



# PRÍKLADY ZAVEDENIA ADAPTAČNÝCH OPATRENÍ NA RIZIKÁ KLIMATICKEJ ZMENY V SLOVENSKOM LESNÍCTVE

Ján Holécý, Blanka Giertľiová, Jaroslav Vido, Paulína Nalevanková

Odborný garant Juraj Bebej

*Projekt "Metodiky pre hodnotenie investičných rizík spojených s nepriaznivými dôsledkami zmeny klímy", kód ITMS 2014+: 310021BSY3 (ďalej len „Projekt“)  
bol realizovaný na základe Zmluvy o poskytnutí nenávratného finančného príspevku č. OPKZP-PO2-SC211-2019-54/01 zo dňa 09. 11. 2022 (ďalej len „Zmluva o poskytnutí NFP“)  
v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia (OP KŽP)*





# PRÍKLADY ZAVEDENIA ADAPTAČNÝCH OPATRENÍ NA RIZIKÁ KLIMATICKEJ ZMENY V SLOVENSKOM LESNÍCTVE

Ján Holécý, Blanka Giertľiová, Jaroslav Vido, Paulína Nalevanková

Odborný garant Juraj Bebej

*Projekt "Metodiky pre hodnotenie investičných rizík spojených s nepriaznivými dôsledkami zmeny klímy", kód ITMS 2014+: 310021BSY3 (ďalej len „Projekt“) bol realizovaný na základe Zmluvy o poskytnutí nenávratného finančného príspevku č. OPKZP-PO2-SC211-2019-54/01 zo dňa 09. 11. 2022 (ďalej len „Zmluva o poskytnutí NFP“) v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia (OP KŽP)*

- Názov:** Príklady zavedenia adaptačných opatrení  
na riziká klimatickej zmeny v slovenskom lesníctve
- Autorský kolektív:** Ján Holécy, Blanka Giertliová, Jaroslav Vído, Paulína Nalevanková
- Odborný garant:** doc. RNDr. Juraj Bebej, CSc.
- Foto na obálke:**
- Grafická úprava:** Miloslav Hlaváček
- Jazyková úprava:** Neprešlo jazykovou korektúrou.
- PodĎakovanie:**
- Vydavateľ:** © Slovenská agentúra životného prostredia, Tajovského 24, 975 09 Banská Bystrica
- Vydanie:** I.
- Rok vydania:** 2023
- Počet strán:** 60
- ISBN:**
- Upozornenie:** Texty a fotografie v tejto publikácii sú chránené autorským právom.
- Odporúčaná citácia:**

Textovo-grafické spracovanie publikácie bolo realizované v rámci projektu Metodiky pre hodnotenie investičných rizík spojených s nepriaznivými dôsledkami zmeny klímy (ITMS 2014+: 310021BSY3), ktorý je financovaný z Operačného programu Kvalita životného prostredia.



# OBSAH

<b>Obsah</b>	<b>4</b>
Zoznam tabuliek	6
Zoznam obrázkov	7
<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Klimatická zmena a jej vplyv na poskytovanie ekosystémových služieb lesa v prítomnosti rizika hospodárenia</b>	<b>9</b>
1.1 Definície a typológia základných pojmov teórie rizika	9
1.2 Využívanie ekosystémových služieb lesa v podmienkach rizík hospodárenia počas klimatickej zmeny	10
1.3 Význam adaptácie lesných ekosystémov na riziká hospodárenia	12
<b>2 Tendencie vývoja nebezpečenstva výskytu lesného a krajinného sucha v rokoch 1984 – 2014 a jeho prognóza na roky 2024 – 2050 v oblasti stredného a horného Pohronia</b>	<b>14</b>
2.1 Úvod	14
2.2 Charakteristika študovaného územia	14
2.3 Rozbor situácie v období 1984 – 2014	15
2.3.1 Analýza zrážkových trendov v období 1984 – 2014	15
2.3.2 Analýza trendov sucha v období 1984 – 2014	17
2.4 Prognóza vývoja sucha v záujmovej oblasti v období 2024 – 2050	20
2.4.1 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden mesiac za obdobie 2024 – 2050	20
2.4.2 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre dvanásť mesiacov za obdobie 2024 – 2050	22
2.4.3 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov pre jednotlivé mesiace v období 2024 – 2050	23
2.4.4 Priestorová interpretácia analýz vývoja nebezpečenstva sucha v záujmovej oblasti	25
2.5 Záver	27
<b>3 Adaptácia hospodárenia na riziko výskytu požiarov v lesných porastoch Slovenského raja</b>	<b>29</b>
3.1 Geografická a klimatická charakteristika územia Slovenského raja	29
3.2 Ekonomická analýza projektov pestovania komerčných drevín v Slovenskom raji	30
3.3 Analýza a opis rizika výskytu požiarov na území Slovenského raja pri pestovaní komerčných drevín	35
3.4 Meranie vplyvu rizika výskytu požiarov na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy pri pestovaní jednotlivých drevín	42
3.5 Návrh scenárov adaptačných opatrení v hospodárení na lesnej pôde na zníženie rizika výskytu požiarov na území Slovenského raja	44
3.6 Vyhodnotenie ekonomického efektu zníženia rizika výskytu požiarov zmenou drevinového zloženia pri zalesňovaní	47
3.7 Diskusia k výsledkom ekonomickej analýzy scenárov zmeny drevinového zloženia lesov parku	49



<b>4 Vietor ako najvýznamnejší abiotický škodlivý činiteľ - analýza súčasného stavu a možnosti adaptácie hospodárenia</b>	<b>51</b>
4.1 Úvod	51
4.2 Zhodnotenie významnosti pôsobenia na škodlivého činiteľa	52
4.3 Analýza a opis rizika	53
4.4 Záver	56
<b>Použitá literatúra</b>	<b>58</b>



## Zoznam tabuliek

- Tabuľka 2.1 Signifikantnosť trendov vývoja indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov v záujmovej oblasti za obdobie 2024–2050.
- Tabuľka 3.1 Zastúpenie jednotlivých skupín drevín v lesných porastoch Slovenského raja.
- Tabuľka 3.2 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Smreka obyčajného (*Picea abies*, L.).
- Tabuľka 3.3 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Jedle bielej (*Abies alba*, L.).
- Tabuľka 3.4 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Borovice obyčajnej (*Pinus sylvestris*, sp.).
- Tabuľka 3.5 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Smrekovca opadavého (*Larix decidua*, L.).
- Tabuľka 3.6 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.).
- Tabuľka 3.7 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Duba obyčajného (*Quercus petraea*, L.).
- Tabuľka 3.8 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSHu a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania Javora horského (*Acer pseudoplatanus*, L.).
- Tabuľka 3.9 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov Buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.) a ostatných listnáčov na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 - 2015.
- Tabuľka 3.10 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov buka a ostatných listnáčov  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenja  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).
- Tabuľka 3.11 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov Borovice obyčajnej (*Pinus, sylvestris*, sp.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 - 2015.
- Tabuľka 3.12 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov borovice ohňom  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenja  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).
- Tabuľka 3.13 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov Jedle bielokorej (*Abies alba*, Mill.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 - 2015.
- Tabuľka 3.14 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov jedle ohňom  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenja  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).
- Tabuľka 3.15 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov Smreka obyčajného (*Picea abies*, L.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 - 2015.
- Tabuľka 3.16 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov smreka ohňom  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenja  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).
- Tabuľka 3.17 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov Smrekovca opadavého (*Larix decidua*, L.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 - 2015.
- Tabuľka 3.18 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov smrekovca ohňom  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenja  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).
- Tabuľka 3.19 Porovnanie výsledkov výpočtu kapitálových hodnôt lesnej pôdy Bu v projektoch pestovania ihličnatých drevín pri absencii rizika s jej hodnotami v prítomnosti rizika Bfu.
- Tabuľka 3.20 Porovnanie výsledkov výpočtu kapitálových hodnôt lesnej pôdy Bu v projektoch pestovania listnatých drevín pri absencii rizika s jej hodnotami v prítomnosti rizika Bfu.
- Tabuľka 3.21 Štruktúra východiskového Scenáru (0) pre vyhodnotenie dopadu zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku v prítomnosti rizika výskytu požiarov.
- Tabuľka 3.22 Štruktúra Scenáru (1) pre vyhodnotenie dopadu zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku v prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 700 m n. m.
- Tabuľka 3.23 Štruktúra Scenáru (2) pre vyhodnotenie dopadu zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku v prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 800 m n. m.
- Tabuľka 3.24 Štruktúra Scenáru (3) pre vyhodnotenie dopadu zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku v prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 900 m n. m.
- Tabuľka 3.25 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci Scenáru (1), ktorý uvažuje s pestovaním dreviny smrek len vo výškach 700 m n. m. a vyššie.
- Tabuľka 3.26 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci Scenáru (2), ktorý uvažuje s pestovaním dreviny smrek len vo výškach 800 m n. m. a vyššie.
- Tabuľka 3.27 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci Scenáru (3), ktorý uvažuje s pestovaním dreviny smrek len vo výškach 900 m n. m. a vyššie.
- Tabuľka 3.28 Výpočet výšky alternatívnych nákladov AN(V) realizácie navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia a kapitálovej hodnoty lesnej pôdy Slovenského raja vo vzťahu k rozhodnutiu o ich prijatí do praxe pri absencii rizika výskytu požiarov.
- Tabuľka 3.29 Výpočet výšky alternatívnych nákladov AN(V) realizácie navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia a kapitálovej hodnoty lesnej pôdy Slovenského raja vo vzťahu k rozhodnutiu o ich prijatí do praxe v prítomnosti rizika výskytu požiarov.
- Tabuľka 3.30 Výpočet výšky ekonomického zisku pri absencii rizika EZ(V) a ekonomického zisku v prítomnosti rizika EZf(V) pri rozhodnutí o prijatí niektorého z navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia do praxe.
- Tabuľka 4.1 Prehľad najvýznamnejších vetrových kalamít od roku 1990
- Tabuľka 4.2 Posúdenie významnosti pôsobenia vetra u jednotlivých drevín
- Tabuľka 4.3 Bodové odhady pravdepodobností pt pre jednotlivé dreviny
- Tabuľka 4.4 Tabuľky života lesa



## Zoznam obrázkov

- Obrázok 1.1 Definícia zraniteľnosti ekosystému prírodnými živlami ako funkcie jeho rezistencie a reziliencie
- Obrázok 1.2 Opis rastu rizika výskytu ničivej udalosti v čase t ako distribučnej funkcie rozdelenia pravdepodobnosti výskytu ničivého javu Ft
- Obrázok 1.3 Potrebná zmena paradigmy hospodárenia na lesnej pôde s cieľom znížiť zraniteľnosť lesných ekosystémov a zvýšiť efektívnu adaptáciu na špecifické riziká lesníckych projektov
- Obrázok 2.1 Záujmové územie s vyznačeným čiastkovým povodím rieky Hron. Zdroj podkladového DMR (GKÚ Bratislava prostredníctvom portálu [zbgis.skgeodesy.sk](http://zbgis.skgeodesy.sk))
- Obrázok 2.2 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPI pre jeden mesiac) v období 1984 – 2014 na staniách zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položenéj: a) Sliač, b) Víglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou
- Obrázok 2.3 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPI pre dvanásť mesiacov) v období 1984 – 2014 na staniách zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položenéj: a) Sliač, b) Víglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou
- Obrázok 2.4 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPEI pre jeden mesiac) v období 1984 – 2014 na staniách zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položenéj: a) Sliač, b) Víglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou
- Obrázok 2.5 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPEI pre dvanásť mesiacov) v období 1984 – 2014 na staniách zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položenéj: a) Sliač, b) Víglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou
- Obrázok 2.6 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 300 m n. m. (2. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac.
- Obrázok 2.7 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 600 m n. m. (4. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac.
- Obrázok 2.8 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 900 m n. m. (5. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac.
- Obrázok 2.9 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 1200 m n. m. (6.–7. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac.
- Obrázok 2.10 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 300 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov
- Obrázok 2.11 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 600 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov
- Obrázok 2.12 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 900 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov
- Obrázok 2.13 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 1200 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov
- Obrázok 2.14 Vývoj priemernej teploty vzduchu v mesiaci január pre obdobie 2024 – 2050 vo výškovom stupni 1200 m n. m.
- Obrázok 2.15 Vývoj priemernej teploty vzduchu v mesiaci január pre obdobie 2024 – 2050 vo výškovom stupni 300 m n. m.
- Obrázok 2.16 Významnosť zvýšenia frekvencie výskytu sucha hodnoteného indexom SPEI pre jeden mesiac v období 2024 – 2050
- Obrázok 2.17 Významnosť zvýšenia frekvencie výskytu sucha hodnoteného indexom SPEI pre dvanásť mesiacov v období 2024 – 2050
- Obrázok 2.18 Percentuálne vyjadrenie predĺženia trvania najzávažnejších epizód sucha v sledovanom území hodnotené indexom SPEI pre dvanásť mesiacov v období 2024 – 2050
- Obrázok 3.1 Zakreslenie hraníc Národného parku Slovenský raj na území Slovenska
- Obrázok 3.2 Klimatické diagramy pre Národný park Slovenský raj (Vľavo – horské oblasti, meteorologická stanica Telgárt, Vpravo – údolné oblasti, meteorologická stanica Poprad)
- Obrázok 4.1 Vývoj náhodných ťažieb od roku 1960 a prognóza ich vývoja do roku 2030 podľa Konôpku a kol. (2016)
- Obrázok 4.2 Vývoj pravdepodobnosti poškodenia/zničenia porastu u jednotlivých ihličnatých drevín
- Obrázok 4.3 Vývoj pravdepodobnosti poškodenia/zničenia porastu u jednotlivých listnatých drevín
- Obrázok 4.4 Vplyv zmeny drevinového zloženia na pravdepodobnosť zničenia



## Úvod

Otázky postupu klimatickej zmeny, tak jej príčin, ako aj následkov, sú v súčasnosti vysoko aktuálnou témou mnohých výskumných projektov, ale aj zásadnou časťou agendy vlád všetkých národných štátov i medzinárodných politických organizácií. Lesné ekosystémy sú dôležitou krajinou štruktúrou, ktorá prispieva k stabilite životného prostredia. Okrem toho je les ľuďmi aktívne využívaným obnoviteľným prírodným zdrojom. Hospodárske využívanie lesa na Slovensku má dlhú históriu. Pokračujúca klimatická zmena prináša pre lesníctvo príležitosti vo forme vyšších prírastkov dreva na pri spôsobených vyššou koncentráciou CO<sub>2</sub> v ovzduší a predĺžovaním vegetačného obdobia. Turbulencia prebiehajúcich zmien prináša aj špecifické hrozby a riziká. Cieľom tejto publikácie je na príkladoch riešenia troch prípadových štúdií z oblasti lesníctva poukázať na možnosti, ako merať úroveň hrozby a špecifického rizika využívania lesných ekosystémov a jeho jednotlivých zložiek a ako vhodnými adaptačnými opatreniami čeliť niektorým jeho najvýznamnejším negatívnym prejavom. Každá z uvedených prípadových štúdií sa venuje zvládnutiu iného druhu hrozby a špecifického rizika spojeného s pestovaním hospodárskych lesných drevín, ktoré prináša nastupujúca zmena klímy.

Autorský kolektív



# 1 KLIMATICKÁ ZMENA A JEJ VPLYV NA POSKYTOVANIE EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB LESA V PRÍTOMNOSTI RIZIKA HOSPODÁRENIA

## 1.1 DEFINÍCIE A TYPOLÓGIA ZÁKLADNÝCH POJMOV TEÓRIE RIZIKA

Vo vedeckých i odborných publikáciách, ktoré informujú o neurčitosti a rizikách okolitého sveta, sa často používajú rozdielne, ale dosť podobné pojmy, ktoré sa často vzájomne zamieňajú, pričom ich význam ostáva nie vždy celkom jasný. Pre naše potreby opisu rizika si preto najdôležitejšie pojmy vopred jednoznačne a presne definujeme:

**Hazard**, ako ho opisuje Alexander (2000), je extrémna geofyzikálna udalosť, ktorá môže spôsobiť katastrofu. Predstavuje hrozbu pre ľudí a veci, ktoré vlastní. V širšom zmysle, hazard predstavuje kvalitatívny opis zvlášť ničivého výskytu prírodného živlu. Ako vysvetľuje Thywissenová (2006), hazard je hrozba, nie skutočná udalosť. Ale akýkoľvek hazard sa môže prejavíť v skutočnej ničivej udalosti. Inými slovami, ak je možné ho merať pomocou skutočnej škody alebo straty, už nie je viac hazardom, ale stáva sa udalosťou, pohromou alebo katastrofou. Dôležitou črtou hazardu je, že teoreticky v sebe zahŕňa predstavu o pravdepodobnosti výskytu udalosti.

**Zraniteľnosť** pozorovanej štruktúry tvorí vždy dôležitú zložku rizika. Vo všeobecnosti, zraniteľnosť je vnútornou charakteristikou danej štruktúry, ktorá indikuje potenciál jej poškodenia. Zraniteľnosť je možné hodnotiť vo vzťahu k biologickým alebo technickým vlastnostiam pozorovanej štruktúry citlivým na pôsobenie ničivých prírodných živlov. Zraniteľnosť štruktúr rôznymi druhmi ničivých prírodných živlov sa môže líšiť.

**Expozícia** je spolu s hazardom a zraniteľnosťou ďalším vstupným parametrom potrebným zohľadniť pri špecifikácii rizika a výskytu katastrofy. Pod expozíciou chápeme počet ľudí alebo iných ohrozených prvkov, ktoré môžu byť zasiahnuté ničivou špecifickou udalosťou. Napríklad v neobývaných oblastiach je ľudská expozícia nulová; nezáleží na tom, koľko hurikánov zasiahne neobývaný ostrov. Ľudská expozícia, a teda riziko straty na životoch ľudí zostáva nulové. Zatiaľ čo zraniteľnosť určuje, aký veľký bude dôsledok udalosti na ohrozené prvky, je to expozícia, ktorá informuje o výške konečnej škody alebo straty. V jej ekonomickom rozmere sa zraniteľnosť opisuje projekciou, že pri výskyte danej udalosti rodina pravdepodobne stratí 50 % majetku. Koľko rodín bude postihnutých a stratí 50 % ich majetku, pokrýva expozícia. Zjednodušene povedané, chudoba v komunite určí stupeň, na ktorý bude postihnutá udalosťou istej veľkosti, a expozíciu predstavuje počet členov komunity. V tomto zmysle sú, pri všetkých inak nezmenených podmienkach, husto osídlené oblasti viac rizikové ako riedko osídlené.

**Reziliencia** alebo vyrovnávací kapacita v bežnom živote tiež rozhoduje o výške škody prvkov štruktúry ohrozených rizikom. V odbornej literatúre sa väčšina definícií reziliencie a vyrovnávacej kapacity prekrýva a často sa používajú ako synonymá. Tieto dva rozmery ničivej udalosti nie je ľahké oddeliť. Vyrovnávací kapacita zahŕňa tie stratégie a ukazovatele, ktoré pôsobia priamo na škodu počas udalosti buď jej zmiernením, alebo pohltením dôsledku, či prinesením účinnej úľavy. Sem sa zaraďujú aj tie adaptívne stratégie, ktoré modifikujú správanie, alebo činnosti, ktoré umožňujú predísť alebo sa vyhnúť ničivým účinkom. Reziliencia okrem spomenutých aspektov informuje o schopnosti štruktúry zostať počas udalosti funkčnou a po nej sa úplne zotaviť. Reziliencia teda zahŕňa vyrovnávaciu schopnosť, ale súčasne ju rozširuje. Z tejto definície vyplýva zložitá otázka: „Počíta už zraniteľnosť s vyrovnávacou kapacitou a rezilienciou alebo sú to samostatné a protichodné parametre?“ Odpoveď závisí od toho, ako definujeme spôsobenú škodu alebo stratu. Ak je miera škody alebo straty definovaná tiež trvaním nepriaznivých účinkov a ich opakovaným pôsobením na chudobu ľudí, hospodárstvo alebo povedomie, potom zraniteľnosť musí zahŕňať aj vyrovnávaciu kapacitu a rezilienciu. Tento záver vyplýva z postulátu, že zraniteľnosť opisuje náchylnosť ku škode alebo strate.

**Riziko** je veličina, ktorá sa v súčasnosti chápe veľmi široko, čo niekedy sťažuje tak jeho opis, ako aj použiteľnosť výsledkov jeho analýzy v praxi. Thywissenová (2006) uvádza vyše 30 jeho odlišných definícií z rôznych oblastí ľudskej činnosti a kvantifikáciu rizika vysvetľuje na základe už uvedených skutočností ako funkciu hazardu, zraniteľnosti, expozície a reziliencie. Pripúšťa aj možnosť jeho presnejšieho odhadu pomocou ďalších doplňujúcich veličín. Brealey a Myers (1991) rozoznávajú dva základné druhy rizika:

- **Špecifické riziko** je jedinečné pre každé odvetvie alebo oblasť ľudskej činnosti. Tiež sa nazýva nesystematické, reziduálne alebo aj diverzifikovateľné. Svoje špecifické riziká má priemysel (náhodný výskyt chýb v kvalite vstupov, poruchy strojov a zariadení...), obchod (výkyvy v kvalite dodávaných tovarov, nespoľahlivosť marketingových kaná-

lov...), cestovný ruch (nepriaznivé počasie, nedostatok snehu...), poľnohospodárstvo (výskyt dlhších období sucha, veterinárne riziká...) i lesníctvo (náhodný výskyt veterných vývratov, lesných požiarov, období sucha, premnoženie škodcov...). Ako je uvedené, špecifické riziko je diverzifikovateľné, to znamená, že vhodnými adaptačnými opatreniami je možné tento druh rizika odstrániť alebo znížiť.

- **Trhové riziko** je hrozba, ktorej nie je možné vyhnúť sa bez ohľadu na to, ako ho diverzifikujeme. Tiež sa nazýva systémové alebo nediverzifikovateľné riziko. Vyplýva z faktu, že existujú hrozby, ktoré prierezoivo postihujú celú ekonomiku alebo dokonca celú planétu. Pri nedostatku informácií o tejto hrozbe sa zvykne tiež používať pojem „trhová neistota“ alebo „trhová neurčitost“. Prítomnosť trhového rizika je daná faktom, že globálny bankový systém existuje a vyvíja svoju činnosť mimo politickej kontroly národných vlád a Organizácie spojených národov. Rozhodnutia globálnych finančných inštitúcií (uvalenie hospodárskych a finančných sankcií, odmietnutie poskytnutia úverov a inej podpory zo strany Medzinárodného menového fondu a Svetovej banky) sú ťažko predvídateľné, a preto spoľahlivé kvantifikácie tohto druhu rizika zatiaľ nie sú reálne.

Ekonomické modely diverzifikácie portfólia položiek finančného majetku obchodných spoločností sú už desaťročia pomerne dôkladne prepracované (Brealey – Myers, 1991). Avšak ich aplikácie na lesnícke projekty s cieľom znížiť ich špecifické riziko a zvýšiť tak kapitálovú hodnotu lesného majetku sú zriedkavé. Je to spôsobené najmä biologickou podstatou dlhodobej produkcie dreva, ktorá spôsobuje, že ponuka dreva je neelastická (lesníctvo nie je schopné reagovať na krátkodobé zmeny objemu a štruktúry dopytu po dreve v hospodárstve krajiny).

## 1.2 VYUŽÍVANIE EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB LESA V PODMIENKACH RIZÍK HOSPODÁRENIA POČAS KLIMATICKEJ ZMENY

Do nedávnych čias bolo slovenské lesníctvo zamerané hlavne na súhrn praktických poznatkov a opatrení, ktoré sa týkajú lesa a lesného hospodárstva s orientáciou na pestovanie lesných kultúr, ich výsadbu, ťažbu dreva a ostatné činnosti využívajúce produkčnú funkciu lesa v relatívne stálych podmienkach prostredia. Rastúci dopyt obyvateľstva aj po iných úžitkoch, ako je drevo, však spôsobuje uplatnenie nového pohľadu na lesníctvo a jeho riadenie s ohľadom na poskytovanie komplexu ekosystémových služieb lesov. Samotný obsah termínu ekosystémové služby lesa sa vyvinul z lesníckeho termínu funkcie lesa. Vzhľadom na vývoj poznania však dosiahol kvalitatívne novú obsahovú a štruktúrnu úroveň. Okrem funkcie poskytovania obnoviteľných prírodných zdrojov (drevo, zverina) zahŕňa tiež podporné funkcie (t. j. služby potrebné pre iné služby, napríklad kolobeh živín, fotosyntéza), regulačné (t. j. prírodné procesy ako rozklad toxických látok, čistenie vody, ukladanie uhlíka) a kultúrne (nemateriálne služby ako estetické hodnoty krajiny, rekreácia, veda a i.). Ako o tom informuje Perrings (2010), ekosystémové služby obsahujú ekologické i socio-ekonomické a kultúrne aspekty lesných ekosystémov.

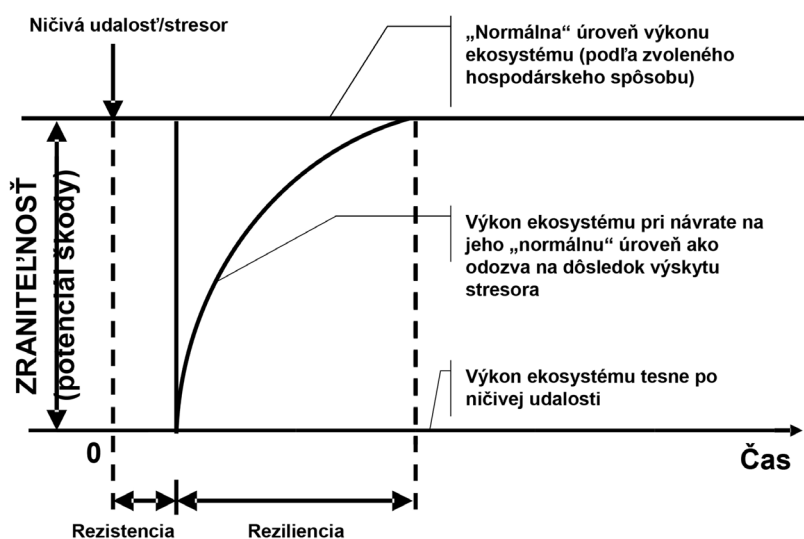
Modelovanie dôsledkov klimatickej zmeny na ekosystémové služby stredoeurópskych temperátnych lesov by malo v princípe brať do úvahy tieto javy:

1. Neurčitost produkcie lesa (zmenu klimatických a prírodných podmienok, zmenu koncentrácie CO<sup>2</sup> v atmosfére, depozíciu dusíka v pôde a i. až po zmenu prírastku a drevinového zloženia lesov).
2. Zvyšovanie špecifického rizika hospodárenia na lesnej pôde (rastúci výskyt poveternostných extrémov, veterné kalamity, sucho, lesné požiare, gradácie hmyzích a hubových patogénov a i.).
3. Zmenu funkčných efektov ekosystémových služieb lesa (napr. zmenu produkčných a vše-užitočných funkcií lesov).

Rozdiel oproti minulosti teda spočíva aj v spôsobe zabezpečenia ekosystémových služieb ako širokého spektra úžitkov, ktoré spoločnosť získava z lesných ekosystémov v už meniacich sa podmienkach prostredia. Hospodárenie v lesoch preto musí riešiť aj otázku adaptácie na riziko a zraniteľnosť poskytovania ekosystémových služieb ako celku. Týmito aktivitami sa tradičné a trhovo orientované lesníctvo mohlo zaoberať len okrajovo, pretože nepatrili k jeho základným ekonomickým činnostiam. Dnes je však potrebné prejsť k tvorbe a uplatňovaniu komplexných adaptívnych ekosystémov. Cieľom a kritériom efektívnosti zvolených hospodárskych opatrení, tak ako ich vysvetľuje Locatelli (2016), musí byť zníženie zraniteľnosti lesných ekosystémov pri výskyte klimatických extrémov, ako o jej dynamike informuje obrázok 1.1. Zraniteľnosť štruktúry ekosystému determinuje jeho rezistencia a reziliencia, prípadne tiež iné merateľné veličiny. V prípade výskytu ničivého prírodného živlu (stresora), ak je ekosystém rezistentný, ostane nepoškodený. Ak je ale ekosystém výskytom stresora zraniteľný, jeho funkčnosť môže klesnúť na nulovú úroveň a v tejto situácii poskytovať ekosystémové služby prestane. V tomto prípade potom ekosystém využije svoju schopnosť reziliencie, ktorá zabezpečí, že sa po istom čase jeho funkčnosť obnoví na pôvodnú úroveň. Zraniteľnosť štruktúry je však vysoko špecifická veličina. Navyše, všetky prvky zraniteľnosti sú viacozmerné. Problematiku merania tejto veličiny vrátane výsledkov jej znižovania pomocou adaptačných opatrení opisuje napríklad Birkmann (2006).



## Definícia zraniteľnosti



Obrázok 1.1 Definícia zraniteľnosti ekosystému prírodnými živlami ako funkcie jeho rezistencie a reziliencie

Pre manažérske zvládnutie akejkoľvek hrozby spojenjej s hospodárením je nevyhnutné vždy rozpoznať, v akom prostredí rozhodovanie prebieha. Hospodárenie v podmienkach neurčitosti vývoja okolitého sveta opisuje rozhodovacie situácie, keď je známa konkrétna hrozba ničivého živlu pre ekosystém, ale chýba informácia o pravdepodobnosti jeho výskytu. Takouto hrozbou pre lesníctvo je napríklad zmena drevinového zloženia lesných porastov, zníženie prírastku biomasy alebo aj kvality vyrobeného dreva. Opis hrozby zmeny klímy v podmienkach neurčitosti jej vývoja sa v súčasnosti vykonáva len pomocou možných scenárov jej budúceho vývoja. Klimatické scenáre však v žiadnom prípade neposkytujú predpoveď budúceho vývoja klímy, ale poskytujú opis jej alternatívneho vývoja (presnejšie vybraných klimatických charakteristík) s definovanou mierou neurčitosti pravdepodobnosti pri platnosti konkrétnych emisných scenárov (SRES) podľa metodiky Medzivládneho panelu OSN pre zmenu klímy (IPCC). Poznanie emisných scenárov pre modelové dopadové štúdie v krajine je veľmi dôležité, pretože emisné scenáre explicitne predpokladajú aj určité zmeny vo využívaní krajiny s generovanými emisiami skleníkových plynov. V súčasnosti sú najpoužívanejšie scenáre klimatickej zmeny založené na globálnych cirkulačných modeloch (ďalej ako GCMs) s prepojením na atmosféricko-oceánske cirkulačné systémy. Tieto modely poskytujú štatistické charakteristiky a časové rady vybraných klimatických parametrov v tzv. uzlových bodoch, ktoré sú od seba vzdialené aj stovky kilometrov. Na spresnenie výstupov týchto modelov sa ďalej využívajú regionálne klimatické modely, ktoré akoby boli vnorené do siete GCMs vo vymedzenej oblasti. Tu výstupy z GCMs predstavujú okrajové, resp. počiatočné hodnoty pre regionálny klimatický model s vyššou hustotou uzlových bodov (10 – 20 kilometrov), ktoré sú prispôbené topografii terénu. Regionálne modely modifikujú reakcie planetárnej až subkontinentálnej miery tak, aby sa zrealizovali fyzikálne efekty topografie. Regionálne klimatické scenáre však nemôžu ísť nad rámec presnosti a fyzikálnej konzistencie základných modelov GCMs.

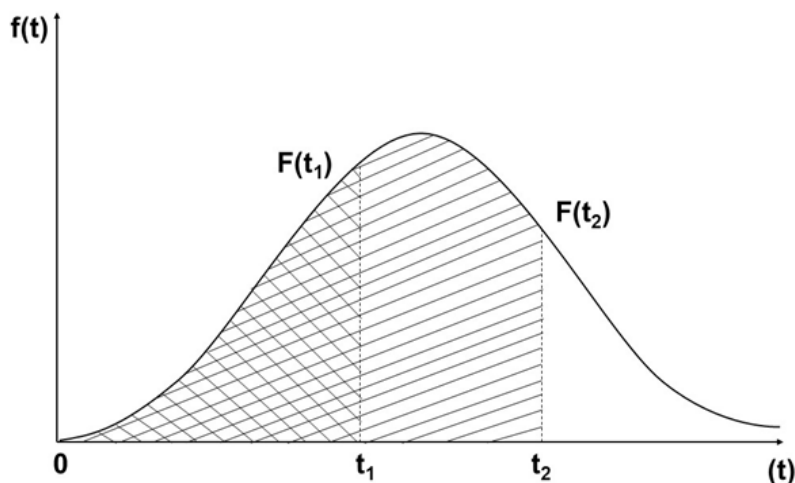
Ďalšou možnosťou je štatistický downscaling, ktorý využíva vzájomné vzťahy medzi predikovanými veličinami (žiarenie, teplota vzduchu, zrážky) a ďalšími klimatickými veličinami potrebnými pre modelové dopadové štúdie (napr. charakteristiky snehovej pokrývky, fenologické charakteristiky, teplota pôdy a pod.). Štatistické nástroje downscalingu spravidla vychádzajú z poznaných vzťahov zistených z existujúcich pozorovaní (napr. regresné vzťahy medzi teplotou a dĺžkou trvania snehovej pokrývky a pod.). Neurčitosť opisu vývoja klímy sa potom prejavuje v tom, že rozdiely GCMs výstupov, výstupov regionálnych modelov a štatistického downscalingu môžu byť značné a to aj pre ten istý emisný scenár. Je preto potrebné, aby súčasťou týchto štúdií boli jednoznačne identifikované zdroje klimatických dát.

