

DOUGLASKA VYUŽÍVÁ VODU Z HLUBŠÍ VRSTVY PŮDY NEŽ SMRK

DOUGLAS-FIR USES WATER FROM DEEPER SOIL LAYER THAN NORWAY SPRUCE

FRANTIŠEK ŠACH  - VLADIMÍR ČERNOHOUS - JAN BARTOŠ*Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic* e-mail: frantisek.sach@tiscali.cz

ABSTRACT

At similar site conditions, effects of two young stands on the topsoil water regime was investigated below Douglas-fir (DF) with European beech (EB) understory and below Norway spruce (NS) stand mixed with European larch (EL) and Scots pine (SP). During 2013–2019 water years the topsoil water volumetric contents (%), the topsoil water volumetric content decrements (in percent points) and the same element (in millimetres of a water column) were studied. Higher topsoil moisture values were indicated below the NS than below the DF. During dormant periods, the greater water quantity percolated below the NS than below the DF (264 mm vs. 110 mm). During growing season, the NS stand consumed more water mainly for evapotranspiration (284 mm) than the DF stand (198 mm). This should be attributable to different water regimes of both tree species and also to south-facing aspect of a steep slope in the NS stand versus northwest-facing aspect of moderate slope in the DF stand.

[For more information see Summary at the end of the article.](#)

Klíčová slova: lesnická hydrologie; svrchní vrstva půdy; vlhkost půdy; douglaska; smrk; podhorská oblast; Česká republika

Key words: forest hydrology; topsoil; soil moisture; Douglas-fir; Norway spruce; piedmont; Czech Republic

ÚVOD

Vzhledem k všeobecnému rozšiřování idejí o větším zastoupení douglasky v ČR (PODRÁZSKÝ et al. 2013) jako náhrady chřadnoucího smrku (PODRÁZSKÝ et al. 2011) mají informace o vodním režimu douglasky a smrku mimořádný význam, zejména vzhledem ke klimatickým výkyvům hrozcím povodněmi a suchem. Douglasku navíc mnozí autoři charakterizují jako dřevinu s vyššími nároky na živiny a příznivějšími melioračními účinky na půdu oproti smrku ztepilému (KUBEČEK et al. 2014). Cílem práce proto bylo vlhkostní porovnání svrchních vrstev půdy mladého douglaskového (DG) porostu s příměsí buku (BK) a mladého smrkového (SM) porostu s příměsí modřínu (MD) a borovice (BO). Srovnání bylo provedeno jen pro svrchní vrstvu půdy 0–35 cm vzhledem k omezené instrumentaci měření objemové vlhkosti půdy ve smíšeném smrkovém porostu. Informace ze svrchní půdní vrstvy však mají svou váhu, když ca tři čtvrtiny úbytku obsahu vody z celého půdního profilu pocházejí právě z této svrchní vrstvy půdy (ŠACH et al. 2022). Zmiňovanou problematiku řeší i další výzkumy vodního režimu douglasky ve společném pěstování s jinými dřevinami nebo s příměsí jiných dřevin. NADEZHINA et al. (2014) dokládají, že dospělý SM jako hlavní dřevina spotřebovává ze svrchní vrstvy půdy ve vegetačním období více vody (především na ET) a vy-

sušuje ji více než dospělá DG. Pro vlhkost svršku půdy je dále velmi významné množství vody dostávající se k půdnímu povrchu (porostní nebo též efektivní srážky). SOUBIE et al. (2016) uvádějí, že intercepční ztráty dosahovaly u DG 30 %, u BK 14 % a pod jejich směsí 19 % srážek volné plochy. Efektivní srážky je však možné prezentovat i jako přírůstek vlhkosti v LFH a A horizontu (BOUTEN et al. 1992). DG má navíc oproti SM, jako naší hlavní hospodářské dřevině, příznivější účinky na acidifikaci půdy a zlepšování humusových forem (MENŠÍK et al. 2009; KUPKA et al. 2013).

MATERIÁL A METODIKA

Místa výzkumu

VP Bystré – dílec DG s příměsí BK

Celá pokusná plocha o výměře 2,2 ha se nachází v přírodní lesní oblasti – PLO 26 (Předhoří Orlických hor) v katastrálním území obce Bystré na svažitém pozemku s mírným sklonem v průměru 8,5° (15 %). Lokalita má nadmořskou výšku 510 m a severozápadní expozici. Geologické podloží je tvořeno fylity a zelenými břidlicemi, půd-

ní typ je kambizem dystrická podzolovaná, půdní druh písčitohlinitá zemina silně kamenitá. Kamenitost byla ve vyhodnocovaném profilu zjištěna 33 % objemových pro vrstvu 0–20 cm a 35 % objemových pro vrstvu 20–35 cm. Typologicky se jedná o LT 4S6 (svěží bučina biková s ostřicí chloupkatou), dříve 4K7 (kyselá bučina se šfavelem) jako přechodový typ k bohaté ekologické řadě. Průměrné srážky za hydrologický rok činí 721 mm, průměrná teplota vzduchu 8,4 °C (tab. 1). Experimentální porost DG s příměsí BK byl založen na dílčí ploše 20 × 20 m v roce 2002. V mladém porostu se DG a BK vyskytují při řadovém smíšení v počtech 1100 DG.ha⁻¹ a 2600 BK.ha⁻¹. Výška DG je 16 m, BK 8 m, výčetní kruhová základna činí 34,0 m².ha⁻¹, resp. 3,3 m².ha⁻¹. Zápoj porostu je dokonalý (v číselném vyjádření 1), zastoupení dřevin podle výčetní základny DG 91, BK 9.

