


# HYDRAULICKÝ LIFT BUKU PRO SMRK: POTENCIÁLNĚ VÝZNAMNÝ EKOSYSTÉMOVÝ PROCES PRO PĚSTOVÁNÍ SMRKOVÝCH POROSTŮ V SOUVISLOSTI S KLIMATICKOU ZMĚNOU OTEPLOVÁNÍ

## HYDRAULIC LIFT BY BEECH TO SPRUCE: POTENTIALLY IMPORTANT ECOSYSTEM PROCESS FOR SPRUCE STAND SILVICULTURE IN CONNECTION WITH CLIMATIC CHANGE OF WARMING

FRANTIŠEK ŠACH  - VLADIMÍR ČERNOHOUS

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, CZ - 517 73 Opočno

 e-mail: sach@vulhmop.cz

### ABSTRACT

The paper represents a follow-up survey of soil water redistribution through root system of deeper rooting trees in favour of trees rooted shallowly. Problems are solved in relation to climatic fluctuation comprising dry periods and potential shortage of soil water for trees with particularly superficial spread of fine roots. Solution proceeds as amendment of water balance research in young spruce, beech, and beech spruce stands on long-term experimental objects in the Orlické hory Mts., Czech Republic. It proceeds from continuous measuring volume content of soil water in soil profile layers by 45 soil moisture sensors. Scientific findings from the Deštná stráž (DS) experimental area and U Dvou louček (UDL) experimental watershed show, during dry periods, different intake of water by spruce and beech trees, and on the DS potential water redistribution in beech stand soil from deeper layers into upper layer of soil profile, so called hydraulic lift. On the basis of results from the DS, the method for estimating of hydraulic lift potential of beech in favour of spruce was devised. The estimate was carried out by proportional superposition of beech into a spruce stand. Thirty percent admixture of beech into the spruce stand increased model volume moisture of the upper soil layer (0–10 cm) in dry periods above value beyond range of decrease availability of soil water for plants (4–11%). Consequently, we were able to recommend model tree species composition of mountain woods in relation to hydraulic lift of beech: 70% spruce and 30% beech. In the mixed young spruce stand interplanted with beech (the UDL experimental watershed), the hydraulic lift of temporarily suppressed beech interplantation has not yet appeared.

**Klíčová slova:** mladé porosty, smrčina, bučina, buková smrčina, suché periody, hydraulický lift, Orlické hory

**Key words:** young stands, spruce, beech, beech-spruce, dry periods, hydraulic lift, Orlické hory Mts., Czech Republic

### ÚVOD

Práce vychází z hypotézy stručně naznačené v nadpisu, a sice: existuje hydraulický lift buku pro smrk, tedy redistribuce vláhy v půdním profilu kořenovým systémem buku („hydraulic lift“) k nadlepšení vlhkostních poměrů v povrchové vrstvě půdy pro smrk v suchých obdobích?

Mimořádně významná z hlediska klimatické změny (oteplování) může obecně být redistribuce vody v půdním profilu kořenovým systémem některých dřevin („hydraulic lift“), z níž mohou současně profitovat některé dřeviny jiné, včetně přízemní vegetace (souhrnně nejnověji SCHOLZ et al. 2008). Hydraulickým liftem se rozumí převážně noční nasátí vody kořeny z hlubších vlhčích půdních horizontů a její přemístění a exsudace z kořenů do svrchní sušší vrstvy půdy za účelem udržení funkčnosti laterálních kořenů buku pro příjem živin ze svrchní vrstvy půdy, a tím i poskytnutí vody na transpiraci pro sousedící smrk. Proces hydraulického liftu buku pro smrk zmínili pro ČR v rámci tématu biohydrologie LICHNER et al. (2008), avšak bez dalšího rozvedení. V zahraničí studovala problematiku hydraulického liftu („hydraulic lift“) především v suchých oblastech řada autorů (DAWSON 1993; CALDWELL et al. 1998; HORTON, HART 1998; BROOKS et

al. 2002; SCHOLZ et al. 2002; LUDWIG et al. 2003; FILELLA, PENUELAS 2003; ESPELETA et al. 2004; NADEZHINA et al. 2008).