Priama aplikácia výstupov klimatických scenárov pre modely reakcie lesných ekosystémov na budúce, resp. očakávané podmienky nie je vždy jednoduchá. Komplexnejšie modely lesných ekosystémov spravidla vyžadujú oveľa širšiu škálu vstupných dát, ako poskytujú klimatické scenáre (napr. zmeny chemických parametrov ovzdušia, zmeny teploty a vlhkosti pôdy a pod.). Neurčitosti, ktoré sa týkajú regionálnych zmien klímy v GCMs, sú dôležitým zdrojom neistoty aj pri hodnotení vplyvu zmeny klímy na lesné ekosystémy. Výstupy GCMs taktiež zatiaľ neposkytujú dostatok podkladov pre modelovanie hazardov a rizík prírodných disturbancií, ktoré sú pre lesné ekosystémy v krajine často rozhodujúce (silné búrky, víchrice a pod.).

Významnú pomoc pri spoľahlivosti opisu vplyvu globálnej klimatickej zmeny na vývoj biologickej diverzity lesných ekosystémov poskytujú nástroje pre priestorové modelovanie v rámci využitia geografických informačných systémov (GIS). Hodnotenie ekologickej stability lesa s využitím týchto nástrojov v podmienkach Slovenska vykonal Vladovič (2003). Na základe dostatočnej bázy údajov umiestnených do jednotlivých informačných vrstiev (geologického reliéfu, pôdnych typov, lesných typov, drevinového zloženia, klimatických charakteristík a pod.) je možné vytvárať komplexnejšie modely. Okrem hodnotenia ekologickej stability, ako na to poukázali Mindáš a Škvarčina (2003), je možné v rámci

samostatnej vrstvy GIS získať aj informáciu o vplyve klimatickej zmeny na lesné dreviny s využitím známych poznatkov o ich klimatických nárokoch.

Rozhodovanie v podmienkach rizika hospodárenia potom označuje situácie, keď je pravdepodobnosť zničenia ekosystému v čase známa. Vplyv neurčitosti a rizika na projekty využívania lesných prírodných zdrojov v čase je principiálne odlišný. **Vplyv neurčitosti vývoja a výskytu uvažovaných procesov na ekosystém je v čase konštantný.** Pre rozhodovanie o zvládnutí hrozby sa v tomto prípade formulujú scenáre budúceho vývoja projektu (očakávaný, pesimistický a optimistický). **Riziko zničenia ekosystému v čase však v projekte vždy len stúpa.** Táto skutočnosť vyplýva priamo z matematickej definície akéhokoľvek rozdelenia pravdepodobností výskytu náhodných javov v čase ako fyzikálneho procesu. Rast rizika v čase trvania projektu využívania prírodného zdroja opísaný vybraným rozdelením pravdepodobností výskytu ničivej udalosti, je priblížený na obrázku 1.2.



Obrázok 1.2 Opis rastu rizika výskytu ničivej udalosti v čase (t) ako distribučnej funkcie rozdelenia pravdepodobností výskytu ničivej udalosti F(t)

Každé rozdelenie pravdepodobností jednoznačne a presne opisuje jeho hustota a distribučná funkcia. Plocha pod krivkou hustoty rozdelenia pravdepodobností  $f(t)$  je jeho distribučná funkcia  $F(t)$ , ktorá informuje o pravdepodobnosti zničenia prírodného zdroja v čase (t) V čase trvania projektu ( $t_1$ ) je pravdepodobnosť zničenia zdroja rovná hodnote distribučnej funkcie  $F(t_1)$  a pravdepodobnosť jeho prežitia je rovná  $1 - F(t_1)$ . Ak projekt využívania zdroja pokračuje ďalej bez jeho zničenia až po čas ( $t_2$ ), potom pravdepodobnosť prežitia zdroja klesne na hodnotu  $1 - F(t_2)$ , pretože pravdepodobnosť jeho zničenia sa zvýši na úroveň  $F(t_2)$ . Z tohto hľadiska má pre lesníctvo veľký význam definícia rizika, ktorú navrhol Einstein (1988), podľa ktorého „riziko je pravdepodobnosť udalosti prenasobená dôsledkami, ak sa udalosť vyskytne“. V tomto zmysle riziko zničenia lesného porastu výskytom prírodného živlu možno formulovať takto:

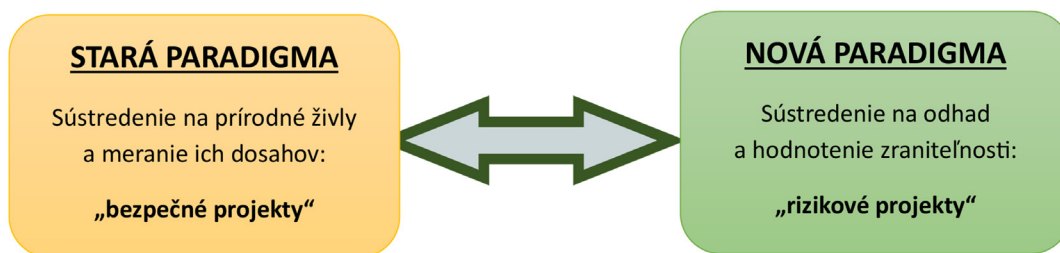
$$\text{Riziko} = \text{Hazard výskytu prírodného živlu} \times \text{Zraniteľnosť porastu (1.1)}$$

Z takto filozoficky chápanej definície rizika je zjavné, že špecifické riziko hospodárenia na lesnej pôde je možné znížiť práve efektívnym posilňovaním rezistencie a reziliencie lesných ekosystémov, ktoré znižujú ich zraniteľnosť vplyvom jednotlivých živlov.

## 1.3 VÝZNAM ADAPTÁCIE LESNÝCH EKOSYSTÉMOV NA RIZIKÁ HOSPODÁRENIA

Význam adaptácie lesných ekosystémov pre dosiahnutie trvalo udržateľného lesníctva v podmienkach zmeny klímy sa nesmie preceniť. Princípy a problémy modelovania dôsledkov klimatickej zmeny na neurčitost vývoja štruktúry a kvality služieb, ktoré poskytujú lesné ekosystémy, prehľadne opisuje Mindáš et al. (2017). Zvládnutie riadenia náročného procesu adaptácie lesných ekosystémov v meniacich sa podmienkach ich stanovišťa a zavedenia potrebných adaptačných opatrení do praxe nie je jednoduchou úlohou. Riešenie tohto problému komplikuje skutočnosť, že aj pri potrebnej dostatočnej úrovni našich poznatkov o neurčitosti a špecifických rizikách pokračujúcej klimatickej zmeny jej negatívnym dôsledkom na lesné ekosystémy nebude možné zabrániť, ak sa proces adaptácie nezládne z manažérskeho hľadiska. Na základe uvedených skutočností je kľúčom k efektívnemu zvládnutiu neurčitosti a rizika vývoja lesných ekosystémov nutná zmena paradigmy hospodárenia na lesnej pôde, o ktorej informuje obrázok 1.3. V praxi používané „bezpečné lesnícke projekty“, ktoré využívajú len poznatky deterministického normálneho lesa, by sa mali nahradiť „rizikovými projektmi“ založenými na poznatkoch teórie stochastického normálneho lesa vrátane informácií o špecifickom riziku hospodárenia v daných podmienkach. Ide tu o aktívne využitie informácie o dôsledkoch rizika a neurčitosti vývoja klímy na lesné ekosystémy v rámci hospodárskej úpravy lesa pri realizácii projektov trvale udržateľného lesníctva. Základom týchto projektov (hlavne programov starostlivosti o les) majú byť práve racionálne zdôvodnené adaptačné opatrenia časovej, priestorovej a ťažbovej úpravy lesa na nastupujúcu zmenu klímy.





Obrázok 1.3 Potrebná zmena paradigmy hospodárenia na lesnej pôde zameraná na zníženie zraniteľnosti lesných ekosystémov a zvýšenie efektívnej adaptácie na špecifické riziká lesníckych projektov

## 2 TENDENCIE VÝVOJA NEBEZPEČENSTVA VÝSKYTU LESNÉHO A KRAJINNÉHO SUCHA V ROKOCH 1984 – 2014 A JEHO PROGNÓZA NA ROKY 2024 – 2050 V OBLASTI STREDNÉHO A HORNÉHO POHRONIA

### 2.1 ÚVOD

Z pohľadu nebezpečných fenoménov, ktoré ohrozujú a z pohľadu predpokladateľného vývoja klimatického systému aj budú ohrozovať lesné ekosystémy, patrí sucho pre našu geografickú oblasť k jedným z najzávažnejších. V predloženej prípadovej štúdii sme sa zaoberali prognózou vývoja sucha na obdobie od roku 2024 do roku 2050 pre oblasť stredného a horného Pohronia. Hodnotenie sme vykonali prostredníctvom štandardizovaného zrážkového a evapotranspiračného indexu (ďalej ako SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010) pre jeden a dvanásť mesiacov. Podklad pre výpočet tvorili modelované hodnoty priemernej teploty vzduchu a úhrnu atmosférických zrážok podľa prognostického modelu MRI-AGCM3-2-S (Mizuta et al., 2019) s rozlíšením 20 km. Indexy sucha boli vypočítané pre štyri body v rámci územia stredného a horného Pohronia, pričom tieto boli vybraté s ohľadom na priestorovú a tiež výškovú diferencovanosť sledovaného územia. Naše interpretácie sa teda opierajú o modelované údaje zo štyroch nadmorských výšok, a to 300, 600, 900 a 1200 m n. m. Vybrané nadmorské výšky majú reprezentovať situáciu a vývoj v 2., 4., 5. a posledná v 6. až 7. lesnom vegetačnom stupni (ďalej ako LVS). Analýzu recentného vývoja (obdobie 1984 – 2014) sme realizovali v rámci rovnakého územia, no primerane k údajovej báze, na podklade údajov nameraných na klimatologických stanicích Víglaš-Pstruša, Sliach, Banská Bystrica, Brezno, Telgárt a Lom nad Rimavicou. Pre analýzu obdobia 1984 – 2014 sme použili už spomenutý index SPEI, ale taktiež štandardizovaný zrážkový index (ďalej ako SPI, McKee et al., 1993).

Štandardizovaný zrážkový index je využívaný ako jednoduchý a geograficky škálovateľný nástroj hodnotenia sucha. SPI je definovaný ako normovaná hodnota sumy zrážok za dané obdobie. Štandardizovaný zrážkový úhrn je priamo úmerný zrážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné ľahko vyjadriť prostredníctvom pravdepodobností výskytu, prípadne v podobe bezrozmerného indexu SPI (McKee et al., 1993). Štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI) predstavuje modifikovanú verziu spomenutého SPI, pričom obsahuje aj zložku evapotranspirácie (Vicente-Serrano et al., 2010). Vzhľadom na jeho konštrukciu je možné tento index použiť v rôznych klimatických oblastiach a zároveň, vďaka štandardizácii, porovnávať charakteristiky sucha medzi oblasťami s rôznorodými klimatickými podmienkami. Hlavným rozdielom medzi SPEI a SPI je výpočet odchýlky zrážok v pomere k potenciálnej evapotranspirácii.

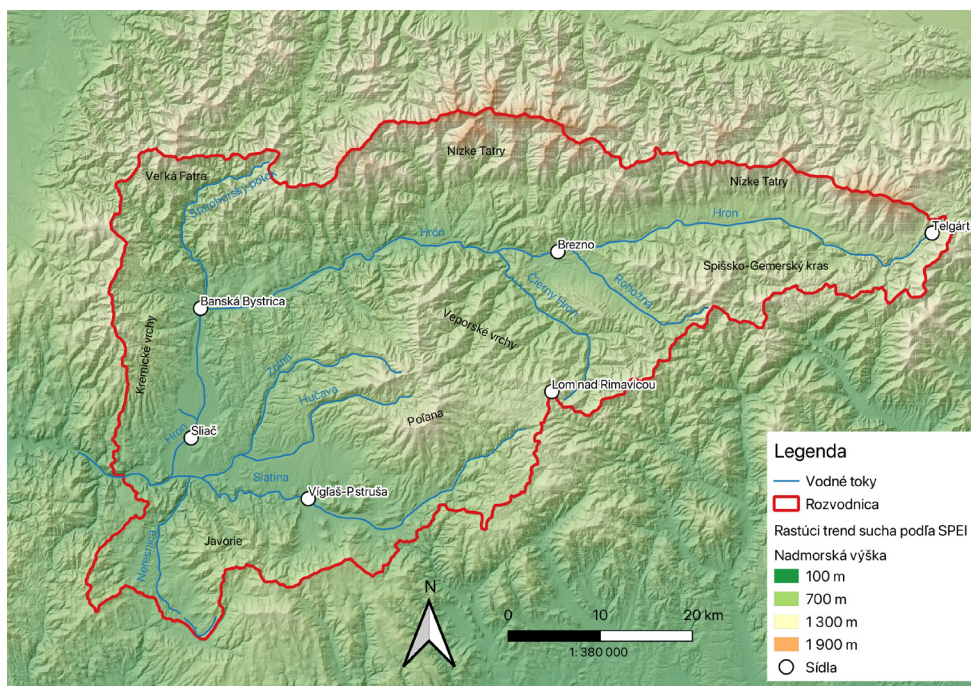
Štruktúra tejto štúdie, s ohľadom na potrebu jej využitia, sa začína krátkym zoznamením so záujmovou oblasťou a pokračuje rozborom situácie recentného vývoja sucha vo vybranom geografickom priestore za obdobie 1984 až 2014. Nasleduje analýza nebezpečnosti výskytu sucha a interpretácia jeho rizika pre rovnakú oblasť pre obdobie rokov 2024 až 2050. Metodologické aspekty štúdie sú situované až v závere prípadovej štúdie a v rámci textu sa obmedzujeme iba na nevyhnutné vysvetlenie pojmov s cieľom zvýšiť prehľadnosť práce.

Čitateľa je potrebné informovať, že v prípade prognózy vývoja sucha nejde o definitívny obraz o situácii v nasledujúcich desaťročiach, keďže informácie a priestorové interpretácie sa budú naďalej spresňovať, no aj napriek tomu sú publikované údaje závažným podkladom pre úvahy o možných a potrebných adaptačných opatreniach na úseku lesného hospodárstva v širšom zmysle slova.

### 2.2 CHARAKTERISTIKA ŠTUDOVANÉHO ÚZEMIA

Región stredného a horného Pohronia zodpovedá čiastkovému povodiu rieky Hron, ktoré sa nachádza na strednom Slovensku. Nadmorská výška prameňa rieky Hron je 980 m n. m. (východne od obce Telgárt). Uzáverový profil vybraného čiastkového povodia sa nachádza na sútoku rieky Slatina a Hron v nadmorskej výške 273 m n. m. Hlavnými prítokmi rieky Hron sú Slatina (ľavostranný prítok), Starohorský potok (pravostranný prítok), Čierny Hron (ľavostranný prítok) a Rohožná (ľavostranný prítok). Čiastkové povodie má rozlohu 2 846,9 km<sup>2</sup>, čo predstavuje 52 % celého povodia Hrona (5 453 km<sup>2</sup>). Hlavný vodný tok (Hron) má v čiastkovom povodí dĺžku 128 km (riečny km 150 – 278). Povodie rieky obklopujú Nízke Tatry, Starohorské vrchy a Veľká Fatra zo severu, Kremnické vrchy zo západu, Štiavnické vrchy a Javorie z juhu až juhozápadu a Veporské vrchy a Spišsko-gemerský kras na juhovýchode (obrázok 2. 1). V strede povodia je dobre zachovaná kaldera neogénneho stratovulkánu Poľany, ktorá formuje čiastočne radiálny tvar povodia rieky Slatina z južného smeru a Hrona prostredníctvom prítoku Čierneho Hrona zo severu. Vzniká tak veľmi zaujímavá formácia riečnej siete rieky Hron. Najvyšší bod povodia je vrch Ďumbier (2 046 m n. m.) nachádzajúci sa na severe Nízkych Tatier.





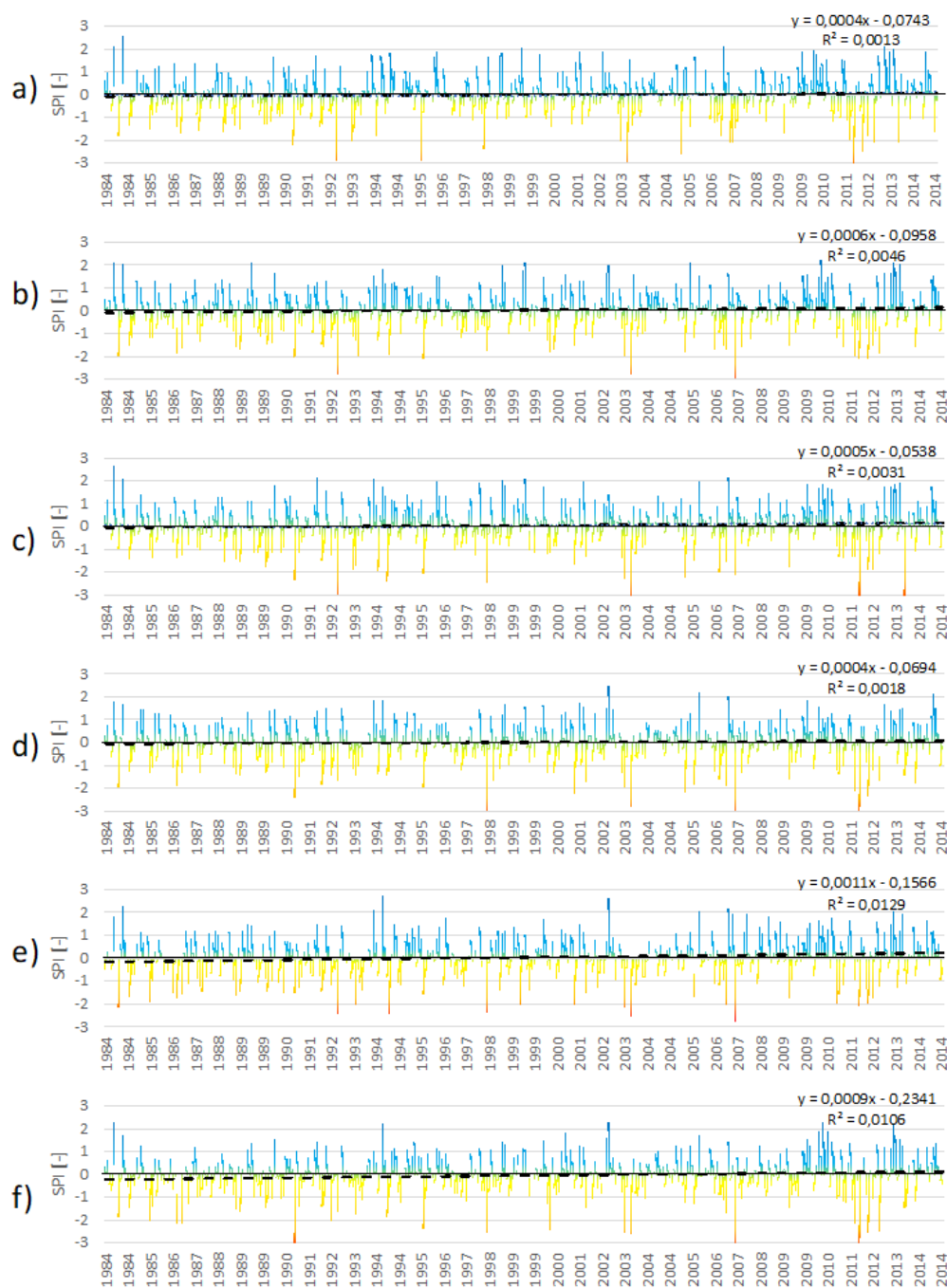
Obrázok 2.1 Zaujímavé územie s vyznačeným čiastkovým povodím rieky Hron. Zdroj podkladového DMR (Digitálny Model Reliéfu) (GKÚ Bratislava prostredníctvom portálu [zbgis.skgeodesy.sk](http://zbgis.skgeodesy.sk))

## 2.3 ROZBOR SITUÁCIE V OBDOBÍ 1984 – 2014

### 2.3.1 Analýza zrážkových trendov v období 1984 – 2014

Trendové analýzy SPI pre jeden mesiac (index, ktorý hodnotí odchýlku zrážkovej činnosti aktuálneho mesiaca k dlhodobému priemeru) ukázali len veľmi mierne a nevýznamné trendy ( $R_2$  medzi 0,0013 až 0,0018) smerom k vlhkejším podmienkam pre štyri klimatologické stanice situované v nižších nadmorských výškach (Sliac, Vígľaš-Pstruša, Banská Bystrica a Brezno) (obrázok 2.2). Výnimkou boli dve najvyššie položené stanice, ktoré zaznamenali výrazne rastúci trend smerom k vlhkejším podmienkam (Telgárt a Lom nad Rimavicou). Tieto dva trendy však mali mierny sklon ( $R_2 = 0,0129$  a  $0,0106$ ).

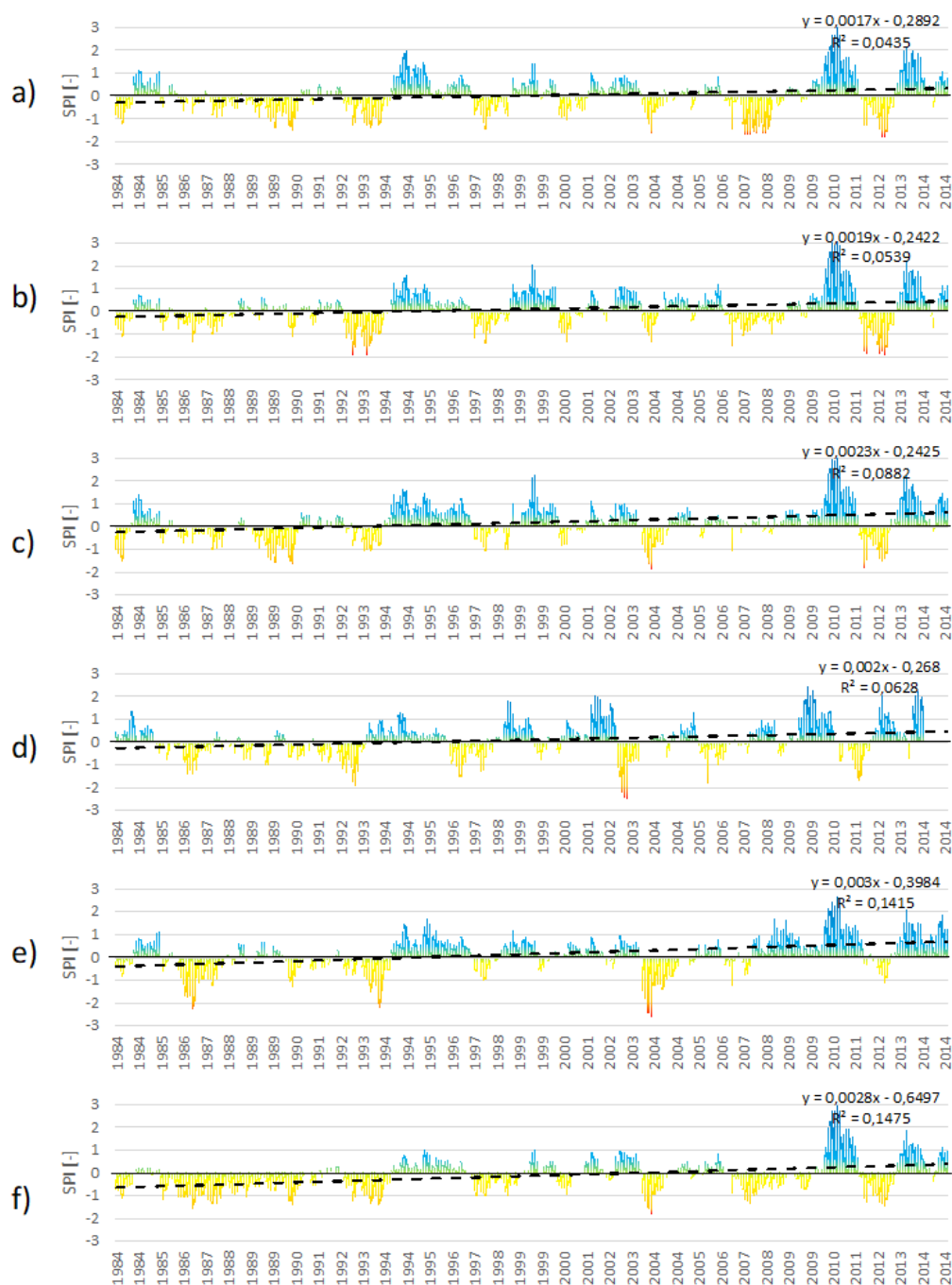
Striedanie epizód sucha s vlhkejšími epizódami (bohatými na zrážky) boli počas celého obdobia relatívne pravidelné a časté. Posledných päť rokov v časovom rade (2009 – 2014) je však výnimkou. Počas tohto obdobia epizódy sucha a mokré epizódy trvali relatívne dlhšie ako zvyčajne. Sekundárna relatívne vlhšia epizóda bola zaznamenaná medzi rokmi 1994 – 1996. Tieto skutočnosti sú oveľa výraznejšie na základe hodnotenia dvanásťmesačným SPI (obrázok 2.3). Dvanásťmesačné SPI môžeme charakterizovať ako index, ktorý vysvetľuje zrážkovú odchýlku obdobia dvanástich predchádzajúcich mesiacov k dlhodobému normálu. Keďže je toto obdobie pomerne dlhé (12 mesiacov), voľná interpretácia znamená, že ide o kritérium, ktorého hodnoty reprezentujú odchýlku od dlhodobej zrážkovej bilancie vybraného územia. Čiže dvanásťmesačným indexom môžeme hodnotiť vodný status krajiny, pretože dlhodobé zrážkovo podnormálne obdobia majú už značný tlak aj na geologické vodné kolektory, zásoby vody v pôde, vo vodných nádržiach a na vodné toky. Neznamená to však, že ide o obdobie, v ktorom neprší. Avšak z bilančného hľadiska môžeme obdobie, v ktorom vykazuje index SPI pre dvanásť mesiacov záporné hodnoty (s aspoň jedným mesiacom s hodnotou pod -1), charakterizovať ako podnormálne až suché (z pohľadu zrážkových zásob), čo znamená dlhotrvajúce záporné hodnoty premennej „zmeny zásob vody“ v hydrologickej bilančnej rovnici (krajina spotrebúva „vodné zásoby“, ktoré sa v tomto období nestíhajú dopĺňať).



Obrázok 2.2 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPI pre jeden mesiac) v období 1984 – 2014 na stanicích zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položených: a) Sliach, b) Viglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou

Pri aplikovaní dvanásťmesačného SPI sa stáva evidentným dlhotrvajúce obdobie sucha v rokoch 1985 – 1993. Toto obdobie sucha je evidentné pre všetky študované stanice, ale najvýraznejšie pre najvyššie položenú stanicu Lom nad Rimavicou, ktorá leží na juhovýchode skúmaného regiónu.

Pretože dvanásťmesačný index ukazuje dlhodobú bilanciu zrážok, suché a vlhké epizódy boli oveľa výraznejšie. Táto vlastnosť má vplyv na sklon trendovej čiary a jeho význam. Ak berieme do úvahy celé analyzované obdobie, všetky stanice vykazovali pri aplikácii výrazne stúpajúci trend smerom k vlhkejším podmienkam SPI počas dvanástich mesiacov (obrázok 2.3), na čom sa výrazne podieľal výskyt zrážkovo bohatších etáp v druhej polovici a hlavne na konci sledovaného obdobia. Vzhľadom na nadmorskú výšku ako klimatický faktor vidíme, že so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou klesal počet epizód sucha počas skúmaného obdobia. Na druhej strane je zaujímavé, že najvyššie položená stanica Lom nad Rimavicou (obrázok 2.3f) zaznamenala menej výrazné mokré epizódy (maximálna hodnota SPI za 12 mesiacov bola +1) medzi rokmi 1994 – 2000 v porovnaní so stanicami umiestnenými v nižších nadmorských výškach (obrázok 2.3a – e).



Obrázok 2.3 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPI pre dvanásť mesiacov) v období 1984 – 2014 na staniach zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položených: a) Sliac, b) Víglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou

### 2.3.2 Analýza trendov sucha v období 1984 – 2014

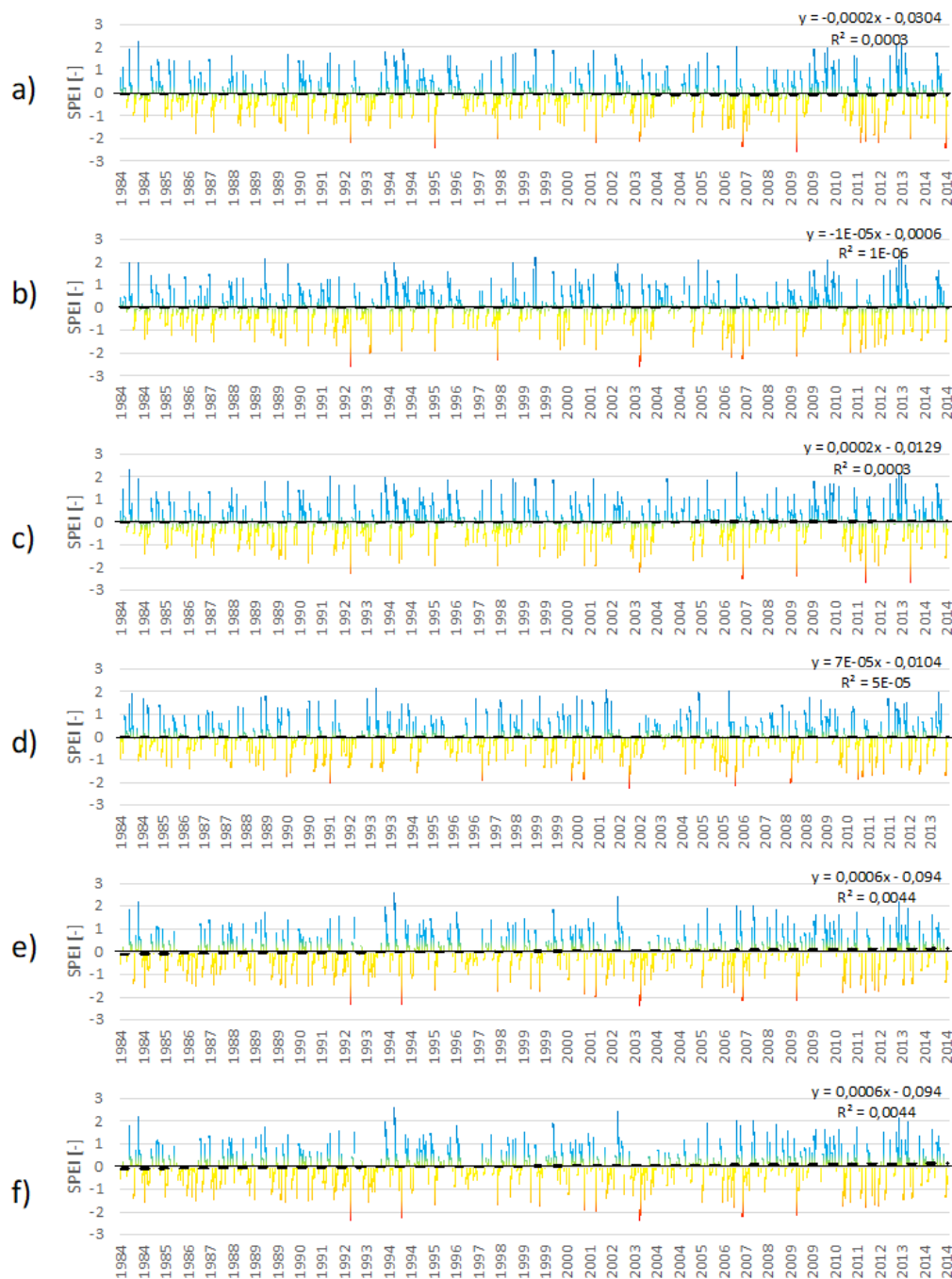
Predchádzajúce výsledky brali do úvahy iba zrážky (SPI). Pri analýzach sucha však treba brať do úvahy aj evapotranspiráciu (riadenú hlavne teplotou vzduchu), aby bol zreteľný komplexný vplyv týchto dvoch základných parametrov vodnej bilancie krajiny (evapotranspirácia ako záporná premenná a zrážky ako kladná premenná) na vývoj časového trendu v dôsledku klimatických zmien na prelome 20. a 21. storočia. Preto sme analyzovali aj časové rady a lineárne trendy SPEI (štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index pre jeden a dvanásť mesiacov). SPEI je interpretovateľný aj ako index SPI, avšak s tým rozdielom, že nehodnotí už iba odchýlky zrážkovej činnosti od dlhodobej priemernej hodnoty, ale sleduje odchýlky bilancie medzi zrážkami a potenciálnou evapotranspiráciou. Tým dokáže presnejšie odhadnúť skutočnú situáciu v krajine, keďže svojou podstatou analyzuje nie iba vstupy do ekosystému (zrážky), ale aj výstup – potenciálnu evapotranspiráciu, ktorá je vo veľkej miere závislá najmä od teploty vzduchu.