VP Čermná – dílec SM s příměsí MD a BO

Výzkumná plocha Čermná leží v přírodní lesní oblasti PLO 26 – Předhoří Orlických hor. Plocha Čermná se nachází na příkrém svahu se sklonem 24° (44 %). Lokalita má nadmořskou výšku 500 m a jižní expozici. Geologické podloží je tvořeno hrubozrnnou porfyrickou žulou, půdní typ je kambizem, půdní druh písčitohlinitá zemina, kamenitá. Skeletovitost se do hlubších půdních vrstev zvyšuje, objemová kamenitost vzrůstá z 15 % až na 45 %. Soubor lesních typů byl původně vylišen 5K (kyselá jedlová bučina), později byl překlasifikován na 5N1 (kamenitá kyselá jedlová bučina s kapradí osténkatou na prudkých svazích). Průměrná výška srážek za hydrologická léta sledování

2012/2013 až 2018/2019 činí 830 mm, průměrná teplota vzduchu za hydrologický rok 8 °C (tab. 1). Dílec se zastoupením dřevin SM 63, MD 30, BO 7 měl v roce 2018 věk 16 let.

Sběr, zpracování a vyhodnocování dat

Výzkum obsahu vody v půdě mladého porostu DG s BK a porostu SM s MD a BO byl koncipován na bázi měření hydrometeorologických a hydrologických prvků. Na otevřené ploše byly zjišťovány teplota vzduchu (T), srážky volné plochy (S), teplota a vlhkost svrchní vrstvy půdy (W) pomocí automatické meteorologické stanice.

V mladém porostu DG s BK byla měřena objemová vlhkost půdy v procentech (%) šesti snímači Virrib (výrobce Litschmann), vždy třemi snímači v hloubkách 15 cm a 30 cm. V mladém porostu SM s MD a BO byly snímače objemové vlhkosti umístěny ve svrchní vrstvě půdy, jeden v hloubce 10 cm a jeden v hloubce 25 cm. Všechny prvky byly měřeny kontinuálně a data ukládána v jednodinovém intervalu do paměťové karty.

Z údajů objemové vlhkosti dvou půdních vrstev (0,00–0,20 m; 0,20–0,35 m) byly vypočítány jednodinové úbytky (objemová %) v podobě procentních bodů. Procentní body (p. b.) představují charakteristiku vyjadřující vývoj veličiny či ukazatele uváděný v procentech (Košťáková 2016).

Procentní body byly dále použity k výpočtu ztrát Z v mm vodního sloupce představovaných sumárně semikapilárním tokem (průsakem)

Tab. 1.

Klimatické charakteristiky volné plochy na experimentálních plochách DG s BK (Bystré) vs. SM s MD a BO (Česká Čermná) Climatic characteristics of open areas on young Douglas-fir (DG) with European beech (BK) (Bystré) and young Norway spruce (SM) with European larch (MD) and Scots pine (BO) (Česká Čermná) experimental research plots

Mimovegetační období ¹ mvo	Srážky volné plochy ² DG (mm)	Srážky volné plochy SM (mm)	Průměrná teplota vzduchu ³ DG (°C)	Průměrná teplota vzduchu SM (°C)
2012/13		304,7		0,3
2013/14	296,4	233,5	3,4	3,4
2014/15		296,8	2,6	2,3
2015/16	364,2	409,1	2,7	2,3
2016/17	353,2	370,8	0,6	1,6
2017/18	307,4	298,1	1,8	1,5
2018/19	366,4	388,3	2,4	2,2
Průměr ⁴	337,5	328,8	2,3	1,9
Vegetační období ⁵ vo	Srážky volné plochy DG (mm)	Srážky volné plochy SM (mm)	Průměrná teplota vzduchu DG (°C)	Průměrná teplota vzduchu SM (°C)
2013	474,3	638,8	14,1	13,7
2014	286,0	550,2	13,9	13,7
2015	242,4	368,2	14,5	14,2
2016	356,2	411,6	14,3	13,9
2017	566,4	646,0	14,0	13,5
2018	263,0	332,5	15,8	15,5
2019	494,6	561,9	14,7	14,2
Průměr	383,3	501,3	14,5	14,1
Celkem ⁶	720,8	830,1	8,4	8,0

¹dormant period; ²precipitation of open area; ³mean air temperature; ⁴average; ⁵growing period; ⁶total

vody půdou a příjem vody na evapotranspiraci. Metoda byla odvozena na bázi našich studií o evapotranspiraci (ŠACH et al. 2006; ČERNOUHOUS et al. 2011). Ztráty Z byly vypočítány následovně:

suma úbytků objemové půdní vlhkosti jako desetinné číslo \times tloušťka půdní vrstvy v mm \times

$\times (1 - \text{objemový podíl kamenitosti jako desetinné číslo})$

pro danou vrstvu půdy, a to za jednotlivé měsíce, za mimovegetační půlrok 1. 11. – 30. 4., za vegetační půlrok 1. 5. – 31. 10. a za celý hydrologický rok 1. 11. – 31. 10. Výpočetní výraz lze s použitím níže vysvětlených symbolů zapsat následovně:

$$Z \text{ (mm)} = (\Sigma |-\Delta W_v|) \times T_{sl} * (1 - S_v) \quad (1)$$

Úbytek vlhkosti (desetinné číslo)	$ -\Delta W_v $ (wetness decrement) (decimal number)
Tloušťka půdní vrstvy (mm)	T_{sl} (thickness of the soil layer) (mm)
Kamenitost objemová (desetinné číslo)	S_v (stoniness volumetric) (decimal number)

VÝSLEDKY

Průběh objemové vlhkosti svrchní vrstvy půdy v čase

Z pozorování měsíční oscilace objemové půdní vlhkosti bylo zřejmé dosahování meze dostupnosti vláhy v povrchových půdních vrstvách (0–20 cm a 20–35 cm) v posledních čtyřech z pěti vegetačních období a prodlužování doby snížené dostupnosti vláhy jak pro porost DG s BK, tak pro porost SM s příměsí MD a BO (obr. 1). Přitom oscilace půdní vlhkosti jsou pro svrchní vrstvu půdy v obou porostech vzájemně konzistentní. Lineární trendy obsahu vody v pozorovaných hloubkách svrchní vrstvy půdy v DG i ve SM porostu jsou ve shodě klesající.

Úbytky objemové vlhkosti svrchní vrstvy půdy v čase

Ke statistické analýze a hodnocení úbytků objemové vlhkosti půdy (úbytků procentického objemu vody v půdě) byl použit postup obecného číselného porovnání založený na tzv. procentních bodech (p. b., viz metodika).

