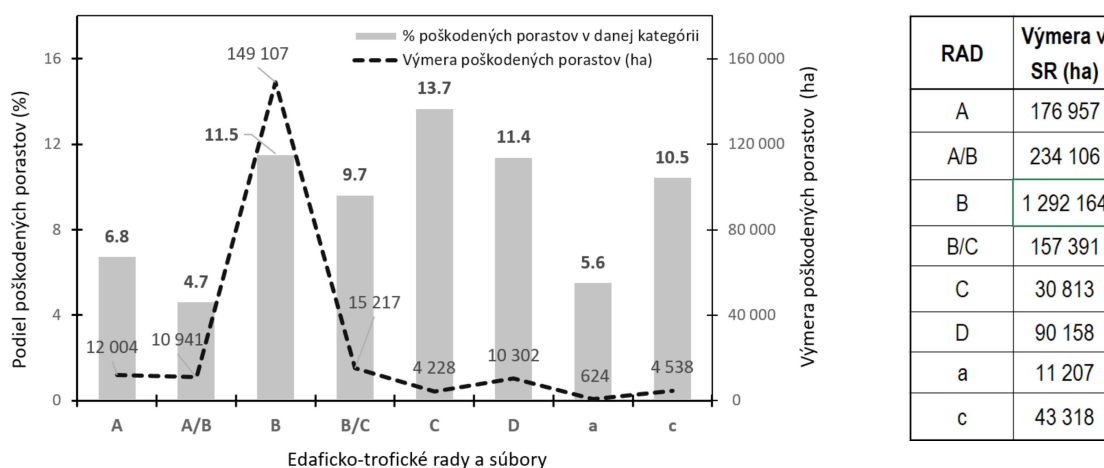
**Figure 3.** Percentage of damaged stands and their area in the forest vegetation zones. LVS: 1. oak; 2. beech-oak; 3. oak-beech; 4. beech; 5. fir-beech; 6. fir-beech-spruce; 7. spruce; 8. dwarf pine; 9. azonal

### Vzťah medzi poškodením lesov suchom a vlastnosťami pôdy

Edaficko-trofické rady, medzirady a azonálne súbory (ES), komplexne reprezentujú charakter pôdneho prostredia (pôdna reakcia, zásoby pôdneho humusu a živín, hĺbka pôdy, obsah pôdneho skeletu a vodný režim), a tým určujú aj citlivosť lesa voči suchu. V tabuľke pri obr. 4 sú uvedené výmery jednotlivých radov, medziradov a súborov na Slovensku. Pre vzájomné porovnanie škôd na lesoch suchom medzi ES bol podľa vzťahu [1] vypočítaný podiel škôd v ES z celkovej plochy daného ES na Slovensku (obr. 4 – stĺpcový graf).

Najvyšší podiel poškodenia bol zistený na edaficko-trofických radoch (B, C a D) s vyšším obsahom skeletu (obr. 4) a tiež na pôdach s vyšším podielom pieskovej frakcie (obr. 5). Najnižší výskyt poškodených porastov v prechodnom rade A/B súvisí s jeho výskytom až vo vyšších nadmorských výškach od 5. LVS, kde nie je vplyv sucha taký výrazný. Zistili sme aj vysoký podiel suchom poškodených porastov v súbore „c“, do ktorého patria porasty na aluviálnych pôdach na brehoch riek. Aj keď sa vyšší podiel suchom poškodených porastov preukázal na pôdach s väčším obsahom pôdneho skeletu (rad C, B a D, a čiastočne aj prechodný medzirad B/C), rozdiely medzi jednotlivými kategóriami neboli také výrazné, ako sme očakávali. Pre lepšie vysvetlenie rozdielov sme analýzu rozšírili o ďalšiu fyzikálnu vlastnosť pôdy, a to o vplyv zrnitosti jemnozeme (obr. 5).

