

RIZIKOVÉ LESNÉ OBLASTI PRE VÝSKYT INTENZÍVNYCH ZRÁŽOK NA SLOVENSKU

VERONIKA LUKASOVÁ¹, PETR ŠTĚPÁNEK², SVETLANA VARŠOVÁ¹, ANNA BUCHHOLCEROVÁ¹,
DUŠAN BILČÍK¹, PAVOL NEJEDLÍK¹

¹ Ústav vied o Zemi SAV, v.v.i., Dúbravská cesta 9, Bratislava, 84005, Slovenská republika

² Ústav výzkumu globální změny, AV ČR, v.v.i., Bělidla 4a, Brno, 60300, Česká republika

Our study is aimed to identify forested areas in Slovakia with the occurrence of the most intense rainfall and to summarize measures from available sources that can increase the retention capacity of stands in these areas. Intense rainfalls were modelled using data from precipitation stations of the Slovak Hydrometeorological Institute from the period 1995–2021. The relationship between intensity and duration of rainfall was defined using IDF curves (Intensity Duration Frequency curves), based on the probability distribution of rainfall intensities measured in the past. We used the GEV (Generalized Extreme Value distribution) probability distribution and estimated the parameters using Bayesian inference. Estimates of quantiles of rainfall intensities were determined for rain durations from 5 to 1440 minutes and return periods from 2 to 1000 years. Our results showed that forest areas at risk differed depending on the duration of intense rain and the returned period. Maximum 15 and 60-minute rainfall with a return period of 30 years, reaching up to 33 mm and 50 mm, respectively, are located in the mountains of Slovenské rudohorie (Slovak Ore Mountains). The least affected regions by these short-term rains are the area of Podunajská nížina (Danube Lowland), Stredné Beskydy (Central Beskids), Veľká Fatra (Great Fatra), Oravská kotlina (Orava Basin), Skorušinské vrchy (Skorušinské Hills), Zuberská brázda (Zuberská Trough), and the western part of the Tatra region, where maximum intensity reaches 24–26 mm for 15-minute and 41–43 mm for 60-minute precipitation. When evaluating 8 and 24-hour precipitation with a return period of 30 years, the highest totals of 76–78 mm and 94–97 mm were determined for areas in the most eastern part of Slovakia, mainly in the region of Východoslovenská nížina (Eastern Slovak Lowland), Vihorlatské vrchy (Vihorlat Hills), Bukovské vrchy (Bukovské Hills), and the eastern part of Nízke beskydy (Low Beskids). The lowest maxima for 8 and 24-hour precipitation were found in the western part of Biele Karpaty (White Carpathians), Myjavská pahorkatina (Myjava Hills), and the northern part of Záhorská nížina (Záhorie Lowland). Forest areas at the highest risk for the occurrence of intense rainfall require increased attention and adequate care to prevent flash floods. Emphasis should be placed mainly on: 1. cultivating stands with high interception and transpiration, good health, and structure increasing the retention capacity of stands; 2. choosing the right cultivation practices leading to increased retention capacity of stands and stand soil; 3. the restoration and construction of flood control measures in risk catchments.

Cieľom našej práce bolo identifikovať lesné oblasti na Slovensku s výskytom najintenzívnejších zrážok a z dostupných zdrojov zosumarizovať opatrenia, ktoré pomôžu zvýšiť retenčnú kapacitu porastov v týchto oblastiach. Intenzívne zrážky sme modelovali použitím údajov zo zrážkomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu z obdobia 1995–2021. Vzťah medzi intenzitou a trvaním zrážok sme definovali pomocou IDF kriviek (Intensity Duration Frequency curves), vychádzajúc z pravdepodobnosti rozdelenia intenzít zrážok nameraných v minulosti. Použili sme GEV (Generalized Extreme Value distribution) rozdelenia pravdepodobnosti a parametre sme odhadli pomocou bayesovskej inferencie. Odhady kvantilov intenzít zrážok boli stanovené pre trvanie dažďa od 5 do 1440 minút a doby opakovaní od 2 do 1000 rokov. Naše výsledky ukázali, že rizikové lesné oblasti sa líšili v závislosti od dĺžky trvania intenzívneho dažďa a doby opakovania. Maximálne 15 a 60-minútové zrážky, ktoré dosiahnu až 33 mm, resp. 50 mm s dobou opakovania 30 rokov, sa nachádzajú v pohoriach Slovenského rudohoria. Najmenej zasiahnutým regiónom týmito krátkodobými zrážkami je oblasť Podunajskej nížiny, Stredné Beskydy, Veľká Fatra, Oravská kotlina, Skorušinské vrchy a Zuberská brázda, a západná časť Tatranskej oblasti, kde tieto dosahujú maximálne 24–26 mm pri 15-minútových resp. 41–43 mm pri 60-minútových zrážkach. Pri hodnotení 8-hodinových a 24-hodinových zrážok s dobou opakovania 30 rokov boli najvyššie úhrny 76–78 mm, resp. 94–97 mm určené pre oblasti na krajnom východe Slovenska, hlavne oblasť Východoslovenskej nížiny, Vihorlatské vrchy, Bukovské vrchy a východnú časť Nízkych Beskýd. Najnižšie maximá 8-hodinovej a 24-hodinovej zrážky boli zistené v západne časti Bielych Karpát, Myjavskej pahorkatine a na severe Záhorskej nížiny. Aby sa predišlo bleskovým povodňam v najohrozenejších lesných oblastiach, lesy si vyžadujú zvýšenú pozornosť a adekvátnu starostlivosť. Dôraz by mal byť hlavne na: 1. pestovanie porastov s vysokou interceptiou a transpiráciou, dobrým zdravotným stavom a štruktúrou zvyšujúcou retenčnú schopnosť porastov; 2. voľbu správnych pestovných postupov vedúcich k zvýšeniu retenčnej schopnosti porastov a porastovej pôdy; 3. obnovu a výstavbu protipovodňových opatrení v rizikových povodiach.

Key words: maximum precipitation, IDF, Bayesian inference, forests, measures

1 ÚVOD

Lesy sa často skloňujú ako prírodná bariéra, ktorá stojí medzi zrážkami a vznikom povodne. Súvisí to so schopnosťou lesov zadržiavať zrážkovú vodu v odtoku (retenčná funkcia), hromadiť zrážkovú vodu na povrchu drevín, v pôdnej pokrývke a v samotnej pôde (akumulačná funkcia) a spoma-

ľovať odtok vody premenou povrchového odtoku na odtok podzemný (retardačná funkcia) (Mráček a Krečmer, 1975). Podľa správy FOREST EUROPE/FAO/UNECE o stave európskych lesov z roku 2020 bola Slovenská republika 13. najlesnatejšia spomedzi 43 európskych štátov a mala vyššiu lesnatosť, ako je priemer Európy (34,8 %) či EÚ-28 (38,3 %).

Za posledných 100 rokov lesnatosť postupne stúpala z 31,7 % z celkovej výmery územia zaznamenaných v roku 1923 na dnešných 41,3 % a pohybuje sa na úrovni okolo 2 miliónov ha (Zelená správa, 2021). To, do akej miery sú lesy schopné zabrániť vzniku povodne pri intenzívnych zrážkach, ovplyvňujú okrem ich percentuálneho podielu aj ďalšie faktory.