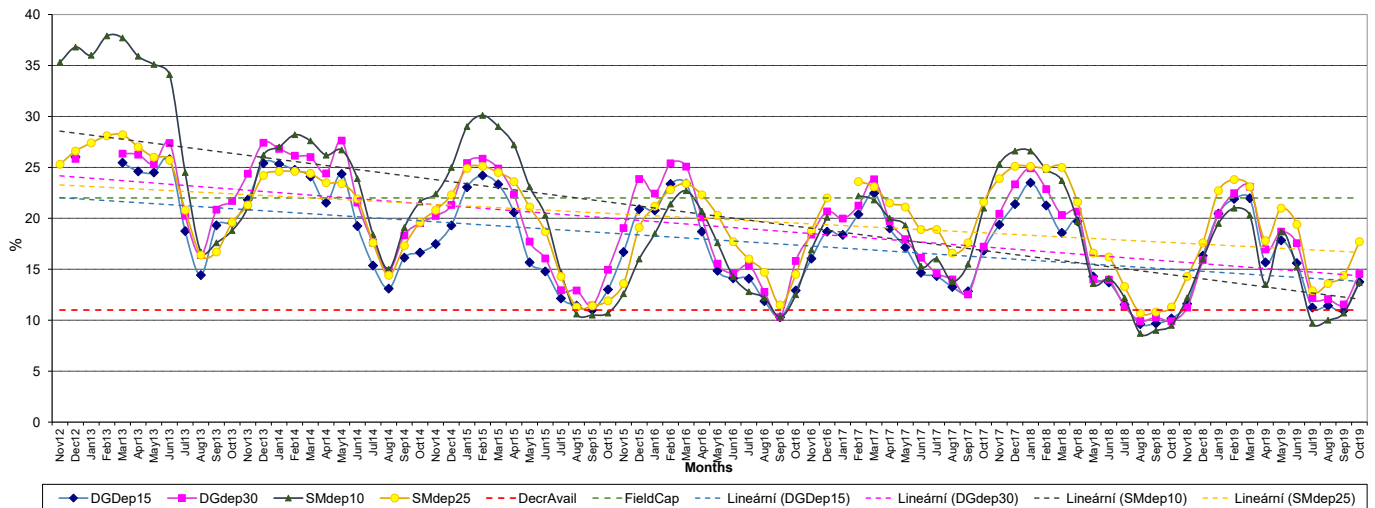
Ve vegetačním období je většina úbytků půdní vláhy spotřebována na ET. K perkolaci semikapilárními póry do hydrogeologických struktur dochází jen po intenzivnějších a delších srážkách (přivalových a krajinných). K perkolaci dochází i v mimovegetačním období, kdy prakticky není ET, případně taje sníh. Jako perkolaci semikapilárními póry lze uvažovat intenzivnější pokles půdní vlhkosti půdy (procentického objemu vody v půdě) zhruba 6 až 12 hodin po ukončení srážek, eventuálně v době tání sněhu.

Z grafu měsíčních úbytků obsahu vody v půdě v měřených hloubkách půdního profilu (15 a 30 cm v DG s BK, resp. 10 a 25 cm ve SM s MD a BO) v p. b. (obr. 2) vyplývá, že příjem vody z půdy na evapotranspiraci (ET) a perkolaci v časové řadě hydrologických let 2012/13 až 2018/19 klesal. Úbytky objemové vlhkosti dosahují nižší hodnoty v porostu DG s BK než v porostu SM s MD a BO, přitom jejich klesající trendy byly konzistentní.

Popis úbytků vlhkosti Z vyjádřený v mm vodního sloupce

Úbytky půdní vlhkosti je třeba kromě procent a procentních bodů předvést pro praktické užití také v absolutních hodnotách, např. v mm vodního sloupce. Výpočet úbytků půdní vlhkosti Z (mm) vychází z výrazu (1) uvedeného v metodice.

Svrchní vrstvy půdy (0–20 cm a 20–35 cm) v porostu DG s BK byly vlhkostně porovnány se stejnými svrchními vrstvami půdy v obdobně starém SM porostu s příměsí MD a BO. Vypočtené hodnoty Z obsahuje tab. 2. Úbytky objemové vlhkosti půdy v hloubkách 0–20 cm a 20–35 cm oscilují v hydrologických letech 2012/2013 až 2018/2019



Obr. 1.

Průběh průměrné měsíční objemové vlhkosti svrchní vrstvy půdy (cm) v hydrologických letech 2012/2013 až 2018/2019 s vyznačením meze snížené dostupnosti vody (w_{sd}) a polní vodní kapacity pro porosty douglaska s příměsí buku (DG) vs. smrk s příměsí modřínu a borovice (SM) **Fig. 1.**

Course of mean monthly volumetric moisture of two topsoil layers (cm) during 2012/2013 – 2018/2019 water years with depicting point of decreased water availability (θ_{da}) and field capacity for Douglas-fir stand with European beech admixture (DG) vs. Norway spruce with European larch and Scotch pine admixture (SM)

