

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Pěstební postupy na podporu a úpravu složek vodní bilance ke zvýšení dostupnosti vody pro lesní porosty

Radek Pokorný

Kateřina Novosadová

Vladimír Černoňous

František Šach

Vít Šrámek

2022



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v. v. i.



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v. v. i.

Pěstební postupy na podporu a úpravu složek vodní bilance ke zvýšení dostupnosti vody pro lesní porosty

doc. Ing. Radek Pokorný¹, Ph.D. (radek.pokorny@mendelu.cz),

Ing. Kateřina Novosadová¹, (katerina.novosadova@mendelu.cz),

Ing. Vladimír Černohous, Ph.D.², (cernohous@vulhmop.cz),

Ing. František Šach, CSc.², (sach@vulhmop.cz),

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D.², (sramek@vulhm.cz)



¹ Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta,
Zemědělská 3, 613 00 Brno
IČO: 62156489



Výzkumný ústav
lesního hospodářství
a myslivosti, v. v. i.

² Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.,
Strnady 136, 252 02 Jíloviště
IČO: 00020702

Oponenti:

Ing. Vratislav Mansfeld, Ph.D.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů,
Nábřežní 1326, 250 01 Brandýs nad Labem

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze,
Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 Suchdol

Strnady, 2022

Obsah:

1. CÍL METODIKY	3
2. ÚVOD	3
2.1. Srážky	4
2.2. Intercepce	4
2.3. Půdní voda, odběr dřevinami, redistribuce kořenů	5
2.4. Evapo - Transpirace	7
3. DOPORUČENÉ POSTUPY V OBNOVĚ LESA	8
3.1. Obnova lesa	8
3.1.1. Přirozená obnova	10
3.1.2. Umělá, jedno a dvoufázová obnova	10
4. DOPORUČENÉ POSTUPY VE VÝCHOVĚ LESA	12
4.1. Úprava druhové skladby	13
4.2. Úprava věkové skladby	14
4.3. Úprava prostorové skladby	15
5. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	16
6. POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	16
7. EKONOMICKÉ ASPEKTY	16
8. DEDIKACE	17
9. LITERATURA	17
9.1. Seznam použité literatury	17
9.2. Seznam publikací a výstupů předcházejících metodice	25

1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je doporučit postupy v obnově lesa, a především ve výchově lesních porostů na základě dostupných vědeckých poznatků a šetření ve vazbě na vodní bilanci porostu a její jednotlivé složky tak, aby byly porosty především odolné vůči predikovanému suchu, zvýšeným požadavkům prostředí na výpar a byly schopny plnit nadále dřevoproductivní i ostatní funkce lesa.

2. Úvod

Srážky, teplota a sluneční svit jsou základní parametry prostředí, vedle půdních podmínek, určujících výskyt, životaschopnost, funkčnost a dynamiku vývoje lesních ekosystémů, jako závěrečných terestrických klimaxových společenstev rostlin, na celé planetě (Boisvenue a Running 2006). Z podložených měření posledních několika desítek let je zřejmé, že výrazně narůstají odchylky klimatických parametrů Země (např. teplot, srážek, rychlosti proudění větru aj.) od dlouhodobých průměrů a trendů (Spinoni et al. 2015; Touma et al. 2015; Zhao a Dai 2016; Wang et al. 2017; Dai et al. 2018; Naumann et al. 2018; Myhre et al. 2019; Tabari 2020; Pausas a Keeley 2021). V posledních dvou až třech tisících letech se vyskytovala teplejší (středověká teplá perioda cca v letech 950 – 1250) i chladnější (malá doba ledová mezi 14. a 19 stoletím) období, nárůst teplot zhruba od druhé poloviny dvacátého století je ovšem s nimi nesrovnatelně intenzivnější (Min et al. 2011; Steinhilber et al. 2012; Zhan et al. 2013). Tyto změny označované jako globální změna klimatu se teprve začínají projevovat (Marek et al. 2011). Předpoklady trendu jejich vývoje sice záleží na emisních scénářích, ale již nyní lze s vysokou mírou pravděpodobnosti uvést, že mezi nejzávažnější rizikové faktory ovlivňující zdravotní stav a stabilitu porostů lze považovat redistribuci srážek, sucho, vysoké teploty a bořivé větry (Johnston a Hessel 2012; Pachauri et al. 2014; Lai et al. 2020; Jourdan et al. 2021). Od r. 1960 do r. 2020 vzrostla průměrná teplota vzduchu v ČR o 2 °C (CHMI 2022). K největším nárůstům teplot oproti normálovému období (1961-1990) dochází v měsících leden, červenec, srpen a prosinec (CHMI 2022). Ke konci století je předpokládáno navýšení průměrné teploty vzduchu o další 1,1 až 3,7 °C podle použitého emisního scénáře (Nazarenko et al. 2015). U srážek v oblasti střední Evropy se předpokládá spíše nárůst, nicméně lze předpokládat významné rozdíly pro jednotlivá roční období a celkovou rozkolísanost srážkové činnosti v prostoru i čase. Lesní ekosystémy budou ovlivňovány nejen posuny v klimatických parametrech, ale zejména častějším výskytem extrémních povětrnostních situací. Vzhledem k dlouhověkosti lesních dřevin a dlouhodobé produkční době lesních porostů je nutné brát tato rizika velmi vážně a s využitím vhodných adaptačních opatření, jako je úprava druhové skladby a prostorové struktury lesních porostů, podpora biodiverzity a jemnějších hospodářských způsobů i volba vhodných pěstebních postupů, posilovat jejich odolnost.

Vodní bilance lesních porostů má dvě významné vzájemně protichůdné části, a to příjmovou a výdejovou. Tyto části by z hlediska udržitelné vodní bilance měly být v rovnováze, nebo část příjmová by měla převyšovat výdejovou (Viessman et al. 1976). Vodní bilance tak může být vyrovnaná, pozitivní či vysoce pozitivní a ve výjimečných případech (do vyčerpání zásob podzemní vody tj. 1-2 vegetační sezóny) i negativní (Sutcliffe 2004). Při vysoce negativní či déletrvající negativní bilanci dochází k odumírání jednotlivých stromů či celých porostů (McDowell et al. 2008).

2.1. Srážky

Příjmovou část vodní bilance tvoří případný přítok (i podpovrchový), ale především srážky (Eagleson 1978). Míra zachycení vodních srážek, vertikálních, horizontálních a další distribuce do podrostu a půdního profilu závisí na hustotě stromového patra a druhu dřeviny (listnaté vs. jehličnaté) a také na fenologické fázi listnatých dřevin, existenci či absenci bylinného a mechového patra a mocnosti a kvalitě surového humusu (Peck 2004; Bittner 2010). Výrazný rozdíl je ve schopnosti zachycování srážek korunami stromů v závislosti na tvaru, typu a rozložení povrchu asimilačních orgánů modifikujících velikost aktivního povrchu – např. jehlice, listy pilovité, celokrajné (Stenberg et al. 1994; Duursma a Mäkelä 2007; Xiao a Mc Pherson 2011; Li et al. 2017; Yang et al. 2019). V listnatých lesích proniká k půdě nejméně srážek v období plného olistění (v měsících duben až srpen; Klamerus-Iwan a Błońska 2016). Maximální množství srážek, které se na vegetaci udrží adhezními silami a nepropadne k půdě, se nazývá skropné množství (Klaassen et al. 1998; Arnell 2002; Digman 2002). Jeho velikost se pohybuje se mezi 0,5-0,8 mm/m² (tj. cca přes 0,5 litru vody na m²). Proces zachycení srážek a jejich následného výparu do atmosféry nazýváme intercepce. Míru intercepce určuje rychlost proudění větru, deficit vodních par v ovzduší, druh dřeviny, hustota a struktura porostu (Crockford a Richardson 2000; Staelens et al. 2008; Mattaji et al. 2012). Je-li vydatnost deště větší než skropné množství, rozdíl mezi množstvím srážek nad porostem a množstvím srážek pronikajících korunami porostu se snižuje (Rahmani et al. 2011; Safeeq a Fares 2012). Stok srážkové vody po kmeni je rozdílný podle architektury koruny a charakteru borky daného druhu dřeviny (Hanchi a Rapp 1997; Klimo 2001; Stan a Gordon 2018).

Podkorunové srážky a stok vody po kmeni jsou příjmovými komponentami vodní bilance porostu (Parker 1983; Nordén 1991; Crockford a Richardson 2000). Jsou označovány jako tzv. čisté či porostní srážky, neboť se dostanou až na půdní povrch a zde mohou být využity vegetací (Klaassen et al. 1998). Intercepce, evaporace, transpirace a odtok (povrchový a podpovrchový) pak tvoří komponenty výdejové (Viessman et al. 1976; Sutcliffe 2004). Za intercepce je občas mylně označováno i „vyčesávání“ horizontálních srážek z atmosféry, kdy jsou proudícím vzduchem unášeny mlžinky či drobné kapky a ulpívají na povrchu vegetace (Domínguez et al. 2017). Takto vyčesané srážky ale stékají po koruně a listoví k půdě, kde tvoří v podstatě příjmovou část, neboť nejsou bezprostředně odpařeny zpět do atmosféry (Krečmer a Peřina 1981). Horizontální srážky se vyskytují obvykle ve vyšších polohách nadmořských výšek nad cca 800 m n. m., často v hřebenových horských polohách (Schellekens et al. 1998; Hildebrandt a Eltahir 2008; Chen et al. 2019). Nadlepšení čistých porostních srážek vyčesanými horizontálními srážkami může dosahovat obdobných hodnot jako intercepce, například ca 35 % v případě smrkových porostů s vysokými hodnotami indexu listové plochy (poměr projekční nebo celkové plochy asimilačního aparátu nad jednotkou povrchu půdy; LAI – z anglického Leaf area index) a příznivým typem větvení (hřebenovitým oproti svazčitému či deskovitému). Přestože mohou tvořit důležitou část příjmové složky, lze s nimi jen těžko uvažovat v bilančních výpočtech, neboť se objevují v blíže nespecifikovatelných a nepředvídatelných objemech (Prošková a Hůnová 2006).

2.2. Intercepce

Intercepce je přímý výpar vodních srážek adhezními silami zadržovaných na povrchu rostlin (Klaassen et al. 1998; Arnell 2002; Digman 2002). Míra intercepce závisí jednoduše na velikosti zachytné plochy a vlastnostech těchto povrchů, dále na druhové skladbě porostu, stáří porostu, korunovém zápoji, zakmenění a dalších strukturních parametrech porostu (Crockford a Richardson

2000; Staelens et al. 2008; Mattaji et al. 2012). Největší zachytanou plochu má vegetace v ploše listoví, která je kvantifikovaná pomocí LAI (Klamerus-Iwan a Błońska 2016). Intercepci lze tak s vysokou mírou pravděpodobnosti odvodit právě z tohoto parametru, kdy intercepce je rovna 3,6násobku LAI ($r^2=0,95$). Dále intercepce závisí na fyzikálních podmínkách prostředí pro výpar, například na síle větru (Dingman 2002). Množství intercepce je také závislé na množství srážek, kdy při srážkové události menší nežli 1 mm bývá intercepce 100% (Safeeq a Fares 2012) a srážky začínají prostupovat skrz koruny až při srážkových událostech o velikosti 3 mm (Havlíček 1983) nebo dokonce až od 5 mm (Rahmani et al. 2011). Vysoká intercepce je v hustých porostech, např. v porosty smrku ztepilého dosahují intercepčních ztrát i 35-40 % srážek z volné plochy (Klimo et al. 2010). V listnatém porostu se dostane k půdnímu povrchu průměrně o 1/5 méně srážek ve srovnání s otevřenou plochou (Forgeard et al. 1980; Klamerus-Iwan a Błońska 2016), kdy například v přehoustlém bukovém lese může intercepce dosahovat i téměř 50 % srážek z volné plochy a v silně rozvolněných bukových nebo dubových porostech bývá pouze 5 respektive 6 % (Peck 2004; Ganatsios et al. 2010). Intercepce působí i na zimní srážky - výška sněhové pokrývky je v lese vždy nižší (Klamerus-Iwan a Błońska 2016). Taje však později a pozvolněji než na otevřené ploše (Klimo 2001).