Je evidentné, že začlenením evapotranspirácie sa predtým (pomocou SPI indexov) zistené epizódy dlhotrvajúceho sucha koncom osemdesiatych a začiatkom deväťdesiatych rokov a epizódy sucha v roku 2003, 2007 – 2009 a 2011 – 2012

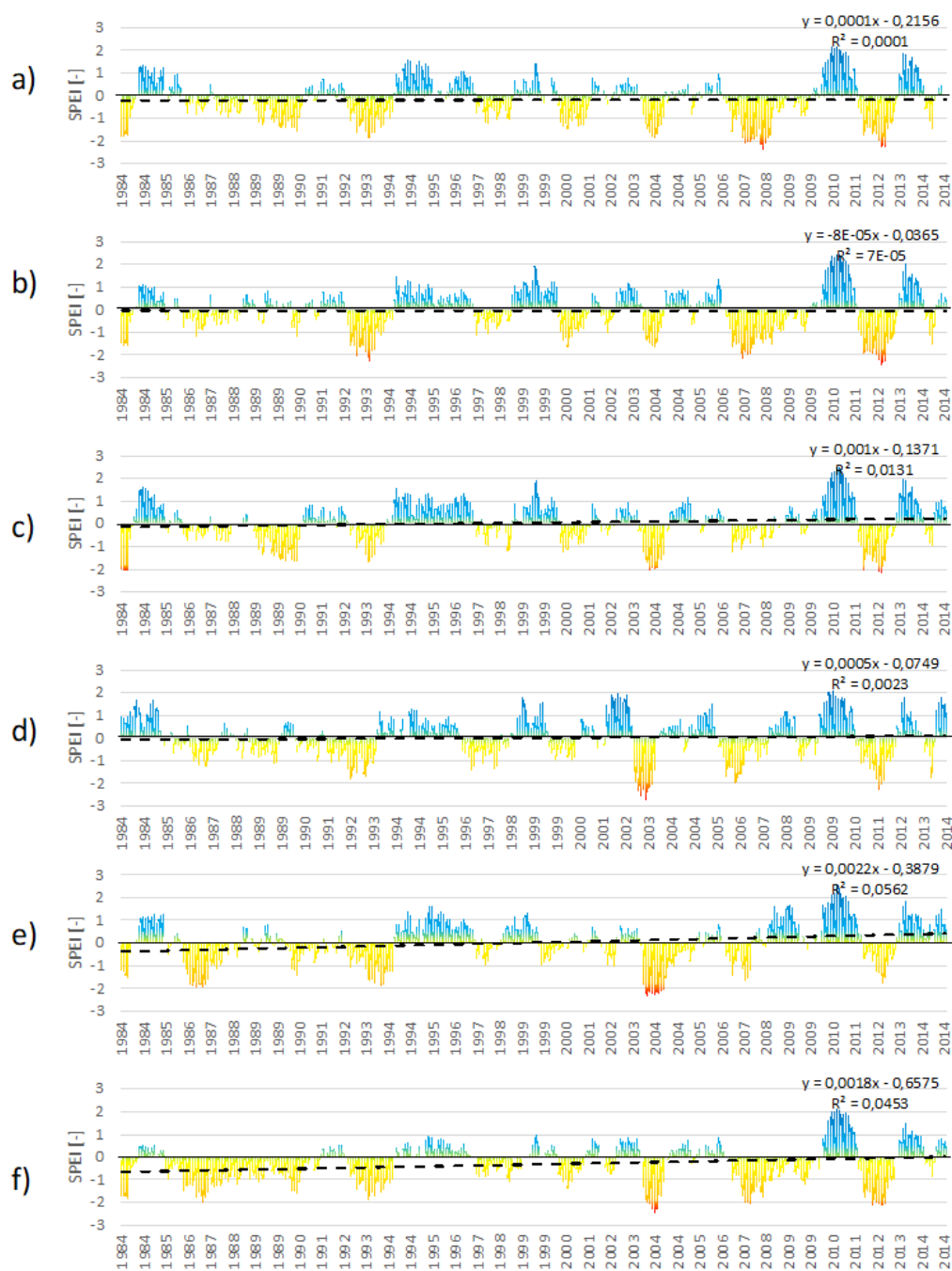


stávajú výraznejšími. No napriek tomu trendové analýzy SPEI pre jeden mesiac (obrázok 2.4) nesignalizovali signifikantné trendy v študovanom období.

SPEI pre 12 mesiacov vykázal významný trend smerom k vlhkejším podmienkam pre dve najvyššie položené stanice, Telgárt a Lom nad Rimavicou ( $R^2 = 0,0562$  a  $0,0453$ ) (obrázok 2.5e, f). Ostatné stanice okrem Banskej Bystrice (obrázok 2.5c) nevykazovali žiadny trend.



Obrázok 2.4 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPEI pre jeden mesiac) v období 1984–2014 na staniach zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položených: a) Sliáč, b) Viglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou



Obrázok 2.5 Zobrazenie trendov indexu sucha (SPEI pre dvanásť mesiacov) v období 1984 – 2014 na staniach zoradených podľa ich nadmorskej výšky od najnižšie položenéj: a) Sliac, b) Viglaš-Pstruša, c) Banská Bystrica, d) Brezno, e) Telgárt, f) Lom nad Rimavicou

Keď porovnáme SPI a SPEI, je evidentné, že riadiaci moment rozdielneho vývoja trendu sucha je neustále zvyšovanie teploty vzduchu. Avšak pri vyšších nadmorských výškach v porovnaní s nižšími polohami pozorujeme menší vplyv stúpajúcej teploty na evapotranspiráciu, a preto trendy SPI a SPEI zostávajú vo vyšších nadmorských výškach nezmenené, resp. majú z dôvodu rastúceho úhrnu zrážok pozitívny trend smerom k vlhkejším podmienkam.

Je potrebné opätovne pripomenúť, že sa v tejto časti práce pojednáva o výsledkoch vychádzajúcich z meteorologických údajov nameraných na prelome storočí a v kontexte úvah o adaptačných opatreniach, ktoré je potrebné vykonať, nám rámujú obdobie tvorby koncepčných materiálov, ale aj praktickej realizácie lesného hospodárenia stojaceho na princípoch vedeckého poznania v tretej tretine dvadsiateho storočia, ktoré v čase svojho vzniku nereflektovali predpokladaný vývoj klimatických podmienok v nasledujúcich desaťročiach. Zároveň treba podotknúť, že na obrázkoch 2.2 až 2.4 sú zobrazené trendy z celého obdobia, to znamená, že sa pri týchto výsledkoch nezvýrazňujú medzimesačné zmeny trendov, ktoré môžu zmeniť pohľad na časovo-priestorovú distribúciu výskytu sucha, resp. vlhkých období. Na tento detail sa pozrieme podrobnejšie v časti prognóz v období 2024 – 2050.

## 2.4 PROGNOZA VÝVOJA SUCHA V ZÁUJMOVEJ OBLASTI V OBDOBÍ 2024 – 2050

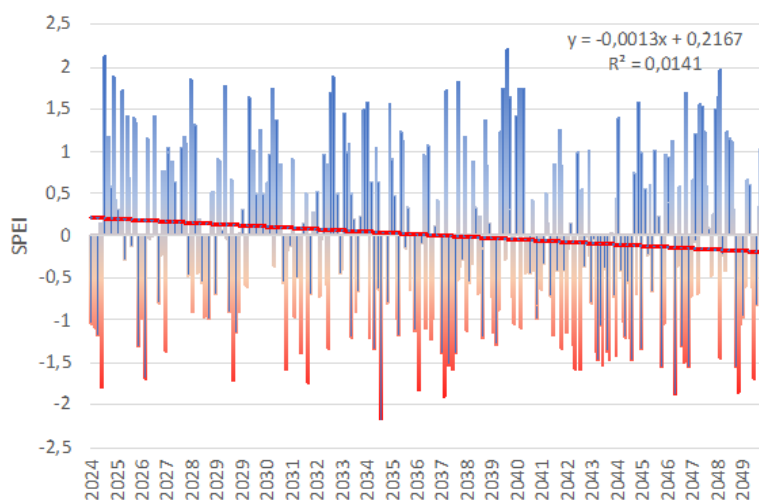
Ako bolo uvedené v úvode, prognóza vývoja trendu sucha vznikla aplikovaním výstupov klimatického modelu MRI-A-GCM3-2-S (Mizuta et al., 2019), ktorý tvoril podklad pre prognózu priemernej dennej teploty vzduchu a denného úhrnu zrážok, z ktorých sa následne vypočítali hodnoty indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov. Prognóza bola spracovaná pre záujmové územie pre obdobie od 2024 do 2050. Pre túto prípadovú štúdiu boli pripravené štyri analýzy:

1. Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden mesiac za obdobie 2024 – 2050,
2. Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre dvanásť mesiacov za obdobie 2024 – 2050,
3. Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov pre jednotlivé mesiace v období 2024 – 2050,
4. Priestorové interpretácie výskytu sucha v sledovanom území v období rokov 2024 – 2050.

### 2.4.1 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden mesiac za obdobie 2024 – 2050

Podľa výsledkov výskumu autorov Oravcová a Vido (2022) a taktiež Vido et al. (2016) môžeme počiatok sucha v lesných ekosystémoch oblasti stredného Slovenska posudzovať na základe jednomesačného štandardizovaného zrážkového a evapotranspiračného indexu SPEI s hodnotou  $-1$  a nižšou. Z toho vychádza interpretácia SPEI indexu pre jeden mesiac ako vhodného indikátora sucha v lesných ekosystémoch. Treba uviesť, že táto hodnota je zovšeobecnením a nie je rozhodne finálnym riešením či jediným možným riešením a indikátorom pre odhad nebezpečenstva výskytu sucha v lesoch. Ak však máme záujem o praktické využitie a uchopenie dát pre potreby porozumenia problematike sucha v meniacej sa klíme v lesnom hospodárstve a o uvažovanie nad adaptačnými opatreniami, musíme využívať aktuálne poznatky, aj keď vnímame ich limity.

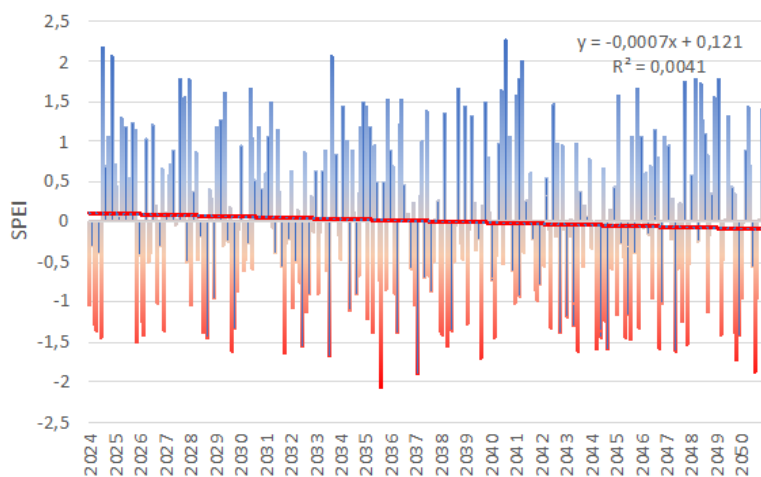
Prognózovaný vývoj jednomesačného indexu SPEI na roky 2024 – 2050 pre nadmorskú výšku 300 m n. m. v záujmovej oblasti signalizuje negatívny trend smerom k suchším podmienkam v lesnom prostredí. Studentov t-test významnosti korelačného koeficienta potvrdil tento trend ako štatisticky významný na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$ . V oblastiach spadajúcich do výškovej hladiny 300 m n. m. existuje štatisticky preukazný predpoklad, že bude v období najbližších 26 rokov rásť frekvencia výskytu suchých epizód postihujúcich lesné ekosystémy vybraného územia (obrázok 2.6). Môžeme teda konštatovať, že v najnižšom vegetačnom stupni záujmovej oblasti (2. lesný vegetačný stupeň: bukovo-dubový) sa bude situácia s ekologickými podmienkami pre prežívanie lesných ekosystémov naďalej zhoršovať.



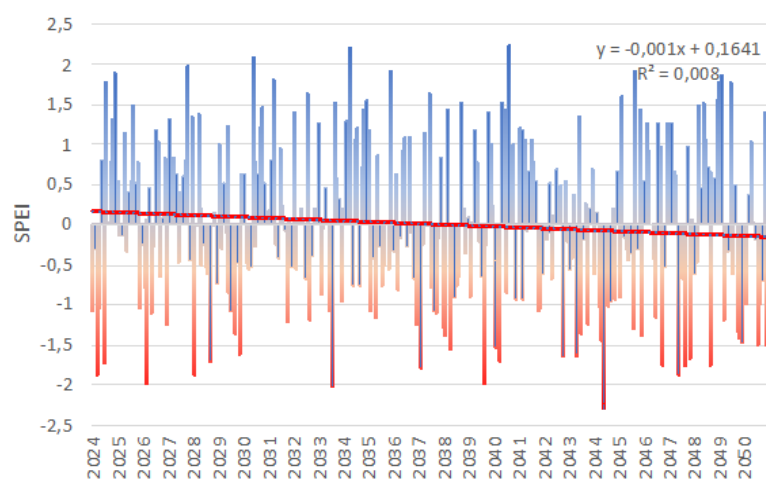
Obrázok 2.6 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 300 m n. m. (2. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac

Pre modelované výškové hladiny 600 m n. m., 900 m n. m. a 1 200 m n. m. model vykazuje taktiež negatívny trend smerom k zhoršeným podmienkam, no test významnosti tohto trendu nevykázal významnosť na úrovni  $\alpha = 0,05$ . Nižšie hladiny významnosti týchto trendov pri hladinách 600 ( $\alpha = 0,25$ ), 900 ( $\alpha = 0,1$ ) a 1 200 m n. m. ( $\alpha = 0,25$ ) znamenajú, že isté náznaky zvyšovania frekvencie opakovania sucha vidieť, no nie sú natoľko preukazné ako v hladine do 300 m n. m. Pri pohľade na obrázok 2.7, 2.8 a 2.9 rozhodne nemôžeme povedať, že by epizódy sucha podľa SPEI pre 1 mesiac boli jav, ktorý v uvedených nadmorských výškach nie je frekventovaným javom.

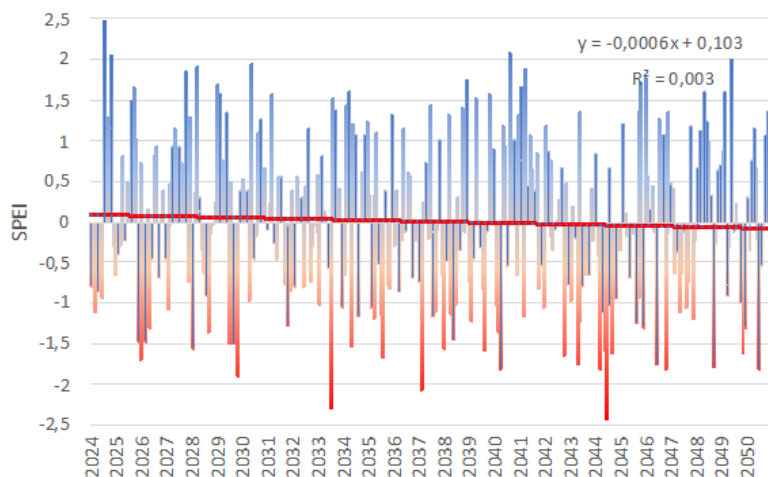




Obrázok 2.7 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 600 m n. m. (4. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac



Obrázok 2.8 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 900 m n. m. (5. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac



Obrázok 2.9 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 1 200 m n. m. (6. – 7. LVS) v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre jeden mesiac

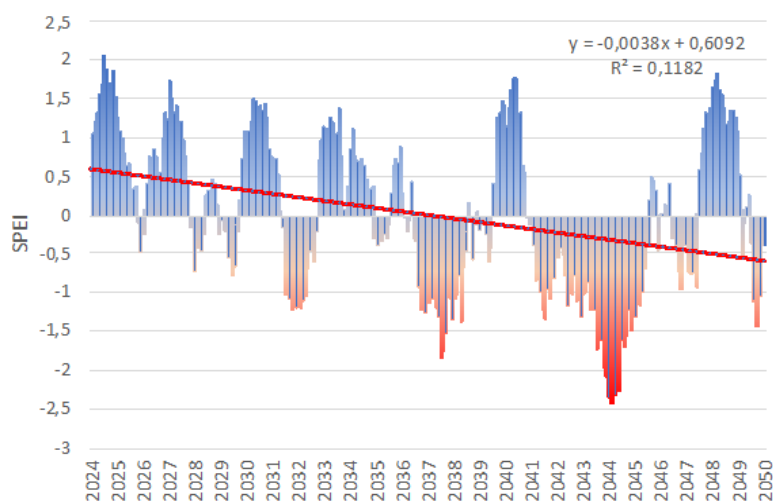
## 2.4.2 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre dvanásť mesiacov za obdobie 2024 – 2050

Ak sme pri posudzovaní sucha indexom SPEI pre jeden mesiac hovorili o vývoji „lesného sucha“ na obdobie nadchádzajúcich 26 rokov (2024 – 2050), teraz pristúpime k inej kategórii, ktorá už bola vysvetlená v kapitole recentných analýz sucha na prelome storočí. Hodnotu SPEI pre dvanásť mesiacov môžeme charakterizovať ako mieru odchýlky vodnej bilancie krajiny za ostatných dvanásť mesiacov k dlhodobému priemeru. Ak sa v takto definovanom období preukáže definovaná suchá epizóda, znamená to, že ostatných dvanásť mesiacov bolo z pohľadu hodnotenia celého obdobia suchých, že dlhodobo prevažoval výpar nad odtokom, a teda sa významne prehýbil deficit zásob vody v ekosystéme, a teda sa už môže vyskytovať aj hydrologické či až socio-ekonomické sucho (charakteristika sucha podľa Wilhite 2000).

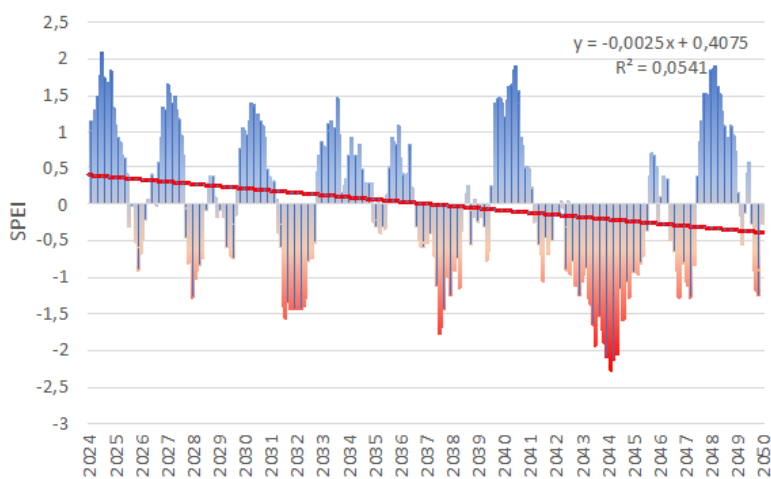
Z uvedeného vyplýva, že bilančne nedostačujúci prísun zrážok v rámci 12 mesiacov pri zároveň zvýšenej úrovni evapotranspirácie má závažný vplyv na ekosystémy, avšak vzhľadom na svoje trvanie už aj na vodnosť vodných tokov, kvantitu a kvalitu stojatých vôd a v závislosti od geologického podkladu aj na hydrogeologické štruktúry či zvodne.

Preto pri našej úvahe budeme považovať SPEI pre dvanásť mesiacov za sucho s potenciálne rozsiahlymi či agregovanými dôsledkami v celom komplexe krajiny, ľudské aktivity nevylučujúc.

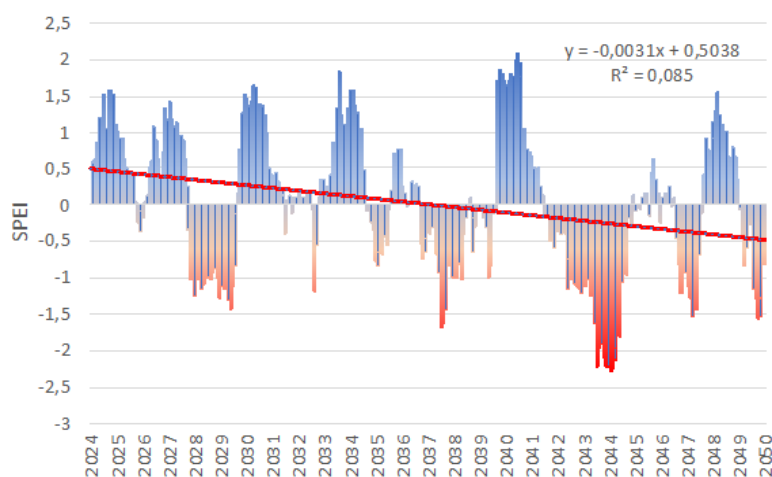
Hodnotenie vývoja trendov dvanásťmesačného SPEI, žiaľ, vo všetkých modelovaných nadmorských výškach preukázalo signifikantne klesajúci trend na úrovni  $\alpha = 0,05$ . Znamená to, že frekvencia opakovania sa závažných epizód sucha s agregovanými dôsledkami bude v najbližších rokoch narastať, a to veľmi významne. Môžeme teda predpokladať výskyt väčších a závažnejších epizód sucha s kumulovanými účinkami, ktoré sa nebudú obmedzovať iba na ekologicko-produkčnú oblasť pôdohospodárstva, ale rozhodne aj sekundárnu spracovateľskú sféru a sféru služieb súvisiacu s odvetvím lesného hospodárstva, resp. pôdohospodárstva ako celku. Na obrázkoch 2.10, 2.11 a 2.12 môžeme sledovať trend vývoja indexu SPEI pre dvanásť mesiacov v období 2024 – 2050.



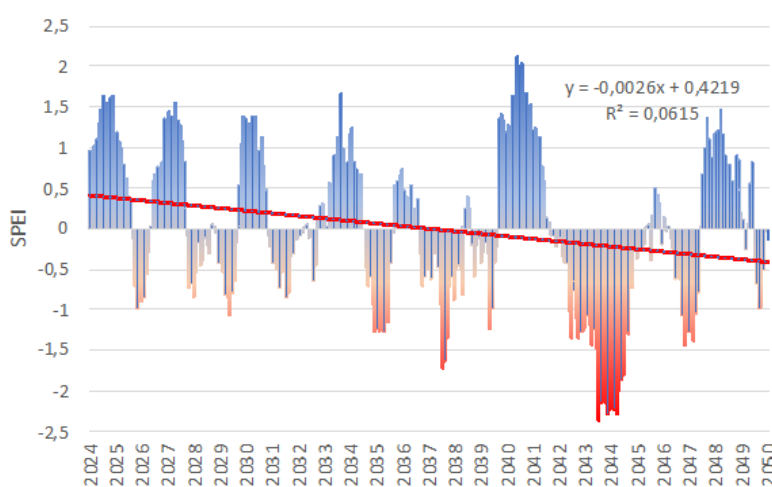
Obrázok 2.10 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 300 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov



Obrázok 2.11 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 600 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov



Obrázok 2.12 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 900 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov



Obrázok 2.13 Predpokladaný vývoj trendu sucha pre nadmorské výšky 1200 m n. m. v záujmovej oblasti podľa indexu SPEI pre dvanásť mesiacov

Nepriaznivým poznáním je fakt, že na rozdiel od hodnotenia indexu SPEI pre jeden mesiac, kde sa javil ako signifikantný rast frekvencie výskytu sucha iba v najnižšom hodnotenom výškovom či vegetačnom stupni (300 m n. m.), v prípade dvanásťmesačného indexu, ktorý zobrazuje kumulatívny deficit či kumulatívny prebytok vodnej bilancie krajiny, zaznamenali štatisticky veľmi významný trend všetky hodnotené výškové stupne. Znamená to, že frekvencia skutočne závažných kumulatívne pôsobiacich epizód sucha bude, žiaľ, s vysokou mierou pravdepodobnosti v záujmovom území neustále rásť počas celého prognozovaného obdobia (2024 – 2050). Na vysvetlenie a spresnenie je potrebné doplniť, že uvedené neznamená, že počas týchto epizód sucha nebude pršať. Znamená to, že zrážky, ktoré spadnú, budú možno stačiť na pokrytie aktuálnych transpiračných požiadaviek vegetácie (v závislosti od aktuálnych podmienok a výšky spadnutej zrážky), ale rozhodne nebudú postačovať na doplnenie vodných zásob nachádzajúcich sa vo väčších hĺbkach pôdy, v blízkosti hladiny podzemných vôd či v geologických zvodnených vrstvách a pod. Taktiež tento scenár nepredpokladá vymiznutie nebezpečenstva bleskových povodní. Naopak, vzhľadom na nedostatočnú nasýtenosť pôdneho substrátu bude mať tento zníženú schopnosť absorbovať prudké privalové zrážky, ktoré môžu povrchovo odtekať z územia. Bolo by teda potrebné v tejto súvislosti predstaviť si situáciu s vysokou frekvenciou oscilácie medzi relatívne normálnymi podmienkami vodnej bilancie striedaných prudkými poklesmi zásob vody v pôde, čo sa môže prejavovať na zdravotnom stave najmä citlivých drevín či drevín žijúcich na okraji ekologického optima. Na podklade krátkodobých výskumov (Nalevanková et al., 2020, Nalevanková et al., 2018) môžeme usudzovať, že okrem zdravotného stavu takto stresovaných drevín sa to prejaví aj zníženým prírastkom drevín, a teda znížením ziskov lesníckeho odvetvia. Kumulácia deficitu bude postupovať v hydrogeologických štruktúrach, preto môžeme očakávať priemerne nižšiu vodnosť riek či potokov, miestne znížovanie hladiny podzemnej vody a taktiež možné zhoršovanie kvality povrchových vôd, najmä stojacich.

### 2.4.3 Analýza vývoja trendu časových radov indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov pre jednotlivé mesiace v období 2024 – 2050

Predchádzajúce kapitoly hodnotili časové rady z pohľadu medzoročných zmien. V tejto kapitole však podrobne rozoberieme to, ako sa mesiace klimatické podmienky podpisujú na zmene bilančných pomerov v jednotlivých mesiacoch.



Tento prístup je mimoriadne dôležitý pre to, aby výsledky boli využiteľné pri plánovaní opatrení a prác súvisiacich s adaptáciou, resp. prípadne mitigáciou lesného hospodárstva na meniace sa klimatické podmienky.

V tabuľke 2.1 sú zobrazené výsledky analýzy signifikantnosti trendov vývoja indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov v budúcich rokoch – v období 2024 – 2050. Testy signifikantnosti boli vykonané t-testom významnosti korelačného koeficienta.

Tabuľka 2.1 Signifikantnosť trendov vývoja indexov SPEI pre jeden a dvanásť mesiacov v záujmovej oblasti za obdobie 2024 – 2050

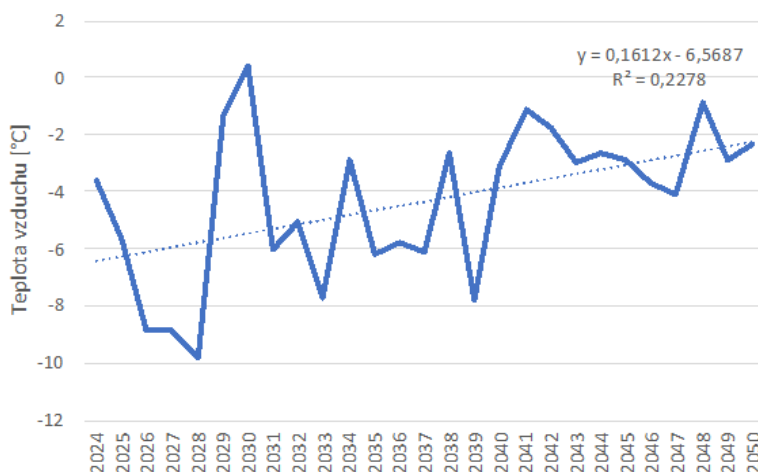
SPEI 1 (Štandardizovaný zrážkový evapotranspiračný index)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Máj	Jún.	Júl.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
300 m n. m.	x	▲	x	▼	▼	x	▼	▼	▼	▼	▼	▼
600 m n. m.	▲	▲	x	x	▼	▲	▼	▼	▼	▼	▼	▼
900 m n. m.	x	▲	▲	▼	▼	▲	▼	▼	▼	▼	▼	▼
1 200 m n. m.	▲	▲	▼	x	▼	▲	▼	▼	▼	▼	x	▼

SPEI 12 (Štandardizovaný zrážkový evapotranspiračný index)												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Máj	Jún.	Júl.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
300 m n. m.	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
600 m n. m.	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
900 m n. m.	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
1 200 m n. m.	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼

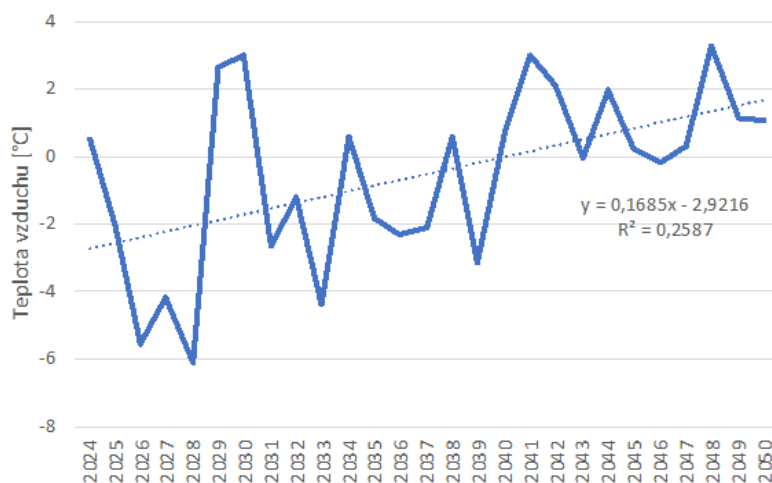
▼▲ –  $\alpha = 0,2 - 0,05$ , ▼▲ –  $\alpha < 0,05$ , x – nesignifikantné, smer šípky znázorňuje negatívny alebo pozitívny trend

Hodnotenie jednomesačných indexov naznačuje, že vo všeobecnosti možno vo všetkých výškových stupňoch očakávať ako suchšie mesiace máj a júl až december. Naopak obdobia, ktoré budú bilančne kladné, sú január, február a jún. Marec a apríl sa javia ako mesiace s nejasným trendom. Celkovo však môžeme vidieť, že vegetačné obdobie bude v zásade vo väčšej miere pod vplyvom negatívneho trendu, tzn. vyšší úhrn evapotranspirácie pri rovnakých, resp. záporných zrážkových úhrnoch. Obdobie, keď sa môže kumulovať zásoba zrážok, predstavuje január a február, avšak nie vo všetkých nadmorských výškach (tabuľka 2.1). Otázkou zostáva, či sa táto kumulácia prejaví vo zvýšenej zásobe snehu v horských, a teda pramenných oblastiach riek a potokov. Odpovedať na tento problém môže čiastočne aj modelovaný vývoj priemernej teploty vzduchu v mesiaci január pre výškový stupeň 1 200 m n. m. zobrazený na obrázku 2.14.



Obrázok 2.14 Vývoj priemernej teploty vzduchu v mesiaci január na období 2024 – 2050 vo výškovom stupni 1 200 m n. m.

Z obrázka je evidentné, že priemerné teploty by sa v danom výškovom stupni (6. – 7. LVS) mali pohybovať prevažne pod 0 °C, čo predpokladá pravdepodobnosť výskytu zrážok vo forme snehu, resp. ľadu, čo možno považovať za relatívne priaznivý vývoj vo vzťahu k potrebe zachytenia, udržania a postupného uvoľňovania zásob vody v predjarnom a jarnom období z pramenných oblastí stredného a horného Pohronia. Naopak, z pohľadu na zvýšenie teploty vzduchu v oblastiach najnižších (do 300 m n. m.) môžeme usudzovať, že sa priemerná teplota vzduchu v januári bude počas sledovaného obdobia zvyšovať (obrázok 2.15) a možno predpokladať zhoršujúci sa trend udržania zimných zásob vody v tuhom skupenstve.



Obrázok 2.15 Vývoj priemernej teploty vzduchu v mesiaci január na obdobie 2024 – 2050 vo výškovom stupni 300 m n. m.