V problematike intenzívnych zrážok a vzniku povodní je dôležitým ukazovateľom bilancia vody v lesnom ekosystéme. Tá vyjadruje vzťah medzi príjmovými zložkami vody, čiže atmosférickými zrážkami a výdajovými zložkami, evapotranspiráciou a odtokom do povrchových a podzemných vôd. V prípade, že atmosférické zrážky sú jediným zdrojom vody pre lesný ekosystém, vodnú bilanciu ako zmeny zásob vody v pôde a fytomase definujeme ako rozdiel medzi zrážkami na jednej strane a evapotranspiráciou a odtokom na strane druhej. Z hľadiska posudzovania účinku lesov na transformáciu zrážok do povrchového odtoku môžeme hodnotiť vplyv lesa na celkovú vodnosť vodných tokov alebo vplyv lesa z hľadiska jeho protipovodňovej ochrany. V prvom prípade sa zohľadňuje evapotranspirácia lesných ekosystémov, ktorá vo vzťahu k celkovému úhrnu zrážok určuje, koľko vody opustí ekosystém formou povrchového resp. podzemného odtoku. Z hľadiska protipovodňovej ochrany sa hodnotí okamžitý záchyt zrážok v korunách stromov (intercepcia) a stav bylinnej etáže a vrstvy nadložného humusu, ktoré majú rozhodujúci vplyv na infiltráciu padajúcej a stekajúcej vody do pôdneho prostredia (Mindáš et al., 2001). Proces infiltrácie ovplyvňuje viacero faktorov. Z pohľadu zrážok je to ich intenzita a dĺžka trvania. Z pohľadu pôdy sú to jej hydro-fyzikálne vlastnosti, najmä zrnitosť a počiatkový vlhkosťný stav (Mindáš et al., 2001). Čím má pôda väčšiu zrnitosť, tým je infiltrácia vyššia (Bulantová, 2012). Naopak, čím je pôda vlhkejšia, tým menej je priepustná (Šály, 1988). Infiltrácia zrážkovej vody závisí aj od stavu vrstvy nadložného humusu a s prekorenением pôdneho profilu. Na prekorenenie pôdneho profilu má veľký vplyv štruktúra porastu, keď porasty so stupňovým, resp. vertikálnym zápojom majú lepšie a hlbšie prekorenenie pôdneho profilu. Porasty s horizontálnym zápojom, hlavne nepôvodné smrekové, majú nepriaznivé prekorenenie a hospodárenie s vodou. Pri takejto štruktúre lesa z hľadiska udržania zrážok pri nepriaznivom pôdnom type (flyš) je retenčná schopnosť lesa veľmi nízka (Saniga, 2022).

Tým, že majú lesy väčšiu spotrebu vody ako iné typy vegetácie, majú aj veľký vplyv na vodnú bilanciu v povodiach (Andreassian, 2004). Celková retenčná - vodozadržná kapacita lesných porastov pri krátkodobých intenzívnych zrážkach môže dosahovať až 70 mm. Táto hodnota platí pre stav 100%-nej lesnatosti v krajine a pre zakmenenie 1,0 (resp. zápoj 100 %). Súčasťou lesných komplexov sú však aj odlesnené či bezlesné plochy. Pokles retenčnej kapacity krajiny s klesajúcim percentom lesnatosti klesá (Mindáš et al., 2001). Bosh a Hewlett (1982) na základe niekoľkoročných pozorovaní uvádzajú, že odlesňovanie, resp. zalesňovanie, ovplyvňuje odtok, pričom reakcia povodia na vegetačné zmeny je predpovedateľná a maximálny prejav zmeny v odtoku sa objaví už po niekoľkých rokoch, v priemere už po 2 až 3 rokoch (Kostka a Holko, 2006). Toto sa však týka iba mikropovodí s rozlohou do 50 km².

Bolo preukázané, že význam lesných porastov pri regulácii hydrologických prietokov bol preceňovaný, pretože dopady čiastočného alebo kompletného odstránenia lesných porastov sa prejavujú len v mikropovodiach v spojení s krátkodobými zrážkami nízkej intenzity. Ako sa zväčšuje trvanie a intenzita dažďa a veľkosť povodia, znižuje sa vplyv vegetačnej pokrývky na reguláciu odtoku (Calder et al., 2007). V makropovodiach majú významnejší vplyv na vznik väčších povodní ako hospodárenie v krajine prírodné procesy v horných častiach povodia. Rozsiahle povodne sú skôr výsledkom kombinácie maximálnych prietokov veľkých riek, vysokého odtoku z kopcov priliehajúcich k záplavovým oblastiam, intenzívnych zrážok, vysokých hladín podzemnej vody a chýbajúcich vodozadržných opatrení (Hofer a Messerli, 2006).

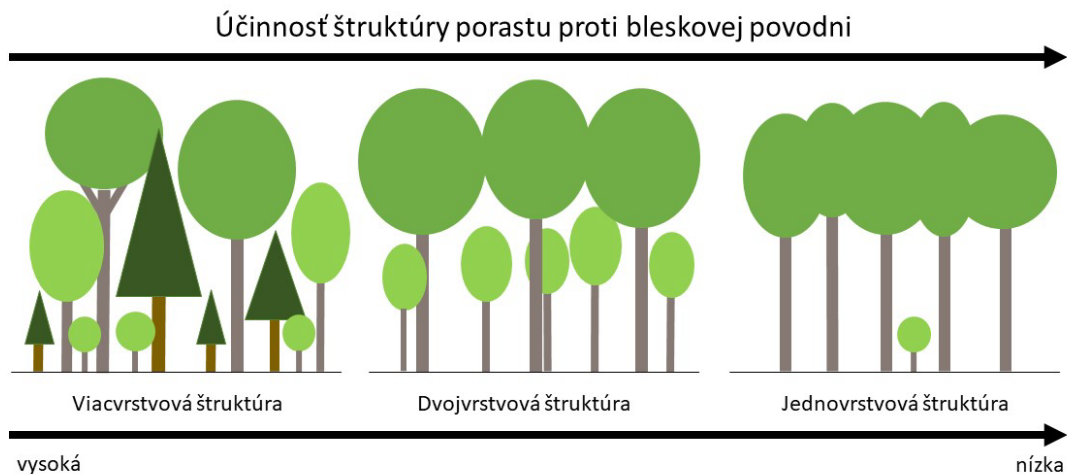
Medzi dva hlavné mechanizmy, ktorými lesná vegetácia znižuje množstvo vody odtekajúcej z ekosystému, patria intercepcia a transpirácia. Intercepcia je zachytávanie časti zrážok korunami stromov a ich následné vyparenie. Množstvo zrážok, ktoré zachytí les svojimi nadzemnými časťami, predstavuje približne 15–30 % z ročného zrážkového úhrnu. Platí, že husté ihličnaté lesy zachytia zrážok viac. Na lokalitách, kde prevládajú slabšie a častejšie dažde, to môže byť až 40 % ročného úhrnu (Friesen a Van Stan, 2019). Pre porovnanie, intercepcia trvalých trávnych porastov sa pohybuje na úrovni okolo 20 % ročných zrážok. Nižšia intercepcia je aj v odumretých porastoch (Bartík et al., 2016). V súvislosti s priebehom zrážok cez porastový korunový a kmeňový priestor sú známe dva typy korunového profilu drevín. Dáždnikový typ (smrek, jedľa), kde sa prevažná väčšina zrážok dostáva na pôdu po obvode korún stromov a lievikový typ (buk, dub), kde je dominantný stok zrážok po kmeni. Účinná porastová štruktúra, ktorá by spomalila priebeh zrážok cez korunový priestor a pracovala by proti vzniku bleskovej povodne, je taká, keď zrážky prechádzajú z jednej koruny vyššie postaveného stromu na korunu, ktorá sa nachádza pod ňou, aby znížila dynamiku zrážok, ktoré by podľa možnosti vsiakli do pôdneho profilu a neodchádzali po povrchu pôdy (Saniga, 2022). Z pohľadu transpirácie je okrem uvedeného veľmi dôležitým faktorom zdravotný stav porastov, pretože na rozdiel od intercepce, transpirácia je možná iba v živých porastoch. Predpoklad vyššej protipovodňovej ochrany majú teda predovšetkým porasty s vysokou intercepciou a transpiráciou, a to:

- viacetážové zmiešané porasty - čím viac etáží a tvarov korún, tým účinnejšia štruktúra (Obr. 1),
- porasty s vyšším podielom ihličnatých drevín - vyšší podiel ihličnanov zabezpečí vyššiu intercepciu a transpiráciu, a to aj vďaka trvalému oihličneniu mimo vegetačného obdobia,
- porasty s vyšším zakmenením (0,8 a viac),
- porasty vitálne a zdravé (Obr. 2),
- porasty v nižších vekových triedach.

Cieľom našej práce bolo identifikovať na Slovensku lesné oblasti s rizikom výskytu najintenzívnejších zrážok a z dostupných zdrojov zosumarizovať opatrenia, ktoré pomôžu zvýšiť retenčnú kapacitu lesných porastov v týchto oblastiach.