2.3. Půdní voda, odběr dřevinami, redistribuce kořenů

Obsah vody v rostlinách dosahuje ca 70 %, převyšuje hmotnost sušiny 4–8krát (Vyskot et al. 1971). Odběr vody kořenovým vlášením je nepřetržitý, pohyb vody je nejčastěji jednostranný směrem z půdy do rostlinných pletiv a dále ve směru kořen → list → atmosféra (Larcher 2003). Voda do půdy vstupuje primárně atmosférickými srážkami a dále ve formě podzemní nebo vody laterální - mající původ v bočním vsaku (Lin et al. 2006). Voda je v půdě jako tzv. sorpční – vázaná koloidy, kdy ztrácí vlastnosti rozpouštědla; kapilární, která nepodléhá vlivu zemské tíže a může se půdou pohybovat všemi směry; a gravitační, která zaujímá největší póry a protéká volně půdním profilem ve směru působení gravitace (Švihra et al. 1981). Voda se podílí na koloběhu látek, výživě rostlin, biochemických, chemických a fyzikálně-chemických reakcích a také v půdě působí jako účinné rozpouštědlo plynů a minerálních látek (Šarapatka et al. 2021). Ty pocházejí ze zvětrávacích procesů, z rozkládající se biomasy lesních porostů anebo imisí prostupujících skrz koruny stromů. Atmosférickou depozicí vstoupí do půdy 50 až 250 kg minerálních látek na hektar ročně, čímž dochází k výraznému obohacení půdního povrchu a to jak o znečišťující látky jako je síra a těžké kovy, tak o živiny (Symon a Bencko 1988, Vavříček a Kučera 2017). Specifické je v depozici postavení dusíku, který patří mezi hlavní živiny, ale jehož depozice přesto působí z hlediska výživy porostů a ekosystémové rovnováhy negativně (eutrofizace, nutrifikace). Tyto prvky se srážejí nebo rozpouštějí a voda může přecházet do dalších fyzikálních stavů (Šarapatka 2014). Významnou roli při vstupu vody do půdy hraje nadložní humus. Ten výrazně ovlivňuje vodní režim i chemismus půdního roztoku (Hempfling et al. 1990; de Macedo et al. 2007).

Zejména v písčitých půdách s vysokým podílem makropórů dochází k intenzivní kondenzaci vodních par v půdních pórech (Vavříček a Kučera 2017). Je-li podzemní voda dostatečně blízko půdnímu povrchu, voda vstupuje do půdy díky kapilární elevaci, což představuje výšku vodního sloupce, o jakou voda vystoupá nad souvislou hladinu podzemní vody (Lu a Godt 2013; Shukla 2014). Během roku kapilární zdvih kolísá v řádech dm až m (Trnka et al. 2017). V blízkosti vodních toků, nádrží, rybníků apod. voda vstupuje do půdy horizontálním pohybem jako boční přítok (laterální voda). Ke ztrátám vody z půdy dochází zejména průsakem, povrchovým odtokem a evapotranspirací (Slepička et al. 1989). Charakter povrchového odtoku závisí na mnoha faktorech, zejména na sklonu svahu, množství a intenzitě srážek, propustnosti půdy, hloubce promrznutí, vegetačním krytu a humusové vrstvě (Nash 1958; Beven 2011). Přeschlý půdní povrch se vyznačuje špatnou smáčivostí, zatímco po

nasátí vodou se humus chová jako propustný filtr s vysokou hydraulickou vodivostí. Humus se také vyznačuje nižší ztrátovostí vody (vyšší retencí) ve srovnání s minerální půdou (Lavelle et al. 1998; Liu et al. 2021). Nadložní humus tak hraje z hlediska vodního režimu klíčovou a nenahraditelnou roli: jednak při vysokých srážkových úhrnech, kdy pojme několikanásobně více vody než níže ležící minerální horizonty, a omezuje ztráty vody z půdy. Povrchový v lese odtok je až do nasycení půdy zanedbatelný (Vavříček a Kučera 2017). V členitém území s prudkými svahy může odtéct až 80 % srážkové vody (Beven 2011). Odtok je lesními porosty významně regulován, a to jak ve srážkově vydatnějším období (odtok je nižší v porovnání s nelesní půdou), tak v období sucha (odtok je vyšší v porovnání s nelesní půdou (Vavříček a Kučera 2017).

Obsah vody v půdě závisí na topografii terénu, ta významně ovlivňuje charakter matečné horniny, vlhkostní poměry a vegetaci. Rostliny náročnější na půdní vlhkost budou lépe prosperovat v terénních sníženinách, zatímco rostlinám náročnějším na dostatečný přísun světla budou více vyhovovat vrcholy svahů (Vyskot 1978). V terénních depresích se také lze setkat s teplotní inverzí, slabším prouděním vzduchu, vyšší vzdušnou vlhkostí, ale i s akumulací organické hmoty nebo různých minerálních sedimentů (Plíva a Průša 1969). Při zvyšování vlhkosti bobtnají jílovité minerály. Čím méně obsahuje půda vody, tím většími silami je tato voda v půdě vázána a tím těžší je tuto zbylou vodu z půdy odsát, čímž se zvyšuje půdní vodní potenciál (Vavříček a Kučera 2017). Půda tak má vyšší schopnost při nízké vlhkosti přijímat vodu ze svého okolí silněji, neboť jsou „aktivovány“ větší sací síly. V praxi to znamená, že voda se v půdě pohybuje z míst s vyšší vlhkostí (vyšším potenciálem půdní vody) do míst s nižší vlhkostí (nižším potenciálem půdní vody), která vodu do sebe „nasávají“. Se stoupající vododržností se také zvyšují půdní hydroimity. Ve vertikálním profilu bývá vlhkost půdy velice variabilní, ač nejčastěji její vlhkost stoupá s hloubkou (Wu et al. 2002). To závisí na výšce hladiny podzemní vody (pod níž je zóna saturovaná vodou) a směrem k povrchu na výšce zóny nesaturované do níž vzlíná voda v důsledku kapilarity ze saturované zóny. Shora zasakuje do této zóny voda srážková či podpovrchově přitékající. Při déle trvajícím suchu se mohou tyto komponenty v nesaturované zóně v půdních pórech odpojit, hladina podzemní vody prudce klesá, a není-li znovu saturována průsakem, pak také hůře vzlíná (White 2006). Rozložení půdní vlhkosti v hloubkovém profilu ovlivňuje významně také prokořenění kořenovými systémy dřevin. Výsledky na konci suchých period ukazují například v mladém smrkovém porostu zvyšování objemové vlhkosti od nejsušší svrchní půdní vrstvy k nejlhčí vrstvě v hloubce ca 50 cm. V mladém bukovém porostu je tomu právě naopak, a to proto, že kořenový systém smrku je povrchový (s největší hustotou prokořenění do 10 až 20 cm), zatímco u buku se srdčitým typem kořenového systému je hustota prokořenění největší až mezi 30 a 50 cm (Mauer Palátová 2013). Půdní vláhové podmínky v porostu buku by tak v sušších periodách mohly být pro smrk po jistou dobu příznivější než v čistě smrkovém porostu. Otázkou zůstává poměr zastoupení obou dřevin (Armbruster et al. 2004). Některé druhy dřevin vytváří i několik typů kořenových systémů (např. borovice – panohovitý či kúlovitý) v závislosti na hladině podzemní vody, nejčastějším režimu kolísání půdní vlhkosti, skeletnatosti půdy aj. Řada dřevin je také schopna vytvářet kořenové srůsty v rámci svého druhu (smrk, buk, jasan, dub, akát aj.) nebo, i když méně častěji i mezidruhově – smrk a bříza (Gebauer a Martinková 2005; Chisholm et al. 2013).

Mimořádně významná je redistribuce vody v půdním profilu. Jedním z méně známých procesů ve smíšených porostech je schopnost hluboce kořenících dřevin přijímat vodu z hlubších vrstev půdy a jejím výdejem v sušších svrchních horizontech ji zpřístupnit kořenícím dřevinám – jde o tzv. hydraulický lifte (Richards a Caldwell 1987; Zapater et al. 2011). Z toho může současně profitovat i přizemní vegetace (Scholz et al. 2008). Hydraulický lift funguje převážně v noci, kdy nasátá voda kořeny z hlubších vlhčích půdních horizontů je přemístěna exsudací do svrchní sušší vrstvy půdy za účelem udržení funkčnosti laterálních kořenů dřevin pro příjem živin ze svrchních vrstev půdy, čímž je poskytnuta i k transpiraci mělce kořenících dřevin, trav a bylin (Alagele et al. 2021). Proces

hydraulického liftu buku pro smrk zmínili pro ČR již Lichner et al. (2008). Hydraulický lift byl popsán již v roce 1987 (Richards a Caldwell 1987) a je studován již delší dobu v zahraničí, především v suchých oblastech (Scholz et al. 2002, Ludwig et al. 2003, Espeleta et al. 2004, Nadeshkina et al. 2008, Zapater et al. 2011). Výsledky podporující v tomto smyslu smíšení například smrku s bukem uvádí například Anderle (1949), dále Tužinský (2009), či z vlastních výzkumů Kantor (1989, 1990), Šach et al. (2007). Navíc, přísun vody k povrchu lesní půdy zvyšuje stok po kmeni v bukovém porostu, který představuje ca 12 % srážkového úhrnu ve vegetačním i mimovegetačním období a je dokonce obohacen o depozici prvků z korunové vrstvy (Lochman, Kantor 1985).

Prosperita, růst, zdravotní stav a produkce závisí na vstupu a pohybu vody v celém půdním profilu ekosystému lesa (Vyskot 1971). S ohledem na mikrorelief terénu, variabilitu půdních vlastností a nadložního humusu, různé prostorové distribuce kořenů (živých i mrtvých) a kořenových systémů i možnosti tvorby kořenových srůstů, přítomnost a rozvinutí mykorrhizy vázané na jednotlivé druhy dřevin je vhodné doporučit pěstování porostních směsí několika různých druhů dřevin. Půdní prostor tak může být plně využit pro odběr vody dřevinami. Vstup a pohyb vody v ekosystému smíšeného lesa lze ovlivnit pěstební péčí (výchovou a procesem obnovy).

2.4. Evapotranspirace

Rostliny čerpají kořeny více vody, než kolik jí listy odpařují (Larcher 2003). Výpar vody z vnitřních prostor listů přes průduchy do atmosféry se nazývá transpirace (Švihra 1981). Výši transpirace ovlivňuje intenzita osvětlení, teplota povrchu rostliny, proudění a vlhkost vzduchu a dostupnost vody v rostlině a v půdě. Pokles evapotranspirace o 2 mm za den představuje nárůst toku zjevného tepla o 1 400 Wh (Pokorný et al. 2011). Pokles evapotranspirace za 1 den o 1 mm na území celé ČR (79 000 km²) by tak způsobil uvolnění množství zjevného tepla, které je srovnatelné s celoroční produkcí elektrické energie ve všech elektrárnách v České republice (6 000 GWh; Kravčík et al. 2007; Pokorný 2009). Rostliny vytvářejí biomasu s různou efektivitou ve smyslu spotřeby vody. Tento ukazatel se nazývá transpirační koeficient a udává se v kg množství spotřebované vody na výpar na jeden kg rostlinou vyprodukované suché biomasy (Dostál a Dykyjová 1962). Při průměrných hodnotách transpiračního koeficientu 300 l vody na 1 kg sušiny je tak zapotřebí pro vyprodukování 10 t sušiny ca 3 mil. litrů vody, což pro plochu 1 ha představuje 300 mm srážek. Suma výparu vody z půdy a z listové plochy rostlin (transpirované) se nazývá evapotranspirace (Larcher 2003). Její hodnoty jsou pro lesní porosty v průměru na jaře 0–1,5 mm × den⁻¹, na podzim 1,5–5 mm × den⁻¹ a v létě až 7 mm × den⁻¹, což na ploše 1 ha činí 70 000 litrů. Výpar vody v ekosystémech je komplexní proces zahrnující jak fyzikální, tak biologické procesy. Prostý výpar z vodní hladiny (evaporace) je ovlivňován teplotou vypařujícího povrchu, sytostním doplnkem – deficitem vodní páry ve vzduchu, tlakem vzduchu a rychlostí proudění vzduchu, které ovlivňuje rychlost difúze molekul vodní páry (Leclerc 2003). U výparu z půdního povrchu přistupují další fyzikální faktory – vlhkost půdy, vodivost vody v půdě (kapilární vzlínavost), případně rychlost difúze vodních par půdními makropóry. V ekosystémech je pak další složkou výparu výdej vody rostlinami (transpirace), který je ovlivňován nejenom fyzikálními, ale i fyziologickými procesy – schopností přijímat vodu z půdního prostředí, uchovávat ji v těle rostlin, aktivně transportovat a regulovat její výdej prostřednictvím průduchů (Larcher 2003).