Pro zjišťování existence hydraulického liftu byly využity stacionární v Orlických horách s kontinuálním měřením vlhkosti půdního profilu, primárně zaměřené na výzkum vodní bilance. Jedná se o mladé porosty smrku a buku na stacionáru Deštné (patnáctiletá řada), na stacionáru U Dvou louček pak o mladý porost smrku (pětiletá řada) a smíšený buk-smrkový porost – smrk s prosadbou buku a zmlazeným jeřábem (tříletá řada).

Pomocí analýz průběhů vlhkosti půdního profilu v suchých obdobích bylo snahou na základě předběžného hodnocení zjistit, zda během suchých period dochází k redistribuci vody v půdním profilu bukoveho porostu a zda se tak může dívat ve prospěch smrku. Smíšení smrku s bukem by tak mohlo přinést zmírnění pro smrk nebezpečných přísušků v případech klimatických výkyvů (TUŽINSKÝ 2009), zejména pak v nižším, 5. až 3. lesním vegetačním stupni (lvs).

Tyto předpoklady vycházejí z konstatování starých lesnických praktiků, že buk přímo živí smrky, jak uvádí ANDERLE (1949) v kritickém rozboru porostní směsi smrku s bukem pro horské a podhorské polo-

hy. Konstatování také podporují výsledky ze stacionáru Deštné, kde stok po kmeni v bukovém porostu představoval přísun vody k povrchu lesní půdy ca 12 % srážkového úhrnu ve vegetačním i mimovegetačním období a byl obohacen o depozici prvků z korunové vrstvy (LOCHMAN, KANTOR 1985).

Pro suchá období byla vyslovena hypotéza, že hydraulický lift buku, sloužící k tvorbě půdního roztoku, a tudíž k příjmu živin (výživa) a zejména k příjmu vody na chlazení (transpirace), by mohl prospívat smrku, jehož kořenový systém a zejména jemné kořeny jsou převážně v povrchové vrstvě půdy (horizonty LFH, Ah). Hypotézu podporují i výzkumy Palátové (PALÁTOVÁ 2003), a to z pohledu vzájemného prostorového uspořádání kořenových systémů buku a smrku. Autorka přináší významný poznatek o prostorovém uspořádání kořenů ve smíšeném porostu smrku, buku a jeřábu na horském svahu Beskyd, kde se v laterálním směru mohou v humusových nebo humusem obohacených horizontech prolínat kořeny jeřábu a smrku, nebo i buku a smrku, ale ne jeřábu a buku (alelopatie). Ve vertikálním směru jeřáb obsazuje prostor pod kořenovým systémem smrku a buk pod kořenovým systémem jeřábu.

Prosperita, růst, zdravotní stav a produkce závisí na vstupu a pohybu vody do ekosystému smíšeného lesa. Vstup a pohyb vody v ekosystému smíšeného lesa lze ovlivnit pěstební péčí (výchova a proces obnovy). Vodní bilance smíšených porostů smrku a buku není dostatečně prozkoumána. Názory na vzájemné negativní ovlivnění či prospívání nejsou jednotné (HIETZ et al. 2000; SCHUME et al. 2004). Přínosem výzkumu by bylo prokázání hypotézy o hydraulickém liftu buku a dále pak o profitu, který z něho má smrk. Výzkum by tak mohl získat jistý praktický informační předstih o prosperitě smrkových porostů v souvislosti s možným působením klimatické změny oteplování a navrhovat hospodářská opatření, druhovou skladbu a obnovu porostů.

## MATERIÁL A METODIKA

Problematika je řešena na bilančním stacionáru Deštné na Deštné stráni (DS), kde lze využít od vegetačního období 1999 trvajících sledování v roce 2013 již 15leté řady kontinuálně měřených bilančních prvků. Základní popis stacionáru Deštné je uveden v pracích Kantora (např. KANTOR et al. 2009). Změny obsahu vody v půdě jsou podle jednotlivých horizontů určovány snímači objemové vlhkosti s automatickým sběrem dat. Snímače jsou umístěny v kořenové sféře v hloubkách 5 cm, 20 cm a 50 cm na třech vybraných místech v každém porostu. Výběr míst sledoval variabilitu porostního prostředí. Na automatických stanicích byly kontinuálně sledovány klimatické faktory, zejména srážky, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Získané údaje jsou využívány pro vyhodnocování období sucha.