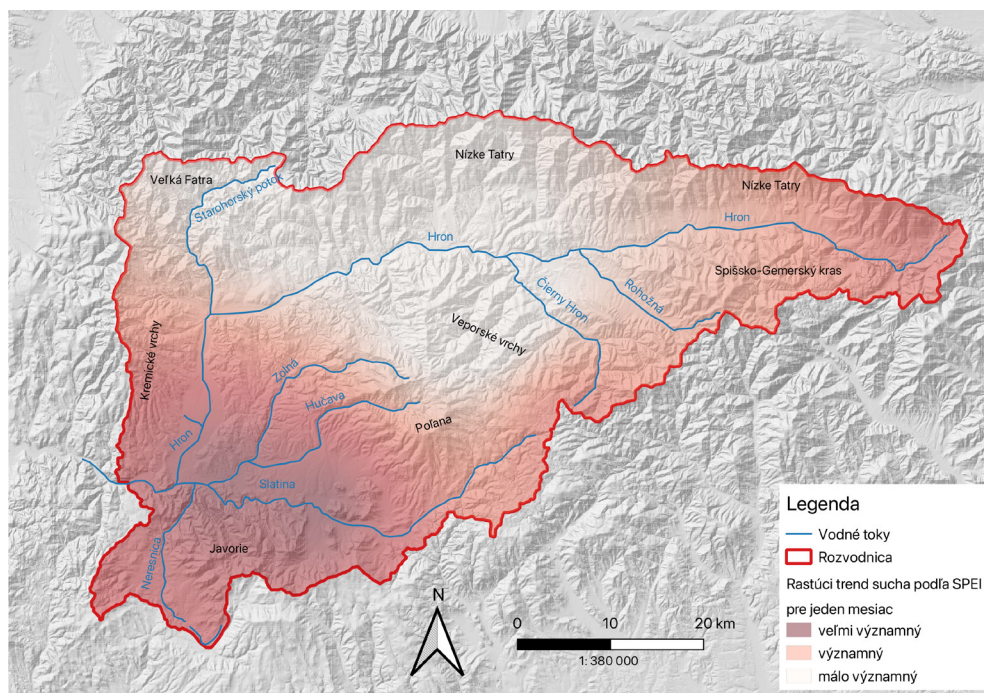
Pri pohľade na druhú časť tabuľky č. 1, v ktorej pojednávame o trendoch dvanásťmesačného indexu SPEI pre jednotlivé mesiace, vidíme, že všetky mesiace vo všetkých výškových stupňoch vykazujú negatívny, žiaľ, významný trend. Znamená to, že počas dlhotrvajúcich situácií s podpriemernými zrážkovými udalosťami a naopak s vysokým úhrnom evapotranspirácie najmä počas vegetačného obdobia nebudú na doplnenie vlhového deficitu stačiť ani zvýšené úhrny zrážok počas zimných mesiacov v horských oblastiach. Môžeme teda predpokladať zvýšenie frekvencie výskytu dlhotrvajúcich období sucha, keď sa budú medziročne kumulovať negatívne dôsledky chýbajúcich zásob vody aj napriek zvýšenému úhrnu zrážok v zimnom období.

#### 2.4.4 Priestorová interpretácia analýz vývoja nebezpečenstva sucha v záujmovej oblasti

V predchádzajúcich kapitolách sme vysvetľovali trendy a charakteristiky indexov sucha bodovo. Na priestorové definovanie oblastí, ktoré môžu byť väčšmi postihnuté suchom, sme zostavili niekoľko mapových kompozícií.

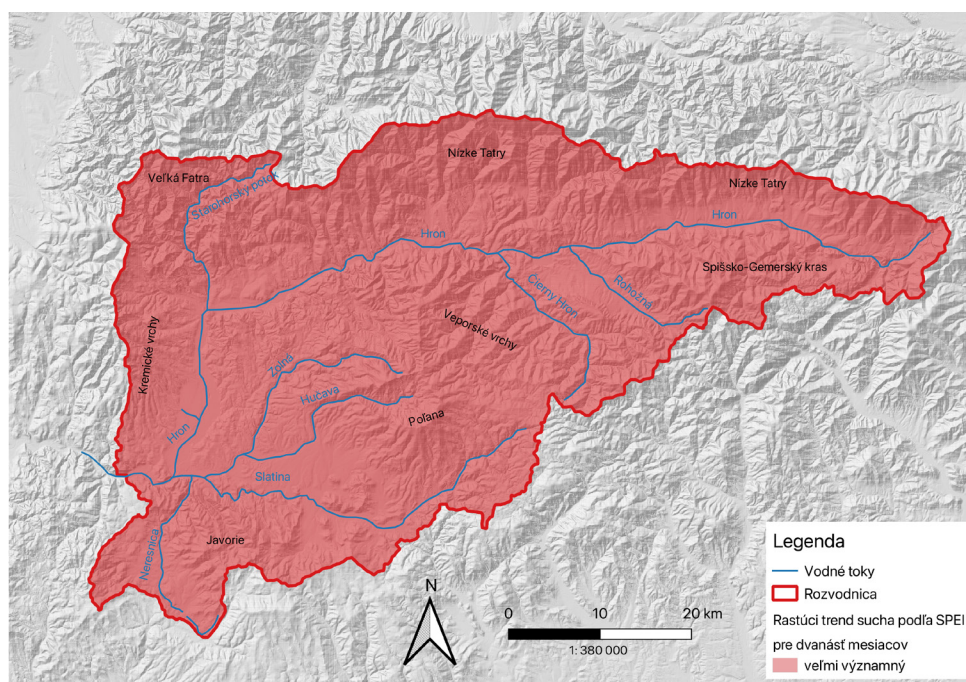
Priestorová interpretácia výstupov modelov pre jednotlivé body (300, 600, 900, 1 200 m n. m.) bola vykonaná interpoláčnou metódou IDW (Inverse Distance Weighted) v prostredí QGIS.

Prvou mapovou kompozíciou je priestorové zobrazenie trendu indexu sucha SPEI pre jeden mesiac (obrázok 2.15). Na uvedenom obrázku je evidentný veľmi významný rast výskytu, a teda aj frekvencie opakovania sa epizód sucha, ktoré majú merateľný účinok na fyziologické procesy lesných drevín, v juhozápadnej časti územia v priestoroch Zvolenskej kotliny, údolia rieky Neresnica, pohoria Javorie, východných svahov Štiavnických vrchov, Kremnických vrchov, Ponickéj vrchoviny a južných až juhozápadných svahov pohoria Poľana. Menej významný, ale stále merateľný trend smerom k častejšiemu opakovaniu epizód sucha môžeme očakávať v oblastiach Muránskej planiny a Kráľovohoľských Tatier. Najnižšie nebezpečenstvo zvýšenia frekvencie výskytu krátkodobého sucha je v oblasti Veporských vrchov, Ďumbierskych Tatier, Veľkej Fatry, Starohorských vrchov a Horehronského podolia.



Obrázok 2.16 Významnosť zvýšenia frekvencie výskytu sucha hodnoteného indexom SPEI pre jeden mesiac v období 2024 – 2050

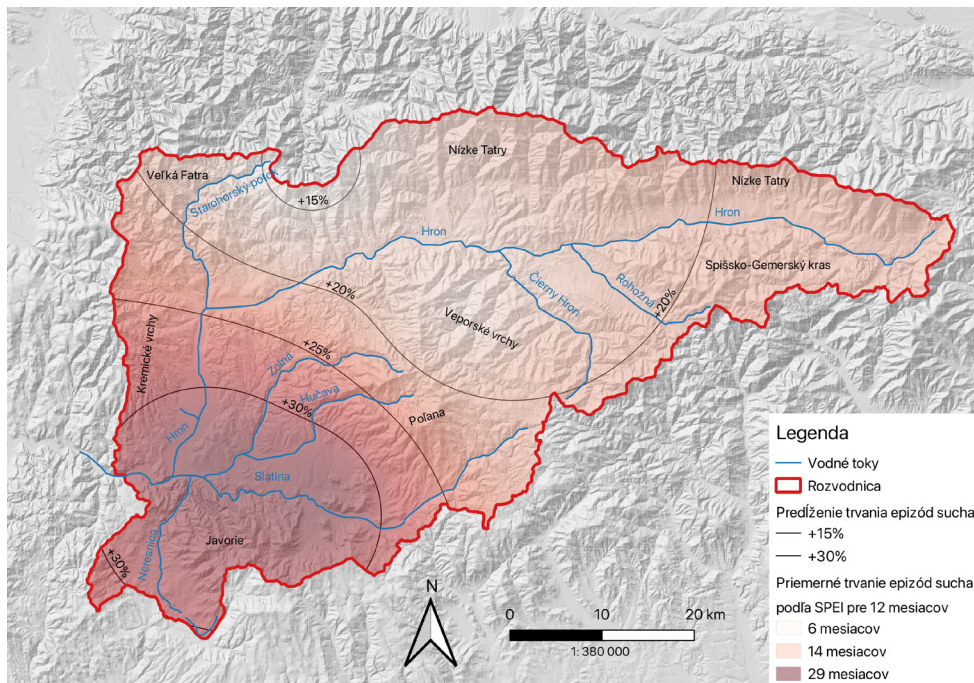
Čo sa týka zvýšenia frekvencie sucha hodnoteného indexom SPEI pre 12 mesiacov (obrázok 2.17), tento vykázal na celom území signifikantne rastúci trend. Znamená to, že sa nebezpečenstvo výskytu dlhotrvajúcich, medzisezónnych až viacročných epizód sucha v predmetnom území v období 2024–2050 zvyšuje. Je to zaiste spôsobené nie danosťami územia, ale očakávanými zmenami cirkulačných pomerov nad strednou Európou, ktoré určia základný vodný bilančný model (Faranda et al., 2020). Je teda potrebné pri úvahách o adaptačných opatreniach brať na zreteľ, že ani najvyššie položené oblasti nebudú ušetrené drastických dôsledkov dlhých a závažných epizód sucha, pokiaľ sa tieto vyskytnú a prehĺbia. Preto je nutné zaoberať sa stratégiami lesníckych a biotechnických meliorácií lesného prostredia, hospodárskeho úpravníctva či pestovateľskej činnosti s ohľadom na budúce, nie dnešné poveternostné či klimatické podmienky a najmä stresory.



Obrázok 2.17 Významnosť zvýšenia frekvencie výskytu sucha hodnoteného indexom SPEI pre dvanásť mesiacov v období 2024–2050



Ak sme v predchádzajúcich vetách pojednávali o zvýšení frekvencie (častosti) výskytu závažných suchých epizód (podľa SPEI pre dvanásť mesiacov), v nasledujúcej mapovej kompozícii sme zanalyzovali nárast dĺžky trvania týchto epizód (obrázok 2.18). Iným spôsobom môžeme povedať, že obrázok 2.18 vyjadruje percentuálne zvýšenie závažnosti epizódy sucha v území, pričom mierou závažnosti je dĺžka zotrvania epizódy sucha na danom území. Z toho pohľadu je evidentné, že územia, ktoré budú z pohľadu frekvencie výskytu jednomesačného indexu SPEI najčastejšie postihované opakovanými epizódami sucha, budú postihnuté v prípade najzávažnejších epizód sucha najdlhšie. Avšak predĺženie najzávažnejších epizód sucha sa očakáva aj v horských oblastiach.



Obrázok 2.18 Percentuálne vyjadrenie predĺženia trvania najzávažnejších epizód sucha v sledovanom území hodnotené indexom SPEI pre dvanásť mesiacov v období 2024 – 2050

## 2.5 ZÁVER

Prebiehajúca zmena klímy spôsobuje už v dnešnej praxi lesného hospodárstva mimoriadne škody. Vzhľadom na to, že ekologická štruktúra lesov, resp. ich pestovanie v dvadsiatom, no najmä druhej polovici dvadsiateho storočia nebolo konfrontované so silnou atmosférickou dynamikou, ktorá sa procesom energo-materiálových cyklov prenáša na ostatné systémy, najmä na pôdu a biotu, čelíme v súčasnom období nebyvalým škodám, a tým aj finančným stratám v odvetví lesného hospodárstva. Je potrebné si uvedomiť, že predložená štúdia mala byť istým spôsobom výstrahou, že už nie je priestor na optimizmus a naopak, škody budú, ako sme opísali, narastať. Otázkou zostáva, či je možné tieto škody úplne eliminovať. To zrejme nie je možné, no existujú možnosti, ako zvyšovať odolnosť potenciál hospodárskych lesov vo vzťahu k hydrometeorologickým extrémom. V prvom rade však je potrebné zvýrazniť, že univerzálne riešenie neexistuje. Základom pre každú adaptáciu je analýza stavu a situácie. Bez podkladových informácií nie je možné nastaviť plán a stratégiu a bez stratégie budú akékoľvek náhodné či prvoplánové opatrenia a na ne vynaložené finančné prostriedky v lepšom prípade nedostatočne efektívne, v horšom úplne zbytočne vynaložené. V našom prípade sme sa zamerali na analýzu podmienok s predpokladom vývoja nebezpečenstva sucha z rôznych uhlov pohľadu v oblasti stredného a horného Pohronia. Zistili sme, že najzávažnejším obdobiam sucha sa nevyhnú ani inak zrážkovo dobre zásobené horské oblasti. Je teda potrebné zamyslieť sa nad potrebou zvýšenia odolnosti porastov voči dlhodobým účinkom sucha. To vedie k zásadnému zamysleniu sa nad spôsobom ochrany lesného pôdneho fondu. Keďže v čase dlhodobých epizód sucha bude vodný režim drevín a rastlín závislý najmä od vody uloženej v zóne aerácie pôdy, je potrebné vykonať organizačné a biotechnické opatrenia vedúce k zvýšeniu biologickej aktivity pôdy. Ďalším momentom, ktorým je možné dosiahnuť zlepšenie stavu pôdneho fondu, je renaturalizácia a skyprenie nepoužívaných približovacích liniek. V lesnom hospodárstve je možné pristúpiť k priestorovo-organizačným opatreniam, keď bez ujmy protipožiarneho prístupnosti lesa môžu byť približovacie linky, najmä v exponovaných lokalitách, ktoré sa už vzhľadom na plánované zásahy nebudú používať, skyprené či prekopy. Ďalším momentom sú opatrenia hradenia bystrín. Spomaľovanie odtoku, zvyšovanie hladiny podzemnej vody a samotná tvorba zásoby povrchovej vody sú momenty, ktoré môžu v kritických situáciách mimoriadne pomôcť s preklenutím dlhších epizód sucha. Pozor, tieto zásahy musia byť vykonané plánovite s prepočítanou hydrologickou bilanciou územia, musia mať jasne vyčísliteľné dosahy, nesmú drénovať podložie, neprimerane narušovať zóny prúdenia podzemnej a pôdnej vody a najmä musia byť zrealizované príslušným legálnym technickým a legislatívnym riešením, postupom a technickým dozorom. V opačnom prípade sú takéto zásahy skôr na príťaž a môžu byť dokonca ohrozujúcim faktorom



civilnej ochrany, ale aj samotnej hydrologickej bilancie riešeného územia. Jednou z najviac diskutovanou, ale občas málo používanou metódou je prispôbenie drevinového zloženia porastov. V tomto smere si vyhradujeme právo neposkytnúť žiadne odporúčanie, pretože je to otázka, ktorá sa musí riešiť so špecialistami na pestovanie lesov v konkrétnom území, ktorí len za predpokladu poznania situácie a trendov vývoja sú schopní fundovane poradiť s miestnym riešením.

Z uvedeného vyplýva, že táto téma je mimoriadne široká a existuje veľké množstvo riešení, ktoré by mohli byť aplikované. Je to však otázka na konkrétne miestne prírodné pomery, očakávania lesného hospodárenia v danom území a akceptáciu týchto riešení zo strany orgánov špecializovanej štátnej a verejnej správy. Ako sme však ukázali, analýzou očakávaného vývoja sucha môžeme dosiahnuť stav, keď dokážeme určiť východiská pre odbornú diskusiu, ktorej výsledkom má byť súbor, resp. systém plánovaných opatrení pri zohľadnení prírodných pomerov, ekonomickej návratnosti a prijateľnosti riešení z pohľadu udržateľnosti prírodných zdrojov a prírodného prostredia.

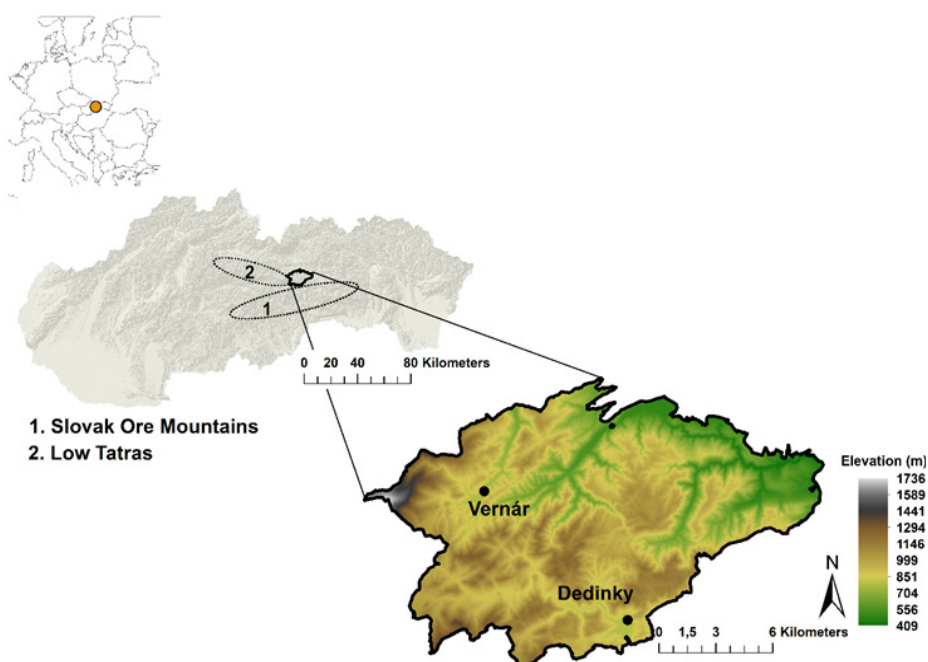
## 3 ADAPTÁCIA HOSPODÁRENIA NA RIZIKO VÝSKYTU POŽIAROV V LESNÝCH PORASTOCH SLOVENSKEHO RAJA

### 3.1 GEOGRAFICKÁ A KLIMATICKÁ CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA SLOVENSKEHO RAJA

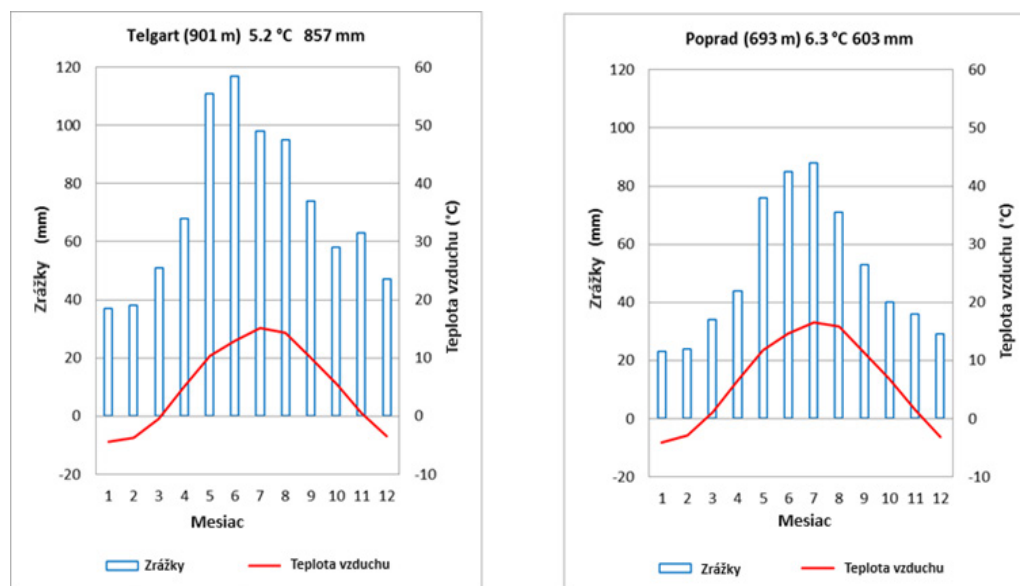
Územie Národného parku Slovenský raj pre účely analýzy rizika lesných požiarov a aplikáciu vhodných adaptačných opatrení na túto hrozbu v našej štúdií nebolo zvolené náhodou. Plocha parku sa nachádza na území Západných Karpát. Ako ukazuje obrázok 3.1, park je situovaný na severovýchod od Slovenského rudohoria blízko východnej časti Nízkych Tatier. Plocha parku sa nachádza medzi 20°16'15" a 20°31'40" východnej dĺžky a medzi 48°51'35" a 48°57'30" severnej šírky. Územie národného parku je značne výškovo členité. Na sledovanej ploche 270,04 km<sup>2</sup> najnižšie položená lokalita 489 m n. m. sa nachádza v obci Betlanovce na severnej hranici parku a najvyššou je časť hrebeňa Nízkych Tatier vo výške 1 546 m n. m. Ako uvádza Kottek et al. (2006), územie Slovenského raja je možné zaradiť medzi studené boreálne lesné klímy Dfb a Dfc. V horských častiach sa tu podľa bio-geografickej klasifikácie ekosystémov, ktorú navrhol Holdridge (1967), nachádzajú rozsiahle plochy boreálneho sub-alpínskeho vlhkeho lesa. Priemerné ročné teploty tu kolíšu v závislosti od nadmorskej výšky a expozície danej svahom medzi 4 – 6 °C (január: -5 až -6 °C; júl 16 až 17 °C). Prevládajúci smer vetra je západný až severozápadný. Pre územie Slovenského raja sú charakteristické nízke úhrny zrážok (570 – 850 mm za rok), pretože leží v zrážkovom tieni Nízkych a Vysokých Tatier. Priemerné mesačné zrážkové úhrny sa menia tak v závislosti od nadmorskej výšky terénu, ako aj od zmien teploty počas roka. O dynamike zmeny úhrnov zrážok počas roka vo vzťahu k teplote na území Slovenského raja informujú klimatické diagramy meteorologických staníc Telgárt a Poprad na obrázku 3.2.

Geologické podložie tohto prevažne krasového územia tvoria vápence a dolomity a na strmých svahoch sa vytvorili plytké pôdy – rendziny – neschopné zadržiavať aj tak vzácnu zrážkovú vodu dlhší čas. Nedostatok vody spôsobuje, že celé sledované územie trpí suchom, ktoré riziko požiarov podstatne zvyšuje tak, že sa niekedy vyskytujú aj v zimnom období. Takmer nedostupný terén zvyšuje riziko výskytu lesných požiarov v porastoch, pretože nedostatok vhodnej lesnej cestnej siete robí hasenie horiacich prevažne ihličnatých porastov extrémne zložitým.

Do analýzy rizika výskytu lesných požiarov boli zahrnuté plochy lesných porastov parku a jeho ochranných zón o rozlohe 20 021 ha, čo predstavuje 74,14 % z celkovej pozorovanej plochy 27 004 ha. Zvyšok sledovanej plochy tvorí poľnohospodárska pôda, pasienky, intravilány obcí, skaly, vodné plochy a rašeliniská.



Obrázok 3.1 Zakreslenie hraníc Národného parku Slovenský raj na území Slovenska



Obrázok 3.2 Klimatické diagramy pre Národný park Slovenský raj (vľavo – horské oblasti, meteorologická stanica Telgárt, vpravo – údolné oblasti, meteorologická stanica Poprad)

Drevinové zloženie lesov Slovenského raja je rozmanité. O zastúpení jednotlivých lesných drevín na ploche parku a jeho ochranných pásiem informuje tabuľka 3.1. Pozorovania, ktoré vykonal Škvarenina et al. (2004), Holécý (2005) a Majlingová (2015), informujú o tom, že všetky ekosystémy na ploche Slovenského raja sú oveľa viac náchylné na výskyt lesných požiarov ako zvyšok územia Slovenska. Z uvedených dôvodov sa početné krajinné požiare vyskytujú práve na tomto území a hazard požiarov predstavuje skutočnú hrozbu tak pre lesný majetok, ako aj pre miestne obyvateľstvo. Hazard výskytu požiarov v tejto oblasti preto už bol zahrnutý do lesníckeho hospodárskeho plánovania prostredníctvom početných protipožiarnych ochranných, ako aj preventívnych opatrení.

Tabuľka 3.1 Zastúpenie jednotlivých skupín drevín v lesných porastoch Slovenského raja

DREVINY	PLOCHY (ha)	ZASTÚPENIE (%)
Smrek	9 540,2011	47,65
Jedľa	1 471,5735	7,35
Borovica	1 131,2096	5,65
Smrekovec	959,0255	4,79
Buk	5 710,1056	28,52
Dub	54,0578	0,27
Javor	116,1242	0,58
Ostatné listnaté	1 039,1111	5,19
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>	<b>100,00</b>

## 3.2 EKONOMICKÁ ANALÝZA PROJEKTOV PESTOVANIA KOMERČNÝCH DREVÍN V SLOVENSKOM RAJI

Ako vstupné veličiny pre kalkulácie očakávanej škody na lesnom majetku spôsobenej požiarimi sme použili projekty pestovania hospodárskych drevín smreka (SM), jedle (JD), borovice (BO), smrekovca (SC), buka (BK), duba (DB) a javora (JV) vrátane ich poddruhov. Ostatné ihličnaté a listnaté dreviny tvoria v drevinovom zložení lesných porastov národného parku len menej významnú prímes, ktorá kalkuláciu rizika požiarov a očakávaných škôd podstatne neovplyvňuje. Fyzické vstupy a výstupy lesníckych projektov pestovania uvedených drevín na ich priemerných bonitách v rámci sledovaného územia boli získané s využitím stromového rastového simulátora SIBYLA Triquetra pri uvažovanom čase trvania projektov v rokoch ( $u = 150$ ). Uvažované fyzické vstupy a výstupy týchto projektov na ploche 1 ha v jednotlivých desaťročiach ich trvania boli ocenené v aktuálnych trhových cenách, čo umožnilo vypočítať ceny dreva na pni [EUR · ha<sup>-1</sup>] v jednotlivých vekových stupňoch pestovaných drevín. Aktuálne ceny dreva na pni (r. 2021) spolu s výdavkami na zalesnenie a ošetrovanie (ochranu) v prvom vekovom stupni a režijnými nákladmi [EUR · ha<sup>-1</sup>] umožnili zostaviť časové rady cash-flow deterministických projektov (CF<sub>t</sub>) v jednotlivých desaťročiach ( $t$ ) ich trvania pri absencii rizika ich zničenia pred ich ukončením. Ako ukazovateľa rentability hospodárenia sme zvolili ukazovateľa čistú súčasnú hodnotu ČSH( $u$ ) lesníckych projektov:

$$\check{C}SH(u) = \sum_{t=0}^u \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (3.2)$$

Symbol  $(r) = 1,04\%$  p.a. označuje úroveň výnosovej miery pre lesnícke projekty v podmienkach Slovenska, tak ako ju odhadol Holécý (2019).

Pre meranie ekonomického vplyvu rizika požiarov na lesníctvo v Slovenskom raji bol zvolený ukazovateľ deterministickej (o riziko zvýšenej) kapitálovej hodnoty lesnej pôdy  $B(u)$ :

$$B(u) = \frac{\check{C}SH(u) \cdot (1+r)^t}{(1+r)^u - 1} \quad (3.3)$$

Výsledky ekonomickej analýzy projektov pestovania spomenutých hospodárskych drevín na ploche parku sú uvedené v tabuľkách 3.2 až 3.8. Prvý stĺpec okrem uvažovaného veku porastu obsahuje informáciu o zistenej priemernej bonite pestovanej dreviny. V druhom stĺpci každej tabuľky je uvedená nominálna hodnota zásoby dreva (cena dreva na pni) vypočítaná na základe objemu jednotlivých sortimentov dreva v  $[m^3 \cdot ha^{-1}]$  a ich aktuálnych trhových cien  $[m^3 \cdot ha^{-3}]$  znížená o úplné vlastné náklady výroby v daných podmienkach. V treťom stĺpci sú hodnoty objemov predrubných ťažieb dreva určené tým istým postupom. Štvrtý stĺpec obsahuje hodnoty uvažovaných výdavkov (zalesňovanie, ošetrovanie, prerezávky, ochrana vrátane iných režijných nákladov) v každom vekovom stupni. Ďalšie tri stĺpce informujú o diskontovaných i následne diskontovaných a kumulovaných hodnotách vstupov a výstupov projektov, ktoré sú potrebné pre výpočet ukazovateľov hodnôt funkcií  $\check{C}SH(u)$  a  $B(u)$  pri meniaci sa uvažovanej rubnej dobe ( $u$ ). Najvyššia hodnota funkcie kapitálovej hodnoty lesnej pôdy  $B(u)$  informuje o ekonomicky optimálnej rubnej dobe dreviny ( $u$ ) na uvedenej bonite. Kapitálové hodnoty lesnej pôdy  $B(u)$  pri deterministických projektoch pestovania jednotlivých hospodárskych drevín sú kalkulované pri absencii špecifického rizika hospodárenia, čo znamená, že sú zvýšené o rizikové prémie investícií do zalesnenia v daných podmienkach. Nazývajú sa preto o riziko zvýšené hodnoty pôdy.

Tabuľka 3.2 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty  $\check{C}SH(u)$  a kapitálovej hodnoty pôdy  $B(u)$  projektu pestovania smreka obyčajného (*Picea abies*, L.)

SM 29,13 VEK (t)	HODNOTA ZÁSoby Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSoby DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PŮDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	1 790	0	0	1 790	-1 790	
10	3	0	1 429	3	0	3 147	-3 144	-62 359
20	512	408	675	439	350	3 725	-2 937	-20 428
30	1 672	1 149	590	1 291	1 237	4 180	-1 652	-7 250
40	2 984	1 331	590	2 077	2 164	4 591	-350	-1 152
50	5 871	1 468	590	3 685	3 086	4 962	1 810	4 861
60	7 811	2 740	590	4 421	4 637	5 296	3 763	8 671
70	8 312	1 890	590	4 242	5 601	5 597	4 247	8 675
80	8 669	2 378	590	3 990	6 696	5 868	4 818	8 926
90	8 348	2 556	590	3 465	7 757	6 113	5 108	8 732
100	9 628	2 193	590	3 603	8 578	6 334	5 847	9 343
110	9 455	1 268	590	3 190	9 006	6 533	5 663	8 547
120	7 715	1 171	590	2 348	9 362	6 713	4 997	7 182
130	6 342	1 288	590	1 740	9 715	6 875	4 581	6 313
140	6 461	1 178	590	1 599	10 007	7 021	4 585	6 092
150	5 840	2 567	590	1 303	10 579	7 152	4 730	6 088



Tabuľka 3.3 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania jedle bielej (*Abies alba*, L.)

JD 26,21 VEK (t)	HODNOTA ZÁSoby Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSoby DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PŮDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	2 954	0	0	2 954	-2 954	
10	0	0	1 429	0	0	4 311	-4 311	-85 510
20	59	572	675	51	489	4 889	-4 349	-30 251
30	620	811	590	479	1 116	5 345	-3 750	-16 453
40	1 037	906	590	722	1 747	5 755	-3 286	-10 818
50	1 840	2 055	590	1 155	3 037	6 126	-1 934	-5 195
60	3 715	1 841	590	2 103	4 079	6 460	-277	-639
70	4 699	1 848	590	2 398	5 023	6 761	660	1 348
80	6 888	1 734	590	3 170	5 821	7 033	1 959	3 629
90	8 455	1 943	590	3 509	6 627	7 277	2 858	4 886
100	9 923	4 267	590	3 714	8 224	7 498	4 439	7 094
110	9 622	3 771	590	3 247	9 496	7 697	5 046	7 616
120	10 614	4 033	590	3 230	10 724	7 877	6 076	8 734
130	11 502	2 202	590	3 156	11 328	8 039	6 445	8 882
140	11 419	1 649	590	2 825	11 736	8 185	6 376	8 472
150	10 019	1 997	590	2 235	12 181	8 316	6 100	7 851

Tabuľka 3.4 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania borovice obyčajnej (*Pinus sylvestris*, sp.)

BO 24,46 VEK (t)	HODNOTA ZÁSoby Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSoby DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PŮDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	4 062	0	0	4 062	-4 062	
10	0	0	1 429	0	0	5 419	-5 419	-107 487
20	227	0	675	194	0	5 997	-5 802	-40 365
30	1 437	348	590	1 109	269	6 453	-5 074	-22 265
40	3 678	1 236	590	2 561	1 130	6 863	-3 173	-10 444
50	5 956	1 200	590	3 739	1 883	7 234	-1 612	-4 331
60	7 583	1 263	590	4 292	2 598	7 568	-678	-1 562
70	9 876	3 407	590	5 041	4 337	7 869	1 509	3 082
80	11 317	2 012	590	5 209	5 263	8 141	2 331	4 318
90	13 718	124	590	5 693	5 314	8 385	2 622	4 482
100	14 352	4 500	590	5 371	6 998	8 606	3 763	6 013
110	15 151	5 489	590	5 112	8 850	8 805	5 157	7 784
120	12 595	2 529	590	3 832	9 620	8 985	4 467	6 421
130	12 672	2 637	590	3 477	10 343	9 147	4 673	6 440
140	13 544	1 819	590	3 351	10 793	9 293	4 851	6 446
150	12 143	1 999	590	2 709	11 239	9 424	4 524	5 823

Tabuľka 3.5 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania smrekovca opadavého (*Larix decidua*, L.)