Maximální výpar ekosystémem, který není z hlediska dostupnosti vody limitován, označujeme jako potenciální evapotranspiraci (Allen et al. 1998). Tu lze přibližně odvodit z fyzikálních parametrů prostředí, tj. teploty a vlhkosti vzduchu, intenzity globálního záření, tlaku vzduchu a rychlosti větru. Jde však spíše o teoretickou hodnotu, skutečná úroveň evapotranspirace je obvykle limitována dostupností a možnostmi transportu vody v půdě a v rostlině (Valipour 2017). Z tohoto důvodu je téměř vždy nižší.

Evapotranspirace je procesem, který je svázán nejenom s tokem vody, ale také s tokem energie v ekosystému. Při výparu 1 g vody je spotřebováno množství energie, které je schopno ohřát 1 kg vzduchu o 2,5 °C – dochází tedy k významnému ochlazení okolí (Oke 1989; Son et al. 2022). Při kondenzaci vody se naopak okolní prostředí odpovídajícím způsobem ohřívá. Vodní pára je tak významným „nosičem“ tepla, a to i v globálním měřítku. Výpar (evapotranspirace) z lesa je vyšší než v případě jiných ekosystémů na obdobných stanovištích, což je dáno zejména:

- hlubším prokořeněním půdy - pohyb vody kořeny je efektivnější, než pohyb půdou;
- větší efektivní plochou výparu (listovou), vyjádřenou pomocí LAI, která je násobně větší než plocha porostu (LAI se udává jako poměr plochy listoví vůči ploše, kterou rostliny zaujímají. U lesních porostů se pohybuje nejčastěji kolem hodnoty 6 respektive mezi 4 až 10);
- větší drsností povrchu – ta závisí na výšce vegetačního pokryvu a jeho hustotě, a představuje rychlejší možnost difúze molekul vodní páry do ovzduší.

Velikost evapotranspirace lesního porostu závisí na celé řadě strukturních parametrů porostu (kromě parametrů prostředí jako např. dostupnosti vody v půdě, sytostním doplňku aj.), jako je druh a zastoupení dřeviny, způsob smíšení, věk, dimenze stromů porostu, zápoj, hustota, zakmenění atd. (Střelcová a Kučera 2005; Švec 2010). Obecně lze říci, že v našich podmínkách je evapotranspirace lesních porostů vyšší o cca 20 % ve srovnání se zemědělskými kulturami. Rozdíl oproti povrchu holoseči bez vegetačního pokryvu bude ještě o mnoho výraznější. Z výzkumu zaměřeného na povodí s různou měrou zastoupení zjednodušených kategorií pole – louka – les vyplývá, že pro vyrovnanou vodní bilanci krajiny je třeba zastoupení lesa v krajině ca 40 % (Švihla et al. 2014).

3. Doporučené postupy v obnově lesa

Obecná doporučení pro lesní hospodářství vychází z analýzy rizik, kde vyrovnanost vodní bilance je narušována suchem jako dominantním rizikovým faktorem (Čermák et al. 2016). Doporučení tedy vychází ze základních adaptačních opatření vedoucích ke zlepšení vodní bilance, udržení příznivých mikroklimatických a mezoklimatických podmínek, snížení výdejových složek vodní bilance tj. evaporatione, transpirace, intercepce a odtoku, a zvýšení příjmových složek, jako například infiltrace a retence.

3.1. Obnova lesa

Doporučené postupy v obnově a výchově lesa by měly vést ke zlepšení vodní bilance porostu, lepšímu zasakování (infiltraci), retenci a akumulaci vody v půdním prostředí včetně převodu odtoku z povrchového na podpovrchový. Hospodaření porostu s vodou musí být vždy uvažováno v návaznosti na konkrétní stanoviště, pro něž je možné zvolit vhodné struktury porostu (druhá věková, prostorová a funkční skladba) a tím i zvýšit efektivitu využití vody porostem. V případě trvale podmáčených stanovišť pak lze s ohledem na zlepšení produkční i mimoprodukčních funkcí ke zlepšení hydrických vlastností stanoviště využít desukční (vysušovací) funkci porostu, případně technické meliorace či nasměrování odtoku. Doporučení při obnově a výchově lesa nejsou čistě biologického rázu ale zahrnují i využití technických opatření pro úpravy hydrologických poměrů stanoviště.

Obnova funkčních lesních porostů není z řady důvodů rychlá ani jednoduchá, neboť předvídané dopady změny klimatu, a s tím souvisejících výskytů, vyšších četností, intenzit a délky trvání klimatických extrémů, souvisí i s vodní bilancí krajiny, jejích komponent a hydrickým režimem lesních porostů (Pokorný 2021, 2022). Doposud používaná klasická jednorázová umělá obnova holosečného hospodářského způsobu a zejména na rozsáhlých postkalamitních holinách bude mimo to, že klade vysoké požadavky na množství, a především kvalitu sadebního materiálu, techniku i organizaci práce, čím dál obtížnější. Odstraněním porostu dochází ke změnám hydrických poměrů stanoviště (extrémnímu kolísání hladiny spodní vody, občas vystupující i na povrch) a výskytu mikroklimatických extrémů (teplotních, v proudění vzduchu aj.) podporujících výpar. Na rozsáhlých holinách hrozí rychlená dekompozice humusu a organických zbytků v půdě, stejně tak jako změny v půdní biotě, které mohou vést až k zániku společenství mykorrhizních hub (Vavříček a Kučera 2017). Následné opakované vylepšování a péče o kultury při nezdaru dále extrémně zvyšuje celkové náklady na dosažení zajištěného porostu, kde mj. v parametrech zajištěnosti kultury chybí parametr posuzující kvalitu kořenového systému, a nepříznivě ovlivňuje ekonomiku zakládání lesních porostů (Mauer a Palátová 2004). Ještě větším problémem je to, že tyto postupy obnovy vedou k tvorbě plošně rozsáhlých, stejnověkových, druhově chudých porostů, které nevyužívají zcela růstový prostor (nadzemní i podzemní), a kde dochází ke zvýšené konkurenci o vodu a živiny (Lindén 2003; Hopper et al. 2005). Tyto porosty nemohou být do budoucna dostatečně odolné a rezilientní vůči očekávané klimatické změně, kdy se zvyšující teplotou jsou predikovány nižší úhrny srážek a vyšší požadavky na výpar s čímž jsou spojená rizika opakování kalamit (Čermák et al. 2016). Pro eliminaci výskytu klimatických extrémů na obnovované ploše je vhodné upustit od pasečného systému hospodaření. S ohledem na nejčastější výšku dospělého mateřského porostu kolem 30 m, lze dovodit velikost holé seče ca do 0,3 ha, případně vhodně volit její tvar, aby nebylo dosaženo na pasece klimatických extrémů holé plochy. (Tyto extrémy jsou dosahovány při rozměrech volné plochy dvojnásobku výšky okolního porostu.) Přitom velikost a tvar holiny by měl být takový, aby s ohledem na expozici a svažitost terénu, výšku, hustotu a zdravotní stav okolních porostů (předpoklad životnosti, resp. doby krytí) nedocházelo k celodennímu oslunění půdního povrchu holiny či zvýšenému proudění větru, čímž by se významně zvyšovala evaporace. S ohledem na protierozní, půdo-ochrannou funkci by se měla velikost holiny upravovat úměrně se sklonem svahu (užší, delší seč).

Pro obnovu porostů v současném rozsahu holin je nutné použít kombinaci mnoha různých postupů (přímá výsadba cílových dřevin, využití dvoufázové obnovy, kombinované obnovy pěstování porostů přípravných dřevin v krátkém obmýti (30-50 let) a další) tak, aby nebyl narušen půdní pedoklimax tzn. fyzikální a biochemické vlastnosti půdy, humusová vrstva, a byla respektována především protierozní, půdoochranná a hydrická funkce lesa, respektive docházelo stále k převodu povrchového odtoku na podpovrchový, infiltraci vody. Proto je také nutné eliminovat tvorbu stejnorodých porostů a holin, kdy může především při soustředěné těžbě docházet k poškození půdního krytu, narušení vlastností půdy (především infiltrace aj.). Navíc toto narušení hydrického režimu půd může být dlouhodobé při používání těžké strojové techniky pohybující se po ploše celého porostu (Čermák et al. 2016). Ze stejného důvodu není možné doporučit ani celoplošné shrnování klestu, či celoplošnou přípravu půdy zvláště mimo rovinaté terény. V případě soustřeďování klestu do valů, by tyto měly být uspořádány šikmo po spádnici tak, aby mohla srážková voda postupně lépe zasakovat do půdy. Pro eliminaci narušení hydrického režimu půdy porostu lze využít pruhovou, ploškovou či pouze pomístnou přípravu půdy. Při štěpkování a mulčování je nutné věnovat pozornost mocnosti vrstvy se štěpkou. Organická hmota na povrchu půdy podporuje její vododržnost, mulč brání evaporaci vody z půdy. Silnější vrstva štěpky či mulče na povrchu půdy komplikuje zalesňování i přirozenou obnovu. Kořeny sazenic i kořínky klíčících semen musí být v dostatečném kontaktu s minerální půdou, jinak dochází k jejich zasychání. Kombinací více typů obnov na kalamitních holinách

Ize docílit velkoplošnou obnovu alespoň částečně druhově a věkově diverzifikovaných stabilních porostních skupin a porostů.

3.1.1. Přirozená obnova

Přirozenou obnovu je třeba upřednostňovat, a to s ohledem na neupravenost a nedeformovanost kořenového systému, dávající předpoklad zdárného vývoje, odrůstání a následně mechanické stability stromu. U sazenice vyprodukované školkařským provozem dochází během doby růstu ke krácení kořenového systému (i několikrát během růstu ve školce) za účelem tvorby bohatšího a kompaktnějšího kořenového systému. Tato technologie může být problematická u dřevin s křivým kořenem, které nedosáhne v půdním profilu takových hloubek, jako jedinci z přirozeného zmlazení. K velmi výrazným a několika druhovým deformacím kořenového systému sazenic dochází při neodborné výsadbě, kdy průměrné poškození sazenic dosahuje až 60 %. V extrémních případech bylo při nekvalitně provedené výsadbě prostokořenných sazenic zaznamenáno jejich až 100 % poškození (Mauer 2011; Mauer a Palátová 2004).

Hustota přirozené obnovy bývá často velmi vysoká (řádově statisíce semenáčků na hektar) oproti umělé, pro kterou jsou minimální počty sazenic na hektar upravovány vyhláškou č. 456/2021 Sb., příloha č. 4., což zajišťuje pestřejší genofond s větší šancí na přežití odolných jedinců i na nevhodném mikro-stanovišti. Obnova lesa přirozenou obnovou (případně také sází) s využitím přípravných dřevin, může výrazně přispět k řešení současné špatné situace, kdy je značné množství vlastníků, především drobných, ve špatné ekonomické situaci a zároveň je třeba obnovit značné množství holin. Přínosem je jednak úspora nákladů a také rozložení obnovy do delšího časového úseku. Na druhou stranu by bylo velmi nebezpečné ponechat kalamitní holiny delší dobu zcela bez lesního porostu, který i ve stádiu rozpadu snižuje proudění větru a vysoušení plochy. Proto je při předvídatelnosti obtížného zpracování kalamity a následné umělé obnovy porostní plochy vhodné ponechání kulis. V případě nedostatečné přirozené obnovy je nutné včas začít s obnovou umělou, která na rozsáhlých kalamitních holinách může být realizována také pomocí přípravných dřevin, a to jak sází, tak výsadbou. Doporučené postupy pro obnovu kalamitních holin lze nalézt v Generelu obnovy lesů po kalamitě, který je dostupný na webových stránkách Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (<https://www.uhul.cz/ke-stazeni/generel-obnovy/>). Předpokladem pro využití přirozené obnovy je existence kvalitního mateřského porostu. Jedním z hlavních limitů pro využití přirozené obnovy s širším spektrem dřevin jsou neúnosně vysoké stavy spárkaté zvěře.