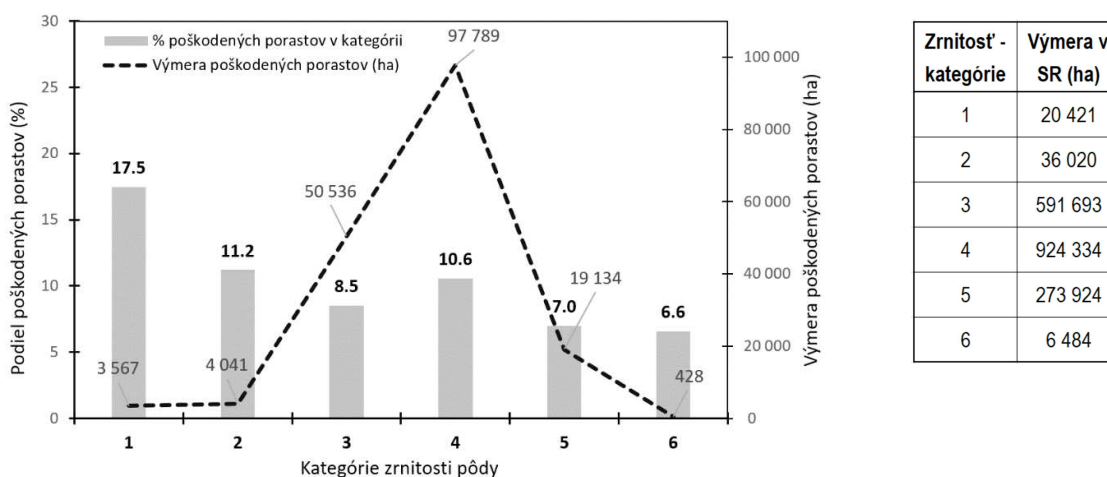
Obr. 5 dokumentuje postupné znižovanie miery poškodenia lesa od piesčitých k ílovitým pôdam, teda v závislosti od zvyšujúceho sa podielu ílovej frakcie a klesajúceho podielu pieskovej frakcie. Pre kategóriu 4 bol však podiel zhoršenia vyšší ako pre kategóriu 3. Tento nesúlad pravdepodobne súvisí s priestorovým rozložením oboch kategórií na Slovensku. Piesočnato-hlinité pôdy sa vyskytujú častejšie vo väčšom zastúpení v oblastiach, ktoré sú prirodzene menej ohrozené suchom, ako hlinité pôdy. Analýza vzájomnej interakcie poškodenia suchom v azonálnych súboroch ovplyvnených podzemnou vodou, „a“ a najmä „c“, a pôdnej textúry, preukázala zreteľný vplyv zrnitosti na poškodenie (tab. 2).



RAD	Výmera v SR (ha)
A	176 957
A/B	234 106
B	1 292 164
B/C	157 391
C	30 813
D	90 158
a	11 207
c	43 318

**Obrázok 4.** Percento poškodených porastov a ich plocha v závislosti od pôdnych podmienok vyjadrených edaficko-trofickými radmi, medziradmi (A, A/B, B, B/C a D) a súbormi (a, c). A – oligotrofný; B – mezotrofný; C – nitrofilný; D – kalcifilný rad; A/B a B/C sú prechodné medzirady; a – acidofilný súbor, ovplyvnený stojatou podzemnou vodou; c – nitrofilný súbor, ovplyvnený prúdiacou podzemnou vodou

**Figure 4.** Percentage of damaged stands and their area depending on the soil conditions expressed by edaphic-trophic series (A, A/B, B, B/C and D) and sets (a, c). A – oligotrophic; B – mesotrophic; C – nitrophilous; D – calciphilous series; A/B and B/C are transitive; a – acidophilous, influenced by stagnant groundwater; c – nitrophilous, affected by flowing groundwater



Zrinitosť - kategória	Výmera v SR (ha)
1	20 421
2	36 020
3	591 693
4	924 334
5	273 924
6	6 484

**Obrázok 5.** Percento porastov poškodených suchom v roku 2022 a ich výmera podľa zrnitosti lesných pôd. 1 – piesočnatá pôda; 2 – hlinito-piesočnatá pôda; 3 – piesočnato-hlinitá pôda; 4 – hlinitá pôda; 5 – ílovito-hlinitá pôda; 6 – ílovitá pôda

**Tabuľka 2.** Relatívna miera (%) poškodenia lesa suchom na pôdach ovplyvnených podzemnou vodou v závislosti od zrnitosti pôdy

**Table 2.** The relative rate (%) of forest damage by drought on groundwater-affected soils in dependence to soil texture (granularity)

Zrinitosť lesných pôd:	Piesočnatá	Hlinito-piesočnatá	Piesočnato-hlinitá	Hlinitá	Ílovito-hlinitá	Ílovitá
Kód kategórie:	1	2	3	4	5	6
Pôdny súbor:	Percento porastov poškodených suchom (%)					
a – acidofilný	12	9	2	2	2	3
c – nitrofilný	15	14	11	9	8	3