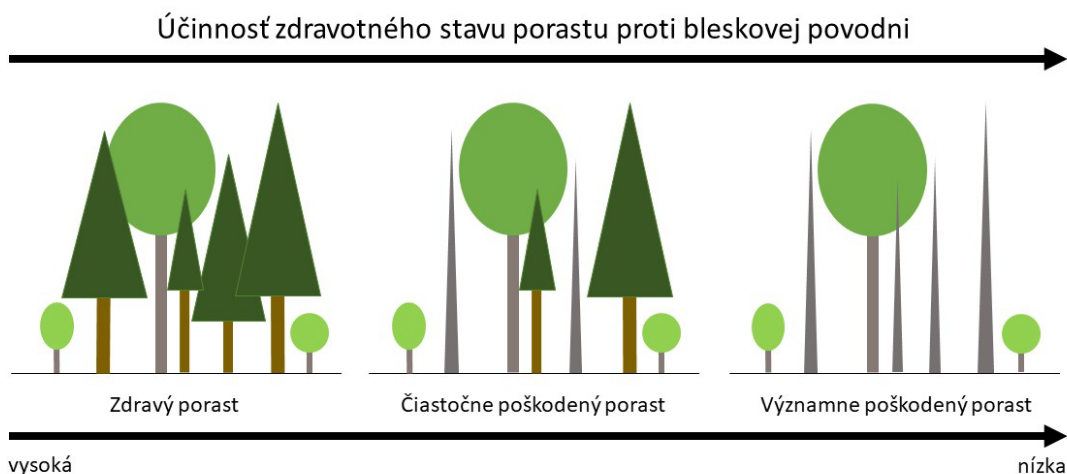
Obrázok 1. Porovnanie rôznych štruktúr lesných porastov s ohľadom na ich účinnosť proti bleskovým povodňam pri intenzívnych zrážkach.

Figure 1. Comparison of different forest stand structures' effectiveness against flash floods during intense rainfall.



Obrázok 2. Vplyv zdravotného stavu lesných porastov na ich účinnosť proti bleskovým povodňam pri intenzívnych zrážkach.

Figure 2. The influence of the health status of forests stands on their effectiveness against flash floods during intense rainfall.



Vybrané intenzity zrážok v trvaní 15 minút, 60 minút, 8 hodín a 24 hodín s dobou opakovania 30 rokov sme stanovili modelovaním s použitím minútových údajov zo zrážkomerných staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) z obdobia 1995 – 2021. História problematiky modelovania návrhových intenzít zrážok na Slovensku siaha do 50. rokov 20. storočia, kedy boli publikované prvé regionálne IDF krivky (Intensity Duration Frequency curves) pre Slovensko (Dub, 1950). Následne Šamaj a Valovič (1973) publikovali komplexnú štúdiu IDF kriviek vychádzajúc z údajov zo 68 staníc z územia Slovenska. Ďalšími významnými prácami v tejto oblasti boli napríklad štúdie Urcikán a Imriška (1986); Bara a kol. (2009); Gaál (2009) a v poslednom období publikované práce s použitím bayesovskej inferencie od Onderka a kol. (2020a); Onderka a kol. (2020b); Onderka a kol. (2022) a Onderka a Pecho (2022).

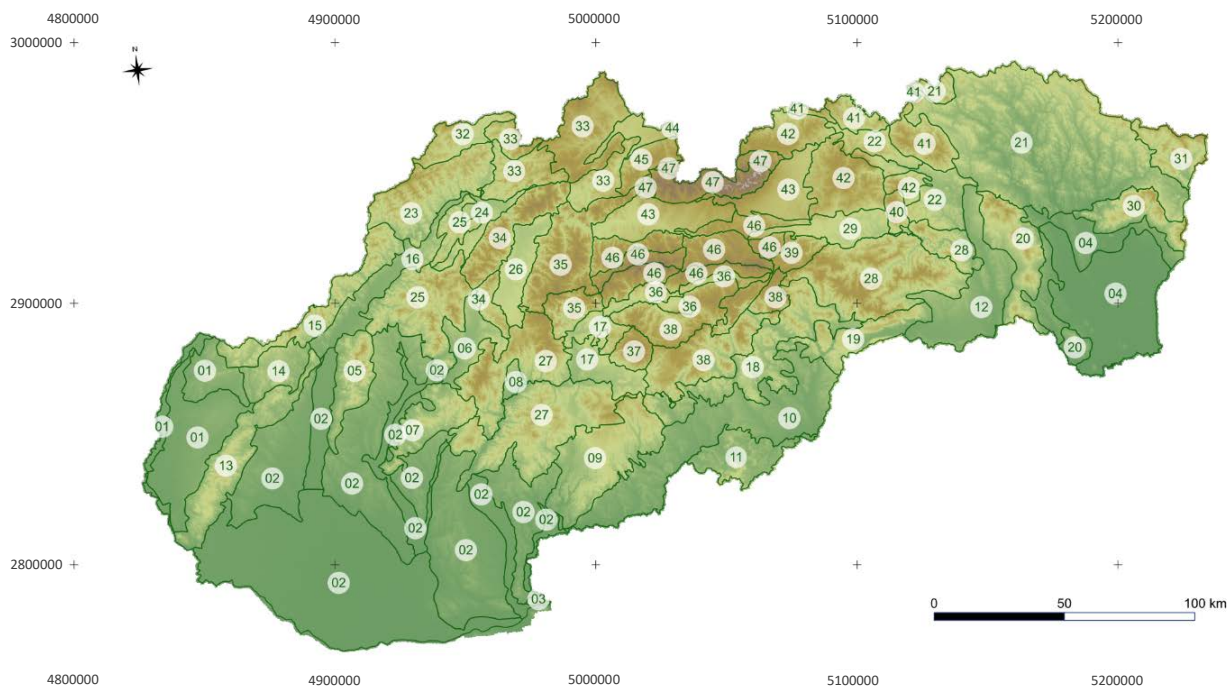
2 ÚDAJE A METÓDY

2.1 Sledované územie

Intenzívne zrážky boli v tejto štúdii modelované a interpolované na celé územie Slovenska. Vzhľadom na polohu, klíma Slovenska je prechodná medzi kontinentálnou a oceánskou. Typické je prevládajúce západné a severozápadné prúdenie, ktoré prináša vlhký vzduch od Atlantického oceánu. So stúpajúcou nadmorskou výškou všeobecne pribúda množstvo zrážok. Reliéf povrchu Slovenska je značne členitý. Lesnatosť v jednotlivých regiónoch Slovenska je veľmi rozdielna. Najnižšiu lesnatosť majú nížiny na južnom a západnom Slovensku a urbanizované územia. Najvyššiu lesnatosť majú hornaté územia, predovšetkým v Žilinskom kraji. Intenzívne zrážky v tejto práci boli priestorovo identifikované podľa lesných oblastí (Obr. 3).

Obrázok 3. Mapa lesných oblastí na Slovensku.

Figure 3. Map of forest areas in Slovakia.



Tabuľka 1. Zoznam lesných oblastí Slovenska.

Table 1. List of forest areas in Slovakia.