3.1.2. Umělá, jedno a dvoufázová obnova

Při ponechání holiny bez stromové vegetace a obnovy dochází většinou z hydrologického hlediska ke stoupání hladiny podzemní vody, jejímu výraznému kolísání a již během několika málo let k procesu oglejení (snížení množství kyslíku a s tím spojené redukční procesy) (Mařan a Káš 1948; Pobědinskij a Krečmer 1984; Fisher et al. 2002). Dochází ke změnám v poměru hub (aktino-/bazidomycety), redukci mykorhizy (Perry 1994), což může vyvolávat a urychlovat povrchový odtok, omezovat infiltraci a následnou obnovu mykorhizy a zásobování dřevin vodou (Vavříček a Kučera 2017). Na živných stanovištích neovlivněných vodou může docházet k rychlému rozkladu humusu a organických látek v něm obsažených. Na pasece také narůstá denní i roční amplituda teplot. Denní amplituda může být na holině až 30 °C, zatímco v zapojeném lese činí zhruba 10 °C (Petřík et al. 1986). Podobné rozdíly v teplotách byly naměřeny i v půdě. V zapojeném lužním lese byla naměřena nižší teplota o 2,5 °C na povrchu a o 2,8 °C v hloubce 5 cm nežli na holině (Hadaš a Hybler 2003). Podle Pobědinskij a Krečmer (1984) je počet dní, kdy v zapojeném lese půdní teplota klesá pod bod mrazu, pětina oproti holině.

Nepříznivé podmínky velkoplošných holin výrazně komplikují umělou obnovu především u dřevin, které nejsou k odrůstání na volné ploše fyziologicky přizpůsobeny (například buk, jedle). Zvyšování podílu těchto dřevin v budoucí dřevinné skladbě je však velmi žádoucí (především jedle s obdobnou kvalitou dřeva jako smrk, a to zvláště na vodou ovlivněných stanovištích). Jednou z cest, jak toho dosáhnout je využití dvoufázové obnovy (Souček et al. 2017). Základním principem dvoufázové obnovy je postup, kdy se v první fázi vytvoří porost dřevin s pionýrskou strategií růstu (tzv. přípravný). Ve druhé fázi obnovy jsou pak tyto porosty doplňovány dřevinami cílovými (s klimaxovou strategií růstu, nejčastěji podsadbou, vnášením do kotlíků aj.). Obě fáze tohoto postupu je možno realizovat s využitím přirozené nebo umělé obnovy. Rozhodujícím faktorem jsou konkrétní stanovištní podmínky a stav lokality a porostů před vznikem holiny. Uplatnění dvoufázové obnovy s využitím přípravných dřevin je aktuálně možné prozatím řešit jen formou výjimek z platných předpisů. Při vhodném výchovném přístupu mohou mít tyto nově zakládané porosty nejen odpovídající produkční funkci (jak po stránce objemové produkce, tak i hodnotové), ale současně mohou plnit i požadované funkce mimoprodukční.

Při umělé obnově lze doporučit na základě dlouhodobých výzkumů (Mauer 2022) především využití kvalitního (vhodný poměr koruny a kořene a vyvinutý kořenový systém) obalovaného sadebního materiálu s větším kořenovým balem, který zajistí s vyšší pravděpodobností ujmoutí při přísušku. Standardní parametry morfologické a fyziologické kvality sadebního materiálu jsou uvedeny v ČSN 48 2115 - Sadební materiál lesních dřevin (ČSN 48 2115 2012). Na potenciálně vysušných stanovištích je vhodné použít tzv. utopenou sadbu s překrytím kořenového balu dostatečnou vrstvou zeminy (5 cm a více), která zabrání jeho vysychání. Sadební materiál nelze sázet do vrstvy mulče či štěpky, protože je tato vrstva velmi náchylná k vysychání. Bal s kořenovým systémem musí být nejen celý v půdě, ale i v dobrém kontaktu se zeminou po celém obvodu. Doporučit lze i zakracování nadzemní části – tvorba tzv. pahýlového sadebního materiálu, čímž se eliminuje výparná plocha listoví (Mauer 2013a). Hydrofilní, zesíťované polymery známé jako superabsorpční polymery nebo také hydrogely by mohly být technologií, která snižuje účinek stresu suchem na sazenicích (Kargar et al. 2017). Nasycením vodou získávají suché krystaly konzistenci gelu a jsou schopné udržet vodu v objemu až 400násobku své hmotnosti (Savi et al. 2014). Proto je využití hydrogelů možné za účelem zvýšení vododržnosti půdy či substrátu. Avšak je otázkou, zda jejich pozitivní vliv vyváží vynaložené zvýšené náklady, kdy cena dávky pro jednu sazenici se pohybuje od cca 3 do 8 Kč v závislosti na produktu. Hydrogel lze také doporučit jen v případě, že po výsadbě nebude následovat déletrvající deštivé období, díky čemuž hydrogel nabobtná natolik, že sníží provzdušnění půdy, následkem čehož sazenice odumírají (Sarvass et al. 2007; Shooshtarian et al. 2011).

Je třeba dbát na vhodné skladování a přepravu sadebního materiálu, neboť k vyschnutí kořenového systému dochází poměrně rychle. Při ponechání zvláště prostokořenného sadebního materiálu bez ochrany na povrchu půdy na pasece a vystavení sazenici působení slunce a větru dochází u ní již po 20 minutách k 50% ztrátě vody (Mauer 2013b). Pro skladování jsou tak nejvhodnější klimatizované sklady. Přepravu realizovat v klimatizovaném přepravním prostoru, nebo uchovávat sazenice ve speciálních pytlích, pod překrytím plachty za vhodných klimatických podmínek (tj. bez vystavení slunci, zabránění proudění vzduchu, za nižších teplot a vyšších vlhkostí vzduchu apod.). Nejúčinněji zde platí lesnická poučka: ze země – do země.

Při výsadbách je třeba dodržet minimální hektarové počty dřevin (viz příloha 4 k vyhl. č. 456/2021 Sb.; Sběrka zákonů 2021). Ovšem pro zvýšení potenciálu vypěstování kvalitních porostů je často doporučováno tyto minimální počty navýšit, zejména u listnatých dřevin, ač se to jeví zpočátku neekonomické. Pokud je však vysazován počet sazenic pouze v minimálních počtech, je pak pro zvýšení

kvality porostu nutné přejít následně k intenzivní výchově vyvětlováním. Důležité, s ohledem na ontogenetickou fázi vývoje sazenice a přírodní podmínky, je vhodné vystihnout vhodnou dobu výsadby. Tato doba s ohledem na vlhkost půdy a vývoj počasí se jeví v posledních letech vhodnější v období podzimu. V jarním období mohou být výsadby ohroženy. Zvláště po zimě bez sněhové pokrývky bývají půdy méně vlhké a společně s jarními výsušnými větry (zejm. z JV, J) a vysokými denními teplotami dochází ke zvýšené evapotranspiraci a následně k odumření rostlin. Přestože Jurásek (2015) uvádí zimní období jako zcela nepřípustné pro výsadbu prostokořenného sadebního materiálu, v současné době se jeví naopak jako nejvhodnější období (obzvláště únor, březen) pro výsadbu nejen krytokořenného ale i prostokořenného sadebního materiálu, kdy podmínkou je teplota vzduchu a povrchu půdy nesmí klesnout pod více než $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Mauer 2013a). Vhodné je pak v tuto dobu i zahrnutí báze kmene sněhem. Konec zimního období je nejvhodnějším termínem pro výsadbu i podle Seiferta et al. (2006), avšak jako hlavní kritérium pro výsadbu považují kombinaci chladného vzduchu a především rozmrzlé, dostatečně vlhké půdy, tedy teploty během výsadby by neměly klesnout pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Při volbě dřevin v druhové skladbě je třeba reflektovat vlastnosti stanoviště, které jsou popsány lesnickou typologií. Dobrým vodítkem jsou zpracované oblastní plány rozvoje lesů a rámcové směrnice hospodaření, které doporučují vhodnou cílovou skladbu dřevin i využití dřevin melioračních a zpevňovacích. Je vhodné podporovat porostní směsi více druhů dřevin (nejméně tří), kdy lze využít rozdílných ekologických nároků dřevin, odolnosti a plasticity při výskytu stresu suchem apod. Na vysychavých lokalitách je vhodné vysazovat druhy dřevin a jejich ekotypy, které mají vysokou efektivitu využití vody a stres-toleranci (Wullschleger et al. 1998). Jsou to především: duby, jilmy, jeřáby, javory a borovice. Přehled introdukovaných dřevin s potenciálem lesnického využití na stanovištích s nižší dostupností vláhy uvádí Novotný et al. (2022). Doporučit lze skupinové smíšení pro podporu tvorby mykorrhizy, kořenových srůstů a fungování hydraulického liftu mezi různě hlubokokořenícími dřevinami. Hustota výsadby je normována minimálními počty vyhláškou (viz výše).

Přípravný porost některých dřevin může vzniknout i vegetativní obnovou prostřednictvím pařezových výmladků a kořenových výstřelků. Výmladky a výstřelky využívají stávajících kořenových soustav, a poměrně dobře odrůstají i v době přísušku. Jsou tak schopny vytvořit kryt s vhodným mikroklimatem již do dvou let (Pecha 2010; Stojanović et al. 2017).

4. Doporučené postupy ve výchově lesa

Výchovné zásahy směřují obecně především k úpravě struktury porostu, a to úpravou jeho druhové, věkové a prostorové skladby. Nejčastěji úpravou hustoty porostu, respektive vzájemných kompetičních vztahů především cílových dřevin, zdravotního stavu se zaměřením na odstraňování poškozených, napadených, málo vitálních jedinců, na odstraňování netvárných a neperspektivních jedinců. Těmito zásahy je usměrňována stávající struktura s ohledem na předpokládaný vývoj porostu a jeho funkční zaměření (resp. kategorii lesa). Cílem v hospodářském lese je objemová a kvalitativní produkce, se zachováním biologické vyrovnanosti porostu na principech trvalé udržitelnosti. Tato tematika je velice široká, proto zde budou přednostně uvedena doporučení vedoucí principiálně k úpravě vodní bilance porostu a zlepšení dostupnosti vody. Metodiku pro výchovu porostů v ochranných pásmech vodních zdrojů zpracovali Slodičák a Novák (2007).