Potřebná zájmová sledování byla zahájena také na stacionáru experimentální povodí U Dvou louček (UDL), podrobně představeném v pracích Černoouse (např. ČERNOHOUS 2006 či ČERNOHOUS, ŠACH 2008). Na stacionáru experimentální povodí UDL byla kontinuálně měření obsahu vody v půdě podle jednotlivých horizontů prostřednictvím snímačů objemové vlhkosti s automatickým sběrem dat (obdobně tomu na stacionáru Deštné) zahájena v mladém smrkovém porostu na začátku vegetačního období v roce 2009, v mladém smíšeném porostu smrku a buku pak na konci vegetačního období v roce 2010. Tři snímače byly instalovány v kořenové sféře ve čtyřech hloubkách (15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm) a na čtyřech vybraných místech v každém porostu. Také zde výběr míst sledoval variabilitu porostního prostředí.

Dlouhé suché periody byly vybrány na bázi řady bezesrážkových dnů volné plochy. Jejich délka přesahovala zpravidla 10 dnů. Výběr byl podpořen zohledněním dynamiky objemové vlhkosti jemnozeme ve sledovaných vrstvách půdního profilu. Sucho tak bylo charakterizováno absencí srážek překračujících skropnou kapacitu korunové vrstvy lesního porostu (ca 2 mm), ale zejména dlouhodobým pokle-

sem obsahu vody (vlhkosti půdy) v půdních horizontech. Principiálně obdobný přístup, ale založený na měření příjmu vody proudící z půdy xylémem kořenů, využili ve smíšeném jehličnatém porostu smrku a douglasky NADEZHINA et al. (2014).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### Analýza suchých period na stacionáru Deštné v letech 1999–2013 z pohledu redistribuce vláhy v půdním profilu

Analyzované suché periody (tab. 1) podchycují různé fenologické fáze a počasí vegetačních období. Z hodnocení 21 vybraných suchých period na dlouhodobé výzkumné ploše Deštná stráž ve vegetačních obdobích 1999–2013 vyplynulo, že klesající objemová vlhkost půdy, zobrazená na 21 grafech představených v pracích ČERNOHOUS (2012, 2013 a 2014), byla v hloubkách 20 cm a 50 cm vždy nižší pod mladým porostem buku než pod mladým porostem smrku. V hloubce 5 cm tomu bylo zpravidla naopak. Smrk v této povrchové vrstvě vykazoval také výraznější denní chod (24 hod.) objemové vlhkosti než buk. Buk přitom ukazoval denní chod zpravidla i v hloubce 20 cm. Příklad z 20 dnů dlouhé suché periody v červenci 2006 je na obr. 1.

Protože hydraulický lift může nastávat hlavně při sušším stavu půdního profilu, zaznamenali jsme objemové vlhkosti ze zájmových hloubek ve sledovaných suchých periodách (21 případů) na jejich konci. Průměrné vlhkosti pro mladý smrkový a bukový porost jsou uvedeny v tab. 2. Variční koeficient do 30 % přitom ukazuje na nevýznamnou variabilitu hodnot znaku a na normální rozdělení. Hodnotíme-li tyto výsledky dvoufaktorovou analýzou variance s opakováním (tab. 3), pak signifikantní interakce efektů ukazuje na významnost rozdílů objemové vlhkosti mezi lesními dřevinami spolu se sledovanými hloubkami půdních vrstev. Průběh objemových půdních vlhkostí naznačoval noční pohyb vody vzhůru kapilárním vztláním (ve shodě se ŠVIHLA et al. 2005), popř. redistribuci vody prostřednictvím kořenů buku (SCHOLZ et al. 2008).

### Analýza suchých period na stacionáru U Dvou louček v letech 2009–2013 z pohledu redistribuce vláhy v půdním profilu

Výběr suchých period byl proveden podle stejné metodiky jako na DS (tab. 4). Rozdílný byl vyšší počet čidel a hloubek měření (15 cm, 30 cm, 45 cm a 60 cm). Objemová vlhkost půdy ze zmíněných hloubek byla snímána v jednohodinovém intervalu na čtyřech místech v mladém smrkovém (sm) porostu (vegetační hydrologické půlroky 2009–2013) a v buko-smrkovém (bk-sm) mladém porostu (vegetační hydrologické půlroky 2011–2013).