SC 26,49 VEK (t)	HODNOTA ZÁSOBY Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSOBY DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PÔDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	1 506	0	0	1 506	-1 506	
10	0	0	1 429	0	0	2 863	-2 863	-56 797
20	68	0	675	58	0	3 441	-3 383	-23 535
30	888	443	474	686	342	3 807	-2 779	-12 192
40	3 667	727	590	2 553	848	4 218	-817	-2 688
50	5 934	742	590	3 725	1 314	4 588	451	1 212
60	8 494	4 370	590	4 808	3 788	4 922	3 674	8 466
70	10 851	3 075	590	5 539	5 357	5 223	5 673	11 587
80	12 806	1 915	590	5 894	6 238	5 495	6 637	12 297
90	14 081	2 695	590	5 844	7 357	5 740	7 461	12 754
100	13 715	2 499	590	5 132	8 292	5 961	7 464	11 927
110	14 728	1 431	590	4 970	8 775	6 160	7 585	11 448
120	16 779	913	590	5 105	9 053	6 339	7 819	11 238
130	17 658	1 903	590	4 845	9 575	6 501	7 918	10 912
140	17 128	1 260	590	4 237	9 886	6 647	7 477	9 934
150	17 575	2 024	590	3 921	10 338	6 779	7 480	9 627

Tabuľka 3.6 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.)

BK 24,45 VEK (t)	HODNOTA ZÁSOBY Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSOBY DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PÔDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	3 468	0	0	3 468	-3 468	
10	15	0	674	14	0	4 107	-4 093	-81 191
20	100	670	774	85	574	4 770	-4 111	-28 595
30	1 155	441	590	892	915	5 225	-3 419	-15 002
40	1 493	977	590	1 039	1 595	5 636	-3 002	-9 880
50	3 019	1 327	590	1 895	2 428	6 007	-1 683	-4 522
60	4 430	2 371	590	2 507	3 771	6 341	-63	-144
70	6 054	2 437	590	3 090	5 014	6 642	1 462	2 987
80	8 029	2 892	590	3 696	6 345	6 913	3 128	5 795
90	9 754	2 690	590	4 048	7 462	7 158	4 351	7 438
100	12 210	4 680	590	4 569	9 213	7 379	6 403	10 232
110	13 150	2 060	590	4 437	9 908	7 578	6 767	10 214
120	12 084	2 197	590	3 677	10 576	7 758	6 496	9 336
130	11 384	2 320	590	3 123	11 213	7 920	6 417	8 843
140	10 795	1 909	590	2 671	11 685	8 066	6 290	8 358
150	10 410	2 093	590	2 322	12 152	8 197	6 277	8 079

Tabuľka 3.7 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania duba obyčajného (*Quercus petraea*, L.).

DB 21,82 VEK (t)	HODNOTA ZÁSOBY Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSOBY DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PÔDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	3 468	0	0	3 468	-3 468	
10	0	0	1 429	0	0	4 825	-4 825	-95 701
20	122	0	693	105	0	5 419	-5 314	-36 964
30	1 017	0	590	785	0	5 874	-5 089	-22 329
40	2 104	0	590	1 464	0	6 285	-4 820	-15 867
50	4 739	397	590	2 975	249	6 655	-3 431	-9 217
60	8 472	483	590	4 796	523	6 989	-1 671	-3 850
70	9 351	2 236	590	4 773	1 664	7 291	-853	-1 743
80	14 950	1 216	590	6 881	2 224	7 562	1 543	2 858
90	16 608	1 544	590	6 893	2 865	7 807	1 950	3 334
100	18 553	3 375	590	6 943	4 128	8 028	3 043	4 863
110	21 741	1 369	590	7 336	4 590	8 227	3 699	5 583
120	26 085	2 462	590	7 937	5 339	8 406	4 869	6 999
130	28 318	2 888	590	7 770	6 131	8 568	5 332	7 348
140	24 933	3 295	590	6 169	6 946	8 714	4 400	5 847
150	24 026	4 334	590	5 360	7 913	8 846	4 427	5 699

Tabuľka 3.8 Výpočet ukazovateľov čistej súčasnej hodnoty ČSH(u) a kapitálovej hodnoty pôdy B(u) projektu pestovania javora horského (*Acer pseudoplatanus*, L.)

JV 25,03 VEK (t)	HODNOTA ZÁSOBY Z(t)	HODNOTA PREBIEROK P(t)	VÝDAVKY V(t)	DISKONTO- VANÁ HODNOTA ZÁSOBY DZ(t)	DISKONTO- VANÉ PREBIERKY KUMULO- VANÉ DPK(t)	DISKONTO- VANÉ VÝDAVKY KUMULO- VANÉ DVK(t)	ČISTÁ SÚČASNÁ HODNOTA ČSH(u)	KAPITÁLOVÁ HODNOTA PÔDY B(u)
[roky]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]	[EUR . ha <sup>-1</sup> ]
0	0	0	1 907	0	0	1 907	-1 907	
10	4	0	1 429	4	0	3 264	-3 261	-64 674
20	329	0	693	282	0	3 858	-3 576	-24 877
30	1 259	601	590	972	464	4 314	-2 877	-12 625
40	2 255	1 560	590	1 570	1 550	4 724	-1 604	-5 281
50	2 963	2 731	590	1 860	3 265	5 095	30	81
60	4 811	2 350	590	2 723	4 595	5 429	1 890	4 355
70	6 924	2 943	590	3 534	6 098	5 730	3 902	7 971
80	9 528	2 489	590	4 385	7 243	6 002	5 627	10 426
90	13 989	2 041	590	5 806	8 090	6 247	7 649	13 076
100	16 711	4 112	590	6 254	9 629	6 467	9 415	15 046
110	17 785	2 957	590	6 001	10 627	6 666	9 962	15 036
120	18 483	2 622	590	5 624	11 425	6 846	10 203	14 665
130	15 215	1 725	590	4 174	11 898	7 008	9 065	12 492
140	15 620	545	590	3 864	12 033	7 154	8 744	11 618
150	15 062	2 313	590	3 360	12 549	7 286	8 624	11 100

### 3.3 ANALÝZA A OPIS RIZIKA VÝSKYTU POŽIAROV NA ÚZEMÍ SLOVENSKEHO RAJA PRI PESTOVANÍ KOMERČNÝCH DREVÍN

Pre analýzu výskytu požiarov na území parku sme použili údaje o zničených plochách vo vzorkách skupín drevín buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.) a ostatných listnatých drevín, smreka obyčajného (*Picea abies*, L.), jedle bielej (*Abies alba*, L.), borovice lesnej (*Pinus sylvestris*, L.) a borovice čiernej (*Pinus nigra*, L.) a smrekovca opadavého (*Larix decidua*, L.). Plochy vzoriek jednotlivých pozorovaných drevín ( $H$ ) sú dostatočne rozsiahle na to, aby sa výsledky analýzy ich zraniteľnosti a rizika zničenia ohňom mohli zovšeobecniť na celé územie parku vrátane jeho ochranných pásiem.

Bodový odhad úrovne hazardu výskytu požiarov za 1 rok  $f(t)$  v jednotlivých vekových stupňoch porastov každej dreviny ( $t$ ) sme vypočítali ako relatívnu početnosť zničených hektárov  $h(t)$  na ploche vzorky  $H(t)$ :

$$f(t) = \frac{h(t)}{H(t)} \quad (3.4)$$

Aby bolo možné objektívne vyhodnotiť zraniteľnosť jednotlivých drevín podľa ich veku v navrhnutých lesníckych projektoch, boli vypočítané očakávané zničené plochy  $a(t)$  pre uvažované rovnomerne rozdelené plochy jednotlivých vekových stupňov  $A(t)$ :

$$a(t) = f(t) \cdot A(t) \quad (3.5)$$

S pomocou známych hodnôt  $a(t)$  bol vypočítaný bodový odhad hazardu výskytu požiarov ( $f$ ) pri pestovaní jednotlivých hospodárskych drevín za 1 rok

$$f = \frac{a}{A} \quad (3.6)$$

Symbol ( $A$ ) označuje súčet všetkých plôch  $A(t)$ , čo je celková plocha pestovanej dreviny na ploche parku, a symbol ( $a$ ) je súčet všetkých očakávaných zničených plôch  $a(t)$ , v jednotlivých vekových stupňoch ( $t$ ).

Bodové odhady funkcií zraniteľnosti lesných porastov jednotlivých drevín boli získané pomocou empirických distribučných funkcií  $F_a(t)$  zostavených z hodnôt relatívnych početností zničených hektárov ( $f_1 = f(t)$ ) vo všetkých uvažovaných vekových stupňoch ( $k$ ):

$$F_a(t) = \sum_{j \leq t} \frac{f_j}{f} \quad \text{kde v tomto prípade} \quad f = \sum_{j=1}^k f_j \quad (3.7)$$

Empirické distribučné funkcie  $F_a(t)$  zostavené z relatívnych početností pozorovaných zničených plôch  $f(t)$  boli vyrovnané distribučnými funkciami Weibullova rozdelenia pravdepodobnosti  $W(c, \gamma)$  v tvare:

$$F(t) = 1 - e^{-c \cdot t^\gamma} \quad (3.8)$$

Pre odhady hodnôt parametrov ( $c$ ) a ( $\gamma$ ) každého z predpokladaných rozdelení pravdepodobnosti  $W(c, \gamma)$  bola použitá metóda maximálnej vierohodnosti, ktorú podrobne opisuje Khamis (1997). Vyrovnanie empirických distribučných funkcií  $F_a(t)$  distribučnými funkciami  $F(t)$  tohto flexibilného rozdelenia umožnilo pri opise zraniteľnosti jednotlivých lesných drevín ohňom odstrániť jej náhodné výkyvy a zvýšiť tak presnosť jej bodových odhadov. Pri analýzach dlhodobých lesníckych projektov má táto skutočnosť veľký význam, pretože umožňuje zvýšiť presnosť výsledkov ekonomických analýz.

Štatistická významnosť zhody empirických distribučných funkcií  $F_a(t)$  s distribučnými funkciami  $F(t)$  sa pri každej drevine, resp. skupine drevín overila prostredníctvom kritických hodnôt Kolmogorovovho – Smirnovovho testu dobrej zhody pre jeden výber, ako jeho použitie vysvetľujú Klein a Vacek (1986). Test bol vykonaný na hladine významnosti ( $\alpha$ )=0,05 a poukázal na veľmi významnú zhodu týchto dvojíc veličín vo všetkých analyzovaných prípadoch.

Špecifikované funkcie zraniteľnosti jednotlivých lesných drevín ohňom  $F(t)$  umožnili vypočítať bodové odhady ich zraniteľnosti  $\Delta F(j)$  v jednotlivých vekových stupňoch ( $j$ ) pomocou nasledovného rekurentného vzorca:



$$\Delta F(j) = F(j) - F(j - 1) \quad (3.9)$$

Výsledky výpočtu zraniteľnosti  $\Delta F(j)$  je pre ich správnu aplikáciu potrebné aj správne interpretovať. Hoci pre vyrovnanie pozorovaných hodnôt empirických distribučných funkcií  $F_a(t)$  bola použitá distribučná funkcia Weibullova rozdelenia, špecifikované zraniteľnosti nie sú pravdepodobnosti. Sú vždy len mierou pravdepodobnosti výskytu požiarov vo vzorke.

Z výsledkov analýzy zraniteľnosti pozorovaných lesných drevín ohňom podľa ich veku vyplýva, že sa často významne líšia. Zatiaľ čo pri listnatých drevinách je zraniteľnosť ohňom v mladých porastoch nižšia a s ich vekom stúpa len pozvoľne, pri ihličnatých porastoch najvyššie hodnoty táto veličina nadobúda často už v nižších vekových stupňoch a so zvyšujúcim sa vekom postupne klesá. Túto skutočnosť je možné vysvetliť tým, že počas veku do 30 rokov sú ihličnaté dreviny na území parku často zavetvané až po zem, čo pri výskyte požiaru suchej trávy na poľnohospodárskej pôde umožňuje rýchle rozšírenie ohňa prostredníctvom horľavého ihličia až do korún stromov. Výsledky ukazujú, že zraniteľnosť porastov jednotlivých drevín ohňom je značne variabilnou veličinou, na ktorú okrem veku porastu zrejme významne pôsobia aj iné činitele, najmä charakter stanovišťa, jeho expozícia k slnku a klíma. Ďalšími významnými faktormi vzniku a rozšírenia požiarov môžu byť nadmorská výška a sklon terénu.

Bodové odhady pravdepodobností zničenia lesných porastov  $w(j)$  v jednotlivých vekových stupňoch ( $j$ ) za obdobie 10 rokov boli s využitím informácie o ich zraniteľnosti vypočítané podľa vzorca, ktorý odvodili Holécy a Hanewinkel (2006):

$$w(j) = k \cdot \Delta F(j) \cdot f \quad (3.10)$$

Výsledky výpočtu všetkých uvedených veličín potrebných k získaniu bodových odhadov pravdepodobností zničenia  $w(j)$  sú uvedené v tabuľkách 3.9 – 3.18. Pre každú pozorovanú drevinu bola zostavená dvojica tabuliek. Prvá tabuľka vždy obsahuje informáciu o ploche vzorky dreviny, ako aj údaje o plochách jednotlivých vekových stupňov, ktoré boli počas obdobia 10 rokov zničené ohňom. Výsledkom kalkulácií v týchto tabuľkách sú očakávané zničené plochy  $a(t)$  pri rovnomernom zastúpení jednotlivých vekových stupňov na ploche vzorky a informácia o úrovni hazardu ( $f$ ). Druhá tabuľka obsahuje výsledky kalkulácií zraniteľnosti  $\Delta F(j)$  a pravdepodobností zničenia lesných porastov za obdobie 10 rokov  $w(j)$ .

Tabuľka 3.9 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov buka lesného (*Fagus sylvatica*, L.) a ostatných listnáčov na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 – 2015

BUK bonita 24,45 VEK	PLOCHA PORASTOV VZORKY (ha)	PLOCHA PORASTOV ZNIČENÁ (ha)	RELATÍVNA POČETNOSŤ ZNIČENEJ PLOCHY	ROVNAKÁ PLOCHA VEK. STUPŇOV (ha)	OČAKÁVANÉ ZNIČENÉ PLOCHY (ha)
$(t)$	$H(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$A(t)$	$a(t)$
10	703,6773	1,1620603	0,001651411	1 743,9597	2,87999361
20	1 858,1600	4,8092337	0,002588170	1 743,9597	4,513663738
30	1 180,6690	0	0,000000000	1 743,9597	0
40	2 051,3251	0	0,000000000	1 743,9597	0
50	982,6990	2,8758157	0,002926446	1 743,9597	5,103604024
60	675,7811	4,6870813	0,006935799	1 743,9597	12,09575313
70	1 666,3673	1,0643871	0,000638747	1 743,9597	1,113948975
80	2 075,4224	0	0,000000000	1 743,9597	0
90	1 297,2250	0,0906816	0,000069904	1 743,9597	0,121910279
100	1 518,3444	9,7013864	0,006389451	1 743,9597	11,14294403
110	2 267,1919	0	0,000000000	1 743,9597	0
120	2 099,0249	1,0324397	0,000491866	1 743,9597	0,857795074
130	3 732,0961	0	0,000000000	1 743,9597	0
140	1 629,9314	0,2964852	0,000181900	1 743,9597	0,317227031
150	2 421,4799	0	0,000000000	1 743,9597	0
<b>SPOLU</b>	<b>26 159,3949</b>	<b>25,7196</b>	<b>0,021873694</b>	<b>26 159,3949</b>	<b>38,1468</b>
$(k) =$	<b>15</b>	$(p) =$	<b>0,001459311</b>	$(f) =$	<b>0,001458246</b>

$$f(t) = \frac{h(t)}{H(t)} a(t) = f(t) \cdot A(t) \quad (f) = \frac{a}{A}$$

Tabuľka 3.10 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov buka a ostatných listnáčov  $F(t)$  v závislosti od veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenia  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ ).

BUK bonita 24,45 VEK	EMPIRICKÁ DISTRIBUČNÁ FUNKCIA	TEORETICKÁ FUNKCIA $W(c; \gamma)$	ROZDIELY (ABSOLÚTNE)	ZRANITEĽNOSŤ VEKOVÝCH STUPŇOV $\Delta F(j)$	PRAVDE- PODOBNOSTI ZNIČENIA ZA 10 ROKOV
$(t)$	$F_a(t)$	$F(t)$	$F_a(t) - F(t)$	$F(j) - F(j - 1)$	$w(j)$
10	0,075497567	0,030068676	0,045428892	0,030068676	0,006577130
20	0,193820966	0,104119437	0,089701528	0,074050762	0,016197647
30	0,193820966	0,207566508	0,013745542	0,103447071	0,022627706
40	0,193820966	0,326965031	0,133144065	0,119398522	0,026116877
50	0,327609349	0,450156569	0,122547220	0,123191538	0,026946540
60	0,644693363	0,567353377	0,077339986	0,117196808	0,025635271
70	0,673894969	0,671778125	0,002116843	0,104424749	0,022841550
80	0,673894969	0,759724564	0,085829596	0,087946439	0,019237135
90	0,677090785	0,830148201	0,153057417	0,070423637	0,015404251
100	0,969197393	0,883983698	0,085213695	0,053835497	0,011775812
110	0,969197393	0,923388745	0,045808648	0,039405047	0,008619349
120	0,991684055	0,951067034	0,040617021	0,027678289	0,006054264
130	0,991684055	0,969756254	0,021927801	0,018689220	0,004088023
140	1	0,981904652	0,018095348	0,012148398	0,002657303
150	1	0,989515367	0,010484633	0,007610716	0,001664745
<b>(c) =</b>	<b>0,000432716</b>	<b>Max. diff. =</b>	<b>0,153057417</b>	<b>(a) =</b>	<b>38,1468</b>
<b>(\gamma) =</b>	<b>1,848523709</b>	<b><math>d(a)_{0,025} =</math></b>	<b>0,21273</b>	<b>(A) =</b>	<b>26 159,3949</b>

Tabuľka 3.11 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov borovice obyčajnej (*Pinus sylvestris*, sp.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 – 2015

BOROVICA bonita 24,46 VEK	PLOCHA PORASTOV VZORKY (ha)	PLOCHA PORASTOV ZNIČENÁ (ha)	RELATÍVNA POČETNOSŤ ZNIČENEJ PLOCHY	ROVNAKÁ PLOCHA VEKOVÝCH STUPŇOV (ha)	OČAKÁVANÉ ZNIČENÉ PLOCHY (ha)
$(t)$	$H(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$A(t)$	$a(t)$
10	71,0797	0,2720	0,003827044	951,0039	3,639533825
20	103,5137	0,3002	0,002900242	951,0039	2,758141688
30	12,6222	0,0000	0,000000000	951,0039	0
40	53,8073	0,0000	0,000000000	951,0039	0
50	78,3453	0,0000	0,000000000	951,0039	0
60	224,7345	4,0088	0,017837761	951,0039	16,96378076
70	391,7670	0,0000	0,000000000	951,0039	0
80	572,2680	0,4037	0,000705474	951,0039	0,670908547
90	620,7722	8,0857	0,013025276	951,0039	12,38708882
100	2 092,8553	7,3693	0,003521167	951,0039	3,348643867
110	1 454,6139	2,2812	0,001568260	951,0039	1,491421101
120	1 390,4303	3,4797	0,002502610	951,0039	2,379991600
130	1 162,1592	0,0000	0,000000000	951,0039	0
140	1 092,0095	0,0000	0,000000000	951,0039	0
150	4 944,0811	0,0000	0,000000000	951,0039	0
<b>SPOLU</b>	<b>14 265,0591</b>	<b>26,2007</b>	<b>0,045887833</b>	<b>14 265,0591</b>	<b>43,6395</b>
<b>(k) =</b>	<b>15</b>	<b>(p) =</b>	<b>0,003063878</b>	<b>(f) =</b>	<b>0,003059189</b>

Tabuľka 3.12 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov borovice ohňom  $F(t)$  v závislosti od vek ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenia  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ )

BOROVIČKA bonita 24,46 VEK	EMPIRICKÁ DISTRIBUČNÁ FUNKCIA	TEORETICKÁ FUNKCIA $W(c; \gamma)$	ROZDIELY (ABSOLÚTNE)	ZRANITEĽNOSŤ VEKOVÝCH STUPŇOV $\Delta F(j)$	PRAVDE- PODOBNOSTI ZNIČENIA ZA 10 ROKOV
$(t)$	$F_o(t)$	$F(t)$	$F_o(t) - F(t)$	$F(j) - F(j - 1)$	$w(j)$
10	0,083399970	0,006154076	0,077245893	0,006154076	0,002823972
20	0,146602826	0,034795699	0,111807127	0,028641623	0,013143020
30	0,146602826	0,093714440	0,052888386	0,058918741	0,027036534
40	0,146602826	0,183869771	0,037266945	0,090155331	0,041370328
50	0,146602826	0,299916671	0,153313845	0,116046900	0,053251408
60	0,535328104	0,431374390	0,103953715	0,131457719	0,060323099
70	0,535328104	0,565066287	0,029738183	0,133691898	0,061348315
80	0,550701983	0,688285240	0,137583257	0,123218953	0,056542507
90	0,834552301	0,791650326	0,042901974	0,103365086	0,047431998
100	0,911286523	0,870695894	0,040590629	0,079045567	0,036272298
110	0,945462458	0,925800878	0,019661581	0,055104984	0,025286483
120	1	0,960787856	0,039212144	0,034986978	0,016054766
130	1	0,980988326	0,019011674	0,020200470	0,009269558
140	1	0,991574304	0,008425696	0,010585978	0,004857676
150	1	0,996598719	0,003401281	0,005024416	0,002305595
<b>(c) =</b>	<b>1,86289E-05</b>	<b>Max. diff. =</b>	<b>0,153313845</b>	<b>(a) =</b>	<b>43,6395</b>
<b>(\gamma) =</b>	<b>2,520315551</b>	<b>d(a)<sub>0,025</sub> =</b>	<b>0,20056</b>	<b>(A) =</b>	<b>14 265,0591</b>

Tabuľka 3.13 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov jedle bielokorej (*Abies alba*, Mill.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 – 2015

JEDĽA bonita 26,21 VEK	PLOCHA PORASTOV VZORKY (ha)	PLOCHA PORASTOV ZNIČENÁ (ha)	RELATÍVNA POČETNOSŤ ZNIČENEJ PLOCHY	ROVNAKÁ PLOCHA VEKOVÝCH STUPŇOV (ha)	OČAKÁVANÉ ZNIČENÉ PLOCHY (ha)
$(t)$	$H(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$A(t)$	$a(t)$
10	158,2736	0,0972	0,000614126	548,9782	0,3371
20	107,3193	0,1971	0,001836975	548,9782	1,0085
30	65,3304	0,0071	0,000109334	548,9782	0,0600
40	71,6169	0,1286	0,001795267	548,9782	0,9856
50	33,8391	0	0	548,9782	0
60	58,6806	0,7857	0,013389669	548,9782	7,3506
70	87,9439	0	0	548,9782	0
80	212,8700	0,9514	0,004469528	548,9782	2,4537
90	327,7372	0,2257	0,000688705	548,9782	0,3781
100	580,6901	7,5571	0,013014072	548,9782	7,1444
110	1 046,3225	1,2446	0,00118946	548,9782	0,6530
120	1 168,8298	0,4171	0,000356889	548,9782	0,1959
130	1 327,5026	0	0	548,9782	0
140	970,6785	3,2857	0,003384967	548,9782	1,8583
150	2 017,0381	0	0	548,9782	0
<b>SPOLU</b>	<b>8 234,6727</b>	<b>14,8975</b>	<b>0,040848992</b>	<b>8 234,6727</b>	<b>22,4252</b>
<b>(k) =</b>	<b>15</b>	<b>(p) =</b>	<b>0,002726981</b>	<b>(f) =</b>	<b>0,002723266</b>

$$w(j) = k \cdot \Delta F \cdot f$$

Tabuľka 3.14 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov jedle ohňom  $F(t)$  v závislosti od ich veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenia  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ )

JEDĽA bonita 26,21 VEK	EMPIRICKÁ DISTRIBUČNÁ FUNKCIA	TEORETICKÁ FUNKCIA $W(c; \gamma)$	ROZDIELY (ABSOLÚTNE)	ZRANITEĽNOSŤ VEKOVÝCH STUPŇOV $\Delta F(j)$	PRAVDE- PODOBNOSTI ZNIČENIA ZA 10 ROKOV
$(t)$	$F_o(t)$	$F(t)$	$F_o(t) - F(t)$	$F(j) - F(j - 1)$	$w(j)$
10	0,015034062	0,003381918	0,011652144	0,003381918	0,001381480
20	0,060003966	0,021245014	0,038758951	0,017863096	0,007296895
30	0,062680515	0,061291066	0,001389449	0,040046052	0,016358408
40	0,106629376	0,127262896	0,020633520	0,065971830	0,026948828
50	0,106629376	0,218601077	0,111971701	0,091338181	0,037310726
60	0,434413931	0,330305478	0,104108453	0,111704401	0,045630122
70	0,434413931	0,453681217	0,019267286	0,123375739	0,050397746
80	0,543829803	0,578044470	0,034214667	0,124363253	0,050801135
90	0,560689587	0,693003498	0,132313911	0,114959028	0,046959604
100	0,879279383	0,790621246	0,088658137	0,097617748	0,039875866
110	0,908397842	0,866761944	0,041635897	0,076140699	0,031102708
120	0,917134637	0,921249738	0,004115101	0,054487794	0,022257715
130	0,917134637	0,956957776	0,039823139	0,035708038	0,014586373
140	1	0,978337920	0,021662080	0,021380144	0,008733573
150	1	0,990003234	0,009996766	0,011665313	0,004765163
<b>(c) =</b>	<b>7,33953E-06</b>	<b>Max. diff. =</b>	<b>0,132313911</b>	<b>(a) =</b>	<b>22,4252</b>
<b>(\gamma) =</b>	<b>2,66423003</b>	<b>d(a)<sub>0,025</sub> =</b>	<b>0,27490</b>	<b>(A) =</b>	<b>8 234,6727</b>

Tabuľka 3.15 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov smreka obyčajného (*Picea abies*, L.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 – 2015

SMREK bonita 29,13 VEK	PLOCHA PORASTOV VZORKY (ha)	PLOCHA PORASTOV ZNIČENÁ (ha)	RELATÍVNA POČETNOSŤ ZNIČENEJ PLOCHY	ROVNAKÁ PLOCHA VEKOVÝCH STUPŇOV (ha)	OČAKÁVANÉ ZNIČENÉ PLOCHY (ha)
$(t)$	$H(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$A(t)$	$a(t)$
10	2 372,0163	17,4598	0,007360746	4 130,8657	30,4063
20	2 918,1510	15,3658	0,005265584	4 130,8657	21,7514
30	2 993,0254	9,6538	0,003225436	4 130,8657	13,3238
40	3 565,3440	26,4646	0,007422745	4 130,8657	30,6624
50	4 741,8727	6,6256	0,001397259	4 130,8657	5,7719
60	6 022,9459	17,3682	0,002883666	4 130,8657	11,9120
70	6 199,1093	26,7680	0,004318036	4 130,8657	17,8372
80	5 863,1161	16,9362	0,002888595	4 130,8657	11,9324
90	6 255,4538	7,9422	0,001269642	4 130,8657	5,2447
100	5 964,5348	7,6365	0,001280311	4 130,8657	5,2888
110	4 218,3376	11,8839	0,002817203	4 130,8657	11,6375
120	2 843,4281	2,3582	0,000829359	4 130,8657	3,4260
130	2 513,5878	8,4886912	0,003377121	4 130,8657	14
140	1 869,7443	0,8246954	0,000441074	4 130,8657	2
150	3 622,3185	3,4754357	0,000959451	4 130,8657	4
<b>SPOLU</b>	<b>61 962,9856</b>	<b>179,2516</b>	<b>0,045736228</b>	<b>61 962,9856</b>	<b>188,9302</b>
<b>(k) =</b>	<b>15</b>	<b>(p) =</b>	<b>0,003053740</b>	<b>(f) =</b>	<b>0,003049082</b>



Tabuľka 3.16 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov smreka ohňom  $F(t)$  v závislosti od veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobností ich zničenia  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ )

SMREK bonita 29,13 VEK	EMPIRICKÁ DISTRIBUČNÁ FUNKCIA	TEORETICKÁ FUNKCIA $W(c; \gamma)$	ROZDIELY (ABSOLÚTNE)	ZRANITEĽNOSŤ VEKOVÝCH STUPŇOV $\Delta F(j)$	PRAVDE- PODOBNOŠTI ZNIČENIA ZA 10 ROKOV
$(t)$	$F_o(t)$	$F(t)$	$F_o(t) - F(t)$	$F(j) - F(j - 1)$	$w(j)$
10	0,160939080	0,073054895	0,087884185	0,073054895	0,033412553
20	0,276068473	0,183202517	0,092865956	0,110147622	0,050377367
30	0,346591046	0,301799145	0,044791901	0,118596628	0,054241623
40	0,508885685	0,417146671	0,091739014	0,115347527	0,052755607
50	0,539436060	0,523045022	0,016391039	0,105898350	0,048433910
60	0,602485992	0,616463008	0,013977016	0,093417986	0,042725863
70	0,696897704	0,696385524	0,000512180	0,079922516	0,036553544
80	0,760055396	0,763073434	0,003018037	0,066687910	0,030500534
90	0,787815493	0,817547197	0,029731704	0,054473763	0,024914244
100	0,815808861	0,861223157	0,045414296	0,043675960	0,019975737
110	0,877405612	0,895663852	0,018258239	0,034440695	0,015751874
120	0,895539135	0,922414935	0,026875800	0,026751083	0,012234936
130	0,969378224	0,942906826	0,026471398	0,020491891	0,009372218
140	0,979022087	0,958403125	0,020618962	0,015496299	0,007087423
150	1	0,969981328	0,030018672	0,011578203	0,005295433
<b>(c) =</b>	<b>0,002914029</b>	<b>Max. Diff. =</b>	<b>0,092865956</b>	<b>(a) =</b>	<b>188,9302</b>
<b>(\gamma) =</b>	<b>1,41552431</b>	<b><math>d(a)_{0,025} =</math></b>	<b>0,09761</b>	<b>(A) =</b>	<b>61 962,9856</b>

Tabuľka 3.17 Pozorované a ohňom zničené plochy porastov smrekovca opadavého (*Larix decidua*, L.) na území Národného parku Slovenský raj v období rokov 2006 – 2015

SMREKOVEC bonita 26,49 VEK	PLOCHA PORASTOV VZORKY (ha)	PLOCHA PORASTOV ZNIČENÁ (ha)	RELATÍVNA POČETNOSŤ ZNIČENEJ PLOCHY	ROVNAKÁ PLOCHA VEKOVÝCH STUPŇOV (ha)	OČAKÁVANÉ ZNIČENÉ PLOCHY (ha)
$(t)$	$H(t)$	$h(t)$	$f(t)$	$A(t)$	$a(t)$
10	180,3560	0,1365	0,000757050	323,1524	0,2446
20	343,8865	0,4199	0,001221083	323,1524	0,3946
30	114,0637	0,0048	0,000041913	323,1524	0,0135
40	97,7540	0	0,000000000	323,1524	0,0000
50	115,7647	0,7559	0,006529910	323,1524	2,1102
60	247,6761	1,2934	0,005222270	323,1524	1,6876
70	502,8746	0,0150	0,000029829	323,1524	0,0096
80	392,1840	0,1194	0,000304561	323,1524	0,0984
90	192,9823	1,3049	0,006761510	323,1524	2,1850
100	252,6958	1,7621	0,006973218	323,1524	2,2534
110	132,5477	0,0491	0,000370805	323,1524	0,1198
120	349,5808	0,2941	0,000841415	323,1524	0,2719
130	434,5685	0	0,000000000	323,1524	0,0000
140	466,9185	5,9808	0,012809023	323,1524	4,1393
150	1 023,4324	0	0,000000000	323,1524	0,0000
<b>SPOLU</b>	<b>4 847,2855</b>	<b>12,1361</b>	<b>0,041862584</b>	<b>4 847,2855</b>	<b>13,5280</b>
<b>(k) =</b>	<b>15</b>	<b>(p) =</b>	<b>0,002794741</b>	<b>(f) =</b>	<b>0,002790839</b>

Tabuľka 3.18 Výpočet funkcie zraniteľnosti porastov smrekovca ohňom  $F(t)$  v závislosti od veku ( $t$ ) a bodové odhady pravdepodobnosti ich zničenia  $w(j)$  vo vekových stupňoch ( $j$ )

SMREKOVEC bonita 26,49 VEK	EMPIRICKÁ DISTRIBUČNÁ FUNKCIA	TEORETICKÁ FUNKCIA $W(c; \gamma)$	ROZDIELY (ABSOLÚTNE)	ZRANITEĽNOSŤ VEKOVÝCH STUPŇOV $\Delta F(j)$	PRAVDE- PODOBNOSTI ZNIČENIA ZA 10 ROKOV
$(t)$	$F_o(t)$	$F(t)$	$F_o(t) - F(t)$	$F(j) - F(j - 1)$	$w(j)$
10	0,018084161	0,001515469	0,016568693	0,001515469	0,000634414
20	0,047252990	0,010174951	0,037078039	0,008659482	0,003625083
30	0,048254198	0,030750170	0,017504028	0,020575219	0,008613318
40	0,048254198	0,066640276	0,018386078	0,035890107	0,015024526
50	0,204238584	0,119694739	0,084543846	0,053054462	0,022209969
60	0,328986489	0,189913203	0,139073286	0,070218464	0,029395264
70	0,329699023	0,275283882	0,054415141	0,085370679	0,035738373
80	0,336974271	0,371897339	0,034923068	0,096613457	0,040444890
90	0,498491049	0,474393570	0,024097479	0,102496231	0,042907571
100	0,665065054	0,576704593	0,088360461	0,102311023	0,042830038
110	0,673922726	0,672958227	0,000964499	0,096253634	0,040294259
120	0,694022168	0,758344178	0,064322009	0,085385951	0,035744766
130	0,694022168	0,829739821	0,135717653	0,071395643	0,029888061
140	1	0,885957984	0,114042016	0,056218163	0,023534376
150	1	0,927591247	0,072408753	0,041633263	0,017428760
<b>(c) =</b>	<b>2,67555E-06</b>	<b>Max. diff. =</b>	<b>0,139073286</b>	<b>(a) =</b>	<b>13,5280</b>
<b>(γ) =</b>	<b>2,753463123</b>	<b>d(a)<sub>0,025</sub> =</b>	<b>0,34890</b>	<b>(A) =</b>	<b>4 847,2855</b>

V zmysle rovnice (3.1) práve pravdepodobnosti  $w(j)$  špecifikované pre jednotlivé dreviny informujú o riziku uvažovaných lesníckych projektov ich pestovania v podmienkach územia Slovenského raja. Pre účely návrhu hospodárskych adaptačných opatrení zameraných na jeho zmiernenie budeme toto riziko považovať jednoducho za stacionárne. To znamená, že ako podklad pre formuláciu týchto opatrení použijeme scenár „bez“ jeho uvažovanej zmeny v čase. Ide o predpoklad udržania vývoja rizika na úrovni „status quo“. Pre aplikáciu scenára „S“ uvažovanou zmenou úrovne rizika vplyvom pokračujúcej klimatickej zmeny by bolo potrebné vykonať dodatočnú analýzu závislosti časových radov historických údajov o výskyte požiarov od vhodne zvolených ukazovateľov zmeny klímy na území parku. Podľa doterajších pozorovaní sa klíma určite mení aj v Slovenskom raji, ale presná a spoľahlivá štatistická analýza tejto závislosti prekračuje rámec tejto publikácie. Vykonaná analýza je pilotnou štúdiou využitia informácie o riziku požiarov pre účely návrhu objektívne zdôvodnených adaptačných opatrení na zmiernenie jeho dôsledkov na lesníctvo. Opísaný postup je možné v budúcnosti aplikovať aj na scenár, ktorý uvažuje o nestacionárnom riziku, ktoré môže v čase rásť. Získaná informácia o riziku pestovania jednotlivých drevín na ploche parku vo vzťahu k výskytu požiarov môže slúžiť nielen na účely kalkulácie jeho vplyvu na lesnícke projekty. Je možné ju využiť aj na účely výpočtu objektívne stanovenej výšky dotácií pre podporu zalesňovania po výskyte požiaru a odstránení zničených porastov alebo aj ako vstup pre modely poistenia lesného majetku proti výskytu tohto ničivého prírodného živlu.