4.1. Úprava druhové skladby

S ohledem na intercepci je zřejmé, že úpravou druhové skladby porostu, respektive výběrem druhů dřevin dosahujících nižších hodnot LAI, snižováním hustoty porostu, eliminací podrostu a vegetačního pokryvu půdy, dokonce i odstraňováním prořezávkového materiálu z povrchu půdy je možné navýšit podkorunové srážky a jejich přímý vsak do půdy. Protože je známo, že je možné navýšit čisté porostní srážky (disponibilní vodu) také stokem vody po kmenech, bude vhodné podporovat případně i zastoupení dřevin právě s vyšším stokem po kmenech pro nadlepšení vodní bilance porostu. Mezi dřeviny s nízkými hodnotami LAI patří ty s řídkou korunou jako například modřín, borovice, bříza (LAI = 2-5), středních hodnot dosahuje většina ostatních druhů dřevin jako duby, buky, javory aj. (LAI = 5-8), vysokých hodnot LAI pak dosahují jehličnany s několika-úrovňovým uspořádáním jehlic v koruně (letorost – větev - přeslen) jako je například smrk, jedle nebo douglaska (LAI = 8-14; Pokorný 2002). Intercepce a LAI jsou si přímo úměrné. Stok vody po kmenech je ovlivněn velikostí koruny, hustotou listoví resp. LAI, úhlem nasazení větví (vyšší úhel podporuje vyšší stok) a charakterem kůry/borky kmene a větví (stok usnadňuje hladká kůra/borka). Vysoký stok po kmenech tak má například buk (15-18 % z porostních srážek) a velmi nízký pak například smrk (1-2 % z dopadajících srážek) (Peck 2004). Smrk je ovšem na druhou stranu díky husté koruně schopen ve vyšších nadmořských výškách vyčesávat horizontální srážky z mlhy a jejich okapem z koruny je schopen snížit intercepční ztráty (Schellekens et al. 1998; Hildebrandt a Eltahir 2008; Chen et al. 2019). Toto je však možné až ve vyšších polohách (nad 800-900 m n. m.), kde dochází k dostatečnému výskytu horizontálních srážek.

Vysokou druhovou pestrost porostu je třeba tvořit a udržovat z několika důvodů. Jak bylo zmíněno výše, druhovou pestrost porostu je možné založit již při jeho obnově, a dále je ji třeba usměrňovat a udržovat výchovnými zásahy. Zvláště s ohledem na infiltraci je třeba podporovat listnaté druhy dřevin vytvářející příznivé humusové formy a dřeviny hlubokokořenní zvyšující infiltraci do větších hloubek půdního profilu, ale i mechanickou stabilitu porostu (Kacálek et al. 2017). Různá hloubka prokořenění jednotlivých druhů dřevin v porostu také způsobuje rovnoměrnější odebrání vody z půdního profilu, včetně podpory hydrologického liftu (Zapater et al. 2011). Mezi mělce kořenící dřeviny lze zařadit smrk, jeřáb, jívu, osiku, mezi středně-hluboce kořenící- javor mléč a babyku, vrby, břízu, a mezi hluboce kořenící- modřín, jedli, borovici, douglasku, buk, jasan, dub, lípu, habr (Mauer 2013b). Hloubku prokořenění ovlivňuje skeletnatost a především výška hladiny podzemní vody. Některé druhy dřevin vytváří i různé typy kořenových soustav (například borovice – panohovitý nebo křulový) a jsou schopné kořenových srůstů (většinou vnitrodruhově, např. dub-dub, buk-buk, smrk-smrk, jasan-jasan; ale i mezidruhově, např. bříza – smrk). Ze zmíněných důvodů je třeba již v prvních výchovných zásadách podporovat především ve stejnorodých porostech dřeviny přimíšené a vtroušené. Podporovat takové smíšení dřevin, aby byl optimálně vyplněn jak podzemní, tak nadzemní prostor v porostu s ohledem na tvar korun a kořenových soustav (např. buk – smrk) resp. ekologické nároky dřevin (např. směs světlomilných se stín-snášejícími druhy). Z hlediska podpory mykorrhizy, případně i kořenových srůstů, a jednodušší výchovy lze doporučit skupinové smíšení a dbát na porostní okraje. Jsou však i dřeviny které toto nevyžadují a nevytváří (např. modřín, douglaska). V porostních okrajích by mělo být dbáno na neporušenost pláště (nepropustnost až polopropustnost), podporováno i zastoupení dřevin keřovitého vzrůstu případně i jedinců netvárných, ale vitálních, aby bylo zmírněno proudění větru do porostu, které podporuje výpar evapotranspirací.

4.2. Úprava věkové skladby

Protože je aktivní i pasivní výpar dán velikostí výparné plochy a v případě aktivního výparu transpirací především podílem osluněného a slunného typu asimilačního aparátu je zřejmé, že jednotlivé mladé stromky nedosahují takových hodnot výdeje vody transpirací jako dospělé a vzrostlé stromy. Celková evapotranspirace porostu je však závislá také na počtu stromů na ploše, resp. hustotě porostu aj. Tudíž nárosty a mlaziny odrůstající často v hustém až přehoustlém zápoji mohou dosahovat také poměrně nezanedbatelných hodnot transpirace (v létě to je 2-3 mm/den) oproti dospělým (nejčastěji 2-5 mm/den). Víceméně obdobně jako buřeň či podrost může dosahovat při LAI 1-3 transpirace 1-3 mm/den. Intercepce, jako funkce LAI, reflektuje i jeho dynamiku. Maximálních hodnot LAI dosahují dřeviny s ohledem na jejich dynamiku růstu v různém věku, například rychle rostoucí dřeviny jako topoly, vrby, olše, osika, bříza, borovice, akát, modřín a jejich porosty mohou maximálních hodnot LAI dosahovat již během prvních deseti let jejich věku i s ohledem na přirozený samozředovací efekt či výchovné zásahy. Středně rychle rostoucí dřeviny jako smrk, javor, lípa, douglaska mohou dosahovat maximální LAI již mezi 15 a 20 rokem věku porostu, pomalu rostoucí habr, dub, či tis pak většinou mezi 20 a 30 rokem života. V tomto věku také vrcholí ztráty porostu intercepací, které pak začnou mírně klesat do stádia nastávající kmenoviny a kmenoviny, zvláště pokud dojde výchovným zásahem či disturbancí k porušení zápoje a poklesu LAI. S postupujícím věkem kmenoviny a stárnutím stromů LAI dále klesá díky defoliaci a zhoršování zdravotního stavu (Pokorný a Stojnič 2012). Na LAI porostu závisí také množství podkorunových srážek. Stok po kmeni je pak úměrný především velikosti koruny, takže ten se s věkem a vyšším sociálním postavením stromu v porostu zvětšuje.

Obdobně, s ohledem na LAI, je i aktivní výpar víceméně funkcí věku stromu a jeho sociálního postavení v porostu (s vyšším uvolněním v porostu a vyšším postavením v porostu ve vektoru podúroveň – úroveň - nadúroveň stoupá LAI a podíl osluněného listoví). Malé semenáčky vydají transpirací maximálně jednotek litrů za den, zatímco dospělé stromy v řádu desítek až stovek litrů (Wullschleger et al. 1998). Obtížnější je toto uvést pro celý porost, neboť na transpiraci celého porostu se různou měrou a za různých situací počasi podílí různý počet jedinců a jedinci různého postavení v porostu s různě rozvinutým kořenovým systémem, listovou plochou aj. Příkladem může být smíšený porost lužního lesa (habro-jasanová-doubrava), kde se na transpiraci celého porostu podílí významně podúroveň tvořená habrem, který má vysoké zastoupení a podíl na vodivé části běle celého porostu (Szatniewska et al. 2022). Porosty dosahují maximálních hodnot transpiračních ztrát v našich podmínkách (ca 250 – 350 mm/rok) mezi 20 (např. bříza, smrk) a 60 lety porostu (např. borovice). Jehličnaté porosty vytranspirují celkově více než listnaté díky delší vegetační sezóně, avšak jinak jsou srovnatelné, neboť závisí především na průběhu počasi daného roku. V nižších polohách tak smíšené porosty s dubem, bukem, lípou a habrem vytranspirovaly v teplých letech 2019-2021 i 410-440 mm/rok, což činilo 74-100 % čistých srážek porostu (Novosadová et al. 2022). S ohledem na to, že porosty již brzy po jejich obnovení jsou plně funkčně zapojené do vodní bilance a hydrického režimu porostu, od věkového měřítka může být z tohoto pohledu upuštěno, neboť k obmýtí porostu dochází až ve stádiu kmenoviny. Částečně se uplatňuje pouze u podúrovně, kterou je třeba v případě potřeby nadlepšení vodní bilance horní etáže porostu eliminovat. Věk je ovšem třeba významně zohlednit při silných uvolňovacích zásazích, kdy by se tyto měly realizovat jen v mladých porostech, nejpozději do věku ca 60 let. Čím nižší věk, tím intenzivnější může být zásah. Zvyšuje se zde totiž potenciál pro rozvoj kořenového systému i koruny a přízůsobení se výrazně změněným podmínkám prostředí. Mladé silně uvolněné stromy jsou schopny variabilitu podmínek prostředí reflektovat více variabilitou transpirace.

4.3. Úprava prostorové skladby

Z hlediska prostorové úpravy lze podpořit dosud používaný přístup v prvních pěstebních zásazích (pročistkách) zaměřený na eliminaci předostlíků a obrostlíků v porostech dubu, buku a borovice (viz modely výchovy – Slodičák a Novák 2007). Pro podporu dominantních jedinců je možné zaměřit výchovný zásah do podúrovně v případě porostů smrku. Obdobně při přechodu od negativního na kladný výběr pro podporu cílových stromů odstraňujeme spíše úrovněvé či podúrovněvé konkurenty. Protože výchovný zásah vede vždy ke snížení počtu jedinců na ploše při jakémkoli typu výběru (pozitivním či negativním), dojde vždy k nadlepšení vodní bilance porostu. Větší efekt mají ovšem zásahy úrovněvé či kombinované, a ty na podporu cílových jedinců, neboť dochází k většímu rozvolnění zápoje, odstraněním vzrůstnějších jedinců a tím k výraznějšímu snížení intercepce a zvýšení podkorunových srážek i případného stoku po kmenech. Evaporace z povrchu půdy stoupá s rozvolněností porostu, zvýšeným průnikem slunečního záření na povrch půdy, ovlivněním teploty půdy a nitra porostu a průnikem větru do porostu. Příjem čistých srážek do porostu však ztráty evaporací značně převyšuje (výjimkou mohou být jarní období po suché zimě), čímž se dostupnost vody pro zbylé stromy řídkšího porostu zvyšuje. Obdobně se navyšuje transpirace jednotlivých uvolněných stromů s ohledem na zvýšenou osluněnost korun a změnu mikroklimatických parametrů prostředí, především zvýšením proudění vzduchu. Vzhledem k tomuto je nutné podporovat nepravidelné rozmístění stromů v porostu a péči o porostní plášť. Neboť při řadové výsadbě, jako například v ovocném sadu, proudění věru neúměrně zvyšuje výpar.

Při úpravě hustoty porostu je třeba brát v úvahu možnou vyrovnanost transpirace hustého porostu s mnoha jedinci transpirujícími malé množství vody s řídkým porostem s menším počtem jedinců, avšak vydávajícími transpirací velké množství vody. Tato vyrovnanost je odlišná v průběhu růstové sezóny s ohledem na dostupnost vody v půdním prostředí (např. díky průběhu odtávání sněhu v zimním období, míře nasycení půdy vodou na jaře, dynamikou čistých srážek aj.) a podmínkách prostředí na výpar. Například hustá mladá horská smrčina transpiruje obvykle více (horská poloha s nižšími teplotami vzduchu, vyšší vlhkostí vzduchu, malým počtem jasných dnů) než řídkší, s výjimkou jasných letních dnů s energií dopadající sluneční radiace nad 12 MJ/den (Pokorný 2001). Z dostupných dat se tak jeví, že dosud uplatňované intenzity zásahů (do 20 %) vedou spíše ke zhoršení vodní bilance (Pokorný et al. 2022). Lze je považovat z tohoto pohledu za nedostatečné. Vhodné je buď nezasahovat a reflektovat případnou sanitární těžbou přirozený výběr (ovšem s rizikem snížené mechanické stability porostů), nebo přejít na velmi intenzivní zásahy (30-50 %), případně výběr menšího počtu cílových stromů s následným využitím kladného výběru při výchovných zásazích. Na tento typ výběru se přechází zpravidla při dosažení výšky stromů 15 m a korunou ne kratší než 1/3 výšky a to především u vůči suchu méně tolerantních dřevin. Lze také přistoupit ke snížení počtu cílových jedinců (u smrku z doporučených 150-200 na 100-150, u buku z 80-120 na 40-80, u dubu lze ponechat 60-80 pro vyšší toleranci dubu vůči přísušku). V takovém případě se přistupuje k velmi výraznému uvolnění cílových stromů (odstranění ne 1-2 ale 3-4 konkurentů). Takto uvolněné stromy jsou schopny dosáhnout dostatečně velkých rozměrů a objemů kořenových systémů a korun a díky dostatečné produkci asimilátů produkovat dostatečné množství zásobních látek pro boj s jakýmkoli stresem vč přísušku a také realizovat stále dostatečný přírůstek kmene. Dobrým příkladem mohou být tzv Spieckerovy plochy na Školním lesním podniku ML Křtiny s cílovými počty u buku lesního jen 30-35 ks/ha (Pokorný et al. 2022), kde jsou cílové výčetní tloušťky kmenů (55-60 cm) dosaženy do 90 let věku porostu.