Vzhledem především k požadované komparaci smrkového a buko-smrkového porostu byl v grafech znázorněn průběh objemové vlhkosti v suchých periodách jen pro letní hydrologické půlroky 2011–2013 (14 grafů představených v práci ČERNOHOUS 2013). Příklad z 34 dnů dlouhé suché periody od 26. června do 30. července 2013 je na obr. 2.

Protože hydraulický lift může nastávat hlavně při sušším stavu půdního profilu, zaznamenali jsme objemové vlhkosti ze zájmových hloubek ve sledovaných suchých periodách (14 případů) na jejich konci. Průměrné vlhkosti jsou uvedeny pro smrčinu a bukovou smrčinu v tab. 5, včetně variačního koeficientu. Zatímco ve sm porostu se v půdním profilu vlhkosti podle hloubky snižují, v bk-sm porostu je v hloubce 15 cm půda nejsušší, poté vlhkost ke 30 cm stoupá, maxima dosahuje ve 45 cm, aby k 60 cm opět mírně poklesla.

Hodnotíme-li tyto výsledky dvoufaktorovou analýzou variance s opakováním (tab. 6), obdržíme významné efekty porostů dřevin, vrstev půdního profilu (půdních horizontů) a jejich interakce, tedy rozdílů jak mezi oběma porosty, tak mezi čtyřmi hloubkami včetně interakce. Přitom párový t-test indikuje mezi hloubkami 15 cm, ale i 30 cm obou porostů statisticky průkazné rozdíly, v hloubkách 45 cm a 60 cm pak byly rozdíly již nesignifikantní.