## Diskusia a zhrnutie poznatkov

### Vzťah medzi expozíciou a poškodením lesov spôsobeným suchom

Naše výsledky potvrdili predpoklad vyššieho výskytu poškodených porastov na južných až západných expozíciách a poklesu podielu poškodených porastov smerom k severným expozíciám (obr. 2). Toto pozorovanie nie je nové a bolo spomenuté v staršej literatúre. Pfeffer et al. (1961) uvádzajú, že poškodenie porastov suchom je najčastejšie na južných a juhozápadných expozíciách ( $180^\circ - 270^\circ$ ). Konôpka et al. (1980) uvádzajú, že účinky sucha sú najvýraznejšie na rovinách, na južných a juhozápadných svahoch, na vápencových, piesočnatých a fľovitých pôdach v nadmorských výškach do 400 až 500 metrov. Podobne Stolina et al. (1985) a Kodrík & Hlaváč (2013) zaznamenali, že lesné porasty trpia suchom najmä na južných a juhozápadných expozíciách, najmä na strmých svahoch s plytkými pôdami.

Naše výsledky rozširujú tieto zistenia kvantifikáciou rozsahu poškodenia lesov suchom na jednotlivých expozíciách (obr. 2). Takúto kvantifikáciu je náročné dosiahnuť prostredníctvom terénnych hodnotení kvôli ťažkostiam so získaním dostatočne reprezentatívneho súboru vzoriek. Toto obmedzenie bolo prekonané kombináciou celoplošného hodnotenia poškodenia zo satelitných snímok s GIS vrstvou expozícií.

Hoci sa potvrdili predchádzajúce výsledky uvádzajúce vyšší podiel poškodených porastov na J a JZ expozíciách od  $180^\circ$  do  $270^\circ$  (28,7 %), významnú mieru poškodenia sme zistili aj na ostatných expozíciách. Na SV expozíciách od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  bol podiel porastov poškodených suchom 21,3 %. Na SZ svahoch, expozíciách od  $270^\circ$  do  $360^\circ$ , sme zistili podiel porastov poškodených suchom 20,9 %. Rozdiely medzi expozíciami boli teda menšie, ako sa očakávalo, čo poukazuje na zraniteľnosť lesov voči poškodeniu suchom aj na expozíciách menej vystavených slnečnému žiareniu.

Upozorňujeme na rozdiel medzi výsledkami pri posudzovaní 1) expozícií s najvyššou výmerou suchom poškodených porastov a 2) expozícií najviac ohrozených suchom podľa vzťahu [1]. V prvom prípade uvádzame priamo výmeru poškodených porastov. Najvyšší plošný výskyt porastov poškodených suchom bol zistený na expozíciách JJZ a ZJZ od  $180^\circ$  do  $270^\circ$ . Čiastočne je to spôsobené tým, že celková výmera týchto kategórií je vyššia ako výmera ostatných expozícií (obr. 2 – vpravo). V druhom prípade sa pri výpočte vychádza z výmery poškodených porastov s danou expozíciou k celkovej výmere porastov s touto expozíciou. Pre určenie zraniteľnosti porastov podľa expozícií považujeme za vhodnejší výpočet podľa vzťahu [1]. Najvyšší relatívny výskyt poškodených porastov, t. j. najvyššie ohrozenie porastov v dôsledku sucha, bolo zistené na expozíciách JJV a JJZ, teda na južných expozíciách od  $135^\circ$  do  $225^\circ$  (obr. 2 – stĺpcový graf).

### Vzťah medzi lesnými vegetačnými stupňami a poškodením suchom

Podľa predpokladu bol najvyšší podiel poškodených porastov (27,13 %) pozorovaný v 1. LVS, kde je najvyššia priemerná ročná teplota a najnižší úhrn zrážok. Podiel postupne klesal so zvyšujúcim sa LVS (obr. 3). Podiel porastov poškodených suchom pod 5 % bol sledovaný od 5. do 8. LVS. Nižší podiel súvisí s vyššími ročnými zrážkami a nižšou priemernou ročnou teplotou, čo sa pripisuje približnému poklesu teploty vzduchu v troposfére o  $-0,65^\circ\text{C}$  na 100 metrov so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou. Výnimkou je kategória 9 (azonálne lesné biotopy), keďže pre formovanie týchto lesných spoločenstiev sú určujúce iné faktory ako klimatické a vyskytujú sa v rámci celého výškového rozsahu. Tieto spoločenstvá zahŕňajú najmä brehové porasty, lužné a rašelinové lesy.