Zahrnutie informácie o riziku hospodárenia do lesníckych projektov pestovania jednotlivých drevín, a to nielen toho, ktoré sa týka výskytu požiarov, môže tiež poukázať na to, či vôbec má zmysel pri jeho známej úrovni poskytnúť prostriedky na zalesnenie uvažovanými drevinami alebo nie. V prípade, ak je vinou neprijateľne vysokého rizika lesnícky projekt v daných podmienkach nerentabilný (stratový), je potrebné zmeniť zastúpenie drevín pri zalesňovaní plôch po náhodnej, ale aj úmyselnej ťažbe na také, ktoré umožní hazard výskytu požiarov alebo iných druhov špecifického rizika znížiť na prijateľnú úroveň. Z tohto hľadiska informácia o riziku výskytu ničivých prírodných živlov prináša nové úlohy pri plánovaní v rámci hospodárskej úpravy lesov. Je potrebné vytvoriť software pre analytickú činnosť a hodnotenie hazardu a špecifických druhov rizika výskytu náhodných ťažieb vo všetkých lesných oblastiach Slovenska. Využitie informácie o jednotlivých druhoch špecifického rizika hospodárenia na lesnej pôde pri zmene drevinového zloženia slovenských lesov by mohlo priniesť tak postupné zníženie objemu náhodných ťažieb, ako aj zvýšenie národohospodárskej rentability odvetvia. Spomenutá zmena drevinového zloženia však v podmienkach slovenského lesníctva môže byť len pomalá, postupná a opatrná, založená len na objektívne overených podkladoch.

Je potrebné tiež pripomenúť, že aj keď z hľadiska zaznamenaných ročných objemov náhodnej ťažby podiel lesných požiarov nedosahuje ani 1 %, ide o jeden z najnebezpečnejších prírodných živlov na území Slovenska vôbec. Po prechode korunového lesného požiaru prestáva na postihnutej ploche lesný ekosystém existovať. Biologická diverzia po zničení lesného porastu ohňom úplne zaniká a jej aspoň čiastočné obnovenie v rámci reziliencie trvá často celé desaťročia. Požiaro-expertízny ústav Ministerstva vnútra Slovenskej republiky takmer každoročne eviduje pri výskyte lesných požiarov aj straty na životoch. Najčastejšie ide o tragédie pri vypaľovaní suchej trávy na poľnohospodárskej pôde alebo pasienkoch.

Sú to prípady, keď osoby, ktoré trávu vypalujú, podcenia možnosť náhlej zmeny smeru vetra. Zmení sa aj smer postupu čela požiaru, ktorý znemožní osobám z horiacej plochy uniknúť. Známa je požiar na udalosť z územia Slovenského raja na lokalite Tri kopce z novembra 2000, pri ktorej prišlo o život 6 robotníkov, ktorí vykonávali práce na zhotovení požiarnej rozluky. Cieľom opatrenia bolo zastaviť čelo požiaru. Toto inak účinné opatrenie však stratilo zmysel po prechode plytkého studeného frontu, ktorý nanešťastie želaný dážď nepriniesol, ale zmenil smer vetra. Rýchly postup čela požiaru po strmom svahu na pracovisko zabránil obetiam lokalitu včas opustiť. Znižovanie rizika výskytu požiarov má preto okrem hospodárskeho významu aj význam ekologický a humánny.

### 3.4 MERANIE VPLYVU RIZIKA VÝSKYTU POŽIAROV NA KAPITÁLOVÚ HODNOTU LESNEJ PÔDY PRI PESTOVANÍ JEDNOTLIVÝCH DREVÍN

Na účely merania ekonomického vplyvu na lesnícke projekty sme zvolili ukazovateľ bezrizikovej (o riziko zníženej) kapitálovej hodnoty pôdy  $B_f(u)$  v daných podmienkach. Algoritmus výpočtu kapitálovej hodnoty pôdy v prítomnosti rizika požiarov je navrhnutý pre scenár založený na predpoklade opísaného stacionárneho rizika. Ako vstupné údaje pre algoritmus okrem ukazovateľa kalkulovaných cash-flow pre jednotlivé desaťročia deterministických projektov pestovania vybraných hospodárskych drevín na území parku slúžili aj pravdepodobnosti zničenia lesných porastov týchto drevín  $w(j)$  v jednotlivých vekových stupňoch ( $j$ ). Okrem kalkulovaných priemerných výdavkov na zalesnenie 1 ha pôdy pri využití očakávaného podielu prirodzeného zmladenia sa ako vstupy tiež použili výdavky na zalesnenie po výskyte náhodnej ťažby kalkulované podľa noriem spotreby zalesňovacieho materiálu a práce vrátane výdavkov na ošetrovanie a ochranu mladých lesných kultúr. Pre výpočet bezrizikovej kapitálovej hodnoty pôdy je v tomto algoritme riziko hospodárenia v analyzovaných lesníckych projektoch zahrnuté pomocou matice ( $\mathbf{W}$ ), ktorá opisuje pravdepodobnosti prechodu lesných porastov z nižších vekových stupňov do vyšších. Matica ( $\mathbf{W}$ ) je sformulovaná na základe teórie Markovových reťazcov, tak ako princípy jej konštrukcie navrhli Kouba (1977, 2002) a Suzuki (1983). Na účely našej analýzy sme použili formuláciu tejto matice v tvare:

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} w_1 & \bar{w}_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ w_2 & 0 & \bar{w}_2 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ w_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_j & 0 & 0 & \dots & \bar{w}_j & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_k = 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \bar{w}_k = 0 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Prvky matice označené ako  $w(j)$  sú pravdepodobnosti zničenia lesných porastov  $w(j)$  v jednotlivých vekových stupňoch ( $j$ ) a nachádzajú sa vždy na prvej pozícii v ( $i$ )-tom riadku, pričom k nim doplnkové pravdepodobnosti prežitia ( $\bar{w}_j = 1 - w_j$ ) v ( $i+1$ ) stĺpci daného riadka. Súčet pravdepodobností v jednotlivých riadkoch matice ( $\mathbf{W}$ ) je vždy rovný 1. Za predpokladu úmyselnej ťažby rubne zreých porastov v poslednom vekovom stupni ( $k$ ) hodnota  $w_k=1$ , a preto v tomto vekovom stupni doplnková pravdepodobnosť prežitia ( $\bar{w}_k$ ) = 0.

Matica ( $\mathbf{W}$ ) slúži ako východisko pre výpočet očakávaného vývoja vekovej štruktúry porastov na ploche pôvodne zalesneného 1 ha pôdy v prítomnosti špecifického rizika požiarov.

Tento vývoj je možné opísať pomocou matice zmeny vekovej štruktúry ( $\mathbf{P}$ ). Prvky matice ( $\mathbf{P}$ ) v jednotlivých riadkoch informujú o očakávaných plochách jednotlivých vekových stupňov ( $j$ ) po uplynutí každého predchádzajúceho desaťročia ( $i-1$ ).

Riadky matice ( $\mathbf{P}$ ) tvoria riadkové matice ( $\mathbf{P}_i$ ), ktoré je možné vypočítať ako súčiny matíc:

$$\mathbf{P}_i = \mathbf{P}_0 \cdot \mathbf{W}^i \quad (3.12)$$

Každá riadková matica ( $\mathbf{P}_i$ ) má ( $k$ ) prvkov ( $p_{ij}$ ), ktoré opisujú očakávanú vekovú štruktúru porastov na začiatku každého desaťročia ( $i$ ). Riadková matica ( $\mathbf{P}_0$ ) = ( $1, 0, 0, \dots, 0$ ) má tiež ( $k$ ) prvkov a opisuje vekovú štruktúru v čase ( $0$ ) uvažovaného projektu. Počet uvažovaných desaťročí ( $i$ ) v modeli vývoja vekovej štruktúry (3.12) je neobmedzený. Podľa teórie Markovových reťazcov tento postup umožňuje sledovať očakávané zmeny vekovej štruktúry až po jej limitný stacionárny stav.

Výsledky rovnice (3.12) slúžia ako vstupy pre jednotlivé kroky numerického algoritmu výpočtu bezrizikovej kapitálovej hodnoty lesnej pôdy vo forme čistej súčasnej hodnoty nekonečného lesníckeho projektu  $B_f(r, u)$ :

$$B_f(r, u) = NPV_n(r, u) = \sum_{i=1}^n V1_i \cdot (1+r)^{-(10i-5)} - \sum_{i=1}^n V2_i \cdot (1+r)^{-(10i-5)} - C_0 \quad (3.13)$$

Veličiny  $V1_i$  [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] informujú o nominálnych hodnotách očakávaných čistých príjmov (z prebierok alebo rubnej ťažby) počas jednotlivých desaťročí ( $i$ ). Veličiny  $V2_i$  [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] označujú nominálne hodnoty očakávaných výdavkov na zalesnenie holín len po plánovaných rubných ťažbách počas tých istých desaťročí ( $i$ ) uvažovaného nekonečného lesníckeho projektu. Symbol ( $n$ ) označuje uvažovaný počet desaťročí v projekte. Suma  $C_0$  [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] označuje výdavky na zalesnenie v čase ( $0$ ) projektu.

Pre ( $n$ )  $\rightarrow \infty$  je každá veličina ( $V1_i$ ) určená prvkami ( $p_{ij}$ ) riadkových matic ( $P_j$ ), ktoré informujú o očakávaných plochách jednotlivých vekových stupňov ( $j$ ) na začiatku každého nového desaťročia ( $i$ ):

$$V1_i = \sum_{j=1}^k RD_j \cdot p_{ij} \cdot \bar{w}_j + \sum_{j=1}^k RS_j \cdot p_{ij} \cdot w_j - \sum_{j=1}^k CD_j \cdot p_{ij} \cdot \bar{w}_j - \sum_{j=1}^k C_s \cdot p_{ij} \cdot w_j \quad (3.14)$$

Veličiny ( $RD_j$ ) [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] označujú očakávané čisté príjmy (z prebierok alebo rubnej ťažby) v jednotlivých vekových stupňoch ( $j$ ) deterministického lesníckeho projektu. Veličiny ( $RS_j$ ) [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] predstavujú príjmy, resp. zostatkové ceny porastov vo vekových stupňoch ( $j$ ) po ich zničení náhodným výskytom požiaru. Symbolom ( $CD_j$ ) [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] sú označené plánované výdavky na ošetrovanie, ochranu a réžiu v deterministickom projekte. Hodnota ( $C_s$ ) [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] informuje o vyšších výdavkoch na zalesnenie holiny po náhodnej ťažbe.

V tomto zmysle veličiny ( $V2_i$ ) [ $EUR \cdot ha^{-1}$ ] opisujú očakávanú nominálnu hodnotu výdavkov na zalesnenie holín ( $C_0$ ) len po očakávaných plánovaných (úmyselných) rubných ťažbách. Veličiny ( $V2_i$ ) opisujú očakávanú nominálnu hodnotu výdavkov na zalesnenie holín len po plánovaných rubných ťažbách plôch ( $p_{ik}$ ) posledného vekového stupňa ( $k$ ):

$$(V2_i) = C_0 \cdot p_{ik} \cdot w_k \quad (3.15)$$

Presnosť navrhnutého numerického algoritmu výpočtu  $B_f(r, u)$  je daná prípustnou chybou ( $\epsilon$ ), ktorá predstavuje prírastok funkcie  $\check{C}SH_n(r, u)$  za poslednú uvažovanú rubnú dobu ( $u$ ):

$$|\epsilon| = \Delta \check{C}SH_{mu}(r, u) = \check{C}SH_{mu+u}(r, u) - \check{C}SH_{mu}(r, u) \quad (3.16)$$

Symbol ( $m$ ) označuje počet budúcich uvažovaných rubných dôb ( $u$ ) = ( $10k$ ) počas trvania výpočtu. Numerický algoritmus (3.13) sme ukončili, keď prírastok čistej súčasnej hodnoty nekonečného lesníckeho projektu za poslednú uvažovanú rubnú dobu ( $u$ ) vo všetkých skúmaných projektoch dosiahol hodnotu  $|\epsilon| \leq 0,001 EUR$ .

Porovnanie výsledkov výpočtu kapitálových hodnôt lesnej pôdy  $B(u)$  v projektoch pestovania ihličnatých drevín pri absencii rizika s jej hodnotami v prítomnosti rizika  $B_f(u)$  je uvedené v tabuľke 3.19. Dreviny sú zoradené od najvyššej pozorovanej ročnej úrovne hazardu ( $f$ ) =  $0,003059$  pri borovici po najnižšiu ( $f$ ) =  $0,002723$  pri jedli.

Porovnanie výsledkov výpočtu kapitálových hodnôt lesnej pôdy  $B(u)$  v projektoch pestovania listnatých drevín pri absencii rizika s jej hodnotami v prítomnosti rizika  $B_f(u)$  je rovnakým spôsobom uvedené v tabuľke 3.20. Pre listnaté dreviny bola vzhľadom na ich oveľa nižšie riziko ako pri ihličnatých drevinách použitá len spoločná ročná úroveň hazardu ( $f$ ) =  $0,001458$  pozorovaná pri drevine buk. Priebeh funkcií kapitálovej hodnoty lesnej pôdy uvedený v obidvoch tabuľkách poskytuje jej majiteľom dôležité informácie. Záporné hodnoty tejto veličiny poukazujú na skutočnosť, že pri uvažovanej rubnej dobe ( $u$ ) je v daných podmienkach hospodárenie stratové a z ekonomického hľadiska stráca zmysel. Maximálne hodnoty funkcií kapitálovej hodnoty pôdy  $B(u)$  a  $B_f(u)$  pri pestovaní jednotlivých drevín informujú o ekonomicky optimálnej dĺžke rubnej doby ( $u$ ) a sú označené tučným písmom. Odhalená kapitálová hodnota pôdy znížená požiarom  $B_f(u)$  je pri všetkých uvažovaných drevinách značne nižšia ako výsledok  $B(u)$ , ktorý poskytol deterministický model výpočtu tejto veličiny pri absencii rizika. Identifikované ekonomicky optimálne dĺžky rubnej doby sú však v podmienkach Slovenského raja pri smreku o 10 – 20 rokov dlhšie ako ich priemerné hodnoty ( $u$ ) = 80 rokov v rámci Slovenska. Táto skutočnosť je zrejme spôsobená nižšími prírastkami tejto dreviny zapríčinenými nižšími ročnými úhrnmi zrážok oproti iným regiónom v rovnakých nadmorských výškach asi o 150 mm tak, ako o tom informujú klimatické diagramy na obrázku 3.2. Tento výsledok tiež informuje o tom, že drevina smrek, ak je pestovaná v nižších nadmorských výškach pod 700 m n. m., pre nepriaznivé klimatické podmienky, je pre túto časť územia Slovenského raja z ekologického hľadiska aj ako hospodárska drevina nevhodná. Nižšie polohy neposkytujú priaznivé podmienky pre pestovanie a rast smreka. A ak sa pestuje aj v týchto podmienkach, jej lesné porasty trpia nielen vysokým rizikom výskytu požiarov, ale ich životnosť skraca tiež výskyt dlhších období sucha, premnoženia lykožrúta a iných biotických a abiotických prírodných živlov.



Tabuľka 3.20 Porovnanie výsledkov výpočtu kapitálových hodnôt lesnej pôdy  $B(u)$  v projektoch pestovania listnatých drevín pri absencii rizika s jej hodnotami v prítomnosti rizika  $B_r(u)$

DREVINA	BUK		DUB		JAVOR	
RUBNÁ DOBA (u)	HODNOTA PŮDY O RIZIKO ZVÝŠENÁ $B(u)$	HODNOTA PŮDY BEZ RIZIKA (f) = 0,001458 $B_r(u)$	HODNOTA PŮDY O RIZIKO ZVÝŠENÁ $B(u)$	HODNOTA PŮDY BEZ RIZIKA (f) = 0,001458 $B_r(u)$	HODNOTA PŮDY O RIZIKO ZVÝŠENÁ $B(u)$	HODNOTA PŮDY BEZ RIZIKA (f) = 0,001458 $B_r(u)$
[roky]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]
10	-81 191	-41 687	-95 699	-49 127	-64 674	-33 211
20	-28 595	-21 405	-36 962	-28 302	-24 877	-18 988
30	-15 002	-13 200	-22 327	-19 482	-12 625	-11 217
40	-9 880	-9 310	-15 866	-14 708	-5 281	-5 292
50	-4 522	-4 846	-9 216	-9 219	81	-722
60	-144	-1 082	-3 850	-4 643	4 355	3 005
70	2 987	1 652	-1 743	-2 816	7 971	6 222
80	5 795	4 131	2 859	1 170	10 426	8 440
90	7 438	5 618	3 335	1 640	13 076	10 833
100	<b>10 232</b>	8 103	4 864	3 015	<b>15 046</b>	12 645
110	10 214	<b>8 172</b>	5 584	3 694	15 036	<b>12 744</b>
120	9 336	7 501	6 999	4 980	14 665	12 525
130	8 843	7 144	<b>7 349</b>	<b>5 348</b>	12 492	10 737
140	8 358	6 784	5 847	4 112	11 618	10 049
150	8 079	6 616	5 699	4 055	11 100	9 668

### 3.5 NÁVRH SCENÁROV ADAPTAČNÝCH OPATRENÍ V HOSPODÁRENÍ NA LESNEJ PÔDE NA ZNÍŽENIE RIZIKA VÝSKYTU POŽIAROV NA ÚZEMÍ SLOVENSKEHO RAJA

Z prehľadu drevinového zastúpenia jednotlivých hospodárskych drevín na území Slovenského raja v tabuľke 3.1 vyplýva, že smrek v súčasnosti pokrýva plochu 9 540 ha (47,65 %) a je v tejto oblasti prevládajúcou drevinou. Zo spomenutých skutočností je však tiež zrejmé, že sa vyskytuje nielen v klimatickom areáli jeho prirodzeného rozšírenia vo vyšších polohách, ale aj v nižšej nadmorskej výške na plochách po umelom zalesňovaní, ktoré podmienky na jeho úspešné pestovanie a bezpečnú produkciu kvalitného dreva nespĺňajú.

Na zníženie rizika požiarov v lesoch národného parku je možné s využitím výsledkov analýzy súčasného stavu hospodárenia ako základné hospodárske opatrenie navrhnuť zmenu ich aktuálneho nepriaznivého drevinového zloženia. Cieľom tohto opatrenia je posilniť biologickú diverzitu lesných ekosystémov a ich rezilienciu v podmienkach meniacej sa klímy, ako aj znížiť očakávané ekonomické straty, ktoré predstavuje výskyt požiarov na tomto území. Na tieto účely je možné navrhnuť v rámci riešenia problému adaptácie lesníctva na výskyt požiarov tieto scenáre:

#### SCENÁR (0):

Je východiskovým scenárom, ktorý informuje o súčasnom z ekologického aj ekonomického hľadiska nevyhovujúcom drevinovom zložení lesov na území parku. Scenár predpokladá pokračujúci „status quo“ pri nezmenenom drevinovom zložení lesov parku v budúcnosti za predpokladu stacionárneho rizika výskytu požiarov, ktoré je dané maticami pravdepodobnosti prechodu porastov jednotlivých drevín z nižších vekových stupňov do vyšších (**W**). Formulácia základného scenára umožňuje vyhodnotiť efekty, ktoré môže vyvolať uskutočnenie iných navrhnutých scenárov adaptačných opatrení. Štruktúra východiskového scenára (0) pre vyhodnotenie dôsledkov je uvedená v tabuľke 3.21.

#### SCENÁR (1):

Štruktúra tohto scenára je navrhnutá pre meranie vplyvu opatrenia zameraného na pestovanie smreka v parku len na súčasných lokalitách situovaných vo výške nad 700 m n. m. Na nižšie umiestnených lokalitách by mali byť smrekové porasty nahradené zmiešanými porastami buka a jedle s lukratívnym jaseňom i inými listnatými drevinami, pri ktorých je riziko výskytu požiarov preukázateľne nižšie. Nahradenie smrekových monokultúr v polohách do 700 m n. m. zmiešaný-

mi porastmi uvedených lesných drevín by mohlo priniesť nielen zníženie rizika výskytu požiarov, ale aj zvýšenie stability umelých lesných ekosystémov vo vzťahu k riziku výskytu veterných vývratov. Pestrejšie drevinové zloženie v oblastiach do 700 m n. m. určite rozšíri biologickú diverzitu lesných ekosystémov a tým posilní ekologickú stabilitu celého zmeneného územia národného parku. Vyššia variabilita druhov lesných drevín v štruktúre zalesňovania zvýši atraktivnosť územia a poskytovanie ochranných, podporných a kultúrnych ekosystémových služieb lesa. Štruktúra scenára (1) zmeny drevinového zloženia je uvedená v tabuľke 3.22.

Tabuľka 3.21 Štruktúra východiskového scenára (0) pre vyhodnotenie dôsledkov zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku za prítomnosti rizika výskytu požiarov

SCENÁR (0)				
DREVINY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY
	SÚČASNÉ	APLIKOVANÉ ( u )	NAVRHOVANÉ	NAVRHOVANÉ ( u )
	( ha )	( roky )	( ha )	( roky )
Smrek	9 540,2011	150	9 540,2011	150
Jedľa	1 471,5735	150	1 471,5735	150
Borovica	1 131,2096	150	1 131,2096	150
Smrekovec	959,0255	150	959,0255	150
Buk	5 710,1056	150	5 710,1056	150
Dub	54,0578	150	54,0578	150
Javor	116,1242	150	116,1242	150
Ostatné listnaté	1 039,1111	150	1 039,1111	150
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>		<b>20 021,4083</b>	

Tabuľka 3.22 Štruktúra scenára (1) pre vyhodnotenie dôsledkov zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku za prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 700 m n. m.

SCENÁR (1)				
DREVINY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY
	SÚČASNÉ	APLIKOVANÉ ( u )	NAVRHOVANÉ	NAVRHOVANÉ ( u )
	( ha )	( roky )	( ha )	( roky )
Smrek	9 540,2011	150	7 949,1626	150
Jedľa	1 471,5735	150	1 719,8390	150
Borovica	1 131,2096	150	1 131,2096	150
Smrekovec	959,0255	150	959,0255	150
Buk	5 710,1056	150	6 657,6947	150
Dub	54,0578	150	54,0578	150
Javor	116,1242	150	317,5834	150
Ostatné listnaté	1 039,1111	150	1 232,8357	150
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>		<b>20 021,4083</b>	

### SCENÁR (2):

Štruktúra scenára je navrhnutá pre meranie vplyvu opatrenia zameraného na pestovanie smreka v parku len na súčasných lokalitách situovaných vo výške nad 800 m n. m. Na nižšie umiestnených lokalitách by mali byť smrekové porasty nahradené zmiešanými porastami buka a jedle s vyšším zastúpením javora horského (*Acer pseudoplatanus*, L.) ako lukratívnej dreviny, ktorej pestovanie môže zvýšiť rentabilitu lesníctva aj vo vyšších horských polohách parku. V navrhovanom drevinovom zložení sa uvažuje aj s vyšším zastúpením ostatných menej rizikových listnatých drevín. Nahradenie smrekových monokultúr v polohách do 800 m n. m. zmiešanými porastami uvedených lesných drevín by mohlo priniesť nielen podstatné zníženie rizika požiarov, ale tiež aj spomenuté zníženie rizika výskytu ničivých vetrov. Štruktúra scenára (2) zmeny drevinového zloženia lesov Slovenského raja je uvedená v tabuľke 3.23.

Tabuľka 3.23 Štruktúra scenára (2) pre vyhodnotenie dôsledkov zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku za prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 800 m n. m.

SCENÁR (2)				
DREVINY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY
	SÚČASNÉ	APLIKOVANÉ (u)	NAVRHOVANÉ	NAVRHOVANÉ (u)
	( ha )	( roky )	( ha )	( roky )
Smrek	9 540,2011	150	7 227,4803	150
Jedľa	1 471,5735	150	1 832,4503	150
Borovica	1 131,2096	150	1 131,2096	150
Smrekovec	959,0255	150	959,0255	150
Buk	5 710,1056	150	7 087,5136	150
Dub	54,0578	150	54,0578	150
Javor	116,1242	150	408,9539	150
Ostatné listnaté	1 039,1111	150	1 320,7174	150
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>		<b>20 021,4083</b>	

### SCENÁR (3):

Štruktúra scenára (3) je navrhnutá pre meranie vplyvu opatrenia zameraného na pestovanie smreka v parku len na súčasných lokalitách situovaných vo výške nad 900 m n. m. Na vybraných nižšie umiestnených lokalitách by mali byť smrekové monokultúrne porasty tiež nahradené zmiešanými porastami buka a jedle s vyšším zastúpením javora horského (*Acer pseudoplatanus*, L.) a už aj jarabiny vtácej (*Sorbus aucuparia*, L.) ako dreviny, ktorej pestovanie pri nízkom riziku výskytu požiarov zvyšuje ekologickú stabilitu lesných ekosystémov aj v najvyššie položených častiach parku. V navrhovanom drevinovom zložení sa tiež uvažuje aj s vyšším zastúpením ostatných menej rizikových listnatých drevín, ktoré sú z hľadiska fytoecológie vhodné do vyšších lesných vegetačných stupňov územia parku. Nahradenie smrekových monokultúr v polohách do 900 m n. m. zmiešanými porastami uvedených lesných drevín by mohlo priniesť nielen podstatné zníženie rizika požiarov, ale na tomto území tiež aj spomenuté zníženie rizika výskytu ničivých vetrov. Štruktúra scenára (3) navrhovanej zmeny drevinového zloženia lesov Slovenského raja je uvedená v tabuľke 3.24.

Tabuľka 3.24 Štruktúra scenára (3) pre vyhodnotenie dôsledkov zmeny drevinového zloženia na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy národného parku za prítomnosti rizika výskytu požiarov predpokladaným odstránením porastov smreka z polôh nižších ako 900 m n. m.

SCENÁR (3)				
DREVINY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY	PLOCHY DREVÍN	RUBNÉ DOBY
	SÚČASNÉ	APLIKOVANÉ (u)	NAVRHOVANÉ	NAVRHOVANÉ (u)
	( ha )	( roky )	( ha )	( roky )
Smrek	9 540,2011	150	5 882,1360	150
Jedľa	1 471,5735	150	2 042,3777	150
Borovica	1 131,2096	150	1 131,2096	150
Smrekovec	959,0255	150	959,0255	150
Buk	5 710,1056	150	7 888,7725	150
Dub	54,0578	150	54,0578	150
Javor	116,1242	150	579,2973	150
Ostatné listnaté	1 039,1111	150	1 484,5321	150
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>		<b>20 021,4083</b>	

Všetky uvažované scenáre navrhovaných adaptačných opatrení v rámci hospodárenia na lesnej pôde na zníženie rizika výskytu požiarov uvažujú s nezmenenou dĺžkou rubnej doby všetkých drevín v trvaní (u)=150 rokov. Hoci táto dĺžka rubnej doby sa pri projektoch pestovania jednotlivých drevín nezohľadňuje s ekonomicky optimálnym časom trvania tejto veličiny, všetky navrhované scenáre zohľadňujú skutočnosť, že ide o územie národného parku a jeho ochranných zón, kde je potrebné posilňovať aj poskytovanie iných ekosystémových služieb lesa pre prírodné prostredie i spoločnosť, nielen samotnú produkciu dreva. Navrhované predĺženie rubnej doby pri všetkých drevinách na jednej strane znižuje objem vyťaženého dreva, ale na druhej strane posilňuje biologickú diverzitu a zvyšuje hodnotu externých materiálnych i nemateriálnych úžitkov, ktoré plynú z tohto jedinečného ekosystému pre prírodu i spoločnosť.

Medzi adaptačné opatrenia na zvýšené riziko výskytu požiarov na území parku však nemožno považovať len navrhovanú zmenu drevinového zloženia lesných porastov. Sem možno zaradiť tiež všetky preventívne opatrenia na zabránenie

nie vzniku požiarov. Patrí sem tiež monitorovanie územia parku prostredníctvom systému kamier s cieľom identifikovať zdroje vzniku spalín v atmosfére od vzniku nekontrolovaného ohňa a jeho šírenia v čo najkratšom čase. Lokalizáciu a potlačenie požiarov podporuje sprístupnenie častí územia parku s vysokým rizikom výskytu požiarov vybudovaním ciest na presunu požiarnej techniky. Dôležité je tiež vybudovanie rezervoárov na zachytávanie vody potrebnej na hasenie, ak sa požiar na udalosť vyskytne. Potlačeniu požiarov vo vyšších horských polohách môže napomôcť aj zriadenie heliportov na urýchlenie dopravy hasičských výsadek na miesto zásahu. Analýza efektívnosti týchto adaptačných opatrení však presahuje rámec tejto štúdie.

### 3.6 VYHODNOTENIE EKONOMICKÉHO EFEKTU ZNÍŽENIA RIZIKA VÝSKYTU POŽIAROV ZMENOU DREVINOVÉHO ZLOŽENIA PRI ZALESŇOVANÍ

Výsledky analýzy jednotlivých navrhovaných scenárov poskytli veľmi zaujímavé podklady pre rozhodovanie o budúcom vhodnejšom zastúpení lesných drevín na pozorovanom území Národného parku Slovenský raj.

Výsledky analýzy základného východiskového scenára (0) podávajú informáciu o kapitálovej hodnote lesnej pôdy, ktorú determinuje súčasné drevinové zloženie pri absencii, ale aj v prítomnosti rizika výskytu požiarov. Tieto výsledky sú prehľadne usporiadané v tabuľke 3.25.