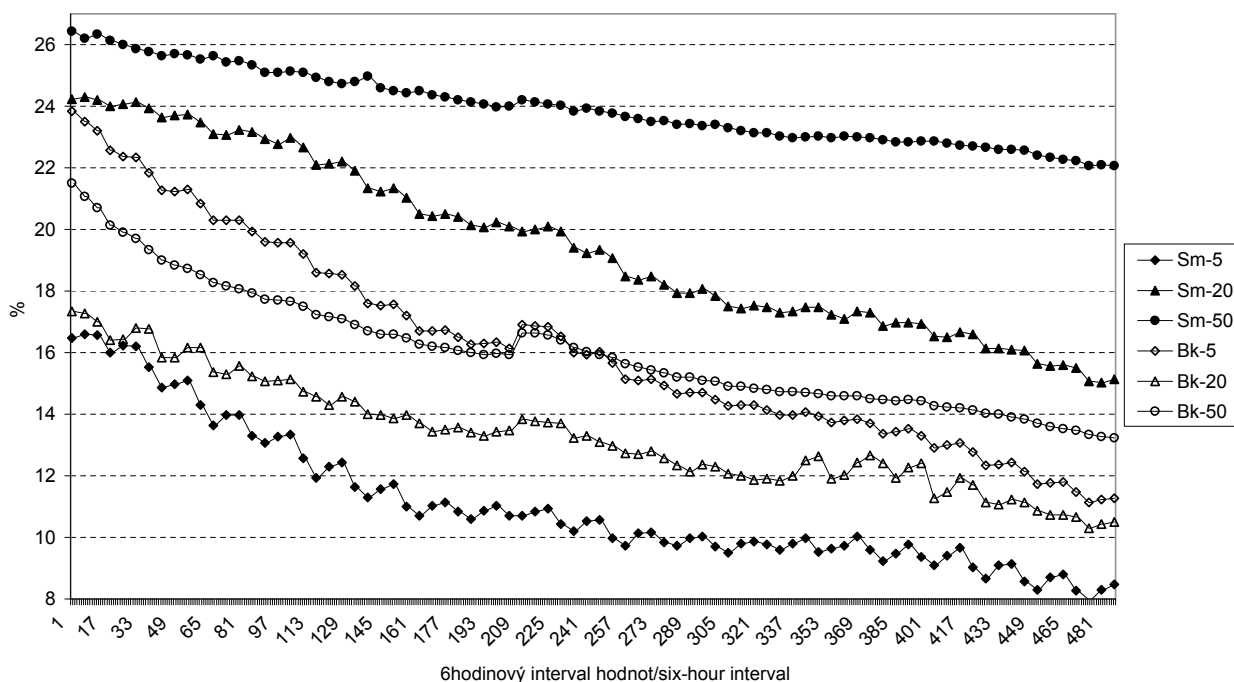
**Tab. 1.**

Suché periody na výzkumné ploše Deštnská stráň ve vegetačních obdobích 1999–2013

Dry periods on the DS experimental area during 1999–2013 growing seasons

Poř. číslo <sup>1</sup>	Suchá perioda <sup>2</sup>	Délka periody <sup>3</sup> (dny)	Teplota vzduchu <sup>4</sup> (°C) průměrná	Teplota vzduchu <sup>5</sup> (°C) maximální	Teplota vzduchu <sup>6</sup> (°C) minimální
1	14.VII.–9.VIII.1999	26	17,7	29,8	8,0
2	2.–18.IX.1999	16	15,8	27,3	8,7
3	12.–26.X.2000	14	10,1	22,2	2,3
4	17.VIII.–1.IX.2002	15	18,2	27,8	12,6
5	21.V.–13.VI.2003	23	16,9	32,1	5,5
6	27.VII.–13.VIII.2004	17	17,2	31,0	8,6
7	26.VIII.–12.IX.2005	17	16,1	26,6	7,7
8	1.–21.VII.2006	20	18,3	32,8	7,2
9	4.–19.IX.2006	15	13,7	23,6	4,8
10	4.–27.X.2006	23	8,2	17,8	0,7
11	23.V.–3.VI.2008	11	15,4	29,2	5,7
12	4.–25.VI.2008	21	13,7	27,4	2,8
13	20.IX.–7.X.2011	17	12,2	21,5	5,2
14	12.–28.V.2012	16	10,4	25,8	-0,5
15	11.–26.VIII.2012	15	15,9	31,3	6,9
16	1.–11.IX.2012	10	13,2	24,2	5,1
17	16.–25.X.2012	9	8,6	16,4	1,7
18	10.–24.VI.2013	14	16,9	31,3	7,8
19	26.VI.–29.VII.2013	33	15,6	33,8	5,1
20	5.–18.VIII.2013	13	16,7	31,1	6,9
21	24.IX.–11.X.2013	17	5,3	14,6	-2,6

<sup>1</sup>Serial number; <sup>2</sup>Dry period (date); <sup>3</sup>Length of period (days); <sup>4</sup>Average air temperature; <sup>5</sup>Maximum air temperature; <sup>6</sup>Minimum air temperature



**Obr. 1.**

Průběh průměrné objemové vlhkosti jemnozeme v půdních vrstvách v hloubce 5 cm, 20 cm a 50 cm půdního profilu mladého Sm a Bk porostu během suché periody 01.–21.07. 2006 (DS)

**Fig. 1.**

Course of mean volume moisture in soil layers at the depths of 5 cm, 20 cm and 50 cm of soil profile in young stands of spruce (Sm) and beech (Bk) during dry period of July 1–21, 2006 on the Deštnská stráň (DS) experimental area

**Tab. 2.**

Průměrná objemová vlhkost půdy ve třech hloubkách půdního profilu na konci suchých period vegetačních období 1999–2013 na experimentální ploše Deštná stráž ve smrkovém a bukovém porostu  
Average volume soil moisture in three depth of soil profile at the end of dry period in 1999–2013 growing seasons in spruce and beech young stands on the DS experimental area

Objem. vlhk. (%) podle hloubky (cm) <sup>1</sup>	smrkový porost <sup>2</sup>			bukový porost <sup>3</sup>		
	průměr <sup>4</sup> %	směrodat. odchylka <sup>5</sup>	variační koef. <sup>6</sup> %	průměr <sup>4</sup> %	směrodat. odchylka <sup>5</sup>	variační koef. <sup>6</sup> %
W5	13,1	3,1	24	17,1	4,6	27
W20	18,5	3,1	17	15,8	3,6	23
W50	22,9	1,3	6	16,3	2,1	13