01	Záhorská nížina, Dyjsko-moravská niva	25	Strážovské vrchy, Súľovské vrchy
02	Podunajská nížina	26	Turčianska kotlina
03	Burda	27	Štiavnické vrchy, Javorie, Pliešovská kotlina, Pohronský Inovec, Vtáčnik, Kremnické vrchy
04	Východoslovenská nížina	28	Volovské vrchy, Čierna hora
05	Považský Inovec	29	Hornádska kotlina
06	Hornonitrianska kotlina	30	Vihorlatské vrchy
07	Tribeč	31	Bukovské vrchy
08	Žiarska kotlina	32	Západné Beskydy
09	Krupinská planina, Ostrôžky	33	Stredné Beskydy
10	Juhoslovenská kotlina, Gemerská pahorkatina	34	Malá Fatra, Žiar
11	Cerová vrchovina	35	Veľká Fatra, Starohorské vrchy, Chočské vrchy
12	Košická kotlina, Abovská pahorkatina	36	Horehronské podolie
13	Malé Karpaty	37	Poľana
14	Myjavská pahorkatina	38	Veporské vrchy, Stolické vrchy
15	Biele Karpaty	39	Spišskogemerský kras
16	Považské podolie	40	Branisko
17	Zvolenská kotlina	41	Východné Beskydy
18	Revúcka vrchovina, Rožňavská kotlina	42	Levočské vrchy, Bachureň, Spišská Magura, Ždiarska brázda
19	Slovenský kras	43	Podtatranská kotlina
20	Slanské vrchy, Zemplínske vrchy	44	Oravská kotlina
21	Nízke Beskydy	45	Skorušinské vrchy, Zuberská brázda
22	Šarišská vrchovina, Spišsko-šarišské medzihorie	46	Nízke Tatry, Kozie chrbty
23	Javorníky	47	Tatry
24	Žilinská kotlina		

2.2 Údaje

Minútové záznamy zrážkových úhrnov pre územie Slovenska, ktoré sme použili v analýzach, pochádzali zo 72 staníc za obdobie 1995–2021. Zrážkové intenzity prešli základnou kontrolou údajov. Bolo potrebné nájsť rovnováhu v nastavení kritérií kontroly tak, aby boli údaje akceptovateľné a neovplyvnili následné štatistické analýzy, ale zároveň aby neboli príliš prísne nastavené a nevyradili z analýz veľkú časť údajov. Denné sumy vypočítané z minútových úhrnov boli porovnané s dennými sumami z databázy SHMÚ,

ktoré už prešli základnou kontrolou, a ďalej prešli podrobnejšou kontrolou podľa Štěpánek et al. (2013). Merania boli v rokoch 1995–2009 robené pomocou ombrografov, od roku 2005 sú merania robené pomocou automatických váhových zrážkomerov. V perióde 5 rokov (2005–2009) išlo o paralelné merania, čo umožnilo porovnať výsledky z daných dvoch prístrojov. Boli porovnané ročné maximá 15 a 30 min. dažďov vo forme mapových podkladov. Merania ombrografov sa líšili voči automatickým meraniam o $-0,493$ pre 15 min. ročné maximá, resp. $-0,399$ pre 30 min. ročné

maximá. Vyjadrením pomerov ombrografy vs. automatické zrážkomery dostaneme 1,002 pre 15 min., resp. 1,028 pre 30 min. dažde. Z tohto dôvodu boli merania považované za porovnateľné. V ďalšom kroku boli porovnávané úhrny merané s denným krokom štandardným zrážkomerom a vypočítané z minútových údajov. Hranica pre akceptáciu diferencie bola 8,4 mm. Obdobne boli porovnávané sezónne sumy zrážok merané v dennom kroku a vypočítané z minútových údajov. Stanica a daný rok boli vylúčené v prípade rozdielu 20 a viac percent. Obdobné spracovanie intenzít dažďa v ostatných rokoch (Onderka a Pecho 2022) dáva o niečo vyššie hodnoty. Toto môže byť spôsobené rozdielnou údajovou základňou. Ďalej boli kontrolované jednotlivé zrážkové epizódy na úrovni minútových úhrnov, aby boli vylúčené vysoké nárasty v minútových údajoch spôsobené nesprávnou funkciou prístroja. Po kontrole boli staničné údaje použité ako vstup do následnej analýzy extrémnych hodnôt. Vyhodnocované boli ročné maximá intenzít zrážok pre rôzne dĺžky trvania dažďa. V prípade, ak boli niektoré staničné merania krátke alebo mali výpadky merania, boli tieto skombinované s okolitými meraniami, aby bolo zabezpečené dostatočné množstvo údajov do analýz. Cieľom tohto prístupu bolo presnejšie stanovenie parametrov rozdelenia, predovšetkým jeho tvaru (napr. Overeem et al., 2008; Hanel et al., 2009).

2.3 Výpočet modelovaných intenzít zrážok

Jednou z úloh v predkladanej práci bolo stanovenie vzťahu medzi intenzitou a trvaním zrážok pomocou tzv. IDF krivky (Intensity Duration Frequency curves) pre rôzne doby opakovania, ktoré vychádzali z pravdepodobnosti rozdelenia intenzít zrážok nameraných v minulosti. Použili sme GEV (Generalized Extreme Value distribution, Coles, 2001) rozdelenia pravdepodobnosti a parametre sme odhadli pomocou bayesovskej inferencie (Gelman et al., 2003; Gesmann and Morris, 2020). Odhady kvantilov intenzít zrážok boli stanovené pre trvanie dažďa od 5 do 1440 minút a doby opakovaní od 2 do 1000 rokov. Pre účely tejto práce boli použité zrážky v trvaní 15 minút, 60 minút, 8 hodín a 24 hodín s dobou opakovania 30 rokov. Odhad parametrov GEV rozdelenia intenzít krátkodobých zrážok pomocou bayesovskej inferencie sme dosiahli aplikáciou bayesovského modelovania v jazyku R (R Core Team, 2014) a knižnice brms, ktorá komunikuje s prostredím Stan (Carpenter et al., 2017) pre Markov Chain Monte Carlo (MCMC) vzorkovanie. Konfigurácia MCMC vzorkovania bola použitá nasledovne: počet reťazcov - 4, počet iterácií - 20 000, počet vymazaných počiatočných iterácií (označované ako burn-in, alebo wamp-up) - 6000. Zatiaľ čo Stan využíva primárne Hamiltonin Monte Carlo (HMC) a jeho rozšírenie, No-U-Turn-Sampler (NUTS, Hoffman a Gelman, 2012) pre MCMC vzorkovanie ponúka značnú flexibilitu v ladení - nastavení a spúšťaní týchto reťazcov. Počet reťazcov, počet iterácií a počet vymazaných iterácií bol predmetom analýzy aplikovanej priamo na predmetné zrážkové intenzity. Vychádzali sme z doporučení v literatúre, ale výsledné hodnoty boli nakoniec určené na základe expertného odhadu so zohľadnením viacerých charakteristík, ako je napr. pomer HMS-NUTS (hodnota

HMC-NUTS bola zvýšená na 0,92) pre kontrolu divergentných prechodov.

Aby bolo možné stanoviť ľubovoľné trvanie dažďa a dobu opakovania, pre jednotlivé parametre GEV rozdelenia sme stanovili IDF krivky. Po zlogaritmovaní hodnôt trvania dažďa bola použitá lineárna regresia (Overeem et al., 2008), ktorá dávala lepšie výsledky oproti iným spôsobom stanovenia regresnej závislosti (ako napr. mocninová funkcia). Hodnoty koeficientov regresie pre každý z parametrov GEV rozdelenia boli interpolované do priestoru v rozlíšení 0,5 km metódou regresného krígingu (Hengl et al., 2007) pri použití prediktorov vychádzajúcich z reliéfu (napr. nadmorská výška, drsnosť povrchu, zemepisné súradnice a i.). Z vytvorených mapových podkladov je možné priestorovo určiť odhady kvantilov zrážkových intenzít pre vybrané trvanie dažďa a dobu opakovania.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