Tabuľka 3.25 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci scenára (0) pri súčasnom nevhodnom drevinovom zložení lesov parku

SCENÁR (0)					
DREVINY	PLOCHY	HODNOTA PÔDY		HODNOTA PÔDY CELKOM	
		S RIZIKOM $B_{(150)}$	BEZ RIZIKA $B_{(150)}$	S RIZIKOM $B_{(150)}$	BEZ RIZIKA $B_{(150)}$
	[ha]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR]	[EUR]
Smrek	9 540,2011	6 088	4 215	58 081 509	40 207 626
Jedľa	1 471,5735	7 851	5 564	11 553 980	8 188 119
Borovica	1 131,2096	5 823	3 188	6 587 034	3 606 524
Smrekovec	959,0255	9 512	8 344	9 122 292	8 002 551
Buk	5 710,1056	8 079	6 616	46 134 605	37 779 485
Dub	54,0578	5 699	4 055	308 050	219 226
Javor	116,1242	11 100	9 668	1 288 974	1 122 693
Ostatné listnaté	1 039,1111	5 699	4 055	5 921 401	4 214 015
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>	<b>6 942</b>	<b>5 161</b>	<b>138 997 845</b>	<b>103 340 239</b>

Možná realizácia navrhovaného scenára (1), ktorý počíta s pestovaním dreviny smrek len vo výške 700 m n. m. a viac, znamená podstatné zníženie zastúpenia smreka na lokalitách nevhodných pre rast tejto dreviny. Predstavuje minimalistický variant zmeny drevinového zloženia, ktorá je potrebná tak z ekologického, ako aj ekonomického hľadiska. Zmenšenie plochy smreka však umožňuje lesnú pôdu využiť na realizáciu menej rizikových, a preto rentabilnejších lesníckych projektov pestovania iných, hlavne listnatých drevín a tým jej kapitálovú hodnotu zvýšiť. Zastúpenie drevín borovica, smrekovec a dub ostáva nezmenené. Dôvody ponechať súčasné zastúpenie drevín na ploche parku nezmenené sú tieto:

1. Borovica, hoci je z hľadiska hazardu výskytu požiarov najohrozenejšou drevinou, je na súčasných lokalitách jej pestovania tiež dôležitá z ekologického hľadiska. Zaberá len plochy, pre ktoré sú charakteristické extrémne pôdne a mikroklimatické podmienky, a k jej funkcii ochrany plytkých vápencových a dolomitických rendzínových pôd na strmých svahoch pred eróziou na území parku alternatíva neexistuje.
2. Smrekovec je lukratívnou drevinou, ktorá napriek vyššiemu hazardu výskytu požiarov rastie v prevažne zmiešaných porastoch s listnatými drevinami hospodárskych súborov lesných typov, ktoré plne zodpovedajú ekologickým nárokom na jej úspešné pestovanie.
3. Drevina dub sa vyskytuje len na západnej hranici parku, kde rastie na ploche niečo vyše 5 km<sup>2</sup> v podmienkach, ktoré zodpovedajú prirodzenému areálu jeho rozšírenia.

Výsledky výpočtu vplyvu zmeny drevinového zloženia lesov parku podľa scenára (1) na kapitálovú hodnotu jeho pôdy sú uvedené v tabuľke 3.26.



Tabuľka 3.25 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci scenára (1), ktorý počíta s pestovaním dreviny smrek len vo výške 700 m n. m. a viac

SCENÁR (1)					
DREVINY	PLOCHY	HODNOTA PŮDY		HODNOTA PŮDY CELKOM	
		S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_r(150)$	S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_r(150)$
	[ha]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR]	[EUR]
Smrek	7 949,1626	6 088	4 215	48 395 140	33 502 120
Jedľa	1 719,8390	7 851	5 564	13 503 223	9 569 515
Borovica	1 131,2096	5 823	3 188	6 587 034	3 606 524
Smrekovec	959,0255	9 512	8 344	9 122 292	8 002 551
Buk	6 657,6947	8 079	6 616	53 790 619	44 048 971
Dub	54,0578	5 699	4 055	308 050	219 226
Javor	317,5834	11 100	9 668	3 525 164	3 070 409
Ostatné listnaté	1 232,8357	5 699	4 055	7 025 345	4 999 647
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>	<b>7 105</b>	<b>5 345</b>	<b>142 256 867</b>	<b>107 018 963</b>

Scenár (2) predstavuje rozšírenie myšlienky zlepšenia drevinového zloženia lesov s cieľom nielen podstatne znížiť riziko výskytu požiarov a zvýšiť ekologickú stabilitu lesných porastov, ale aj zvýšiť rentabilitu hospodárenia na lesnej pôde parku. So smrekom sa napriek vyššiemu riziku projektov jeho pestovania ešte uvažuje ako s hospodárskou drevinou aj v nižších polohách ako 900 m n. m. Jeho ponechanie pre hospodárske pestovanie v týchto podmienkach je možné zdôvodniť vyššími prírastkami objemu a hodnoty dreva na pni, pretože s rastom nadmorskej výšky predsa len ročné úhrny zrážok stúpajú. Scenár (2) uvažuje s nahradením smreka bukom, javorom a jedľou v optimálnom pomere zastúpenia týchto drevín pre dané pôdne a klimatické podmienky. Prehľad výsledkov kalkulácie vplyvu zníženie rizika požiarov na zvýšenie kapitálovej hodnoty lesnej pôdy parku je uvedený v tabuľke 3.27.

Navrhnutý scenár (3) predstavuje maximalistický variant nevyhnutnej zmeny drevinového zloženia lesov parku. Smrek ako drevina boreálnej klímy, ktorá sa na tomto území vyskytuje ako relikv doby ľadovej, by sa ďalej pestoval len v areáli, ktorý aj v súčasnosti počas pokračujúcej zmeny klímy stále ešte zodpovedá vhodným klimatickým podmienkam jeho prirodzeného rozšírenia. Zrejme práve realizácia tohto scenára by znížila riziko výskytu požiarov i iných druhov hazardu, ktorými je táto drevina ohrozená, na akceptovateľnú úroveň. Výsledky vplyvu tohto scenára na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy parku sú uvedené v tabuľke 3.28.

Tabuľka 3.26 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci scenára (2), ktorý počíta s pestovaním dreviny smrek len vo výške 800 m n. m. a viac

SCENÁR (2)					
DREVINY	PLOCHY	HODNOTA PŮDY		HODNOTA PŮDY CELKOM	
		S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_r(150)$	S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_r(150)$
	[ha]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR]	[EUR]
Smrek	7 227,4803	6 088	4 215	44 001 480	30 460 556
Jedľa	1 832,4503	7 851	5 564	14 387 385	10 196 106
Borovica	1 131,2096	5 823	3 188	6 587 034	3 606 524
Smrekovec	959,0255	9 512	8 344	9 122 292	8 002 551
Buk	7 087,5136	8 079	6 616	57 263 326	46 892 760
Dub	54,0578	5 699	4 055	308 050	219 226
Javor	408,9539	11 100	9 668	4 539 373	3 953 783
Ostatné listnaté	1 320,7174	5 699	4 055	7 526 141	5 356 043
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>	<b>7 179</b>	<b>5 429</b>	<b>143 735 081</b>	<b>108 687 548</b>

Tabuľka 3.27 Výsledky výpočtu kapitálovej hodnoty lesnej pôdy pri absencii a prítomnosti rizika požiarov v rámci scenára (3), ktorý počíta s pestovaním dreviny smrek len vo výške 900 m n. m. a viac

SCENÁR (3)					
DREVINY	PLOCHY	HODNOTA PŮDY		HODNOTA PŮDY CELKOM	
		S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_f(150)$	S RIZIKOM $B(150)$	BEZ RIZIKA $B_f(150)$
	[ha]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR · ha <sup>-1</sup> ]	[EUR]	[EUR]
Smrek	5 882,1360	6 088	4 215	35 810 916	24 790 539
Jedľa	2 042,3777	7 851	5 564	16 035 618	11 364 183
Borovica	1 131,2096	5 823	3 188	6 587 034	3 606 524
Smrekovec	959,0255	9 512	8 344	9 122 292	8 002 551
Buk	7 888,7725	8 079	6 616	63 737 070	52 194 088
Dub	54,0578	5 699	4 055	308 050	219 226
Javor	579,2973	11 100	9 668	6 430 179	5 600 670
Ostatné listnaté	1 484,5321	5 699	4 055	8 459 643	6 020 377
<b>CELKOM</b>	<b>20 021,4083</b>	<b>7 317</b>	<b>5 584</b>	<b>146 490 802</b>	<b>111 798 158</b>

### 3.7 DISKUSIA K VÝSLEDKOM EKONOMICKEJ ANALÝZY SCENÁROV ZMENY DREVINOVÉHO ZLOŽENIA LESOV PARKU

Dôležité informácie pre možnú realizáciu jednotlivých navrhnutých scenárov (V) v praxi priniesla analýza alternatívnych nákladov  $AN(V)$ , ktoré sú spojené s rozhodnutím ich uskutočniť. Tabuľka 3.29 uvádza alternatívne náklady stratenej príležitosti rozhodnutia zanechať súčasné nevhodné drevinové zloženie lesov parku, ktoré reprezentuje scenár (0) s hodnotou pôdy parku pri absencii rizika požiarov  $B(150;0)$ , a rozhodnúť sa pre niektorý z iných scenárov (V) vyhodnotených tiež pri absencii tohto rizika. Ekonomický zisk  $EZ(V)$  z rozhodnutia uprednostniť niektorý zo scenárov (V) zmeny drevinového zloženia sa potom vypočíta:

$$EZ(V) = B(150;V) - AN(V) \quad (3.17)$$

Z výsledkov výpočtu v tabuľke je zrejmé, že zmena drevinového zloženia je vo všetkých navrhovaných scenároch prospešná aj pri uvažovanej absencii rizika, to znamená aj bez zahrnutia rizika požiarov do kalkulácie hodnoty pôdy. Vynechanie rizika požiarov z analýzy poskytuje len výsledky deterministického modelu hospodárenia, ktoré neumožňujú odmerať vplyv pravdepodobnosti zlyhania lesníckych projektov na kapitálovú hodnotu lesnej pôdy parku.

Tabuľka 3.30 uvádza alternatívne náklady stratenej príležitosti rozhodnutia zanechať súčasné nevhodné drevinové zloženie lesov parku, ktoré reprezentuje scenár (0) s hodnotou pôdy parku v prítomnosti rizika požiarov  $B_f(150;0)$ , a rozhodnúť sa pre niektorý z iných scenárov (V) vyhodnotených tiež v prítomnosti tohto rizika. Ekonomický zisk  $EZ_f(V)$  z rozhodnutia uprednostniť niektorý zo scenárov (V) zmeny drevinového zloženia sa potom vypočíta:

$$EZ_f(V) = B_f(150;V) - AN_f(V) \quad (3.17)$$

Výsledky uvedené v tejto tabuľke poskytujú dôležitú informáciu o tom, že zahrnutím rizika vzniku požiarov do ekonomickej analýzy je možné odhaliť vždy vyšší ekonomický zisk  $EZ_f(V)$  z rozhodnutia uskutočniť niektorý z uvedených scenárov (V) zmeny drevinového zloženia ako jemu zodpovedajúci ekonomický zisk pri absencii rizika  $EZ(V)$ .

O výške prírastku hodnôt ekonomického zisku  $\Delta EZ_f(V)$  pri rozhodovaní o prijatí niektorého z reálnych scenárov (V) kalkulácie hodnoty lesnej pôdy pri zmene drevinového zloženia v prítomnosti rizika informujú hodnoty tejto veličiny uvedené v tabuľke 3.31.

Práve prírastok ekonomického zisku  $\Delta EZ_f(V)$  pri jednotlivých variantoch scenárov (V) zmeny drevinového zloženia je ukazovateľom možného pozitívneho ekonomického efektu zníženia rizika výskytu požiarov v lesoch Slovenského raja.

Obsahom tejto pilotnej prípadovej štúdie je len analýza rizika požiarov a vyhodnotenie efektu len jedného adaptačného opatrenia, ktorým je zmena drevinového zloženia na území parku. Analýzu špecifického rizika lesníctva v týchto podmienkach je však možné ďalej rozšíriť o analýzu iných druhov tohto rizika, akými sú vietor, hmyz, sneh a sucho. A okrem zmeny drevinového zloženia v rámci hospodárskej úpravy lesov parku pre adaptáciu hospodárenia na tieto druhy hazardu navrhnúť a vyhodnotiť aj iné opatrenia.

Tabuľka 3.28 Výpočet výšky alternatívnych nákladov  $AN(V)$  realizácie navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia a kapitálovej hodnoty lesnej pôdy Slovenského raja vo vzťahu k rozhodnutiu o ich prijatí do praxe pri absencii rizika výskytu požiarov

VARIANTY NAVRHNUTÝCH SCENÁROV	(V)		SCENÁR (0)	SCENÁR (1)	SCENÁR (2)	SCENÁR (3)
HODNOTA PÔDY O RIZIKO ZVÝŠENÁ	$B(150;V)$	[EUR]	138 997 845	142 256 867	143 735 081	146 490 802
ALTERNATÍVNE NÁKLADY ROZHODNUTIA	$AN(V)$	[EUR]	0	138 997 845	138 997 845	138 997 845
EKONOMICKÝ ZISK ROZHODNUTIA	$EZ(V)$	[EUR]	0	3 259 022	4 737 236	7 492 957

Tabuľka 3.29 Výpočet výšky alternatívnych nákladov  $AN(V)$  realizácie navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia a kapitálovej hodnoty lesnej pôdy Slovenského raja vo vzťahu k rozhodnutiu o ich prijatí do praxe v prítomnosti rizika výskytu požiarov

VARIANTY NAVRHNUTÝCH SCENÁROV	(V)		SCENÁR (0)	SCENÁR (1)	SCENÁR (2)	SCENÁR (3)
HODNOTA PÔDY O RIZIKO ZNÍŽENÁ	$B_f(150;V)$	[EUR]	103 340 239	107 018 963	108 687 548	111 798 158
ALTERNATÍVNE NÁKLADY ROZHODNUTIA	$AN_f(V)$	[EUR]	0	103 340 239	103 340 239	103 340 239
EKONOMICKÝ ZISK ROZHODNUTIA	$EZ_f(V)$	[EUR]	0	3 678 724	5 347 309	8 457 919

Tabuľka 3.30 Výpočet výšky ekonomického zisku pri absencii rizika  $EZ(V)$  a ekonomického zisku v prítomnosti rizika  $EZ_f(V)$  pri rozhodnutí o prijatí niektorého z navrhnutých scenárov zmeny drevinového zloženia do praxe

VARIANTY NAVRHNUTÝCH SCENÁROV	(V)		SCENÁR (0)	SCENÁR (1)	SCENÁR (2)	SCENÁR (3)
EKONOMICKÝ ZISK ROZHODNUTIA	$EZ(V)$	[EUR]	0	3 259 022	4 737 236	7 492 957
EKONOMICKÝ ZISK ROZHODNUTIA	$EZ_f(V)$	[EUR]	0	3 678 724	5 347 309	8 457 919
PRÍRASTOK EKONOMICKÉHO ZISKU	$\Delta EZ_f(V)$	[EUR]	0	419 702	610 074	964 963

# 4 VIETOR AKO NAJVÝZNAMNEJŠÍ ABIOTICKÝ ŠKODLIVÝ ČINITEĽ – ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU A MOŽNOSTI ADAPTÁCIE HOSPODÁRENIA

## 4.1 ÚVOD

Na území Slovenska tvoria lesy približne 41 % rozlohy krajiny, pričom rozvoj lesných porastov vykazuje pozitívny trend (od roku 2000 vzrástla rozloha lesa o 14 115 ha). Zdravotný stav lesov, hoci sa v posledných rokoch stabilizoval, zaostáva za európskym priemerom. Lepšia situácia, na základe indikátora defoliácie, je v prípade listnatých drevín, pri ihličnanoch je zaznamenané výrazné zhoršenie, a to najmä v posledných rokoch. Drevinová skladba súčasných lesov je výrazne formovaná dlhodobým pôsobením človeka, pričom len približne 40 – 45 % môže byť klasifikovaných ako prirodzené lesy. Lesy s neprirodzeným drevinovým zložením sú osobitne citlivé na klimatické vplyvy, ako sú silné vetry, mrazy, vysoká a dlhotrvajúca snehová pokrývka či dlhotrvajúce obdobia sucha, a tiež na biotické hrozby, najmä podkôrneho a drevo-kazného hmyzu. Významným antropogénnym faktorom, ktorý negatívne ovplyvňuje lesné ekosystémy, je komerčná lesohospodárska činnosť. Narastá tlak spojený so športovým a rekreačným využívaním lesných ekosystémov vrátane výstavby rozsiahlych rekreačných komplexov a rozširovania lyžiarskych stredísk. Znečisťovanie ovzdušia (imisie) je ďalším aspektom, ktorý negatívne ovplyvňuje lesné ekosystémy na Slovensku.

Z lesníckeho hľadiska sa za nebezpečný považuje vietor a víchrica nad 70 km.hod-1. Najväčšie riziko však predstavuje nárazový vietor a v horských oblastiach vietor prepadavý (Stolina, 2001). Na základne podrobnej analýzy nebezpečných vetrov (nad 8 stupeň Beauforta, čo je búrlivý vietor o rýchlosti viac ako 70 km.hod-1) podľa údajov SHMÚ bolo zistené, že priemerná ročná početnosť týchto vetrov sa v porovnaní so situáciou do roku 1960 zvýšila o viac ako dvojnásobok. Potvrdili sa tým doterajšie hypotézy o náraste početnosti nebezpečných vetrov pre lesné porasty, pričom k výraznému nárastu došlo práve pri vyšších rýchlostiach, a to hlavne v lesných oblastiach Tatry a Nízke Tatry. Smerom k vyššie ležiacim vegetačným stupňom sa početnosť vetrov s vyššou rýchlosťou zvyšuje, čím sa zvyšuje aj riziko poškodzovania lesných porastov vetrom. Nejde už len o lesné oblasti s prevahou smreka, ale rozsiahle vetrové kalamity sa v ostatnom desaťročí vyskytovali aj v bučinách (Škvarenina et al., 2010). Ako sekundárny rizikový faktor negatívne ovplyvňujúci odolnosť lesných ekosystémov pred vetrom sa prejavuje zmena v štandardných smeroch prúdenia vzduchu na našom území. Ako uvádza Merganič a kol. (2020), jednotlivé stromy a porasty majú najvyššiu odolnosť proti vyvráteniu alebo zlomeniu voči najčastejšie sa vyskytujúcejmu smeru vetra. S ohľadom na tento fakt sa odporúčalo realizovať aj niektoré pestovno-ochranné opatrenia (napr. porastové plášte). Dreviny sú schopné prirodzene posilňovať odolnosť voči prevládajúcejmu smeru vetru napr. rozmiestnením biomasy koreňov, tvorbou koreňových nábehov, zmenou tvaru priečneho prierezu územkovej časti kmeňa a koreňov, tvarom koruny. Ak globálna zmena klímy náhle ovplyvní smery vetrov, tieto budú vo veľkej miere ohrozovať najmä staršie lesné porasty.

Vetrové kalamity majú krátkodobý, ale aj dlhodobý dosah na dané územie a región. Z krátkodobého hľadiska ide o priame škody na lesných porastoch a lesnej infraštruktúre, ktoré je potrebné urýchlene sanovať. Zo strednodobého hľadiska ide o riziko vzniku následných škôd spôsobených najmä biotickými škodlivými činiteľmi, ako to môžeme v súčasnosti sledovať v oblasti Vysokých Tatier. Z ekonomického hľadiska, ako aj z hľadiska zabezpečenie trvalo udržateľného hospodárenia predstavujú náhodné ťažby výpadok príjmov obhospodarovateľov lesnej pôdy, zníženie plnenia celej škály ekosystémových služieb, ako aj negatívne dôsledky na mikroregióny.

Zvolená metodika zostavenia štúdie aplikuje už overené postupy hodnotenia vplyvu rizika výskytu náhodných ťažieb spôsobených vetrom na hospodárenie na lesnej pôde. Pozostáva z nasledujúcich krokov:

1. Zber údajov o náhodných ťažbách za vybrané obdobie 20 rokov v členení podľa jednotlivých drevín a vekových stupňov. Použité sú údaje získané zo štatistických zisťovaní realizovaných Národným lesníckym centrom. Pre zabezpečenie konzistencie údajov je zostavený výberový súbor o výmere 935 520 ha (priemerná zásoba za sledované obdobie 231 435 520 m<sup>3</sup>).
2. Zhodnotenie významnosti pôsobenia vetra ako škodlivého činiteľa na jednotlivé dreviny.
3. Kvantifikácia rizika výskytu náhodných ťažieb na základe dostupných historických údajov.
4. Návrh opatrení.



## 4.2 ZHODNOTENIE VÝZNAMNOSTI PÔSOBENIA ŠKODLIVÉHO ČINITEĽA

Vietor je dôležitým prírodným fenoménom pôsobiacim v lesoch. Za posledné desaťročie spôsobili veterné smršte na území Slovenska rozsiahle ekonomické straty. Už v osemdesiatych rokoch 20. storočia vznikli prognózy upozorňujúce na možný častejší výskyt silných vetrov a rast ich intenzity v budúcnosti. Kunca a kol. (2014) identifikovali vietor ako hlavný abiotický škodlivý činiteľ spôsobujúci v lesných porastoch Slovenska najväčšie škody. Veterné smršte veľkej sily môžu spôsobiť komplexný rozvrat porastov na veľkých plochách, čo si následne vyžaduje náročné pestovné a ochranné zásahy. Prehľad najvýznamnejších veterných kalamít od roku 1990 uvádza tabuľka 4.1.

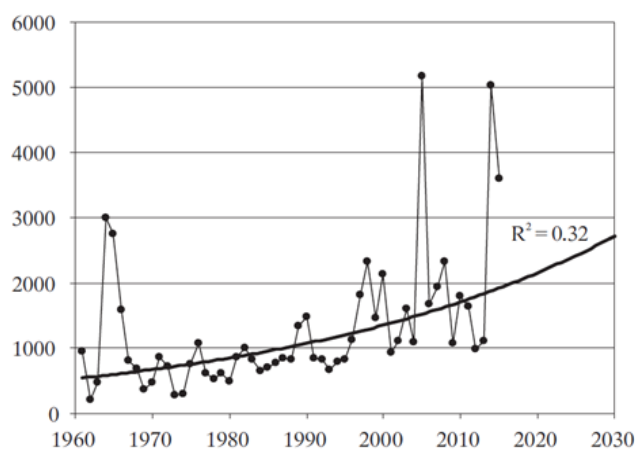
Tabuľka 4.1 Prehľad najvýznamnejších veterných kalamít od roku 1990

Rok	Objem poškodenej drevnej hmoty	Najviac postihnutá oblasť
1996 „Ivan“	1,5 mil. m <sup>3</sup>	Horehronie
1999 „Paulína“	1,0 mil. m <sup>3</sup>	Horná Nitra
2002 „Sabína“ a „Klaudia“	1,5 mil. m <sup>3</sup>	Vysoké Tatry, Spiš, Orava, Slovenské Rudohorie
2004 „Alžbeta“	5,3 mil. m <sup>3</sup>	Vysoké Tatry, Nízke Tatry
2007 „Kyrill“	0,39 mil. m <sup>3</sup>	Nízke Tatry
2007 „Filip“	1,0 mil. m <sup>3</sup>	Nízke Tatry, Gemer
2010 „Gizela“	0,47 mil. m <sup>3</sup>	Malé Karpaty
2014 „Žofia“	5,23 mil. m <sup>3</sup>	Orava, Slovenské Rudohorie, Revúcka vrchovina, Nízke Tatry

Zdroj: Národný lesnícky ústav, MPSR

Znepokojujúcim javom je, že za ostatných dvadsať rokov sa objavili už dve mimoriadne rozsiahle kalamity (2005, 2014), pričom za celé obdobie rokov 1960 až 2003 bola iba jedna takáto udalosť. Vývoj objemu náhodných ťažieb do roku 2020 s extrapoláciou do roku 2030 približuje obrázok 4.1. Časový rad veterných disturbancií je ovplyvnený jednotlivými extrémnymi udalosťami, ako sú priblížené v tabuľke 4.1. Zároveň rastie početnosť menších udalostí na lokálnej úrovni [Orkán Martin (2015), Orkán Vaia (2018), Búrka Herwart (2017)], pričom významným sa stáva ich kumulatívne ročné vyjadrenie na úrovni vyššej ako 1 mil. m<sup>3</sup> drevnej hmoty.

Vo svojich štúdiách Nabipour et al. (2020), resp. Pryor a Barthelmie (2010) uvádzajú, že časové a priestorové analýzy týkajúce sa zmien charakteristík vetra zatiaľ nepriniesli jednoznačnú odpoveď o následkoch klimatickej zmeny na tento meteorologický jav. Avšak autori J. Konôpka, Šebeň, B. Konôpka (2021) upozorňujú, že s pribúdajúcimi argumentmi a nepriamymi dôkazmi sa postupne posilňuje pravdepodobnosť zvyšovania rizika veterných disturbancií v lesoch ako inherentného javu meniacej sa klímy. Predikcia výskytu náhodných ťažieb spôsobených vetrom je pomerne zložitá, vzhľadom na komplexnosť klimatických, stanovištných, porastových a stromových charakteristík ovplyvňujúcich mieru poškodenia či zničenia porastu týmto abiotickým činiteľom. V rámci dostupných modelov (Konôpka a kol., 2016, J. Konôpka a B. Konôpka 2007) je možné sledovať trend rastu v objeme kalamitnej ťažby, ktorý je v niektorých rokoch posilnený extrémnymi hodnotami. Priemerný ročný objem je možné očakávať do roku 2030 na úrovni 2,5 mil. m<sup>3</sup>. Je však potrebné zdôrazniť, že ide skôr o odhad realizovaný na podklade historických dát, nie o presnú predpoveď. Skutočné hodnoty budú závisieť od vývoja počasia, čo nie je možné jednoznačne stanoviť.



Obrázok 4.1 Vývoj náhodných ťažieb od roku 1960 a prognóza ich vývoja do roku 2030 podľa Konôpku a kol. (2016)

Rozsah škôd spôsobených sledovaným škodlivým činiteľom je u jednotlivých drevín rozdielny. Na základe získaných vstupných údajov je potrebné pristúpiť k zhodnoteniu štatistickej významnosti pôsobenia vetra ako škodlivého činiteľa na jednotlivé dreviny. Testuje sa hodnota relatívnej početnosti zničenia plochy dreveniny pri normálnom rozdelení vekových stupňov pomocou nulovej hypotézy:

$$H_0 : \hat{p} = 0 \quad (4.1)$$

Použitá testovacia charakteristika bola stanovená na základe vzťahu (Triola, 1989):

$$z = \frac{(\hat{p}_1 - \hat{p}_2)}{\sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{H_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{H_2}}} \quad (4.2)$$

Vzťah (4.2) je pre potreby testovania uvedenej nulovej hypotézy potrebné upraviť:

$$z = \frac{\hat{p}}{\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{N}}} \quad (4.3)$$

kde:  $\hat{p}$  – relatívna početnosť zničenia pri normálnom rozdelení vekových stupňov,

$N$  – plocha dreveniny.

Testovacia charakteristika  $z$  je porovnávaná s kritickou hodnotou normovaného normálneho rozdelenia  $Z_\alpha$  pre obojstranný test na hladine významnosti  $\alpha = 0,5$ . Z ďalších analýz sú vylúčené dreviny, pri ktorých je možné hypotézu  $H_0$  potvrdiť. U týchto drevín je celkový rozsah škôd spôsobených vetrom zanedbateľný.

Výsledky štatistickej analýzy pôsobenia vetra ako škodlivého činiteľa na jednotlivé dreviny na základe údajov o náhodných ťažbách za obdobie rokov 2000 – 2020 potvrdilo významnosť tohto škodlivého činiteľa pri všetkých analyzovaných druhoch (tabuľka 4.2).

Tabuľka 4.2 Posúdenie významnosti pôsobenia vetra na jednotlivé dreviny

Drevina	Štatistická významnosť
Smrek obyčajný	významné
Jedľa biela	významné
Borovica obyčajná	významné
Smrekovec opadavý	významné
Dub letný + Dub zimný	významné
Buk lesný	významné
Hrab obyčajný	významné
Javor horský	významné
Jaseň štíhly	významné
Jelša lepkavá	významné
Lipa	významné
Topoľ	významné

Pravdepodobnosti poškodenia, resp. zničenia sú následne stanovené pre všetky dreviny.

## 4.3 ANALÝZA A OPIS RIZIKA

Riziko výskytu náhodných ťažieb spôsobených vetrom v jednotlivých vekových stupňoch je vhodné kvantifikovať na základe bodových odhadov pravdepodobnosti  $\hat{p}(t)$ , ktoré vyjadrujú pravdepodobnosť, že 1 ha porastu danej dreveniny vo veku ( $t$ ) bude zničený daným škodlivým činiteľom počas 1 roka, resp. 10 rokov (tabuľka 3.3). Vychádza sa zo vzťahu:

$$\hat{p}(t) = k \cdot \Delta \hat{F}(t) \cdot \hat{f} \quad (4.4)$$

pričom

$$\Delta F(t) = \hat{F}(t) - \hat{F}(t-1) \quad (4.5)$$

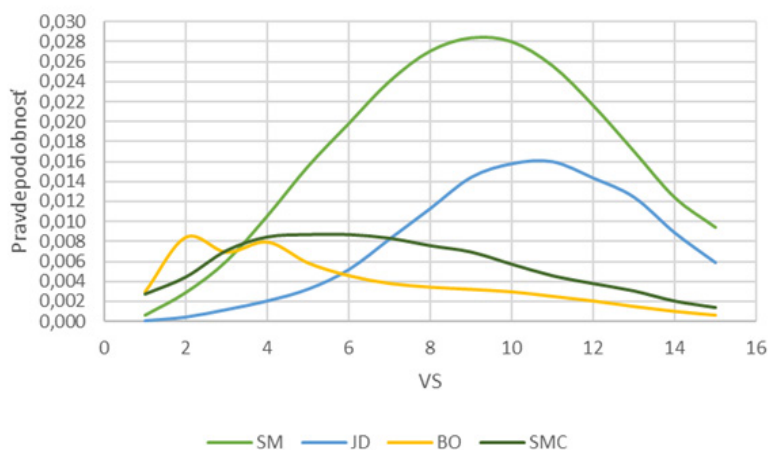
kde: k – celkový počet vekových stupňov dreviny (= 15),

$\hat{f}$  – relatívna početnosť výskytu náhodných ťažieb na sledovanom území (n/N),

$\Delta \hat{F}(t)$  – pravdepodobnosť zničeného porastu v jednotlivých vekových stupňoch.  $F(t)$  je teoretická distribučná funkcia získaná aplikáciou Weibullova rozdelenia pravdepodobností  $W(c, \gamma)^1$ .

Bodové odhady pravdepodobností zároveň umožňujú analýzu vývoja rizika poškodenia porastov vo väzbe na ich vek a druhové zloženie. Sú vstupom do ďalších analýz, ako stanovenie kapitálovej hodnoty lesnej pôdy, ekonomických dôsledkov na vlastníkov a obhospodarovateľov lesa, ako aj poistných modelov.

Výsledky modelovania rizika potvrdili najväčšiu mieru citlivosti u drevín smrek obyčajný (*Picea abies*, L.) a buk lesný (*Fagus sylvatica*, L.). Ide o dôsledok synergického efektu pôsobenia jednotlivých škodlivých činiteľov a klimatických zmien. Z klimatických zmien je to najmä sucho a nevyrovnaná distribúcia zrážok počas roka, čo sa následne prenáša do zhoršeného zdravotného stavu takýchto porastov vo viacerých oblastiach Slovenska. Výsledkom je odumieranie jednotlivých jedincov a skupín stromov, čo narúša statickú stabilitu celých porastov. Ďalšou z príčin nárastu rizika je nepriaznivá veková a druhová štruktúra, pričom kriticky sú ohrozené rovnovékne monokultúry smreka.