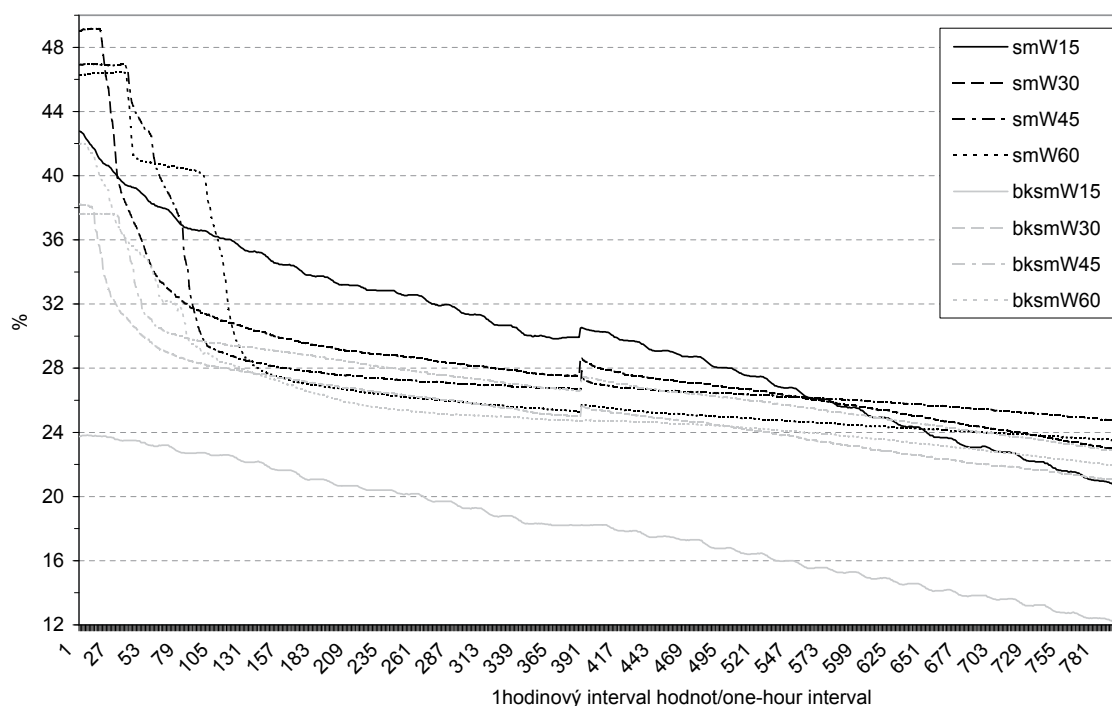
<sup>1</sup>Volume soil moisture (%) at soil depth (cm); <sup>2</sup>Young spruce stand; <sup>3</sup>Young beech-spruce stand; <sup>4</sup>Arithmetic mean; <sup>5</sup>Standard deviation; <sup>6</sup>Variation coefficient

**Tab. 3.**

Dvoufaktorová analýza variance s opakováním suchých period pro objemovou vlhkost půdy podle druhové skladby lesního porostu a podle hloubky v půdním profilu včetně interakce (DS)  
Two-factor analysis of variance with replication of dry periods for volume soil moisture according to the tree species composition of forest stand and the depth of soil profile including interactions (DS)

Zdroj variability <sup>1</sup>	SS <sup>2</sup>	Počet stupňů volnosti <sup>3</sup>	MS <sup>4</sup>	F <sup>5</sup>	Hodnota P <sup>6</sup>	F krit <sup>7</sup>
Dřeviny <sup>8</sup>	7,19	1,00	7,19	0,80	0,38	4,04
Hloubky <sup>9</sup>	89,06	2,00	44,53	4,96	0,01	3,19
Interakce <sup>10</sup>	425,14	2,00	212,57	23,69	0,00	3,19
Dohromady <sup>11</sup>	430,67	48,00	8,97			
Celkem <sup>12</sup>	952,05	53,00				

<sup>1</sup>Source of variability; <sup>2</sup>Sum of squares; <sup>3</sup>df; <sup>4</sup>Mean square; <sup>5</sup>F; <sup>6</sup>P-value; <sup>7</sup>F-crit; <sup>8</sup>Tree species; <sup>9</sup>Soil depths; <sup>10</sup>Interactions; <sup>11</sup>Together; <sup>12</sup>In total



**Obr. 2.**

Průběh průměrné objemové vlhkosti jemnozeme v půdních vrstvách v hloubce 15 cm, 30 cm, 45 cm a 60 cm v mladém Sm a Bk-Sm porostu během suché periody 26.06.–30.07.2013 (UDL)