V porovnaní s predchádzajúcimi štúdiami naše výsledky naznačujú posun škôd suchom do 4. a čiastočne aj do 5. LVS (obr. 3), a to do výšok 800 m nad morom, kde sa dominantne vyskytujú bukové lesy (Bucha et al. 2024). Pfeffer et al. (1961) zistili, že škody suchom sa na Slovensku vyskytovali len do 500 metrov nad morom a dali to do súvisu s poklesom priemerných ročných zrážok, a zvýšením priemerných teplôt. Podobne Konôpka et al. (1980) uviedli, že lesy v nadmorskej výške do 500 metrov nad morom sú citlivé na škody spôsobené suchom. Novozískané a kvantifikované poznatky o posune škôd spôsobených suchom smerom k 4. LVS a čiastočne aj do 5. LVS sú významné, pretože tieto LVS sú dve z troch najfrekvencovanejších LVS na Slovensku s podielom 21,0 % (4. LVS) a 21,7% (5. LVS) z celkovej plochy. To poukazuje na zraniteľnosť bukových lesov voči poškodeniu suchom aj vo vyšších nadmorských výškach a je jedným z prvých potvrdení scenárov klimatických zmien v strednej Európe, ako sú opísané v štúdií Hlásny et al. (2014). Výskyt poškodených porastov vo vyšších polohách možno interpretovať aj ako signál ich potenciálnej budúcej zraniteľnosti.

### Vzťah medzi pôdnymi podmienkami a škodami spôsobenými suchom

Naše výsledky potvrdili hypotézu výraznejšieho poškodenia lesa na lokalitách s pôdnymi vlastnosťami, ktoré ich robia náchyľnejšími na vysychanie (skeletnosť, zrnitosť, hĺbka, obsah humusu). Najvyšší podiel poškodených lesov bol zistený v radoch C, B a D (obr. 4). V radoch C a D to súvisí s vysokým podielom skeletu v pôdach (štrk, kamene, balvany), čo spôsobuje ich rýchlejšie vysychanie. Pôdy, na ktorých sa vyskytujú poškodené porasty radu C, sú silne humózne, stredne hlboké až hlboké pôdy, veľmi kamenité. Pri rade D, sú pôdy plytké, karbonátové, tvorené prevažne na vápencoch a dolomitoch, zvyčajne s vysokým obsahom skeletu. Podľa kvantifikácie z údajov Národnej inventarizácie lesov sa priemerný obsah skeletu v radoch C a D pohybuje okolo 69 %, resp. 45 %. V ostatných edaficko-trofických sériách priemerná hodnota nepresahuje 33 %. Pôdy v rade B majú obsah skeletu do 50 % pri priemernej hodnote 22,9 % (Bošela 2010). Vyšší podiel poškodených lesných porastov môže súvisieť aj s vyšším výskytom radu B v nižších lesných vegetačných stupňoch, ktoré sú viac ovplyvnené teplotou a nedostatkom zrážok. Nižší výskyt poškodených porastov v prechodnom rade A/B súvisí s jeho výskytom len vo vyšších nadmorských výškach od 5. LVS, kde nie je vplyv sucha taký výrazný.

Neočakávane vysoký podiel suchom poškodených porastov bol identifikovaný v súbore „c“ a čiastočne aj v súbore „a“, ktoré sú charakterizované podmáčanými lokalitami a aluviálnymi pôdami na brehoch riek. Extrémne sucho spôsobilo výrazný pokles hladiny v riekach, ako aj hladiny podzemnej vody v pôdach. Analýza zrnitosti pôdy preukázala zjavný vplyv na poškodenie v týchto súboroch ovplyvnených podzemnou vodou, kde je príčinou nedostatočnej vzlínavosti pri poklese hladiny podzemnej vody vyšší obsah piesku a štrku (tab. 2). V týchto súboroch dochádza k vysychaniu horných horizontov v letných mesiacoch v prípadoch nedostatočnej vzlínavosti pri poklese hladiny podzemnej vody. Súvisí to aj s tým, že na vodu náročné dreviny rastúce v týchto spoločenstvách citlivo reagujú na podstatnú odchýlku nasýtenia pôdy vodou od normálu.

### Záver

Štúdia analyzovala mieru poškodenia lesa podľa expozície, vlastností pôdy a textúry pôdy, a klimaticky podmieneného vertikálneho rozloženia lesnej vegetácie. Prepojenie údajov o poškodení lesov zo satelitných snímok s GIS vrstvami umožnilo spresniť existujúce poznatky a získať nové pohľady na faktory ovplyvňujúce lesy v dôsledku sucha.