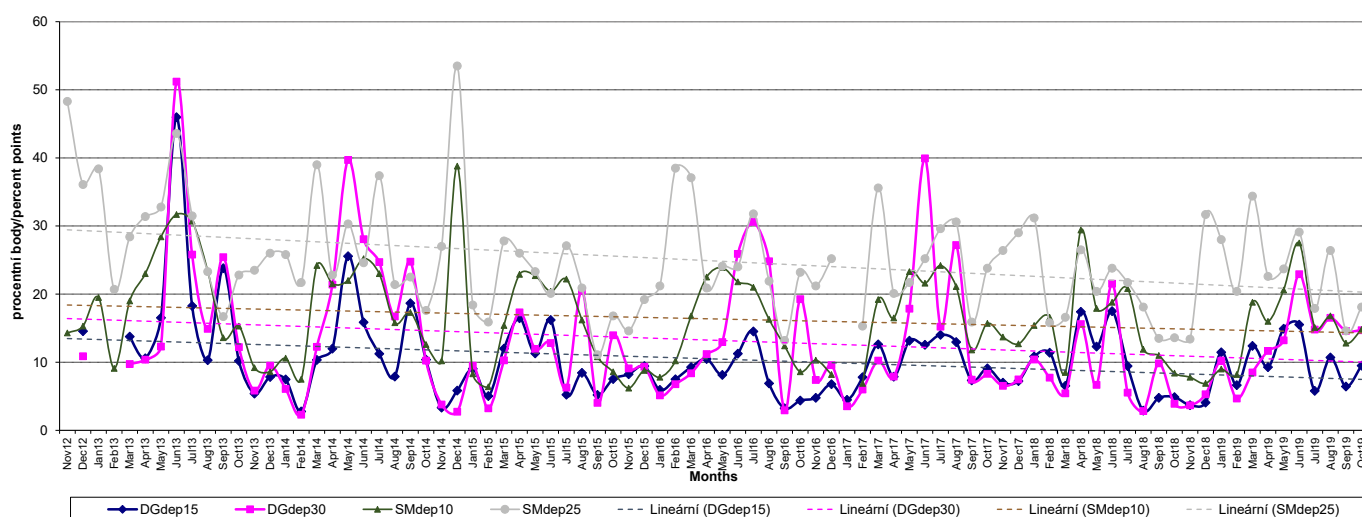
Tab. 2.

Úbytky vody (Z – v mm vodního sloupce) v mladém DG, resp. SM porostu ze svrchních půdních vrstev navazujících hloubek (cm) v mimovegetačních (mvo) a vegetačních (vo) hydrologických pololetích hydrologických let 2012/2013 až 2018/2019

Water decrements (Z – in mm of water column) in a young Douglas-fir (DG) stand and Norway spruce (SM) one from the topsoil layers of connecting depths (cm) during dormant half years (mvo) and growing ones (vo) of 2012/2013 to 2018/2019 water years

Období mimovegetační ¹	ZmvoDG (mm)	ZmvoDG (mm)	ZmvoSM (mm)	ZmvoSM (mm)	ZmvoDG (mm)	ZmvoSM (mm)
Vrstvy ²	0-20 cm	20-35 cm	0-20 cm	20-35 cm	0-35 cm	0-35 cm
2012/2013	52,1	30,2	134,3	198,2	82,3	332,5
2013/2014	61,4	55,9	109,3	154,8	117,3	264,2
2014/2015	69,3	45,7	136,7	164,4	115,0	301,1
2015/2016	68,1	48,7	96,9	147,7	116,8	244,6
2016/2017	59,4	43,5	81,9	114,5	102,9	196,3
2017/2018	80,9	51,8	129,0	141,9	132,8	270,9
2018/2019	63,7	42,9	89,4	146,7	106,6	236,1
Průměr ³	65,0	45,5	111,1	152,6	110,5	263,7
Období vegetační ⁴	ZvoDG (mm)	ZvoDG (mm)	ZvoSM (mm)	ZvoSM (mm)	ZvoDG (mm)	ZvoSM (mm)
Vrstvy ²	0-20 cm	20-35 cm	0-20 cm	20-35 cm	0-35 cm	0-35 cm
2013	167,6	138,3	191,8	166,4	305,9	358,2
2014	120,1	140,6	155,3	150,0	260,7	305,3
2015	72,2	67,9	135,2	116,3	140,1	251,5
2016	64,9	113,6	139,4	134,7	178,5	274,1
2017	92,7	113,1	157,7	143,1	205,7	300,8
2018	69,4	49,0	119,0	108,3	118,4	227,3
2019	84,3	94,4	144,2	126,6	178,6	270,7
Průměr ³	95,9	102,4	148,9	135,1	198,3	284,0

¹dormant period; ²layers; ³average; ⁴growing period

**Obr. 2.**

Měsíční úbytky (potřeba) vody z povrchových půdních hloubek na evapotranspiraci (ET) a perkolaci do podzemí v časové řadě hydrologických let 2012/2013 až 2018/2019: douglaska s bukem (DG) vs. smrk s modřínem a borovicí (SM)

Fig. 2.

Monthly decrements of water from topsoil layers for evapotranspiration (ET) and percolation in time series of 2012/2013 to 2018/2019 water year: Douglas-fir with European beech (DG) vs. Norway spruce with European larch and Scotch pine (SM)

v závislosti na období mimovegetačním či vegetačním. Za mimovegetační období (XI–IV) byly sumy úbytků Z_{mvo} nižší než Z_{vo} za vegetační období (V–X). V průměru se v mimovegetačním období jednalo o 110 mm pro DG a o 264 mm pro SM. Vyšší průměry pak byly za vegetační období, 198 mm pro DG a 284 mm pro SM.

Porost DG s BK využíval k příjmu vody na ET zejména vrstvu půdy 20–35 cm, (v průběhu sledování byla druhou nejvlhčí půdní vrstvou), méně již obvykle sušší vrstvu 0–20 cm (obě vrstvy s hustým prokořeněním). Porost SM s MD a BO využíval k příjmu vody na ET zejména vrstvu půdy 0–20 cm a méně vrstvu 20–35 cm. Trend příjmu vody na ET klesal během hydrologických let 2012/2013–2018/2019 v celém svrchním půdním profilu, což odpovídá poklesům úbytků vlhkosti půdy v měřených vrstvách

Vedle rozdílů zapříčiněných hlavními dřevinami DG vs. SM a jejich rozdílným utvářením kořenového systému (srdčitý hlubší vs. plochý povrchový) mohly být rozdíly ovlivněny také odlišnou expozicí (SZ vs. J) a sklonem svahu (8° vs. 24°), tedy menší ET a menší perkolaci DG do hydrogeologických struktur.

Rozdíly bylo možné dokumentovat též koeficientem ztrát odtoku a ET ve vztahu ke srážkám: $k_z = Z/S$. Koeficient byl vypočten buď jako desetinné číslo nebo v % (tab. 3). V mimovegetačním období opustilo, převážně odtokem, svrchní vrstvu půdy (0–35 cm) v DG porostu 33 % a ve SM porostu 80 % srážek volné plochy. Ve vegetačním období nebyly rozdíly významné. Převážně na ET se jednalo o spotřebu 54 % v DG porostu a o 57 % v porostu SM. Odhadli jsme, že DG si v mimovegetační době vytvářela zásoby vody ve dřevě na ET pro sušší předletní a letní období.