**Fig. 2.**

Course of mean volume moisture in soil layers at the depths of 15 cm, 30 cm, 45 cm and 60 cm of soil profile in young stands of spruce (sm) and beech-spruce (bksm) during dry period of June 26 – July 30, 2013 on the U Dvou louček (UDL) experimental catchment

**Tab. 4.**

Suché periody na experimentálním povodí U Dvou louček ve vegetačních obdobích 2009–2013  
Dry periods on the UDL experimental catchment during 2009–2013 growing seasons

Poř. číslo <sup>1</sup>	Suchá perioda <sup>2</sup>	Délka periody <sup>3</sup> (dny)	Teplota vzduchu prům. <sup>4</sup> (°C)	Teplota vzduchu max. <sup>5</sup> (°C)	Teplota vzduchu min. <sup>6</sup> (°C)	Poznámka <sup>7</sup>
1	25.VII.-2.VIII.2009	8	14,3	28,3	4,8	sm pouze <sup>8</sup>
2	3.-11.VIII. 2009	8	14,4	22,6	7,1	sm pouze
3	5.-29.IX. 2009	24	11,0	20,6	2,8	sm pouze
4	3.-14.VI. 2010	11	16,3	28,4	5,3	sm pouze
5	19.VI.-6.VII. 2010	17	13,7	27,0	4,7	sm pouze
6	6.-17.VII. 2010	11	19,0	30,7	5,1	sm pouze
7	16.-26.IX. 2010	10	8,4	15,9	0,1	sm pouze
8	28.IX.-20.X. 2010	22	3,9	11,6	-2,6	sm pouze
9	9.-20.VI. 2011	11	12,4	22,5	5,3	sm a sm s bk <sup>9</sup>
10	19.-27.VIII. 2011	8	17,6	27,1	7,1	sm a sm s bk
11	12.-28.V. 2012	19	9,6	23,0	-2,8	sm a sm s bk
12	21.VI.-1.VII.2012	10	15,2	28,3	4,7	sm a sm s bk
13	6.-17.VII. 2012	11	13,0	25,4	5,5	sm a sm s bk
14	11.-26.VIII. 2012	15	14,9	29,5	5,7	sm a sm s bk
15	1.-11.IX. 2012	10	12,5	22,9	4,0	sm a sm s bk
16	16.-25.X. 2012	9	7,2	15,5	0,2	sm a sm s bk
17	10.-24.VI.2013	14	15,6	30,0	6,0	sm a sm s bk
18	26.VI.-29.VII. 2013	33	14,8	32,9	3,5	sm a sm s bk
19	9.-19.VIII.2013	10	13,4	25,7	4,8	sm a sm s bk
20	19.VIII.-1.IX.2013	12	11,5	19,4	7,5	sm a sm s bk
21	24.IX.-11.X.2013	17	4,4	14,5	-3,3	sm a sm s bk
22	20.X.-1.XI. 2013	11	8,5	15,4	-2,1	sm a sm s bk

<sup>1</sup>Serial number; <sup>2</sup>Dry period (date); <sup>3</sup>Length of period (days); <sup>4</sup>Average air temperature; <sup>5</sup>Maximum air temperature; <sup>6</sup>Minimum air temperature; <sup>7</sup>Note; <sup>8</sup>Spruce only; <sup>9</sup>Spruce and beech-spruce

**Tab. 5.**

Průměrná objemová vlhkost půdy ve čtyřech hloubkách půdního profilu na konci suchých period vegetačních období 2011–2013 na experimentálním povodí U Dvou louček ve smrkovém a buko-smrkovém porostu  
Average volume soil moisture in four depth of the soil profile at the end of dry period in 2011–2013 growing seasons in spruce and beech-spruce young stands on the UDL experimental catchment

Objem. vlhk. (%) podle hloubky cm <sup>1</sup>	smrkový porost <sup>2</sup>			buko-smrkový porost <sup>3</sup>		
	průměr <sup>4</sup> %	směodat. odchylka <sup>5</sup>	variační koef. <sup>6</sup> %	průměr <sup>4</sup> %	směodat. odchylka <sup>5</sup>	variační koef. <sup>6</sup> %
W15	28,9	5,3	18	18,2	4,3	24
W30	26,6	2,4	9	25,6	2,1	8
W45	26,5	1,2	4	27,3	2,2	8
W60	26,1	2,6	10	25,3	1,7	7