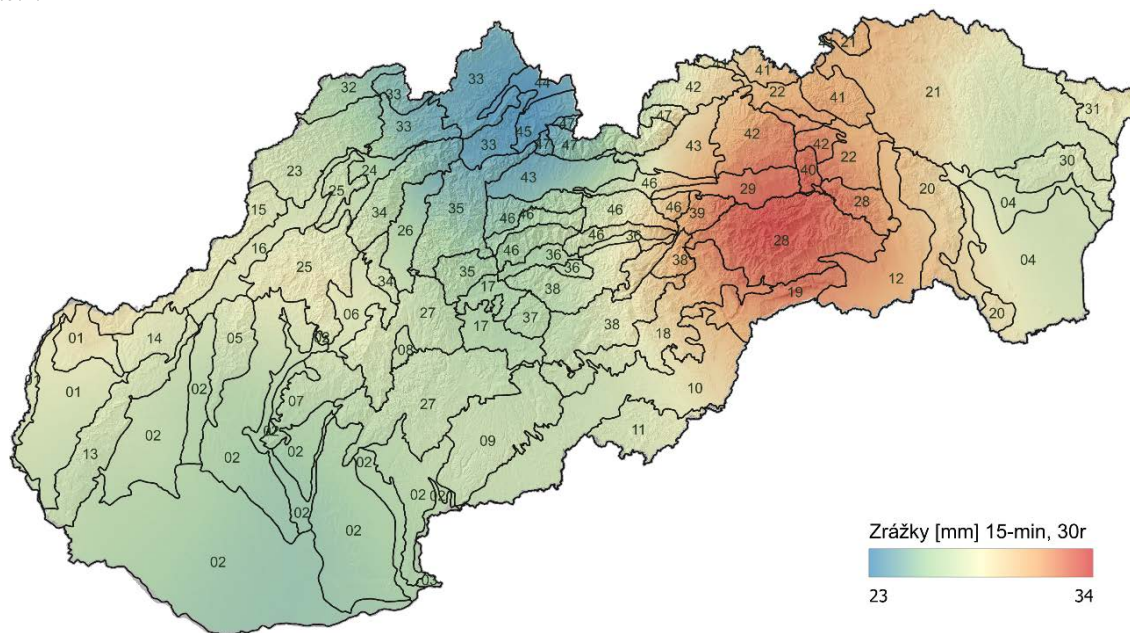
3.1 Rizikové lesné oblasti Slovenska podľa výstupov modelovaných intenzít zrážok

Jednou z hlavných výhod použitého prístupu je, že umožňuje stanoviť hodnoty intenzity pre akékoľvek trvanie zrážok a akúkoľvek dobu opakovania pre celé územie Slovenska. Obr. 4 zobrazuje maximálne intenzity pri 15-minútovom trvaní dažďa. Na obrázku sú evidentné priestorové rozdiely intenzity tohto typu krátkodobých dažďov. Oblasť na juhovýchodnom Slovensku dosahuje maximálne intenzity 15-minútovú zrážku s dobou opakovania 30 rokov na úrovni 33 mm, čo poukazuje na riziko výskytu krátkodobých intenzívnych zrážok hlavne v pohoriach Slovenského rudohoria a priľahlých oblastiach. V podobných lokalitách sa vyskytli aj maximálne 60-minútové zrážky s intenzitou okolo 50 mm (Obr. 5). Najnižšie intenzity krátkodobých zrážok v trvaní 15 a 60 minút boli namodelované pre oblasť Podunajskej nížiny (02) a sever stredného Slovenska - Stredné Beskydy (33), Veľkú Fatru (35), Oravskú kotlinu (44), Skorušinské vrchy a Zuberskú brázdú (45), a západnú časť Tatranskej oblasti (47), kde je maximálna intenzita zrážok okolo 24–26 mm počas 15-minútovú zrážku (Obr. 4) a okolo 41–43 mm v prípade 60-minútovú zrážku (Obr. 5) pri dobe opakovania 30 rokov.

V priestorovom rozložení pre územia s vyššími intenzitami, podobne ako v našej práci, boli určené najväčšie intenzity krátkodobých zrážok aj v digitálnom atlase intenzity zrážok na Slovensku (Onderka a Pecho, 2022; Onderka et al., 2023). V juhovýchodnej časti Slovenska, konkrétne vo Veporských vrchoch, Stolických vrchoch, Revúckej vrchovine, Volovských vrchoch, v ich dolinách s južnou expozíciou a na južnom úpätí Spišsko-gemerského krasu identifikovali Polčák a Mészáros (2018) vysoké úhrny predovšetkým pri juhovýchodnom cyklonálnom prúdení, ktoré v týchto pohoriach naráža na prvú výraznú orografickú prekážku. Pri prúdení z južných sektorov nad naše územie vzdušné masy narážajú na Karpatský oblúk najprv v priestore pohoria Mátra a následne na vyššom Slovenskom rudohorí. Horská prekážka spôsobuje orograficky podmienené konvektívne procesy s častým výskytom búrkovej činnosti a následnými intenzívnymi zrážkami.

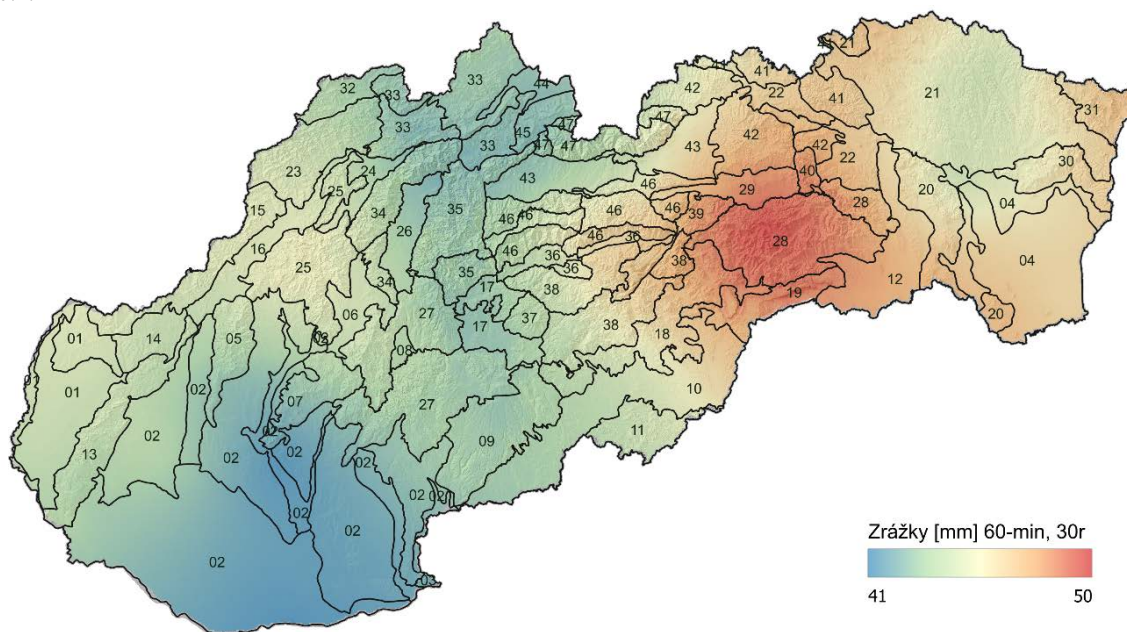
Obrázok 4. Maximálne 15-minútové zrážky s 30-ročnou dobou opakovania v lesných oblastiach Slovenska. Lesné oblasti sú označené číslom podľa Tab.1.

Figure 4. Maximum 15-minute precipitation of a 30-year return period in forest areas of Slovakia. The forest areas are listed in Tab.1.



Obrázok 5. Maximálne 60-minútová zrážky s 30-ročnou dobou opakovania v lesných oblastiach Slovenska. Lesné oblasti sú označené číslom podľa Tab.1.

Figure 5. Maximum 60-minute precipitation of a 30-year return period in forest areas of Slovakia. The forest areas are listed in Tab.1.



Toto sa prejavuje viac pri kratších časových oddieloch. Efekt náveternosti spôsobuje, že najviac zrážok spadne vo vyšších a kompaktných pohoriach, ktoré sú kolmo orientované na toto prúdenie. V našej práci boli najviac zasiahnutými lesnými oblasťami pri 15-minútových a 60-minútových zrážkach Volovské vrchy (28), Hornádska kotlina (29), Spišsko-gemerský kras (39), Branisko (40)