Lze uzavřít (tab. 4), že DG jako hlavní dřevina bude v mimovegetačním období méně doplňovat podzemní vody než SM.

DISKUSE

Existuje předpoklad, že přimíšené dřeviny vzhledem k zastoupení i mladému věku mají zatím na vlhkost svrchní vrstvy půdy méně významný vliv.

Srovnání vodního režimu mladých porostů DG s listnatou příměsí se SM s jehličnatou příměsí je poměrně obtížné vzhledem k malé četnosti informací jak v domácích, tak i v zahraničních zdrojích. Z domácích výzkumů lze uvést studii NADEZHINA et al. (2014), ve které z porovnání provedeného v dospělých porostech vyplynulo, že DG jako hlavní dřevina doplňovala v mimovegetačních obdobích podzemní vody méně než SM. Obdobné výsledky prokázaly naše pozorování, když úbytky vody perkolující z povrchové vrstvy půdy do podzemí byly vyšší v mladém SM porostu než v mladém porostu DG (tab. 2). NADEZHINA et al. (2014) dále doložili, že SM spotřeboval ve vegetačním období více vody především na ET ze svrchní vrstvy půdy a vysušoval ji více než DG. Podobné výsledky vyplývají i z naší studie, když ve vegetačním období vykazoval mladý SM jako hlavní dřevina vyšší úbytky vody ze svrchní vrstvy půdy než DG (tab. 2). Uvedené závěry potvrdily i trendy poklesu objemových vlhkostí svrchní vrstvy půdy (tab. 2).

Množství srážky přicházející k povrchu půdy pod DG porostem s BK je pro vlhkost půdy velmi významné. Intercepční ztráty ovlivňující efektivní (porostní) srážky posoudili pro DG, BK a jejich směs pomocí čtyř metod SOUBIE et al. (2016). Intercepce DG představovala 30 %, BK 14 % a jejich směsi 19 % srážek volné plochy. Intercepční ztráty na naší experimentální ploše DG s BK nebyly zatím porovnatelné vzhledem k nedávno zahájenému měření podkorunových srážek (throughfall). Bylo by však možné prezentovat efektivní srážky jako přírůstky vlhkosti v LFH a A horizontu (BOUTEN et al. 1992).

Ve starém smíšeném jehličnatém porostu DG a tsugy sledovali ve státě Washington UNSWORTH et al. (2004) mimo jiné denní změnu půdní vlhkosti (E_s) v povrchové vrstvě 30 cm. Ta byla větší než změna půdní vlhkosti mimo dosah kořenů, pravděpodobně kvůli hydraulické redistribuci půdní vody kořeny. Poměr transpirace Et k výparu z půdy E_s se snižoval s klesajícím obsahem půdní vody.

Tab. 3.

Poměr ztráty srážkové vody z povrchové půdní vrstvy 0–35 cm na tok do hydrogeologických struktur a na evapotranspiraci Z k atmosférickým srážkám S (koeficient Z/S) v hydrologických letech 2012/2013 až 2018/2019

Ratio of rainwater loss from the surface soil layer 0–35 cm per flow into hydrogeological structures and evapotranspiration Z to atmospheric precipitation S (Z/S coefficient) during 2012/2013 to 2018/2019 water years

Období/Season	coef. Z/S DG	coef. Z/S SM
Dormant12-13	no data	1,09
Dormant13-14	0,4	1,13
Dormant14-15	no data	1,01
Dormant15-16	0,3	0,60
Dormant16-17	0,3	0,53
Dormant17-18	0,4	0,91
Dormant18-19	0,3	0,61
Dormant average	0,33	0,80
Období/Season	coef. Z/S DG	coef. Z/S SM
Growing13		0,56
Growing14	0,9	0,55
Growing15	0,6	0,68
Growing16	0,5	0,67
Growing17	0,4	0,47
Growing18	0,5	0,68
Growing19	0,4	0,48
Growing average	0,54	0,57
Water year average	0,43	0,68

Tab. 4.

Průsak a evapotranspirace v relaci ke srážkám (koeficient Z/S) ze svrchních vrstev půdy v DG porostu s BK vs. ve SM porostu s MD a BO

Percolation and ET of precipitation (coefficient Z/S) from the upper soil layers in a DG stand with BK vs. in a SM stand with MD and BO

Období ¹	Koeficient Z/S podle dílčích svrchních vrstev půdy ²			
Roky ³	DG ⁴	DG	SM ⁵	SM
2013–2019	0–20	20–35	0–20	20–35
mvo ⁶	0,19	0,13	0,34	0,46
vo ⁷	0,26	0,28	0,30	0,27
hr ⁸	0,23	0,21	0,32	0,37

¹season; ² Z/S coefficient by partial upper soil layers; ³years; ⁴Douglas-fir; ⁵Norway spruce; ⁶dormant season; ⁷growing season; ⁸water year

V pacifickém pobřežním ekoregionu (stát Washington, USA) zjistili STOLNACK, NAIMAN (2010), že DG je nejběžnější na sušších stanovištích. Preferuje vyvýšená místa s mělčími půdami a s menší příměsí listnatých kompetitorů (olše červená, vrba aj.), která bývají na přímořských lužních stanovištích hojně zastoupena; analogicky u nás viz NOVÁK et al. (2019) pro stanoviště neovlivněná vodou.

Náš postup potlačování douglasky a uvolňování buku pro zlepšení jeho růstu a meliorační funkce je konzistentní s postupem, jenž použili DEVINE, HARRINGTON (2007) v Oregonu (USA). Po požárech přirozená invaze douglasky snižovala v pozdním létě obsah vody v půdním profilu z 250 mm na 100 mm. Prováděné potlačování douglasky předrůstající dub a uvolňování dubu zlepšilo vlhkostní poměry ve směsi douglaska, dub v porostu i v půdě. V pozdním létě mělo toto opatření za následek u uvolněných dubů navýšení obsahu vody v půdním profilu o 20–30 mm. Obdobně meliorační působení zjistili HAMDAN, SCHMIDT (2012) v Britské Kolumbii u směsi javoru velkolistého s douglaskou. Javor živil douglasku svými podkorunovými srážkami a stokem po kmeni (živiny + voda). Javor působil příznivě také na půdní úrodnost a podporoval produktivitu jehličnanů, později i jejich sukcesí, která následovala při ústupu javoru velkolistého.