Více-etážové porosty je možné pěstovat především na vodou ovlivněných stanovištích. I když spodní etáž aktivním výparem zvyšuje vlhkost a snižuje teplotu v porostu, čímž eliminuje podmínky prostředí pro zvýšenou evapotranspiraci i pro jedince hlavní porostní úrovně, přesto odebírá především ze svrchnějších horizontů půdy poměrně velké množství půdní vláhy.

5. Srovnání novosti postupů

Metodika nepřináší nové či převratné poznatky z hlediska ekologie, zakládání či pěstování lesů. Její význam je v tom, že na základě ověřených a publikovaných skutečností, jakož i vlastního dlouhodobého výzkumu v systému pěstebních ploch, přehledně shrnuje metody, které jsou k dispozici pro zlepšení vodní bilance lesních porostů a které lze uplatnit v rámci existujících postupů lesnického managementu.

6. Popis uplatnění metodiky

Metodika je využitelná pro vlastníky a správce lesních majetků. Lesnictví se v současné době nachází v obtížné situaci. Je hodnoceno jako jedno z nejohroženějších odvětví změnou klimatu, zejména pak projevy sucha a vysokých teplot (MŽP 2019). Negativní vliv sucha se projevuje již nyní například na poškozeních po horkých a suchých vegetačních obdobích v letech 2015 a 2018, kdy bylo celoplošně pozorováno zhoršování zdravotního stavu lesů a kdy sucho působilo jako jeden ze spouštěcích faktorů bezprecedentní kůrovcové kalamity ve smrkových a borových porostech v České republice, ale i v celé oblasti střední Evropy. Podle současných scénářů vývoje klimatu má četnost extrémních meteorologických situací dále narůstat jak ve střednědobém (do roku 2040), tak v dlouhodobém (do roku 2100) horizontu. Z hlediska životního cyklu lesa, či obmýtí jde o velmi krátké období, kdy není možné plně uplatnit hlavní adaptační opatření, kterým je postupná změna druhové skladby ve prospěch druhů odolnějších vůči suchu. Ta pochopitelně probíhá v dlouhodobém horizontu. Z tohoto důvodu jsou potřebné sumarizace existujících postupů lesnického managementu, kterými je možné pozitivně ovlivnit vodní bilanci lesních porostů jak ve prospěch disponibilní vody pro dřeviny, tak případně pro posílení hydrické i vodohospodářské funkce lesů. Tato metodika má ambici být jedním z materiálů, které takové nástroje vlastníkům a správcům lesních majetků poskytují. Metodika dále může být využita orgány státní správy lesů a subjekty poskytujícími poradenství a odborné služby v rámci sektoru lesního hospodářství.

7. Ekonomické aspekty

Uplatnění metodiky nepřináší přímé ekonomické efekty. Přínosy jsou zejména v oblasti snižování rizik a to jak v oblasti hospodářských subjektů v lesním hospodářství, tak v oblasti environmentální a celospolečenské. Uplatnění postupů popsaných v metodice povede k alespoň částečnému posílení produkčních schopností, rezistence a rezilience lesních porostů, jež dosud nejsou adaptované na změnu klimatu. Nejde tedy o „zvýšení výnosů“, ale spíše o snížení potenciální ztráty. Zdravé a funkční lesní ekosystémy jsou nejenom základem pro produkci dřeva, ale také pro naplňování celé škály mimoprodukčních funkcí a environmentálních služeb. Z těch se tato metodika nejvíce dotýká funkce hydrické a vodohospodářské. Metodika je veřejně dostupná a není předmětem komercializace.

8. Dedikace

Certifikovaná metodika „**Pěstební postupy na podporu a úpravu složek vodní bilance ke zvýšení dostupnosti vody pro lesní porosty**“ vznikla v rámci projektu NAZV QK1810415 „Vliv dřevinné skladby a struktury lesních porostů na mikroklima a hydrologické poměry v krajině.“

9. Literatura

9.1. Seznam použité literatury

- Allagele SM, Jose S, Anderson SH, Udawatta RP, 2021. Hydraulic lift: processes, methods, and practical implications for society. *Agroforestry Systems*, 95: 641-657.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, Ab W, 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO: Rome, Italy.
- Anderle K, 1949. *Jak obrodit naše lesy*. Brázda: Praha, CZ; s. 96.
- Armbruster M, Seegert J, Fegert KH, 2004. Effects of changes in tree species composition on water flow dynamics – Model applications and their limitations. *Plant and soil*, 264: 13-24.
- Arnell N, 2002. *Hydrology and Global Environmental Change*. Pearson Education: Harlow, UK; s. 346.
- Barbier S, Balandier P, Gosselin F, 2009. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: A review. *Ann. For. Sci.*, 66(6): Article 602.
- Beven K, 2011. *Rainfall-Runoff Modelling*. The Primer. 2. vydání. Wiley-Blackwell: Chichester, UK; s. 456.
- Bittner S, Talkner U, Krämer I, Beese F, Hölscher D, Priesack E, 2010. Modeling stand water budgets of mixed temperate broad-leaved forest stands by considering variations in species specific drought response. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(10): 1347-1357.
- Boisvenue C, Running SW, 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5): 862-882.
- Chen G, Norris J, Neelin JD, Lu J, Leung LR, Sakaguchi K, 2019. Thermodynamic and Dynamic Mechanisms for Hydrological Cycle Intensification over the Full Probability Distribution of Precipitation Events. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 76(2): 497-516.
- Chisholm RA, Muller-Landau HC, Rahman KA, Bebbler DP, Bin Y et al., 2013. Scale-dependent relationships between tree species richness and ekosystém function in forests. *Journal of Ecology*, 101: 1214-1224.
- CHMI, 2022. Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>, cit. 16.12.2022.
- Crockford RH, Richardson DP, 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, groundcover and climate. *Hydrological Processes*, 14: 2903-2920.

- Čermák P, Zatloukal V, Cienciala E, Pokorný R et al., 2016. Katalog lesnických adaptačních opatření. MENDELU, ČZU, IFER: Brno, Praha, CR;
- ČSN 48 2115, 2012. Sadební materiál lesních dřevin. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Praha, CZ; s. 24. Třídící znak: 482115
- Dai A, Zhao T, Chen J, 2018. Climate Change and Drought: a Precipitation and Evaporation Perspective. *Current Climate Change Reports*, 4: 301-312.
- Dingman S, 2002. *Physical Hydrology*. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, USA; s. 646.
- Domínguez CG, García Vera MF, Chaumont C, Tournebize J, Villacís M, d'Ozouville N, Violette S, 2017. Quantification of cloud water interception in the canopy vegetation from fog gauge measurements. *Hydrological Processes*. 31(18): 3191-3205.
- Dostál R, Dykyjová D, 1962. *Zemědělská botanika: Fyziologie rostlin, fyziologie přeměny látkové*. ČSAV: Praha, CZ; s. 632.
- Duursma RA, Mäkelä A, 2007. Summary models for light interception and light-use efficiency of non-homogeneous canopies. *Tree Physiology*, 27(6): 859-870.
- Eagleson PS, 1978. Climate, Soil, and Vegetation. I. Introduction to Water Balance Dynamics. *Water Resources Research*, 14(5): 705-712.
- Espeleta JF, West JB, Donovan LA, 2004. Species-specific patterns of hydraulic lift in co-occurring adult trees and grasses in a sandhill community. *Oecologia*, 138: 341–349.
- Forgeard F, Gloaguen JC, Touffet J, 1980. Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluviocivats dans une forêt atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. *Annales des Sciences Forestières*, 37: 53-71.
- Ganatsios HP, Tsioras PA, Pavlidis T, 2010. Water yield changes as a result of silvicultural treatments in an oak ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 260(8): 1367-1374.
- Gebauer R, Martinková M, 2005. Structure and functions of the types of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) roots. *Journal of forest science*, 51(7): 305-311.
- Hadaš P, Hybler V, 2003. Analysis of Floodplain Forest Stand Microclimate Properties From the Viewpoint of Regeneration. In: Rožnovský J, Litschman T (eds.): Seminář „Mikroklima porostů“. Brno, 26. března 2003
- Hanchi A, Rapp M, 1997. Stemflow determination in forest stands. *Forest Ecology and Management*, 97: 231-235.
- Havlíček V, 1983. *Agrometeorologie*. SZN: Praha, CZ; s. 258.
- Hempfling R, Schlten H-R, Horn R, 1990. Relevance of humus composition to the physical/mechanical stability of agricultural soils: a study by direct pyrolysis-mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 17(3): 275-281.
- Hildebrandt A, Eltahir EAB, 2008. Using a horizontal precipitation model to investigate the role of turbulent cloud deposition in survival of a seasonal cloud forest in Dhofar. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113: G04028.
- Hooper DU, Chapin III FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA, 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75: 3–35.

- Johnston M, Hessel H, 2012. Climate change adaptive capacity of the Canadian forest sector. *Forest Policy and Economics*, 24: 29-34.
- Jourdan M, Cordonnier T, Dreyfus P, Rioud C, Coligny de F, Morin X, 2021. Managing mixed stands can mitigate severe climate change impacts on French alpine forests. *Regional Environmental Change*, 21: 78
- Jurásek A, 2015. Optimalizace umělé obnovy lesa a zalesňování. Nová norma ČSN 182116 – umělá obnova lesa a zalesňování. *Lesnická práce*, 94(5): 20-23.
- Kacálek D, Mauer O, Podrázský V, Slodičák M et al., 2017. *Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin*. Lesnická práce: Praha, CZ; s. 300.
- Kantor P, 1989. Meliorační účinky porostů náhradních dřevin. *Lesnictví*, 35: 1047–1066.
- Kantor P, 1990. Základní vazby celkového výparu a odtoku vody ze smrkových a bukových lesů. *Vodohospodářský časopis (Bratislava)*, 38(3): 327–348.
- Kargar M, Suresh R, Legrand M, Jutras P, Clark OG, Praser SO, 2017. Reduction in Water Stress for Tree Saplings Using Hydrogels in Soil. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(1): Article ID 73285.
- Klaassen W, Bosveld F, Water de E, 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212-213: 36-50.
- Klamerus-Iwan A, Błońska E, 2016. Seasonal variability of interception and water wettability of common oak leaves. *Ann. For. Res.*, 60(1): 63-73.
- Klimo E, 2001. *Lesnická ekologie*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita: Brno, CZ; s. 167.
- Klimo E, Prax A, Hybler V, Štykar J, 2010. The changes of the forest environment and biodiversity in a Norway spruce ecosystem with clearcutting regeneration on the original beech site. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 97-112.
- Kravčík M, Pokorný J, Kohutiar J, Kováč M, Tóth E, 2007. Voda pro ozdravenie Klímy – Nová vodná paradigma. Krupa Print: Žilina, SK; s. 90.
- Krečmer V, Peřina V, 1981. Funkce horských lesů v ochraně a tvorbě vodních zdrojů v souběhu s funkcí dřevoprodukční. *Opera Corcontica*, 18:13-51.
- Lai Y-J, Tanaka N, Im S, Kuraji K, Tantasirin C, Tuankrua V, Majuakim L, Cleophas F, Mahali MB, 2020. Climate classification of Asian university forests under current and future climate. *Journal of Forest Research*, 25(3):136-146.
- Larcher W, 2003. *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 3. vydání. Springer-Verlag: Berlin, Germany; s. 514.
- Leclerc JC, 2003. *Plant Ecophysiology*. Science Publishers: Enfield, UK; s. 296.
- Li Y, Xiao Q, Niu J, Dymond S, McPherson EG, Doorn van N, Yu X, Xie B, Zhang K, Li J, 2017. Rainfall interception by tree crown and leaf litter: An interactive process. *Hydrological Processes*, 31(20): 3533-3542.
- Lichner L, Kodešová R, Tesař M, 2008. Introduction to special issue on biohydrology. *Soil and water research*, 3 (Special issue 1): S2–S4.