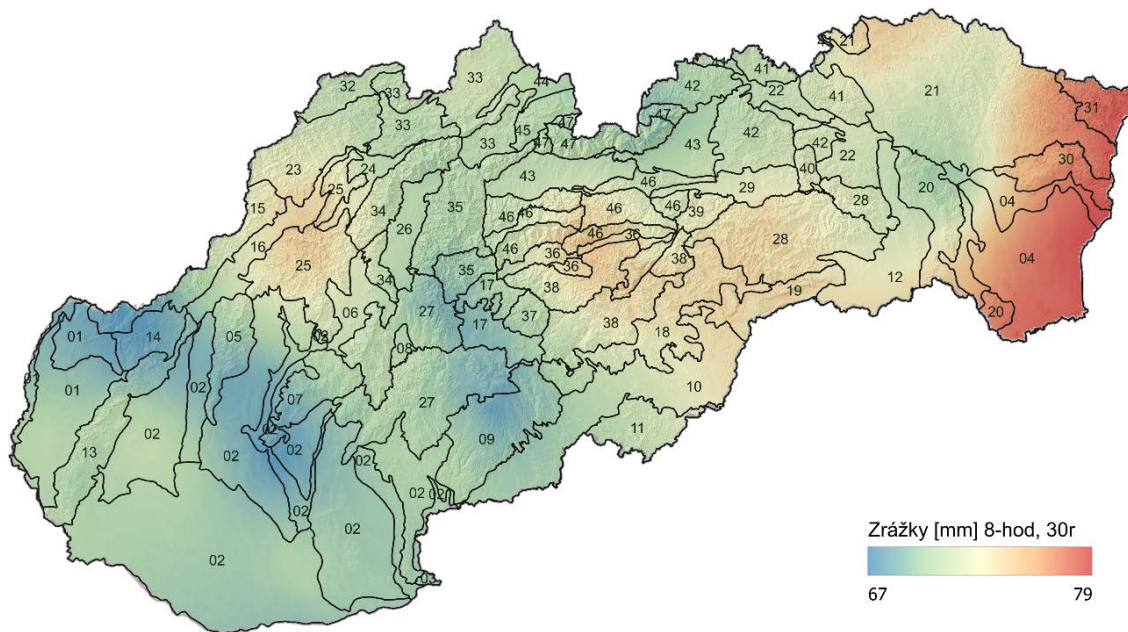
zasahujú až po južnú časť Levočských vrchov a Bachureň (42), ktoré sa značne prekrývajú s oblasťami identifikovanými v práci Polčáka a Mészároša (2018). Toto naznačuje, že krátkodobé intenzívne zrážky v trvaní 15 až 60 minút, medzera ktoré sa vyskytujú v zvýšenej miere na južných náveterných oblastiach Slovenského rudohoria, sú zrejme často spojené s južnými cyklonálnymi situáciami.

Intenzívne zrážky boli odlišne lokalizované v prípade 8 a 24-hodinových úhrnov, ktoré boli najintenzívnejšie na krajnom východe Slovenska. Pri rovnakej dobe opakovania a rovnakých vstupných údajoch ako v predchádzajúcich prípadoch sú pri hodnotení 8 a 24-hodinových zrážok najvyššie úhrny v oblasti Východoslovenskej nížiny (4), Vihorlatských vrchov (30), Bukovských vrchov (31) a vo východnej časti Nízkych Beskýd (21), a to v rozpätí

76–78 mm resp. 94–97 mm (Obr. 6, 7). Na väčšine územia sa maximálne úhrny pohybovali medzi 68–70 mm pre 8-hodinové a medzi 80–85 mm pre 24-hodinové zrážky. Najnižšie maximá 67–68 mm, resp. 79–80 mm, 8-hodinovej, resp. 24-hodinovej zrážky, boli zistené v západnej časti Bielych Karpát (15), Myjavskej pahorkatiny (14) a na severe Záhorskej nížiny (1) (Obr. 6, 7). Podobné priestorové rozmiestnenie vysokých intenzít pri niekoľkohodinových

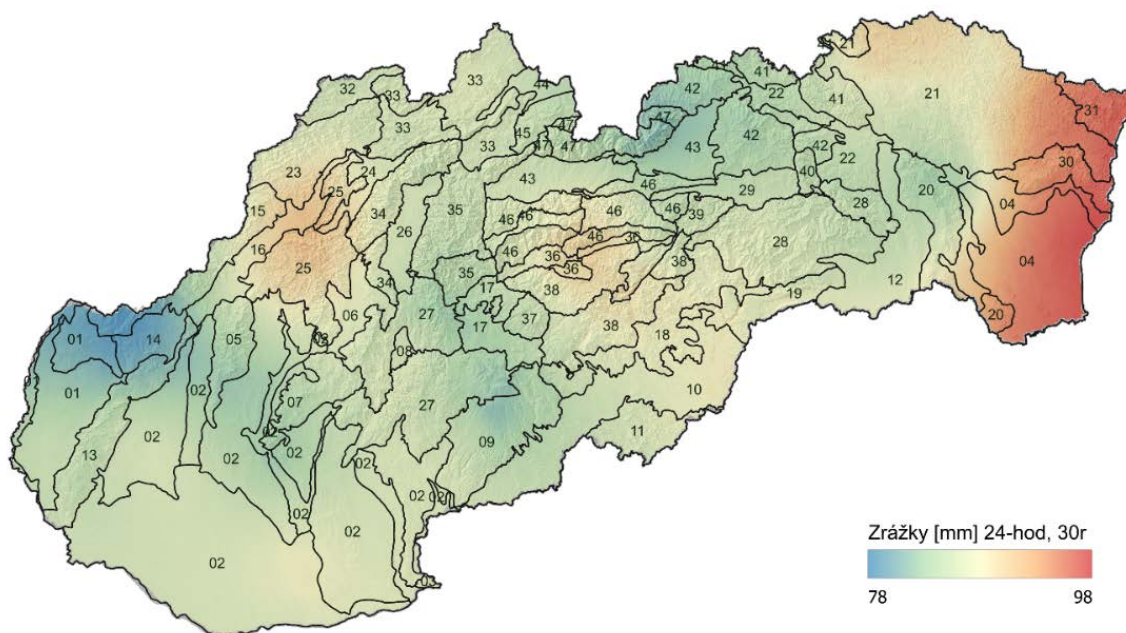
Obrázok 6. Maximálne 8-hodinové zrážky s 30-ročnou dobou opakovania v lesných oblastiach Slovenska. Lesné oblasti sú označené číslom podľa Tab.1.

Figure 6. Maximum 8-hour precipitation of a 30-year return period in forest areas of Slovakia. The forest areas are listed in Tab.1.



Obrázok 7. Maximálne 24-hodinové zrážky s 30-ročnou dobou opakovania v lesných oblastiach Slovenska. Lesné oblasti sú označené číslom podľa Tab.1.

Figure 7. Maximum 24-hour precipitation of a 30-year return period in forest areas of Slovakia. The forest areas are listed in Tab.1.



zrážkach bolo identifikované aj v digitálnom atlase intenzít zrážok na Slovensku (Onderka a Pecho, 2022, Onderka et al., 2023), pričom najvyššie hodnoty sa vyskytovali tiež na krajnom východe.

Jakubis (2023a) uviedol, že analýza 56 privalových povodní, ktoré sa vyskytli v malých horských povodiach SR v období rokov 1925–2020, odhalila veľké rozpätie intenzity zrážok, ktoré viedli k privalovým povodniam, napr. 45,2–130 mm pri 60-minútovej alebo 51 až 231,9 mm pri 24-hodinovej zrážke. Z toho vyplýva, že maximálne intenzity 60-minutových zrážok s dobou opakovania 30 rokov zistené v tejto štúdii môžu potenciálne spôsobiť bleskové povodne na veľkej časti územia Slovenska, tie 24-hodinové dokonca na celom území Slovenska. Intenzita zrážok je však iba jedným z faktorov, ktoré ovplyvňujú to, či povodeň skutočne nastane. Ďalšími významnými faktormi výsledného odtokového množstva a jeho časových zmien sú najmä geomorfologická charakteristika reliéfu (sklonitosť, reliéfová členitosť a pod.); hydrogeologická stavba povodia (charakter priepustnosti hornín, prítomnosť zvodnených vrstiev a pod.); vodná bilancia lesných porastov (intercepcia, zásoby pôdnej vody, stav lesnej cestnej siete vo vzťahu k povrchovému odtoku a pod.); celková lesnatosť povodia a štruktúra nelesnej krajiny povodia (Mind'áš et al., 1998).

Posúdenie vplyvu lesa na vznik povodne je stále aktuálnou otázkou. Rozdielnosť stanovištných podmienok i samotných lesných porastov a rôzne metódy skúmania podmienili to, že stále neexistuje jednoznačná odpoveď, akou mierou je lesný porast schopný zabrániť povrchovému odtoku alebo ho minimalizovať (Bulantová, 2012). Prevláda však názor, že lesné hospodárstvo môže vhodným obhospodarovaním lesov priaznivo ovplyvniť hydrologickú bilanciu zalesneného povodia (Čaboun a Mind'áš, 2003).