Pro smíšené lesní porosty s DG a SM (jedle ojíňená, douglaska, smrk Engelmannův, osika), LAMALFA, RYLE (2008) vyšetřili, že intenzity letní evapotranspirace byly vyšší na osikových plochách (3,6 mm.den⁻¹) než na jehličnanových plochách (2,7 mm.den⁻¹). Obdobně PONTON et al. (2006) naměřili v západní Kanadě nejvyšší denní maxima intenzity evapotranspirace ET pro douglasku 2,7 mm, pro osiku 3,2 mm a pro trávník luk a pastvin 5 mm. Naše střední hodnota 2,0 mm.den⁻¹, vyplývající z tab. 2, je s výše uvedenými hodnotami zahrnujícími douglasku srovnatelná.

V mladých 10letých směsích čerpaly jehličnany douglaska a smrk vodu v průměru z hlubších půdních vrstev než listnáče buk a dub (GROSSIORD et al. 2014). Nicméně při intenzivní kompetici se zvyšujícím se podílem jehličnanů buk čerpá vodu z progresivně hlubších půdních vrstev. Obdobný náznak se ukazuje také v našich porovnáních DG s BK a jehličnaté SM směsi (tab. 2).

GYENGE et al. (2009) šetřili v Patagonii vodní režim vegetační směsi DG a přízemního rostlinstva. Zjistili velkou spotřebu vody douglaskou ve srovnání s přízemní místní vegetací. Měřili jednak vodní bilanci, jednak mízní tok (sapflow). LAI douglasky byl dvojnásobný ve srovnání s přirozenými křovisky – 12,6 vs. 5,1 m².m⁻². Nekvantifikovatelný přítok (influx) vody do půdního profilu na začátku a na konci vegetačního období zavinil nestanovitelnou vodní bilanci. Mízní tok (sapflow) byl použitelný, transpirace obou ekosystémů byla obdobná: 4,8 mm.den⁻¹, resp. 3,6 mm.den⁻¹ pro douglasku, resp. křoviska.

Tab. 5.

Vodní bilance porostů vybraných dřevin podle MÜLLER (2005, 2009)
Water balance of selected tree species stands by MÜLLER (2005, 2009)

Srážky volné plochy ¹ (mm)	Hydrol. rok ³	1978–1984	1985–1989	1990–1998
	Věk porostu ⁴	4 až 10	11 až 15	16 až 24
		633	625	633
Průsak do podzemí ² (mm)	Buk/Beech	292	170	144
	Modřín/Larch	270	149	49
	Douglaska/Dg.fir	334	208	53
	Borovice/Pine	190	88	8

¹precipitation of open area; ²leakage into the underground; ³water year; ⁴stand age

Důležitou exaktní informaci, kterou lze využít při kalkulaci vodní bilance porostů s DG v mimovegetačním období, poskytli MOORE et al. 2011. V porostech DG a olše červené od října do března vedl transpirační proud douglasky pouze 19 % vody využitě k transpiraci (v té době byla olše červená bezlistá), zbývajících 81 % v mimovegetační době perkolovalo do podzemí. V našem případě (tab. 2) by tedy v mimovegetačním období byly ztráty Z_{mvo} , tvořící především perkolaci do podzemí, zatíženy odečtem přibližně 19 % srážek spotřebovaných v konci mimovegetačního období na ET; v našich experimentech by tato ET činila 21 mm u DG a 50 mm u SM. Rozdíl vznikl pravděpodobně v důsledku rozdílné expozice – severozápadní u DG a jižní u SM.

MÜLLER (2005) vedl rozsáhlý experimentální výzkum ve východoněmecké nížině, jejíž značná část je pokrytá lesem s listnatými a jehličnatými dřevinami. Roční srážky se pohybují mezi 500–600 mm. Půdy jsou písčité, s nízkou vododržností (vodní zádržnou kapacitou), vysokou pórovitostí a omezenou dostupností půdní vody. V Eberswalde bylo vybudováno 9 velkých lyzimetrů, každý o ploše 100 m² a hloubce 5 m. V roce 1974 tam byly vysázeny borovice, buk, modřín a douglaska. V letech 1992–1999 roční srážky činily v průměru 633 mm, roční produkce podzemní vody byla v buku 123 mm, v modřínu 45 mm, v douglasce 41 mm a v borovici 8 mm. Rozdíly byly zapříčiněny především intercepčními ztrátami, ale i evapotranspirací půdního krytu. Využití k potenciální komparaci lze i níže uvedenou, delší časově separovanou řadu hydrologických let, publikovanou MÜLLEREM v roce 2009 (tab. 5). Řada nepřímo indikuje vývoj množství srážek zachycovaných porosty vyspívajících dřevin (IET) a hlavně prezentuje podíl srážek propouštěných do podzemí porosty dřevin na písčité půdě.