Je nutné zdôrazniť, že závažnosť vplyvu sucha na lesnú vegetáciu na Slovensku je podceňovaná a informácie o poškodení suchom sú čiastočne v lesníckej evidencii skreslené. Suchom oslabené porasty totiž často napádajú biotickí škodcovia, najmä hmyz, ktorý je ľahšie identifikovateľný. Preto ich môžu lesníci vizuálne rozpoznať a zaznamenať, čím sa preceňuje význam biotických škodcov a naopak podceňuje sa vplyv sucha (Kunca et al. 2019). A to aj napriek faktu, že sucho a jeho negatívne dôsledky na lesy mierneho pásma sú najvýznamnejšími sprievodnými javmi prebiehajúcich klimatických zmien (Pretzsch et al. 2022).

Je opodstatnené predpokladať, že oblasti s najrozsiahlejším poškodením lesov v roku 2022 sú zároveň najcitlivejšie na suchu v rámci územia Slovenska. V dôsledku toho budú mať budúce epizódy sucha pravdepodobne najväčší dopad na tieto oblasti. Lesné hospodárstvo by to preto malo proaktívne zohľadňovať a snažiť sa minimalizovať stres lesnej vegetácie spôsobený suchom, a využiť novozískané poznatky, ako aj presnú lokalizáciu poškodených porastov zo satelitných snímok, pri navrhovaní zmien v skladbe drevín a pri plánovaní, a realizácii lesníckych a ochranných opatrení na obhospodarovanie týchto lesných porastov.

### Podakovanie

*Táto štúdia bola spolufinancovaná Európskou komisiou v rámci projektu LignoSilva [Grant Agreement #101059552] v rámci výzvy Horizon Europe Teaming for Excellence a vznikla aj vďaka podpore z projektu TreeAdapt na základe kontraktu medzi MPRV SR a NLC.*

## Literatúra

- Bošela, M., 2010: Climatic and soil characteristics of the altitudinal vegetation zones and edaphic-trophic units. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 53:215–234.
- Bucha, T., Pavlenda, P., Konôpka, B., Tomašík, J., Chudá, J., Surový, P., 2024: Identification of drought-induced forest damage in 2022 and of its key site condition drivers through satellite imagery. *Central European Forestry Journal*, 70:156–175.
- Hlásny, T., Mátyás, C., Seidl, R., Kulla, L., Merganičová, K., Trombik, J. et al. 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: what are the options for adaptation? *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 60:5–18.
- Kodrík, M., Hlaváč, P., 2013: *Integrovaná ochrana lesa*. Zvolen, TU vo Zvolene, 328 p.
- Konôpka, J. et al., 1980: *Smernice na ochranu lesov v Slovenskej socialistickej republike*. Bratislava, Príroda, 260 p.
- Kunca, A., Zúbrik, M., Galko, J., Vakula, J., Leontovyč, R., Konôpka, B. et al., 2019: Salvage felling in the Slovak Republic's forests during the last twenty years (1998–2017). *Central European Forestry Journal*, 65:3–11.
- NLC, 2023a: Lesné pôdne jednotky. Dostupné on-line <https://data.gov.sk/dataset/lesne-podnejednotky> (prístup 5. jún 2023).
- NLC, 2023b: Lesné typologické jednotky. Dostupné on-line: <https://data.gov.sk/dataset/lesne--typologicke-jednotky> (prístup 5. jún 2023).
- SHMÚ, 2022: Zhodnotenie sucha na Slovensku za rok 2022. Dostupné on-line <https://www.shmu.sk/sk/?-page=2049&id=1299> (prístup 20. jún 2023).
- Stolina, M. et al. 1985: *Ochrana lesa*. Bratislava, Príroda, 480 p.
- Pavlenda, P., Pajtík, P., Sitková, Z., Priwitzer, T., Pavlendová, P., 2022: Manifestations of extreme drought on forest trees species in permanent monitoring plots of PMS Forests. *APOL*, 3:94–101.
- Pfeffer, A. et al., 1961: *Ochrana lesů*. Praha, SZN, 838 p.
- Pretzsch, H., del Rio, M., Grote, H. J., Klemmt, H. J., Ordonez, C., Oviedo, F. B., 2022: Tracing drought effects from the tree to the stand growth in temperate and Mediterranean forests: insights and consequences for forest ecology and management. *European Journal of Forest Research*, 14:727–751.
- Zlatník, A., 1976: *Lesnická fytoecologie*. Praha, SZN, 495 p.

---

## ADRESA

Dr. Ing. Tomáš Bucha, doc. Dr. Ing. Bohdan Konôpka, Ing. Pavel Pavlenda, PhD.  
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T. G. Masaryka 2175/22  
SK–960 01 Zvolen  
e-mail: tomas.bucha@nlcsk.org, bohdan.konopka@nlcsk.org, pavel.pavlenda@nlcsk.org