Obrázok 4.2 Vývoj pravdepodobnosti poškodenia/zničenja porastu jednotlivých ihličnatých drevín

Tabuľka 4.3 Bodové odhady pravdepodobnosti  $\hat{p}(t)$  pre jednotlivé dreviny

VS	SM		JD		BO		SMC		DB		BK	
	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$
1	14 171,79	0,00057646	2 832,40	0,00004910	4 047,89	0,00294614	2 858,65	0,00275075	6 955,67	0,00085646	21 067,19	0,00087305
2	20 438,77	0,00285106	2 888,45	0,00041541	6 654,53	0,00837850	4 305,96	0,00446433	7 126,25	0,00191482	25 416,29	0,00355994
3	16 623,86	0,00599730	2 049,76	0,00116276	6 939,20	0,00689273	2 699,33	0,00711876	5 581,35	0,00392144	20 343,58	0,00751363
4	13 611,75	0,01052119	1 211,35	0,00202933	7 034,74	0,00791419	2 506,67	0,00848098	5 069,13	0,00490268	19 638,03	0,01148855
5	12 275,44	0,01548241	1 037,52	0,00320536	5 193,50	0,00582185	1 240,44	0,00871740	11 102,34	0,00774779	20 594,19	0,01558022
6	18 551,26	0,01976930	1 535,89	0,00515459	5 166,47	0,00456307	1 110,96	0,00871823	25 693,32	0,00876384	28 746,55	0,01791321
7	20 837,96	0,02399249	1 989,90	0,00820271	5 571,46	0,00378307	907,70	0,00835313	27 756,50	0,01092303	30 388,99	0,01836191
8	20 762,17	0,02702331	2 754,66	0,01125756	6 443,73	0,00341702	597,26	0,00760293	23 907,34	0,01319470	28 956,77	0,01845914
9	21 161,05	0,02834031	4 036,56	0,01436814	7 278,75	0,00319834	912,30	0,00697232	19 044,99	0,01483351	31 848,74	0,01747021
10	14 325,21	0,02795404	3 645,75	0,01572950	6 010,52	0,00295479	740,04	0,00574649	14 603,48	0,01439519	27 637,85	0,01684346
11	7 034,01	0,02554829	2 499,94	0,01593797	2 510,28	0,00249936	436,59	0,00458615	9 578,76	0,01449495	18 973,08	0,01497199
12	4 083,84	0,02156825	1 679,68	0,01430850	1 410,08	0,00204753	184,44	0,00380292	4 797,86	0,01107333	12 336,97	0,01213439
13	2 010,55	0,01699281	1 070,51	0,01239672	545,51	0,00149362	111,59	0,00306363	2 057,49	0,01122468	7 287,71	0,00917525
14	1 253,27	0,01236179	616,29	0,00883810	340,88	0,00100762	85,32	0,00204847	1 064,90	0,00879548	4 980,82	0,00603883
15	5 895,60	0,00937570	1 719,79	0,00586278	998,75	0,00062028	159,63	0,00139738	1 916,22	0,00549630	10 874,40	0,00330844

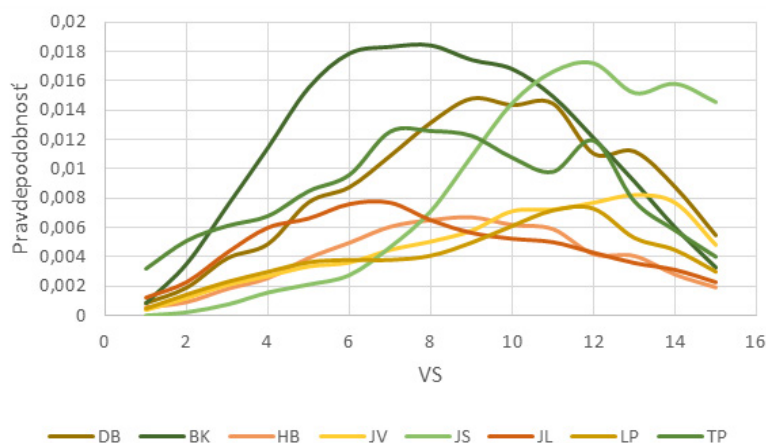
VS	HB		JV		JS		JL		LP		TP	
	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$	Plocha VS [ha]	$\hat{p}(t)$
1	2 638,83	0,00061051	3 721,98	0,00034750	2 774,12	0,00003290	230,32	0,00119475	279,37	0,00044142	1 688,29	0,00320335
2	4 808,13	0,00095618	3 623,93	0,00116757	2 689,73	0,00025332	552,58	0,00226082	574,53	0,00141565	2 103,92	0,00511097
3	3 615,81	0,00184956	2 344,73	0,00207640	1 511,90	0,00077869	897,56	0,00428364	846,38	0,00228440	3 523,89	0,00612367
4	3 734,72	0,00257839	1 710,22	0,00268212	1 243,33	0,00159736	1 436,86	0,00599430	655,95	0,00297766	3 335,56	0,00679951
5	5 822,83	0,00393770	1 262,01	0,00335304	1 733,89	0,00214168	730,57	0,00662322	311,79	0,00364011	998,65	0,00848898
6	10 271,10	0,00496357	1 324,15	0,00361942	2 433,88	0,00278382	627,96	0,00760872	373,79	0,00380313	1 058,06	0,00960436
7	10 345,37	0,00604016	1 066,27	0,00448936	1 766,48	0,00468620	363,60	0,00770388	307,86	0,00379879	524,98	0,01253959
8	8 292,79	0,00649430	771,41	0,00506399	1 157,83	0,00713892	284,51	0,00650300	319,81	0,00409336	341,18	0,01258311
9	6 382,17	0,00668082	800,20	0,00581304	880,43	0,01086863	149,15	0,00635233	278,59	0,00499080	137,98	0,01225288
10	3 507,04	0,00616747	791,85	0,00715537	665,42	0,01448498	85,85	0,00523403	252,42	0,00614178	60,31	0,01076569
11	1 698,54	0,00588108	695,20	0,00726659	448,42	0,01661581	48,89	0,00499548	160,91	0,00721470	36,79	0,00980970
12	822,60	0,00419762	558,62	0,00774026	283,20	0,01719239	37,20	0,00427502	122,43	0,00733037	18,71	0,01192936
13	387,03	0,00406741	357,14	0,00826590	151,16	0,01517204	14,75	0,00357066	72,69	0,00531927	6,85	0,00780259
14	224,00	0,00281555	265,51	0,00773518	94,95	0,01580030	9,81	0,00309821	44,19	0,00447846	2,11	0,00581685
15	283,69	0,00194967	780,21	0,00483610	211,84	0,01455232	5,31	0,00225170	65,24	0,00298448	1,79	0,00401843

SM – smrek obyčajný, JD – jedľa biela, BO – borovica obyčajná, SMC – smrekovec opadavý, DB – dub obyčajný, BK – buk lesný, HB – hrab obyčajný, JV – javor horský, JS – jaseň štíhly, JL – jelša lepkavá, LP – lipa, TP – topoľ

<sup>1</sup> Presný postup vid' GIERTLIOVÁ, B. 2011. Model poistenia lesného majetku. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.

Ako nepriaznivý faktor pri drevine smrek pôsobí aj kulminácia rizika poškodenia porastov vo vyšších vekových stupňoch 8 a 9. V tomto veku dosahujú smrekové porasty rubnú zrelosť, respektíve sa k nej blížia. Vznik náhodnej ťažby pri takýchto porastoch predstavuje významné negatívne dôsledky na efektívnosť hospodárenia vlastníkov a užívateľov lesa v dôsledku zníženia výnosov z predaja dreva a zvýšenia nákladov na ťažbu a následnú obnovu. Podobná situácia je aj pri drevine jedľa, aj keď celkové riziko je takmer o polovicu nižšie. Vetrom najmenej ohrozenou ihličnatou drevinou, vzhľadom na jej koreňový systém, je borovica. Vyššie riziko poškodenia je identifikované v nižších vekových stupňoch, pričom ako najčastejšie príčiny je uvádzaný ešte nedostatočne vybudovaný koreňový systém v dôsledku konkurenčných vzťahov s ostatnými drevinami a nepriaznivý habitus (výškový prírastok vrcholí práve vo veku 15 – 25 rokov).

Výsledky analýzy potvrdili vyššiu odolnosť listnatých drevín voči vetru (tabuľka 3.3, obrázok 3.3). Nepriaznivo však pôsobí posun rizikových silných vetrov smerom do jarneho a jesenného obdobia. Listnaté dreviny v čase vegetačného pokoja nepôsobia pre prúdenie vzduchu ako prekážka, a preto sú v tomto čase výrazne odolnejšie, čo však neplatí v čase olistenia.



Obrázok 4.3 Vývoj pravdepodobnosti poškodenia/zničenia porastu jednotlivých listnatých drevín

V bučinách na Slovensku je vietor najvýznamnejším škodlivým činiteľom. Vyššie riziko poškodenia bukových porastov vetrom je výsledkom ich zhoršeného zdravotného stavu, najmä v dôsledku narastajúceho výskytu hnilôb. Analýza najvýznamnejších vetrových kalamít s dôsledkami na buk lesný (1999, 2004, 2014) preukázala synergický efekt pôsobenia viacerých faktorov, najmä vplyvu zrážok a s tým súvisiaceho podmáčania pôdy.

Vplyv výskytu náhodných ťažieb na životnosť lesných ekosystémov, ako aj následné zhodnotenie účinnosti opatrení je možné realizovať prostredníctvom tzv. tabuliek života lesa. Tieto poskytujú informácie o:

- pravdepodobnosti zničenia porastu vo veku  $t - d_r$ ,
- prežívajúcej ploche lesov v ha vo veku  $t - l_r$ . Pre lepšiu orientáciu bola hodnota koreňa 10 tabuľky života lesa stanovená 100 ha. V tomto prípade hodnoty  $l_t$  zároveň udávajú percentuálne podiely zostávajúcej plochy lesa.
- Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku  $t - e_r$ , vychádzajúca zo vzťahu (Kouba 2000):

$$e(t) = \frac{\int_t^{\infty} R(x) dx}{R(t)} \quad (4.6)$$

pričom matica R je matica pravdepodobností prežitia. Pri výpočte sa vychádzalo z predpokladu maximálneho veku porastu 150 rokov (tabuľka 4.4).

Dosiahnuté výsledky reprezentujú vývoj pravdepodobností na základe údajov za posledných 20 rokov. Rozsah výberového súboru pokrýva významnú časť lesného územia Slovenska. Komplexné zovšeobecnenie však vzhľadom na členitosť územia, ako aj zložitosť pôsobenia abiotického škodlivého činiteľa vietor nie je možné. Analýza však potvrdila značnú variabilitu vo vzťahu k jednotlivým drevinám a ich veku. Preukázala sa potreba detailnej analýzy vo väzbe na jednotlivé územia a dreviny. Je potrebné identifikovať porasty, ktoré sú už v súčasnosti atakované rizikovými faktormi, ako je nadmerné znečistenie ovzdušia, zmena pôdných charakteristík, nevhodné drevinové a vekové zloženie porastov. U takýchto porastov môže mať fatálne následky aj pôsobenie vetra na dolnej hranici rizikivosti.

Tabuľka 4.4 Tabuľka života lesa

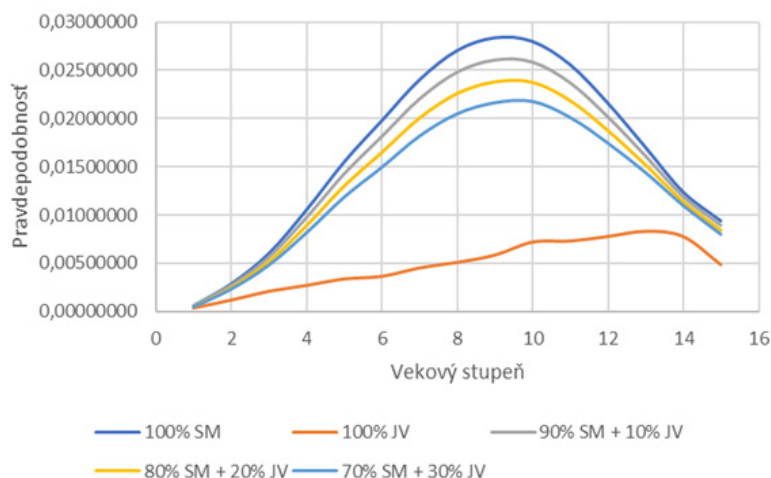
Vek roky	SM			JD			BO			SMC			DB			BK		
	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x
	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
0	0,000000	100,00	136,37	0,000000	100,00	144,49	0,000000	100,00	144,83	0,000000	100,00	143,49	0,000000	100,00	142,71	0,000000	100,00	138,86
10	0,053818	94,62	126,44	0,011897	96,81	134,49	0,001758	99,82	135,23	0,053818	94,62	133,86	0,011897	98,81	132,83	0,001758	99,82	128,97
20	0,134727	86,53	116,77	0,050452	94,95	124,55	0,012431	98,76	126,28	0,134727	86,53	124,41	0,050452	94,95	123,06	0,012431	98,76	119,39
30	0,224286	77,57	107,42	0,114796	88,52	114,68	0,038636	96,14	117,09	0,224286	77,57	115,23	0,114796	88,52	113,51	0,038636	96,14	110,22
40	0,315138	68,49	98,45	0,200631	79,94	104,89	0,085095	91,49	107,94	0,315138	68,49	106,13	0,200631	79,94	104,02	0,085095	91,49	101,39
50	0,403026	59,70	89,84	0,301501	69,85	95,20	0,153993	84,60	98,52	0,403026	59,70	96,98	0,301501	69,85	94,75	0,153993	84,60	92,83
60	0,485391	51,46	81,45	0,409891	59,01	85,84	0,244322	75,57	88,92	0,485391	51,46	87,74	0,409891	59,01	85,50	0,244322	75,57	84,34
70	0,560779	43,92	73,21	0,518341	48,17	78,26	0,351655	64,83	79,22	0,560779	43,92	78,40	0,518341	48,17	78,34	0,351655	64,83	75,73
80	0,628495	37,15	64,97	0,620400	37,96	67,02	0,468633	53,14	69,46	0,628495	37,15	68,92	0,620400	37,96	67,23	0,468633	53,14	66,97
90	0,688376	31,16	56,57	0,711293	28,87	57,85	0,586220	41,38	59,65	0,688376	31,16	59,34	0,711293	28,87	58,09	0,586220	41,38	57,98
100	0,740620	25,94	47,91	0,788199	21,18	48,81	0,695456	30,45	49,80	0,740620	25,94	49,62	0,788199	21,18	48,79	0,695456	30,45	48,81
110	0,785667	21,43	39,90	0,850187	14,98	39,24	0,789236	21,08	39,90	0,785667	21,43	39,80	0,850187	14,98	39,36	0,789236	21,08	39,40
120	0,824098	17,59	29,54	0,897871	10,21	29,66	0,863538	13,65	29,96	0,824098	17,59	29,92	0,897871	10,21	29,69	0,863538	13,65	29,76
130	0,856572	14,34	19,88	0,932923	6,71	19,91	0,917752	8,22	19,99	0,856572	14,34	19,98	0,932923	6,71	19,91	0,917752	8,22	19,94
140	0,883771	11,62	10,00	0,957571	4,24	10,00	0,954080	4,59	10,00	0,883771	11,62	10,00	0,957571	4,24	10,00	0,954080	4,59	10,00
150	0,906366	9,36	0,00	0,974160	2,58	0,00	0,978366	2,36	0,00	0,906366	9,36	0,00	0,974160	2,58	0,00	0,978366	2,36	0,00

Vek roky	HE			JV			JS			JL			LP			TP		
	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x	Pravdepodobnosť zničenia plochy porastu vo veku x	Prežijúca plocha lesov v ha	Stredná doba ďalšieho života porastov vo veku x
	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	e <sub>x</sub>
0	0,000000	100,00	146,39	0,000000	100,00	146,48	0,000000	100,00	145,48	0,000000	100,00	145,03	0,000000	100,00	146,65	0,000000	100,00	141,89
10	0,053818	94,62	136,48	0,011897	96,81	136,52	0,001758	99,82	135,48	0,053818	94,62	135,19	0,011897	98,81	136,71	0,001758	99,82	132,31
20	0,134727	86,53	126,60	0,050452	94,95	126,67	0,012431	98,76	125,51	0,134727	86,53	125,48	0,050452	94,95	126,89	0,012431	98,76	122,94
30	0,224286	77,57	116,81	0,114796	88,52	116,92	0,038636	96,14	115,60	0,224286	77,57	115,97	0,114796	88,52	117,16	0,038636	96,14	113,64
40	0,315138	68,49	107,09	0,200631	79,94	107,20	0,085095	91,49	105,77	0,315138	68,49	106,61	0,200631	79,94	107,48	0,085095	91,49	104,35
50	0,403026	59,70	97,47	0,301501	69,85	97,53	0,153993	84,60	95,96	0,403026	59,70	97,26	0,301501	69,85	97,83	0,153993	84,60	95,16
60	0,485391	51,46	87,91	0,409891	59,01	87,85	0,244322	75,57	86,22	0,485391	51,46	87,92	0,409891	59,01	88,17	0,244322	75,57	85,98
70	0,560779	43,92	78,38	0,518341	48,17	78,20	0,351655	64,83	76,58	0,560779	43,92	78,53	0,518341	48,17	78,47	0,351655	64,83	76,95
80	0,628495	37,15	68,83	0,620400	37,96	68,85	0,468633	53,14	67,06	0,628495	37,15	68,96	0,620400	37,96	68,75	0,468633	53,14	67,80
90	0,688376	31,16	59,23	0,711293	28,87	58,89	0,586220	41,38	57,88	0,688376	31,16	59,31	0,711293	28,87	59,04	0,586220	41,38	58,52
100	0,740620	25,94	49,53	0,788199	21,18	49,24	0,695456	30,45	48,38	0,740620	25,94	49,57	0,788199	21,18	49,34	0,695456	30,45	49,04
110	0,785667	21,43	39,77	0,850187	14,98	39,53	0,789236	21,08	39,03	0,785667	21,43	39,77	0,850187	14,98	39,63	0,789236	21,08	39,43
120	0,824098	17,59	29,89	0,897871	10,21	29,76	0,863538	13,65	29,54	0,824098	17,59	29,90	0,897871	10,21	29,85	0,863538	13,65	29,79
130	0,856572	14,34	19,97	0,932923	6,71	19,92	0,917752	8,22	19,84	0,856572	14,34	19,97	0,932923	6,71	19,96	0,917752	8,22	19,94
140	0,883771	11,62	10,00	0,957571	4,24	10,00	0,954080	4,59	10,00	0,883771	11,62	10,00	0,957571	4,24	10,00	0,954080	4,59	10,00
150	0,906366	9,36	0,00	0,974160	2,58	0,00	0,978366	2,36	0,00	0,906366	9,36	0,00	0,974160	2,58	0,00	0,978366	2,36	0,00

## 4.4 ZÁVER

Výsledky štúdie preukázali rastúci negatívny vplyv vetra na lesné porasty Slovenska. Napriek skutočnosti, že ide o abiotický škodlivý činiteľ, ktorého výskyt nie je možné človekom ovplyvniť, existujú preventívne opatrenia minimálne na zmiernenie jeho dôsledkov. Vo väčšine prípadov však ide o hospodársko-úpravnicke opatrenia, ktorých pozitívny efekt sa prejaví až v dlhodobom horizonte niekoľko desiatok rokov.

Základným odporúčaním je zmena drevinového zloženia smerom k podpore stabilnejších a viacerou odolnejších drevín. Význam začleňovania stabilizačných drevín do štruktúry porastu približuje obrázok 3.4. Postupným zvyšovaním podielu stabilizačnej dreviny javor horský v poraste smreka obyčajného došlo k zníženiu pravdepodobnosti poškodenia, resp. zničenia porastu v najkritickejšej fáze o 25 %. Javor horský je zároveň hospodársky zaujímavou drevinou, takže zvýšenie jeho podielu má zároveň pozitívny vplyv na ekonomickú efektívnosť hospodárenia.



Obrázok 4.4 Vplyv zmeny drevinového zloženia na pravdepodobnosť zničenia lesného porastu



K úprave drevinového zloženia je však potrebné pristupovať veľmi citlivo aj v kontexte pôsobenia ostatných faktorov zmeny klímy, a to najmä sucha. Tu sa ako problematickou drevinou ukazuje buk lesný, pri ktorom stres zo sucha znižuje jeho odolnosť voči iným abiotickým i biotickým činiteľom. Dlhodobo sa zdôrazňuje potreba využitia stanovištné pôvodných druhov, čo má pozitívny vplyv aj na dlhodobú stabilitu porastov. Porasty s vysokou druhovou a genetickou diverzitou lepšie plnia požadované ekosystémové služby a zároveň majú vyššiu schopnosť regenerácie v prípade disturbančných udalostí.

Súčasťou opatrení sú aj zmeny v zásadách hospodárenia, najmä na najrizikovejších lokalitách. Cieľom je zvýšenie stability porastov v čo najmladšom veku pomocou vymedzených pestovných a výchovných opatrení, ako aj zmena prístupu vo fáze obnovy<sup>2</sup>.

Ďalším potenciálne efektívnym opatrením je úprava rámcových rubných dôb najmä u najzraniteľnejších drevín. Pozitívny efekt by sa mohol prejaviť najmä u smreka obyčajného, pri ktorom kulminuje pravdepodobnosť zničenia vo veku 80 až 90 rokov. K takejto zmene je potrebné pristupovať citlivo, tak, aby bolo zabezpečené plnenie všetkých požadovaných funkcií a jeho dlhodobá kontinuita.

Akémukoľvek opatreniu by mala predchádzať analýza zraniteľnosti, v ideálnom prípade realizovaná až na úrovni porastu. Na základe zaradenia do rizikového stupňa by bolo možné navrhnuť typ a rozsah adaptačných opatrení. Aplikovať by sa v tomto prípade mohol variantný prístup navrhnutý Machanským a Žihlavníkom (2012). Ide o aplikáciu metódy „viacerých ciest“ von Gadowa (2005), kde pre porast nemusí existovať len jedno vhodné priestorové riešenie, ale často vzniká viac alternatív charakterizovaných obdobiím, objemom a umiestnením ťažby. Pri viacerých porastoch vzniká problém s množstvom kombinácií tzv. časovo-priestorových modelov ťažieb. Ide o kombinovanú metódu, ktorá integruje porastové (jednotlivé) a celopodnikové (súhrnné) plánovanie. Ide o klasický prvok ťažbovej úpravy lesa platný všeobecne. Celopodnikové riadenie si žiada hľadanie optimálnej kombinácie všetkých porastových ciest; so zohľadnením obmedzení. Ďalej konštatuje, že predpokladom pre praktické použitie metódy je generovanie a hodnotenie strednodobej vývinovej „cesty“ pre jednotlivé porasty. Viacvariantný princíp je veľmi efektívny, no zatiaľ vzdialený bežným postupom v praxi pri strednodobom riadení vývoja lesa.

Manažment lesov a možnosti ťažby bude nevyhnutné prispôbiť dynamike lesných ekosystémov, bude potrebné zvýšiť využívanie preukázateľne progresívnych prístupov a technológií a tiež prispôbiť definíciu tzv. bežného obhospodarovania lesa. Toto by malo obsahovať reálne kritériá ekologickej stability a reziliencie s cieľom zachovať plnenie ekosystémových služieb aj v meniacich sa podmienkach. Na jeho dosiahnutie a presadenie je potrebné zvyšovať informovanosť vlastníkov a užívateľov lesov o rizikách a pravdepodobnosti strát vyplývajúcich z nedostatočnej implementácie adaptívneho manažmentu lesov.

---

<sup>2</sup> Vid' napr. Konôpka, B. (2021). Zásady ochrany lesných porastov proti škodám vetrom. Dostupné na: <https://www.forestportal.sk/odborna-sekcia-i/ochrana-lesa/abioticke-skodlive-cinitele/vietor-a-sneh/zasady-ochrany-pred-vetrom/>

## Použitá literatúra

- [1] 255 s.
- [2] ALEXANDER, D., 2000. *Confronting Catastrophe – New Perspectives on Natural Disasters*. Oxford: Oxford University Press, U. K., 282 pp.
- [3] BIRKMANN, J. (ed.), 2006. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards – Towards Disaster-resilient Societies*. Tokyo, New York: UNU Press, 522 pp.
- [4] BREALEY, R. A., MYERS, S. C., 1991. *Principles of Corporate Finance*. New York: McGraw-Hill, Inc., 924 pp.
- [5] EINSTEIN, H. H., 1988. Special lecture: Landslide risk assessment procedure. In: Bonnard, C. (ed.), *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides*. A. A. Balkema, Lausanne (10-15 July, 1988), Switzerland, p. 1075 – 1090.
- [6] EYRING, V., BONY, S., MEEHL, G. A., SENIOR, C. A., STEVENS, B., STOUFFER, R. J., & TAYLOR, K. E., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9(5), 1937 – 1958.
- [7] FARANDA, D., VRAC, M., YIOU, P., JÉZÉQUEL, A., & THAO, S., 2020. Changes in future synoptic circulation patterns: consequences for extreme event attribution. *Geophysical Research Letters* 47(15), e2020GL088002.
- [8] GADOW VON, K., 2005. *Science-based Forest Design and Analysis*. Proc. FORCOM 2004, Japan Society of Forest Planning Press, Utsonomiya University: 1-19.
- [9] GIERTLIOVÁ, B., 2011. *Model poistenia lesného majetku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 96 s.
- [10] HOLDRIDGE, L. R., 1967. *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica, (rev. ed.), 1967, 94, 206.
- [11] HOLÉCY, J., 2005. *Matematický model poistenia lesov Slovenska proti požiarom*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005, 31. ISBN 80-228-1419-9.
- [12] HOLÉCY, J., 2019. *Ekonomía lesníctva*. Zvolen: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 235 s.
- [13] HOLECÝ, J., HANEWINKEL, M., 2006. A forest management risk insurance model and its application to coniferous stands in southwest Germany. *Forest Policy Econ.* 8, 161–174.
- [14] KHAMIS, H.J., 1997. The  $\delta$ -corrected Kolmogorov-Smirnov test for the two-parameter Weibull distribution. *J. Appl. Stat.* 24 (3), 301–317.
- [15] KLEIN, T., VACEK, V., 1986. *Základy pravdepodobnosti a štatistiky*. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene, 212 s.
- [16] KONŮPKA, B., ZACH, P., KULFAN, J., 2016. Wind—an Important Ecological Factor and Destructive Agent in Forests. *Central European Forestry Journal* 62(2), 123 – 130.
- [17] KONŮPKA, J. & KONŮPKA, B., 2007. Vývoj náhodnej ťažby dreva na Slovensku a jej prognóza pre vietor, sneh a námrazu do roku 2025. *Lesnícky časopis – Forestry Journal* 53, 273 – 291.
- [18] KONŮPKA, J., ŠEBEŇ, V., KONŮPKA, B., 2021. *Lesnícke štúdie 70: Vetrová kalamita na Slovensku 19. 11. 2004*. Zvolen: Národné lesnícke centrum.
- [19] KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259 – 263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- [20] KOUBA, J., 1977. Markov Chains and modelling the long-term development of the age structure and production of forests: proposal of a new theory of the normal forest. *Sci. Agric. Bohemoslov* 3, 179–193.
- [21] KOUBA, J., 2002. Das Leben des Waldes und seine Lebensunsicherheit (Forest life and its temporal uncertainty). *German J. For. Sci.* 121, 211–228.
- [22] KUNCA, A., VAKULA, J., GUBKA, A., GALKO, J., ZÚBRIK, M., LEONTOVYČ, R., NIKOLOV, CH., REL, S., KONŮPKA, B., LONGAUEROVÁ, V., MALOVÁ, M., KAŠTIER, P., FINĐO, S. 2014: Ako postupovať pri spracovaní vetrovej kalamity Žofia? *Les&Letokruhy*, 70&13 (7–8): 6–9.
- [23] LOCATELLI, B., 2016. *Ecosystem Services and Climate Change*. In: Potschin, M. et al. (eds.): *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. London, New York: Routledge, p. 481 – 490.
- [24] MACHANSKÝ, M., ŽÍHLAVNÍK, A. 2012. Hospodársko-úpravnícke plánovanie v kalamitných oblastiach. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen.* 2012, 54(2), 51-70.
- [25] MAJLINGOVÁ, A., 2015. *Lesné požiare – aktuálny stav riešenia problematiky v podmienkach Slovenska. Krízový manažment: vedecko-odborný časopis* 1, 47 – 56. ISSN 1336-0019. ITMS 26220120069. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/277345427\\_LESNE\\_POZIARE\\_AKTUALNY\\_STAV\\_RIESENIA\\_PROBLEMATIKY\\_V\\_PODMIENKACH\\_SLOVENSKA](https://www.researchgate.net/publication/277345427_LESNE_POZIARE_AKTUALNY_STAV_RIESENIA_PROBLEMATIKY_V_PODMIENKACH_SLOVENSKA) [accessed on 06. July 2020]
- [26] MCKEE, T. B., DOESKEN, J. N., KLEIST, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology*, Anaheim, CA: American Meteorological Society, p. 179 – 184.
- [27] MERGANIČ, J. et al., 2020. *Disturbancie v lesných ekosystémoch a možnosti ich kvantifikácie a predikcie pre potreby lesného hospodárstva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2020. 441 s.
- [28] MINĐAŠ, J., HOLÉCY, J., ŠKVARENINA, J., 2017. Modelovanie dopadu globálnych zmien klímy na neurčitost' vývoja biodiverzity a štruktúry ekosystémových služieb lesa. *Životné prostredie* 1 (51), s. 14 – 20.
- [29] MINĐAŠ, J., ŠKVARENINA, J., 2003. *Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny*. Zvolen: EFRA – Vedecká agentúra pre ekológiu a lesníctvo. Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 129 s.
- [30] MIZUTA, R., YOSHIMURA, H., OSE, T., HOSAKA, M., & YUKIMOTO, S., 2019. MRI MRI-AGCM3-2-S model output prepared for CMIP6 HighResMIP highresSST-present. Version 3.3/2023. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6942>.
- [31] NABIPOUR, N. et al., 2020. Modelling Climate Change Impact on Wind Power Resources Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 14, 491 – 506.

- [32] NALEVANKOVÁ, P., JEŽÍK, M., SITKOVÁ, Z., VIDO, J., LEŠTIANSKA, A., STŘELCOVÁ, K., 2018. Drought and Irrigation Affect Transpiration Rate and Morning Tree Water Status of a Mature European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Forest in Central Europe. *Ecohydrology* 11(6), e1958.
- [33] NALEVANKOVÁ, P., SITKOVÁ, Z., KUČERA, J., STŘELCOVÁ, K., 2020. Impact of Water Deficit on Seasonal and Diurnal Dynamics of European Beech Transpiration and Time-lag Effect between Stand Transpiration and Environmental Drivers. *Water* 12(12), 3437.
- [34] ORAVCOVÁ, Z., VIDO, J., 2022. Understanding the Complexity of Drought within the Soil Profile in Beech Ecosystems on Their Lower Altitudinal Limit in Slovakia. *Water* 14(9), 1338.
- [35] PERRINGS, C., 2010. Biodiversity, Ecosystem Services and Climate Change. The Economic Problem. Environmental Department of the World Bank, Environmental Economics Series 120, p. 1-40,
- [36] PRYOR, S. C., BARTHELMIE, R. J., 2010. Climate Change Impacts on Wind Energy: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1), 2010, 430 – 437.
- [37] STOLINA, M. 2001. Ochrana lesa. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001.
- [38] SUZUKI, T., 1983. Gentan-Wahrscheinlichkeit, Vorhersagemodelle für die Entwicklung des Normalwaldes und für die Planung des Holzaufkommens. Beiträge zur biometrischen Modellbildung in der Forstwirtschaft von T. Suzuki unter Mitwirkung von B. Sloboda und J. Saborowski. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen. Band 76, pp. 7–22.
- [39] ŠKVARENINA, J., MINĐAŠ, J., HOLÉČY, J., TUČEK, J., 2004 Analysis of the Natural and Meteorological Conditions during Two Largest Forest Fire Events in the Slovak Paradise National Park. Proceedings of the International Scientific Workshop on Forest Fires in the Wildland–Urban Interface and Rural Areas in Europe: an integral planning and management challenge, 29 – 36. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/profile/Jan\\_Tucek/publication/268288327\\_Analysis\\_of\\_the\\_natural\\_and\\_meteorological\\_conditions\\_during\\_two\\_largest\\_forest\\_fire\\_events\\_in\\_the\\_Slovak\\_Paradise\\_National\\_Park/links/54be741e0cf218da9391ed2e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jan_Tucek/publication/268288327_Analysis_of_the_natural_and_meteorological_conditions_during_two_largest_forest_fire_events_in_the_Slovak_Paradise_National_Park/links/54be741e0cf218da9391ed2e.pdf) [accessed on 06. June 2020]
- [40] ŠKVARENINA, J., SZOLGAY, J., ŠÍŠKA, B., LAPIN, M., 2010. Klimatická zmena a krajina : dopady klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia na Slovensku v sektoroch „vodné hospodárstvo, lesy a poľnohospodárstvo“ (Štúdiá Slovenskej bioklimatickej spoločnosti SAV XXV) Monografia. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 114 s.
- [41] THYWISSEN, K., 2006. Components of Risk – A Comparative Glossary. Bonn: Publication Series of UNU Institute for Environment and Human Security, 48 pp.
- [42] VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., ANGULO, M., EL KENAWY, A., 2010. A New Global 0.5 Gridded Dataset (1901-2006) of a Multiscalar Drought Index: Comparison with Current Drought Index Datasets Based on the Palmer Drought Severity Index. *Journal of Hydrometeorology* 11(4), 1033 – 1043.
- [43] VIDO, J., STŘELCOVÁ, K., NALEVANKOVÁ, P., LEŠTIANSKA, A., KANDRÍK, R., PÁSTOROVÁ, A., ŠKVARENINA, J., TADESSE, T., 2016. Identifying the Relationships of Climate and Physiological Responses of a Beech Forest Using the Standardised Precipitation Index: A Case Study for Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 64(3), 246 – 251.
- [44] VLADOVIČ, J., 2003. Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska. Lesnícke štúdie č 57. Bratislava: Príroda, 160 s.
- [45] WILHITE, D. A., 2000. Drought Planning and Risk Assessment: Status and Future Direction. *Annals of Arid Zone* 39(3), 211 – 230.

Aktivita je realizovaná v rámci projektu  
*Metodiky pre hodnotenie investičných rizík spojených s nepriaznivými dôsledkami zmeny klímy (ITMS 2014+: 310021BSY3).*  
Projekt je financovaný z Operačného programu Kvalita životného prostredia.