PERRY, JONES (2017) prezentovali v Oregonu prováděný převod jehličnatého smíšeného starého lesa na DG kultury, který vykázal v důsledku změn bilančních prvků velký účinek na letní průtoky. Průměrný denní průtok v létě (červenec až září) v povodích se 34- až 43letými výsadbami douglasky byl o 50 % nižší než průtok z referenčních povodí se 150 až 500 let starými lesy s dominující douglaskou, tsugou západní a dalšími koniferami. Je to další argument, že hydrologicky funkční les „dozrává“ až po 100 letech (POKORNÝ 2020). Mladé stromy měly větší výčetní základnu, a tudíž vyšší mízní tok a transpirační proud na jednotku plochy výčetní základny. Měly i větší LAI a menší schopnost omezit transpiraci než staré DG, a to zvláště v suchém létě. Z mladších porostů se snižuje průtok a zmenšuje se také ohřev odtékající vody. Tato ovlivnění se přitom mohou dále promítnout i do velkých povodí. Nastalé změny průtoků pak mohou být v povodí velkých řek mylně interpretovány jako působení klimatické změny. Takové závěry jsou konzistentní s naší studií, ale i dalšími pracemi (FILJUS, ROOSSENSCHOON 1998). Douglaska jako hlavní dřevina bude v mimovegetačním období méně doplňovat podzemní vody než smrk. Lze také odhadovat, že v mimovegetačním období pravděpodobně dokáže redistribuovat vodu z povrchové vrstvy půdy do kmene a větví jako zásobu využitelnou v sušší vegetační sezóně (BEEDLOW et al. 2007). Ve vegetačním období pak douglaska jako hlavní dřevina bude spotřebovávat méně vody na ET ze svrchní vrstvy půdy a méně ji vysušovat než smrk.

ZÁVĚR

Sezónní oscilace vlhkosti ve svrchní vrstvě půdy byly v obou porostech konzistentní (méně v mimovegetačních a více ve vegetačních obdobích); rozdíly poklesu trendů v důsledku probíhajícího sucha byly nevýznamné.

Většina úbytků půdní vláhy byla spotřebována ve vegetačním období na ET. K perkolaci semikapilárními póry do hydrogeologických struktur docházelo jen po intenzivnějších a delších srážkách (přivalových a krajinných) či v zimě, kdy prakticky není ET a případně taje sněh.

Jako perkolaci semikapilárními póry jsme uvažovali intenzivnější pokles půdní vlhkosti (procentického objemu vody v půdě) zhruba 6 až 12 hodin po ukončení srážek, eventuálně v době tání sněhu.

Porost DG s BK využíval k příjmu vody na ET zejména vrstvu půdy 20–35 cm, (v průběhu sledování byla druhou nejvlhčí půdní vrstvou), méně již obvykle sušší vrstvu 0–20 cm (obě vrstvy s hustým prokořeněním). Porost SM s MD a BO využíval k příjmu vody na ET zejména svrchní vrstvu půdy 0–20 cm a méně vrstvu 20–35 cm.

Poděkování:

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118 a z podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe projektu NAZV QK1810415 „Vliv dřevinné skladby a struktury lesních porostů na mikroklima a hydrologické poměry v krajině“.

LITERATURA

- BEEDLOW P.A., TINGEY D.T., LEE E.H., PHILLIPS D.L., ANDERSEN C. P., WASCHMANN R.S., JOHNSON M.G. 2007. Sapwood moisture in Douglas-fir boles and seasonal changes in soil water. *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (7): 1263–1271.
- BOUTEN W., HEIMOVAARA T.J., TIKTAK A. 1992. Spatial patterns of throughfall and soil water dynamics in a Douglas-fir stand. *Water Resources Research*, 28 (12): 3227–3233. DOI: 10.1029/92WR01764
- ČERNOHOUS V., ŠACH F., KANTOR P., ŠVIHLA V. 2011. Methods of evapotranspiration assessment and outcomes from forest stands and a small watershed. In: Łabędzki L. (ed.): *Evapotranspiration*. Rijeka (Croatia), InTech: 73–102.
- DEVINE W.D., HARRINGTON C.A. 2007. Release of Oregon white oak from overtopping Douglas-fir: effects on soil water and microclimate. *Northwest Science*, 81 (2): 112–124.
- FILIUS B.M., ROOSENSCHOON O.R. 1998. Tree species conversion to diminish forest's water use – financial consequences of a controversial forest management practice in the Netherlands. *Journal of Forest Economics*, 4 (1): 85–101.
- GROSSIORD C., GESSLER A., GRANIER A., BERGER S., BRÉCHET C., HENTSCHEL R., HOMMEL R., SCHERER-LORENZEN M., BONAL D. 2014. Impact of interspecific interactions on the soil water uptake depth in a young temperate mixed species plantation. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 519 (Part D): 3511–3519. DOI 10.1016/j.jhydrol.2014.11.011
- GYENGE J., FERNÁNDEZ M.E., SCHLICHTER T. 2009. Effects on site water balance of conversion from native mixed forest to Douglas-fir plantation in N.W. Patagonia. *New Forests*, 38 (1): 67–80. DOI: 10.1007/s11056-009-9132-0
- HAMDAN K., SCHMIDT M. 2012. The influence of bigleaf maple on chemical properties of throughfall, stemflow, and forest floor in coniferous forest in the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Forest Research*, 42 (5): 868–878. DOI: 10.1139/x2012-042
- KOŠŤÁKOVÁ T. 2016. Procentní bod a procento. *Statistika a my*. Praha, Český statistický úřad: 2 s.
- KUBEČEK J., ŠTEFANČÍK I., PODRÁZSKÝ V., LONGAUER R. 2014. Výsledky výzkumu douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* / Mirb./ Franco) v České republice a na Slovensku – přehled. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 60: 116–124.
- KUPKA I., PODRÁZSKÝ V., KUBEČEK J. 2013. Soil-forming effect of Douglas fir at lower altitudes – a case study. *Journal of Forest Science*, 59, (9): 345–35.
- LAMALFA E.M., RYLE R. 2008. Differential snowpack accumulation and water dynamics in aspen and conifer communities: implications for water yield and ecosystem function. *Ecosystems*, 11 (4): 569–581. DOI: 10.1007/s10021-008-9143-2
- MENŠÍK L., KULHAVÝ J., KANTOR P., REMEŠ M. 2009. Humus conditions of stands with different proportion of Douglas fir in the Hůrky Training Forest District and Křtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 55 (8): 345–356.
- MOORE G.W., BAND B.J., JONES J.A. 2011. A comparison of annual transpiration and productivity in monoculture and mixed-species Douglas-fir and red alder stands. *Forest Ecology and Management*, 262 (12): 2263–2270. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.08.018
- MÜLLER J. 2005. 30 years of forest hydrology research with large-scale lysimeters in Britz – aims and results. *Irdning, Hoherer Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein*: 29–32.
- MÜLLER J. 2009. Forestry and water budget of the lowlands in northeast Germany – consequences for the choice of tree species and for forest management. *Journal of Water and Land Development*, 13a: 133–148.
- NADEZHDIRINA N., URBAN J., ČERMÁK J., NADEZHDIRIN V., KANTOR P. 2014. Comparative study of long-term water uptake of Norway spruce and Douglas-fir in Moravian upland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62 (1): 1–6.
- NOVÁK J., DUŠEK D., KACÁLEK D. 2019. Růst kultur douglasky ve směsi s domácími dřevinami na různých lesních stanovištích. [Growth of juvenile Douglas-fir mixed with native tree species on different forest sites]. *Zprávy lesnického výzkumu*, 64, (3): 133–139.
- PERRY T.D., JONES J.A. 2017. Summer streamflow deficits from regenerating Douglas-fir forest in the Pacific Northwest, USA. *Ecohydrology*, 10 (2): e 1790. DOI: 10.1002/eco.1790
- PODRÁZSKÝ V., VIEWEGH J., MATĚJKA K. 2011. Vliv douglasky na rostlinná společenstva lesů ve srovnání s jinými dřevinami. *ZLV*, 56 (Special): 44–51.
- PODRÁZSKÝ V., ČERMÁK R., ZAHRADNÍK D., KOUBA J. 2013. Production of Douglas-fir in the Czech Republic based on national forest inventory data. *Journal of Forest Science*, 59 (10): 398–404.
- POKORNÝ J. 2020. Lesy přitahují vodu. *Vodohospodářský bulletin*: 29–32.
- PONTON S., FLANAGAN L.B., ALSTAD K.P., JOHNSON B.G., MORGENSTERN K., KLJUN N., BLACK T.A., BARR A.G. 2006. Comparison of ecosystem water-use efficiency among Douglas-fir forest, aspen forest and grassland using eddy covariance and carbon isotope techniques. *Global Change Biology*, 12 (2): 294–310. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01103.x
- SOUBIE R., HEINESCH B., GRANIER A., AUBINET M., VINCKE C. 2016. Evapotranspiration assessment of a mixed temperate forest by four methods: eddy covariance, soil water budget, analytical and model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228: 191–204. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.07.001
- STOLNACK S.A., NAIMAN R.J. 2010. Patterns of conifer establishment and vigor on montane river floodplains in Olympic National Park, Washington, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 40 (3): 410–422. DOI: 10.1139/X09-200