3.2 Opatrenia na úrovni lesných porastov, ktoré pomáhajú zvýšiť ich retenčnú schopnosť

Lesnícke činnosti, ako pestované zásahy, výstavba ciest a odvodňovacích drenáží, či ťažba dreva, môžu zvyšovať riziko povodne a odnos sedimentov pri extrémnych zrážkach. Znížiť toto riziko je možné voľbou adekvátnych postupov, a to správnym rozmiestnením lesov v krajine, najmä v oblastiach s malou lesnatosťou v povodiach vodných zdrojov a v regiónoch s nebezpečenstvom poškodenia pôdy eróziou (Konôpka, 2012). Lesy v lesných oblastiach, ktoré boli v tejto práci identifikované ako rizikové pre výskyt najvyšších intenzít zrážok, si z hľadiska prevencie vzniku povodní vyžadujú zvýšenú pozornosť a adekvátnu starostlivosť. Dôraz by mal byť hlavne na:

- pestovanie porastov s vysokou intercepciou a transpiráciou, dobrým zdravotným stavom a štruktúrou zvyšujúcou retenčnú schopnosť porastov,
- voľbu správnych pestovných postupov zvyšujúcich retenčnú schopnosť porastov a porastovej pôdy,
- obnovu a výstavbu nových protipovodňových opatrení v povodiach.

Po prechode vegetačným krytom sa zrážková voda dostáva do kontaktu s pôdnym prostredím. Následne buď stečie po povrchu pôdy alebo do nej vsakuje (infiltruje) a transformuje sa do jednej z foriem pôdnej vody. Retenčná

kapacita a infiltrácia lesných pôd teda zohrávajú významnú úlohu pri modifikovaní odtoku z lesných porastov pri intenzívnych zrážkach. K prekročeniu retenčnej kapacity lesných pôd môže dôjsť dvoma spôsobmi:

- pri výdatných zrážkach, keď sa retenčná kapacita pôdy nasýti a celý objem prebytkovej zrážkovej vody prechádza do odtoku,
- pri vysokej intenzite zrážok, napríklad z búrkovej činnosti, keď sa retenčná kapacita pôd nestíha naplniť a zrážková voda priamo odteká napriek tomu, že pôda nie je vodou nasýtená (Mind'áš et al., 2001).

Ak sa v procese hospodárenia lesná pôda výrazne narúša, ovplyvňuje to jej infiltračnú schopnosť. Voda, ktorá neinfiltrovala do pôdneho profilu, sa mení na povrchový odtok, ktorý významne ovplyvňuje hydrologický režim vodných tokov.

Čo sa týka hospodárskych opatrení v lesoch, je potrebné uplatňovať také postupy, ktoré zlepšujú fyzikálny profil a retenčný efekt lesných pôd, ako napríklad uplatňovanie princípov a zásad prírode blízkeho hospodárenia v lese (PBHL, Saniga, 2022), ktoré pracujú s cyklickým modelom vývoja lesa. PBHL vytvára podmienky pre plošnú, vekovú i drevinovú štruktúru (Schütz et al., 2016), ktorá umožňuje zachytiť väčšie množstvo vody v korunovom, kmeňovom aj koreňovom priestore. Zlepšiť fyzikálny profil a retenčný efekt lesných pôd pomáhajú aj úrovňové prebiecky s pozitívnym výberom s cieľom vytvorenia minimálne dvojvrstvovej štruktúry vychovávaných porastov (Saniga, 2022). Pri obnove porastov majú pozitívny účinok postupy, ktoré vytvárajú priaznivé podmienky pre vznik, uvoľnenie a odrastanie prirodzeného zmladenia stanovištné vhodných drevín. Naopak, negatívny dopad na retenčnú schopnosť lesa majú schématické postupy, výsledkom ktorých je geometrizácia ťažbových plôch (pásové clonné ruby). Vysoká koncentrácia ťažby v nich, rýchle priradovanie ďalších východísk obnovy aj v prípade listnatých porastov (hlavne buka) vedie ku riziku nezabezpečenia prirodzenej obnovy a zhoršenia vodnej retencie pôd (Saniga, 2022). Pri ťažbe dreva je vysoké riziko vzniku povodne spojené so samotným vyťahovaním stromov z porastov a budovaním približovacích liniek a odvozných ciest, ktoré vytvárajú odtokové cesty v porastoch.

Protipovodňové opatrenia na drobných vodných tokoch sú označované termínom zahrádzanie bystrín. Podľa Zákona o lesoch 326/2005 je zahrádzanie bystrín v lesoch súbor biologických, technických a organizačných opatrení v povodiach drobných vodných tokov zameraných na ochranu pred povodňami, zmiernenie erózných procesov a akumuláciu vody, najmä na účely ochrany pred požiarmi. Týmto opatrením dochádza k zadržaniu, spomaleniu a odvedeniu vody. Priekopníkom zahrádzania bystrín na Slovensku bol lesník, prof. Ing. Dr. Leo Skatula. Na Slovensku sa v rokoch 1924–1939 vypracovalo pod jeho vedením 194 projektov s návrhom úprav bystrín a strží na celkovej dĺžke 164 km, z ktorých sa zrealizovalo 123 km (Jakubis, 2023b). V súčasnosti na Slovensku zahrádzanie bystrín stagnuje a v praxi nie sú realizované adekvátne protipovodňové opatrenia na bystrinách, napriek ich akútnej potrebe. Mnohé úpravy bystrinných koryt a ich perimetrov, ktoré boli realizované pred desiatkami rokov, sú ešte funkčné, napriek

tomu, že sa venuje ich údržbe len malá pozornosť (Valtíny, 2012). Medzi najvýznamnejšie vodozádržné opatrenia, ktoré boli vybudované v poslednom desaťročí, patria protipovodňové pretekané poldre na vodných tokoch v Levočských vrchoch, ktorých výstavbu zabezpečili Vojské lesy a majetky SR (VLM SR) po rozsiahlej povodni v roku 2010. Okrem výstavby a obnovy protipovodňových zariadení má preventívny účinok aj údržba a dobrý stav odvodňovacích zariadení lesnej cestnej siete a starostlivosť o koryto vodného toku, predovšetkým zabezpečenie jeho plnej prietokovosti vrátane adekvátnej starostlivosti o brehové porasty (Jakubis, 2023a).

4 ZÁVER

Cieľom predkladanej práce bolo určiť rizikové lesné oblasti pre výskyt intenzívnych zrážok na území Slovenska, ktoré môžu byť príčinou bleskových povodní a zároveň zosumariť opatrenia v povodiach, ktoré môžu podporiť vyššiu retenciu v danej oblasti. Na základe modelovaných intenzít zrážok sme zistili, že krátkodobé zrážky v trvaní 15 a 60 minút zasahujú iné lesné oblasti ako pri zrážkach v trvaní 8 a 24 hodín. Na toto rozmiestnenie má výrazný vplyv topografia terénu a orientácia svahov voči prúdeniu. Prezentované výsledky majú praktické využitie tým, že sú lokalizované lesné oblasti, v ktorých sa viac než inde vyskytujú intenzívne zrážky, po ktorých hrozí vzostup vodných hladín alebo povodeň. V ďalšej časti sme sa venovali vplyvu opatrení v lesoch, ako diskutovaného vodozádržného prvku v krajine na vznik povodní a poukázali sme na možnosti zvýšenia retenčnej kapacity v lesnatých povodiach.

Podakovanie

Tento príspevok bol vypracovaný s podporou projektu BLEPOSK - Vývoj systému pre hodnotenie hrozby bleskových povodní a na podporu tvorby návrhov modrozelenej infraštruktúry ITMS 2014+ kód 313011BWT8.

5 LITERATÚRA

Andreassian, V., 2004. *Water and forest: from historical controversy to scientific debate*. *J. Hydrol.*, 291, 1–27.

Bara, M.–Kohnová, S.–Gaál, L.–Szolgay, J.–Hlavčová, K., 2009. *Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia*. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 39, 187–206.