- Lin H, Bouma J, Pachepsky Y, Western A, Thompson J, Genuchten van R, Vogel H-J, Lilly A, 2006. Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology. *Water Resources Research*, 42(5): W05301.
- Lindén M, 2003. *Increment and Yield in Mixed stands with Norway Spruce in Southern Sweden*. Doctoral thesis. Sveriges lantbruksuniv, Alnarp, Sweden
- Liu H, Guo H, Guo Y, Wu S, 2021. Probing changes in humus chemical characteristics in response to biochar addition and varying bulking agents during composting: A holistic multi-evidence-based approach. *Journal of Environmental Management*, 300: 113736.
- Lochman V, Kantor P, 1985. Působení smrkových a bukových porostů v Orlických horách na chemismus vody při odtoku do vodních zdrojů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 30(4): 5-9.
- Lu N, Godt J, 2013. *Hillslope Hydrology and Stability*. Cambridge University Press, New York, USA
- Ludwig F, Dawson TE, Kroon H, Berendse F, Prins HHT, 2003. Hydraulic lift in *Acacia tortilis* trees on an East African savanna. *Oecologia*, 134: 293-300.
- Macedo de J-R, Amaral Meneguelli do N, Filho TBO, Sousa Lima do JA, 2007. Estimation of field capacity and moisture retention based on regression analysis involving chemical and physical properties in Alfisols and Ultisols of the state of Rio de Janeiro. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(13-14): 2037-2055.
- Marek MV et al., 2011. *Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu*. Academia: Praha, CZ; s. 320.
- Mařan B, Káš V, 1948. *Biologie lesa; I. díl. Pedologie a mikrobiologie lesních půd*. Řada spisů technických, sv. 6, 1. vyd., Melantrich: Praha, CZ; s. 569.
- Mattaji A, Akef M, Sasan B-K, Hemmati V, 2012. Throughfall, stemflow and canopy interception loss by central beech trees (*Fagus orientalis* Lipsky) in North Forests of Iran. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 10(3): 1183-1187.
- Mauer O, 2011. *Zakládání lesa II*. Mendelova univerzita v Brně: Brno, CZ; s. 216.
- Mauer O, 2013a. Pěstování sadebního materiálu. Mendelova univerzita v Brně: Brno, CZ; s. 204.
- Mauer O, 2013b. Rhizologie lesních dřevin. Mendelova univerzita v Brně: Brno, CZ; s. 261.
- Mauer O., 2022 - osobní sdělení
- Mauer O, Palátová E, 2004. Deformace kořenového systému a stabilita lesních porostů. In: Jurásek A (ed.). Možnosti použití sadebního materiálu z intenzivních školkařských technologií pro obnovu lesa. Sborník přednášek z mezinárodního semináře, Opočno, 3. a 4. 6. 2004. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce 2004, s. 22-26.
- Mauer O, Palátová E, 2013. Vzájemné vztahy kořenových systémů jeřábu, buku a smrku ve smíšeném horském lese. In: Mauer O (ed.). Rhizologie lesních dřevin. MENDELU: Brno, CZ; s. 261.
- McDowell N, Pockman WT, Allen CD, Breshears DD, Cobb N, Kolb T, Plaut J, Sperry J, West A, Williams DG, Yezpe EA, 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178(4): 719-739.
- Min SK, Zhang X, Zwiers FW, Hegerl GC, 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470: 378-81.

- Myhre G, Alterskjær K, Stjern CW, Hodnebrog Ø, Marelle L, Samset BH, Sillmann J, Schaller N, Fischer E, Schulz M, Stohl A, 2019. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific Reports*, 9: 16063.
- MŽP, 2019. *Vyhodnocení plnění Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu*. CENIA: Praha, CZ; s. 98.
- Nadezhkina N, Ferreira M, Silva R, Pacheco CA, 2008. Seasonal variation of water uptake of a *Quercus suber* tree in Central Portugal. *Plant soil*, 305: 105–119.
- Nash JE, 1958. Determining Run-off from rainfall. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 10(2): 163-184.
- Naumann G, Alfieri L, Wyser K, Mentaschi L, Betts RA, Carrao H, Spinoni J, Vogt J, Feyen L, 2018. Global Changes in Drought Conditions Under Different Levels of Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7): 3285-3296
- Nazarenko L, Schmidt GA, Miller RL, Tausnev N, Kelley M, Ruedy R, Russell L, Aleinov I, Bauer M, Bauer S, Bleck R, Canuto V et al., 2015. Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7(1): 244-267.
- Nordén U, 1991. Acid deposition and throughfall fluxes of elements as related to tree species in deciduous forests of South Sweden. *Water Air Soil Pollut.*, 60: 209-230.
- Novosadová K, Kadlec J, Řehořková Š, Matoušková M, Urban J, Pokorný R, 2022. (under review). Comparison of rainfall partitioning and estimation of the utilization of available water in a monoculture beech forest and a mixed beech-oak-linden forest. *Water*.
- Novotný P, Fulín M, Bažant V, 2022. Katalog taxonů introdukovaných dřevin s potenciálem lesnického využití na stanovištích s nižší dostupností vláhy. Certifikovaná metodika. VÚHLM: Strnady, CZ; s. 196.
- Oke TR, 1989. The micrometeorology of the urban forest. *Royal Society*, 324(1223): 335-349.
- Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Crame W et al., 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC.
- Parker GG, 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Adv. Ecol.Res.*, 13: 57-133.
- Pausas JG, Keeley JE, 2021. Wildfires and global change. *Front Ecol Environ*, 19(7): 387-395.
- Pecha M, 2010. Křivoklátské pařeziny a lesy sdružené. In: Sloup R, Šišák L (eds.) Sborník referátů ze semináře Efektivnost lesního hospodářství se zřetelem k tvaru lesa nízkého. ČZU: Praha, CZ; s. 13-15.
- Peck AK, 2004. *Hydrometeorologische und mikroklimatische Kennzeichen von Buchenwäldern*. Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg: University of Freiburg, Germany.
- Perry DA, 1994. *Forest Ecosystems*. The John Hopkins University Press: Baltimore a London; s. 649.
- Petrík M, Havlíček V, Uhrecký I, 1986. *Lesnícka bioklimatológia*, 1. vyd. Příroda: Bratislava, SK; s. 352.
- Plíva K, Průša E, 1969. *Typologické podklady pěstování lesů*. SZN: Praha, CZ; s. 401.
- Pobědinskij AV, Krečmer V, 1984. *Funkce lesů v ochraně vod a půdy*. 1. vyd. SZN: Praha, CZ; s. 256.
- Pokorný J, 2009. Význam vegetace a vody pro zmírňování klimatické změny. *Zpravodaj Ekozemědělci přírodě*, 5: 18-19.

- Pokorný J, Hesslerová P, Jirka V, 2011. Změny povrchové teploty lesa jako následek ztráty vody a poklesu evapotranspirace. *Lesnická práce*, 90(11-12): 26-30.
- Pokorný, R., 2002. Index listové plochy v porostech lesních dřevin. MENDELU v Brně (disertační práce), 135 s.
- Pokorný R. 2021. Les a lesní hospodářství v ČR pod vlivem klimatické změny. s. 21-32, in Fanta J. a Petřík P. (eds.) Jiné klima – jiný les. Academia Praha, 210 s.
- Pokorný R. 2022. Krajina a voda v době klimatické změny. s. 69-92, in Cílek V., Polívka M., Vacek Z. (eds.) Český a moravský les. Dokořán s.r.o., 463 s.
- Pokorný R, Krejza J, Szatniewska J, Novosadová K, 2022. Intenzita zásahů – vodní bilance. Osobní sdělení.
- Pokorný R, Stojnič S, 2012. Leaf area index of Norway spruce stand in relation to its age and defoliation. *Beskydy*, 5(2): 173–180.
- Pokorný R, Šalanská P, Janouš D, 2001. Growth and Transpiration of Norway Spruce Trees in Atmosphere with Elevated CO₂ Concentration. *Ekológia (Bratislava)*, 20(1): 14-28.
- Prošková J, Hůnová I, 2006. Přístupy k hodnocení atmosférické depozice usazených srážek. *Meteorologické zprávy*, 59(5): 151-157.
- Rahmani R, Sadoddin A, Ghorbani S, 2011. Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran. *Journal of Hydrology*, 404 (3-4): 294-303.
- Richards JM, Caldwell MM, 1987. Hydraulic lift: substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. *Oecologia*, 73: 486–489.
- Safeeq M, Fares A, 2012. Interception losses in three non-native Hawaiian forest stands. *Hydrol. Process.*, 28: 237-254.
- Sarvass M, Pavlenda P, Takacova, E, 2007. Effect of Hydrogel Application on Survival and Growth of Pine Seedlings in Reclamations. *Journal of Forest Science*, 53: 204-209.
- Savi T, Marin M, Boldrin D, Incerti G, Andri S, Nardini A, 2014. Green Roofs for a Drier World: Effects of Hydrogel Amendment on Substrate and Plant Water Status. *Science of the Total Environment*, 490: 467-476.
- Sbírka zákonů, 1995. Zákon č. 289/1995 Sb. Zákon o lesích a o změně některých zákonů. Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o. Praha, CZ; částka: 76/1995.
- Sbírka zákonů, 2021. Vyhláška č. 456/2021 Sb. *Vyhláška o podrobnostech přenosu reprodukčního materiálu lesních dřevin, o evidenci o původu reprodukčního materiálu a podrobnostech o obnově lesních porostů a o zalesňování pozemků prohlášených za pozemky určené k plnění funkcí lesa.* Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o. Praha, CZ; s. 6194 – 6256; částka: 204/2021.
- Schellekens J, Bruijnzeel LA, Wickel AJ, Scatena FN, Silver WL, 1998. Interception of horizontal precipitation by elfin cloud forest in the Luquillo Mountains, Eastern Puerto Rico. Conference on fog and fog collection. 19.-24. června 1998, Vancouver, Canada; s.29-32.
- Scholz FG, Bucci SJ, Goldstein G, Meinzer FC, Franco AC, 2002. Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. *Tree physiology*, 22: 603–612.
- Scholz FG, Bucci SJ, Goldstein G, Moreira MZ, Meinzer FC, Domec JC, Villalobos-Vega R, Franco AC, Miralles-Wilhelm F, 2008. Biophysical and life-history determinants of hydraulic lift in neotropical savanna trees. *Functional ecology*, 22: 773–786.