- ŠACH F., KANTOR P., ČERNOHOUS V. 2006. Stanovení evapotranspirace mladého smrkového a bukového porostu metodou kontinuálního měření objemové vlhkosti v půdním profilu. [Determination of evapotranspiration of young Norway spruce stand and European beech one by method of continual measurement of volumetric moisture in soil profile]. In: Jurásek A. et al. (eds.): Stabilization of forest functions in biotopes disturbed by anthropogenic activity. Opočno 5. – 6. 9. 2006. Jíloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti – Výzkumná stanice Opočno: 525–536.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., KACÁLEK D., BARTOŠ J. 2022. Dynamika půdní vlhkosti pod mladým douglaskovým porostem s bukem v podhorské oblasti: naměřená data 2012–2019 srovnávaná s literárními údaji. Zprávy lesnického výzkumu, 67: 31–42.
- UNSWORTH M.H., PHILLIPS N., LINK T., BOND B.J., FALK M., HARMON M.E., HINCKLEY T.M., MARKS D., KYAV THA PAW U. 2004. Components and controls of water flux in an old growth Douglas-fir-Western hemlock ecosystem. Ecosystems, 7 (5): 468–481. DOI: 10.1007/s10021-004-0138-3

DOUGLAS-FIR USES WATER FROM DEEPER SOIL LAYER THAN NORWAY SPRUCE

SUMMARY

Douglas-fir (DF) is seen as a suitable substitute for declining stands with Norway spruce (NS) in the Czech Republic. Spruce die-off is attributable to climatic oscillations with danger of drought and floods. From this point of view, it was reasonable to investigate a water regime of both the DF and NS at similar 500 m above sea level sites. The young DF stand had European beech (EB) undestory and the young NS was mixed with European larch (EL) and Scots pine (SP). During 2013–2019 water years the topsoil water volumetric contents (moistures) in percent (Fig.1), the topsoil water volumetric content decrements in percent points (Fig. 2) and the same element in millimetres of a water column (Tab. 2) were studied. The comparison was possible done only for two layers of depth of 0–20 cm and 20–35 cm representing together the topsoil. It was owing to very restricted instrumentation of soil volumetric moisture measurement in the NS stand (only two sensors in two soil depths mentioned above). Using soil moisture information only about topsoil is possible to reason by their weight: circa $\frac{3}{4}$ of soil water decrements from the whole soil profile (0–65 cm) on percolation and ET come just from topsoil (ŠACH et al. 2022).

Wetter topsoil conditions were indicated at the NS compared to the DF. During dormant periods, also more water percolated below the NS than below the DF stand (264 mm vs. 110 mm). During growing season, the NS consumed more water mainly for evapotranspiration (284 mm) than the DF stand (198 mm). This was likely attributable to different water regimes of both tree species and also to south aspect of steep slope at the NS site whereas DF moderate slope faced northwest.

Some foreign results were applicable to our study as well. For example MOORE et al. (2011) detected that 19% of soil water (the red alder was leafless at that time) was consumed to be transpired. Remaining 81% of soil water percolated into underground (MOORE et al. 2011). In our study, the ET water losses would be 21 mm at DF and 50 mm at NS at the end of dormant period.

It can be concluded that DF as a main tree species would allow less soil moisture to recharge the groundwater than the NS during dormant period. It is also possible to estimate that DF in dormant season will be able to redistribute water from topsoil into stems and branches as a supply exploitable during drier growing season (similarly BEEDLOW et al. 2007). Then DF as a main tree species would consume less water from the topsoil than the NS during growing season.

Zasláno/Received: 02. 06. 2021

Přijato do tisku/Accepted: 30. 01. 2022