Bartík, M.–Jančo, M.–Střelcová, K. et al., 2016. *Rainfall interception in a disturbed montane spruce (Picea abies) stand in the West Tatra Mountains*. *Biologia* 71, 1002–1008. doi: 10.1515/biolog-2016-0119.

Bosh, J.M.–Hewlett, J.D., 1982. *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation*. *J. Hydrol.*, 55, 3–23.

Bulantová, M., 2012. *Posúdenie vplyvu využitia územia na odtokové procesy v povodí*. Dostupné online: <http://www.zvyh.sk/data/files/70.pdf>.

Calder, I.–Hofer, T.–Vermont, S.–Warren, P., 2007. *Towards a new understanding of forests and water*. *Unasylva* 229(58), 8 p. Dostupné online: <https://www.fao.org/3/a1598e/a1598e02.pdf>.

Carpenter, B.–Gelman, A.–Hoffman, M.D.–Lee, D.–Goodrich, B.–Betancourt, M.–Brubaker, M.–Guo, J.–Li, P.–Riddell, A., 2017. *Stan: A Probabilistic Programming Language*. *Journal of Statistical Software*, 76(1), 1–32. doi: 10.18637/jss.v076.i01.

Coles, S.G., 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer Verlag, London, 209 p. doi: 10.1007/978-1-4471-3675-0.

Čaboun, V.–Mindáš, J., 2003. *Vodná bilancia a hydrické funkcie lesných ekosystémov v krajine. Funkcia energetickej a vodnej bilancie v bioklimatických ekosystémoch*. Zborník príspevkov, SP, Nitra. Dostupné online: <http://www.cbks.cz/sbornikRackova03/sections/4/Caboun.pdf>.

Dub, O., 1950. *Hydrologické podklady pre výpočet kanalizačných sietí*. Voda, 5.

Friesen, J.–Van Stan, J.T. II., 2019. *Early European Observations of Precipitation Partitioning by Vegetation: A Synthesis and Evaluation of 19th Century Findings*. *Geosciences*, 9(10), 423. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100423>.

Gaál, L., 2009. *Metódy výpočtu štatistických charakteristík návrhových hodnôt úhrnov zrážok na Slovensku*. Key Publishing, Ostrava, 224 p.

Gelman, A.–Carlin, J.B.–Stern, H.S.–Rubin, D.B., 2003. *Bayesian Data Analysis*. 2nd ed. London: CRC Press, 690 p.

Gesmann, M.–Morris, J., 2020. *Hierarchical Compartmental Reserving Models*. *CAS Research Papers*, 112 s. Dostupné online: <https://www.casact.org/sites/default/files/2021-02/compartamental-reserving-models-gesmannmorris0820.pdf>.

Hanel, M.–Buishand, T.A.–Ferro, C.A.T., 2009. *A nonstationary index flood model for precipitation extremes in transient regional climate model simulations*. *J. Geophys. Res.*, 114, D15107, doi: 10.1029/2009JD011712.

Hofer, T.–Messerli, B., 2006. *Floods in Bangladesh: history, dynamics and rethinking the role for the Himalayas*. Tokyo, Japan, United Nations University Press.

Jakubis, M., 2023a. *Prívalové povodne – príčiny, poučenia a hľadanie zodpovednosti*. *LES & Letokruhy*. Dostupné online: <https://www.lesmedium.sk/casopis-letokruhy/2023/casopis-letokruhy-2023-07/privalove-povodne-priciny-poucenia-a-h-adanie-zodpovednosti>.

Jakubis, M., 2023b. *100 rokov od vzniku štátnej Služby zahrádzania bystrín*. *LES & Letokruhy*. Dostupné online: <https://www.lesmedium.sk/casopis-letokruhy/2023/casopis-letokruhy-2023-09/100-rokov-od-vzniku-statej-sluzby-zahradzania-bystrin>.

Konôpka, J., 2012. *Manažment hydrických funkcií lesov*. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 58(2), 129–135.

Kostka, Z.–Holko, L., 2006. *Role of forest in hydrological cycle – forest and runoff*. *Meteorologický časopis*, 9, 143–148.

Mindáš, J.–Moravčík, M.–Stanovský, M., 1998. *Význam lesov a ich obhospodarovania z hľadiska protipovodňovej ochrany krajiny*. In: *O povodniach v roku 1998*. Bratislava, SHMÚ, 66–71.

Mindáš, J.–Škvarenina, J.–Střelcová, K., 2001. *Importance of forests in the landscape hydrological regime*. *Život. prostr.*, 35(3), 146–150.

Mráček, Z.–Krečmer, V., 1975. *Význam lesa pro lidskou společnost*. *Státní zemědělské nakladatelství Praha*, 225 s.

Onderka, M.–Pecho, J.–Markovič, L.–Nejedlík, P., 2020a. *Are rainfall extremes becoming non-stationary due to global warming? A case-study from Slovakia*. *Meteorologické zprávy*, 73, 138–145.

Onderka, M.–Pecho, J.–Nejedlík, P., 2020b. *On how rainfall characteristics affect the sizing of rain barrels in Slovakia*. *Journal of Hydrology – Regional Studies*, 32, 100747. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100747>.

- Onderka, M.–Pecho, J.–Bodinger, L.–Bičárová, S.–Lukasová, V., 2022, *Vzťahy medzi intenzitou, trvaním a frekvenciou krátkodobých dažďov určené pomocou bayesovskej inferencie parametrov GEV rozdelenia*. *Meteorologické zprávy*, 75(3), 81–88.
- Onderka, M.–Pecho, J., 2022. *Národný klimatický program Slovenskej republiky*. Zv. NKP 17/22. *Návrhové hodnoty intenzít krátkodobých dažďov na Slovensku - Lokálne odhady*. 1. vyd. Bratislava : Hydrometeorologický ústav, 2022, 500 s.
- Onderka, M.–Sokáč, M.–Mikulová, K.–Pecho, J., 2023, *Digital atlas of rainfall design intensities in Slovakia*. *Meteorologický časopis*, 26(1), 27–38. Dostupné online: https://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/1689773732_MC_2023-1.pdf.
- Overeem, A.–Buishand, A.–Holleman, I., 2008, *Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties*. *Journal of Hydrology*, 348,(1–2), 124–134. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.044.
- Polčák, N.–Mészáros, J., 2018, *Vplyv reliéfu na rozloženie atmosférických zrážok na Slovensku pri južných cyklónálnych situáciách*. *Geografický časopis*, 70(3), 259–272. 0016-7193. doi: 10.31577/geogrcas.2018.70.3.14.
- R Core Team, 2014, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Dostupné online: <https://www.R-project.org>.
- Saniga, M., 2022, *Lesné ekosystémy Slovenska a retenčná funkcia ich pôd*. *LES & Letokruhy*. Dostupné online: <https://www.lesmedium.sk/casopis-letokruhy/2022/casopis-letokruhy-2022-04/lesne-ekosystemy-slovenska-a-retencna-funkcia-ich-p-d>.
- Schütz, J.P.–Saniga, M.–Diaci, J. et al., 2016, *Comparing close-to-nature silviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe*. *Annals of Forest Science* 73, 911–921. doi: 10.1007/s13595-016-0579-9.
- Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2021 – Zelená správa. Bratislava, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka, Národné lesnícke centrum, 2022. Dostupné online: https://web.nlcsk.org/Zelena_sprava/Zelen%C3%A1_spr%C3%A1va_2021_s.pdf.
- Šály, R. 1988. *Pedológia a mikrobiológia*. VŠLD, Zvolen, 376 s.
- Šamaj, F.–Valovič, Š., 1973, *Intenzity krátkodobých dažďov na Slovensku*, Zborník prác Hydrometeorologického ústavu 5, Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 84 s.
- Štěpánek, P.–Zahradníček, P.–Farda, A., 2013, *Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010*. *Idojaras*, 117, 123–141.
- Urcikán, P.–Imriška, L., 1986, *Stokovanie a čistenie odpadových vôd*, *Tabuľky na výpočet stôk*, Bratislava: ALFA-SNTL
- Valtýni, J., 2012, *Príspevok k histórii zahrádzania bystrín*. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 58(4), 266–273.