- Seifert JR, Jacobs DF, Selig MF, 2006. Influence of seasonal planting date on field performance of six temperate deciduous forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 223(1-3), 371-378.
- Shooshtarian S, Abedi-Kupai J, TehraniFar A, 2011. Evaluation of Application of Superabsorbent Polymers in Green Space of Arid and Semi-Arid Regions with Emphasis on Iran. *Journal of Biodiversity and Ecological Sciences*, 1: 258-269.
- Shukla MK, 2014. *Soil physics: An Introduction*. CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, Florida, USA
- Slepička F, Sarga K, Anton Z, 1989. Moderní hydrologické metod pro hydrogeologické testování a bilancování, MON: Praha, CZ; s. 317.
- Slodičák M, Novák J, 2007. Výchova lesních porostů hlavních hospodářských dřevin. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v.v.i.: Jíloviště-Strnady, CR; s. 46.
- Son J-M, Eum J-H, Kim S, 2022. Wind corridor planning and management strategies using cold air characteristics: The application in Korean cities. *Sustainable Cities and Society*, 77: 103512.
- Souček J, Špulák O, Leugner J, Pulkrab K, Sloup R, Jurásek A, Martiník A, 2017. *Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin*. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 10/2016. VÚHLM: Strnady, CR; s. 35.
- Spinoni J, Naumann G, Vogt J, Barbosa P, 2015. European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach. *Global and Planetary Change*, 127: 50–57.
- Staelens J, Schrijver de A, Verheyen K, Verhoest NEC, 2008. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*, 22: 33-45.
- Stan van JT, Gordon DA, 2018. Mini-Review: Stem flow as a Resource Limitation to Near-Stem Soil. *Front. Plant Sci.*, 27.
- Steinhilber F, Abreu JA, Beer J, Wilhelms F, 2012. 9,400 years of osmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. *Earth, Atmospheric and Planetary Sciences*, 109(16): 5967-5971.
- Stenberg P, Kuuluvainen T, Kellomäki S, Grace JC, Jokela EJ, Gholz HL, 1994. Crown Structure, Light Interception and Productivity of Pine trees and Stands. *Ecological Bulletins*, 43:20-34.
- Stojanović M, Szatniewska J, Kyselová, I, Pokorný R, Čater M, 2017. Transpiration and water potential of young *Quercus petraea* (M.) Liebl. coppice sprouts and seedlings during favourable and drought conditions. *Journal of Forest Science*, 63(7): 313-323.
- Střelcová K, Kučera J, 2005. Stanovenie evapotransirácie smrekového porastu metódou s dendrometrickým prístupom. In: Rožnovský J, Litschmann T (eds.). Evaporace a evapotranspirace: Sborník z mezinárodního vědeckého semináře. ČHMÚ: Brno, CZ; s. 71-75.
- Sutcliffe JV, 2004. *Hydrology: A Question of Balance*. IAHS: Wallingford,UK; s. 200.
- Symon K, Bencko V, 1988. Znečištění ovzduší a zdraví. 1. vydání. Avicenum: Praha, CZ; s. 252.
- Szatniewska J, Zavadilova I, Nezval O, Krejza J, Petrik P, Čater M, Stojanović M, 2022. Species-specific growth and transpiration response to changing environmental conditions in floodplain forest. *Forest Ecology and Management*, 516: 120248.
- Šach F, Kantor P, Černošous V, 2007. *Metodické postupy obhospodařování lesů s vodohospodářskými funkcemi*. Lesnický průvodce 1/2007, VÚHLM v.v.i., Výzkumná stanice Opočno: Opočno, CZ; s. 25.

- Šarapatka B, 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého: Olomouc, CZ; s. 240.
- Šarapatka B, Borůvka L, Konečná J, Podhrázská J, Pospíšilová L, Sáňka M, Šantrůčková H, Vácha R, Žigová A, 2021. Půda - přehližené bohatství. Univerzita Palackého: Olomouc, CZ; s. 63.
- Švec M, 2010. Určení vlivu evapotranspirace pro zpřesnění srážko-odtokových modelů. In: Růžička J, Pešková K (eds.). Sborník – Symposium GIS Ostrava 2011. VŠB-Technická univerzita: Ostrava, CZ; s. 155.
- Švihla V, Černošous V, Šach V, Kantor P, 2014. *Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině*. Certifikovaná metodika. VÚHLM: Strnady, CZ; s. 31.
- Švihra J, 1981. Fyziologie rostlín. Příroda, Bratislava, SK; s. 383.
- Tabari H, 2020. Climate change impact on flood and extrémé precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10: 13767.
- Touma D, Ashfaq M, Nayak MA, Kao S-C, Diffenbaugh NS, 2015. A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, 526: 196-207.
- Trnka M, Štěpánek P, Chuchma R, Možný M, Bartošová L et al., 2017. *Metodika pro praxi. Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě*. ÚVGZ, ČHMÚ, MENDELU: Brno, CZ, s. 66.
- Tužinský L, 2009. Soil water regime analysis in spruce ecosystem in relation to its disponibility towards drought. *Beskydy*, 2(1): 77-84.
- Valipour M, 2017. Analysis of potential evapotranspiration using limited weather data. *Applied Water Science*, 7: 187-197.
- Vavříček D, Kučera A, 2017. *Základy lesnického půdoznanství a výživy lesních dřevin*. Lesnická práce: Kostelec nad Černými Lesy, CZ; s. 364.
- Viessman W, Harbaugh TE, Knapp JW, 1972. *Introduction to Hydrology*. Intext Educational Publishers: New York, USA; s. 428.
- Vokřál M, Darmovzalová I, Kratoš F, Buchtová A, Pospíšil R, 2021. Adaptační strategie na lesních pozemcích Mendelovy univerzity v Brně s ohledem na působící klimatickou změnu. ASITIS: Brno, CZ; s. 84.
- Vyskot M, 1971. Základy růstu a produkce lesů. SZN: Praha, CZ; s. 440.
- Vyskot M, 1978. Pěstění lesů. SZN: Praha, CZ; s. 432.
- Wang Z, Li J, Lai C, Zeng Z, Zhong R, Chen X et al., 2017. Does drought in China show a significant decreasing trend from 1961 to 2009? *Science of the Total Environment*, 579: 314-324.
- White RE, 2006. Principles and practice of soil science. 4. vydání. Blackwell Publishing Malden, UK; s. 363.
- Wu W, Geller MA, Dickinson RE, 2002. The Response of Soil Moisture to Long-Term Variability of precipitation. *Journal of Hydrometeorology*, 3(5): 604-613.
- Wullschleger SD, Meinzer FC, Vertessy R, 1998. A review of whole-plant water use studies in tree. *Tree Physiology*, 18(8-9): 499-512.
- Xiao Q, McPherson EG, 2011. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. *Urban Ecosystems*, 14: 755-769.

- Yang B, Lee DK, Heo HK, Biging G, 2019. The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering*, 15: 289-296.
- Zapater M, Hossann C, Bréda N, Bréchet C, Bonal D, Granier A, 2011. Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using 18O soil water labelling. *Trees*, 25: 885-894.
- Zhan X, Wan H, Zwiers FW, Hegerl GC, Min SK, 2013. Attributing intensification of precipitation extremes to human influence. *Geophys Res Lett.*, 40: 5252–7.
- Zhao T, Dai A, 2016. Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part II: model-simulated historical and future drought changes. *Climatic Change*, 144(3): 535–548.

9.2. Seznam publikací a výstupů předcházejících metodice

- BÍBA M., ČERNOHOUS V. 1995. Zásady úpravy vodního režimu půd a obhospodařování lesů na zamokřených stanovištích. Realizační výstup výzkumného úkolu N 03-329-869-03, VÚLHM Jíloviště-Strnady, Výzk. stanice Opočno: 17 s.
- BUŽKOVÁ R., POKORNÝ R. 2013. Biomass allocation and transpiration of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* cultivated under ambient and elevated [CO₂] concentration. *Acta Hort.* 991, 157-162.
- ČERNOHOUS V. 1996. Hladina podzemní vody a půdní vláhota v zamokřeném povodí po imisních těžbách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 41 (2): 5-8.
- ČERNOHOUS V., ŠACH F. 2007. Vliv obnovy hydrografické sítě poškozené při imisních těžbách na odtokový proces – Renewal of the hydrographical network damaged by pollution-induced felling and its effect on the runoff process. In: Vančura K. (ed.): *Les a voda v srdci Evropy – Forest and water in the heart of Europe*. Praha, MZe ČR; Brandýs nad Labem, ÚHÚL: 185-193. ISBN 978-80-7084-634-6
- ČERNOHOUS V., ŠVIHLA V., ŠACH F., KANTOR P. 2012: Metodické postupy úpravy vodního režimu lesních půd. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. 36 s. *Lesnický průvodce 1/2012*. – ISBN 978-80-7417-050-8
- ČERNOHOUS V., ŠVIHLA V., ŠACH F. 2018: Projevy sucha ve smrkové tyčovině v létě 2015. *Zprávy lesnického výzkumu*, 63, č. 1, s. 10–19.
- DVOŘÁKOVÁ, M., POKORNÝ, R., TOMÁŠKOVÁ, I., JANOUŠ, D., CZERNÝ, R., KOZLOVÁ, K. 2007. Evapotranspirace ekosystémů – les, louka, mokřad a agro-ekosystém. *Beskydy* 20: 89-94.
- KLIMÁNKOVÁ, Z., POKORNÝ, R., KULHAVÝ, J. 2003. Vodní režim horské smrčiny – srážky, interpretace. *Beskydy* 16: 29-32.
- KLIMÁNKOVÁ, Z., POKORNÝ, R. 2004. Efektivita využití vody porosty smrku ztepilého s různou hustotou v průběhu vegetační sezóny. *Beskydy* 17 (2004): 39-44.
- KUPPER, P., SELLIN, A., KLIMÁNKOVÁ, Z., POKORNÝ, R., PUERTOLAS, J. 2006. Water relations in Norway spruce trees growing at ambient and elevated CO₂ concentrations. *Biol. Plantarum* 50 (4): 603-609.
- PIETRAS J, STOJANOVIC M, KNOTT R, POKORNÝ R. 2016. Oak sprouts grow better than seedlings under drought stress. *iForest Biogeoscience and Forestry* 9: 529-535.
- POKORNÝ, R. 2000. Sap Flux Simulation and Tree Transpiration Depending on Tree Position within Stand of different Densities. *Phyton* Vol.40, Fasc.4: 157-162.
- POKORNÝ, R., ŠALANSKÁ, P. 2001. Sap flux of dominant trees under low soil water availability. *Beskydy* 14: 99-106.

- POKORNÝ, R., ŠALANSKÁ, P., JANOUŠ, D. 2001. Growth and Transpiration of Norway Spruce Trees in Atmosphere with Elevated CO₂ Concentration. *Ekológia (Bratislava)* 20 (1): 14-28.
- POKORNÝ R., TOMÁŠKOVÁ I. Water release by Norway spruce stand under extreme humid conditions. *Acta Hort. (ISHS)* 846: 309-314, 2009.
- POKORNÝ, R., SLÍPKOVÁ, R., HAVRÁNKOVÁ, K., PAVELKA, M. 2012. Ecosystem water use efficiency of Norway spruce monoculture from eddy-covariance and ecophysiological measurements *Acta Horticulturae (ISHS)* 951: 301 – 307.
- SLÍPKOVÁ, R., POKORNÝ, R. 2012. Long-term water use efficiency of young spruce forest. *Acta Horticulturae (ISHS)* 951: 293-299.
- STOJANOVIČ M., ČATER M., POKORNÝ R. 2016. Responses in young *Quercus petraea*: coppices and standards under favourable and drought conditions. *Dendrobiology* 76: 127-136.
- ŠACH F., KANTOR P., ČERNOHOUS V. 2007. Metodické postupy obhospodařování lesů s vodohospodářskými funkcemi. *Lesnický průvodce 1/2007, VÚLHM v.v.i., Výzkumná stanice Opočno: 25 s., 3 tab.*
- ŠRÁMEK, V., FADRHOŇSOVÁ, V., NEUDERTO VÁ HELLEBRANDOVÁ, K. 2019. Interception and soil water relation in Norway spruce stands of different age during the contrasting vegetation seasons of 2017 and 2018. *Journal of Forest Science* 65, 51-60.
- ŠRÁMEK, V., NEUDERTO VÁ HELLEBRANDOVÁ, K. 2016: Mapy ohrožení smrkových porostů suchem jako nástroj identifikace rizikových oblastí. *Zprávy lesnického výzkumu* 61, 305-309.
- ŠRÁMEK, V., NEUDERTO VÁ HELLEBRANDOVÁ, K. 2017: Vliv ponechání lesů samovolnému vývoji na odtokové poměry v krajině. *Zpravodaj SVOL pro vlastníky, správce a přátele lesa. Č. 31, 5. 6. 2017, s 8.*
- ŠVIHLA V., ŠACH F., ČERNOHOUS V., KANTOR P. 2007. In: Vančura V. (ed.): *Forest and Water in the Heart of Europe. MZE ČR + ÚHÚL Brandýs n. L.: 319 s., přílohy tab. a obr.*
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F., KANTOR P. 2014. Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině. *Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM: 31 s.*
- VALOUCH L., TOMÁŠKOVÁ I., POKORNÝ R. 2008. Výdej vody smrkovým porostem během extrémních vlhkostních poměrů. *Beskydy 1/2: 191-198.*