<sup>1</sup>Volume soil moisture (%) at soil depth (cm); <sup>2</sup>Young spruce stand; <sup>3</sup>Young beech-spruce stand; <sup>4</sup>Arithmetic mean; <sup>5</sup>Standard deviation; <sup>6</sup>Variation coefficient

**Tab. 6.**

Dvoufaktorová analýza variance s opakováním suchých period pro objemovou vlhkost půdy podle druhové skladby lesního porostu a podle hloubky v půdním profilu včetně interakce (UDL)

Two-factor analysis of variance with replication of dry periods for volume soil moisture according to the tree species composition of forest stand and the depth of soil profile including interactions (UDL)

Zdroj variability <sup>1</sup>	SS <sup>2</sup>	Rozdíl <sup>3</sup>	MS <sup>4</sup>	F <sup>5</sup>	Hodnota P <sup>6</sup>	F krit <sup>7</sup>
Dřeviny <sup>8</sup>	244,86	1,00	244,86	25,82	0,00	3,94
Hloubky <sup>9</sup>	157,02	3,00	52,34	5,52	0,00	2,70
Interakce <sup>10</sup>	549,38	3,00	183,13	19,31	0,00	2,70
Dohromady <sup>11</sup>	910,45	96,00	9,48			
Celkem <sup>12</sup>	1861,71	103,00				

<sup>1</sup>Source of variability; <sup>2</sup>Sum of squares; <sup>3</sup>df; <sup>4</sup>Mean square; <sup>5</sup>F; <sup>6</sup>P-value; <sup>7</sup>F-crit; <sup>8</sup>Tree species; <sup>9</sup>Soil depths;

<sup>10</sup>Interactions; <sup>11</sup>Together; <sup>12</sup>In total

Lze vyvozovat, že v bk-sm porostu by mohl hydraulický zdvih za sucha působit na vztlínání půdní vody z hloubky 60 cm do hloubky 45 cm, odkud je ve 30 cm čerpána na transpiraci hlavně bukem, z hloubky 15 cm pak zejména smrkem, ale rovněž také bukem, proto je tato vrstva nejušší (ARMBRUSTER et al. 2004). Dále by bylo možné dedukovat, že obecně méně častá nejvyšší vlhkost povrchové vrstvy ve smrkovém porostu a její pokles směrem do hloubky indikuje odtok z aerační zóny.

#### Komparace a syntéza výsledků studia suchých period ze stacionárů Deštenská stráň a U Dvou louček v letech 2011–2013 z pohledu redistribuce vláhy v půdním profilu

Ke komparaci výsledků bylo použito 8 odpovídajících si suchých period (tab. 7). Příklady průběhu suché periody ve sledovaných hloubkách v mladém smrkovém porostu na DS a UDL, v mladém bukovém porostu na DS a v mladém buko-smrkovém porostu UDL představují grafy na obr. 3.

Dvoufaktorová analýza variance indikovala jako významný pro objemovou vlhkost půdy na konci suchých period efekt jednotlivých suchých period a efekt hloubky v půdním profilu podle dřeviny na obou stacionárech (tab. 7 – ANOVA).

Poněkud odlišný průběh vlhkosti ve srovnání s mladým smrkovým a mladým bukovým porostem na dlouhodobé výzkumné ploše Deštenská stráň (obr. 4) ovlivňuje pravděpodobně i o polovinu menší sklon svahu UDL oproti sklonu na DS a parciální zamokření povodí.

#### Odhad potenciálu hydraulického liftu buku ve prospěch smrku

Pro periody se sníženou dostupností půdní vody pro rostliny, definovanou objemovou vlhkostí půdních vrstev v rozmezí 4–11 % pro písčitohlinitou zeminu (KUTÍLEK 1978), jsme navrhli metodu odhadu potenciálu hydraulického liftu buku ve prospěch smrku. Do výběru suchých period se tak dostaly periody pořadového čísla 15 a 16/2012 a 19 a 20/2013 z experimentální plochy Deštenská stráň (viz dříve uve-

Tab. 7.

Dvoufaktorová analýza variance bez opakování pro objemovou vlhkost půdy (W): faktor korespondujících suchých period (Koresp. such. per.) a faktor hloubky v půdním profilu (Hl.) spolu s druhovou skladbou lesního porostu (Dřev.) a stacionáry (Stac.)

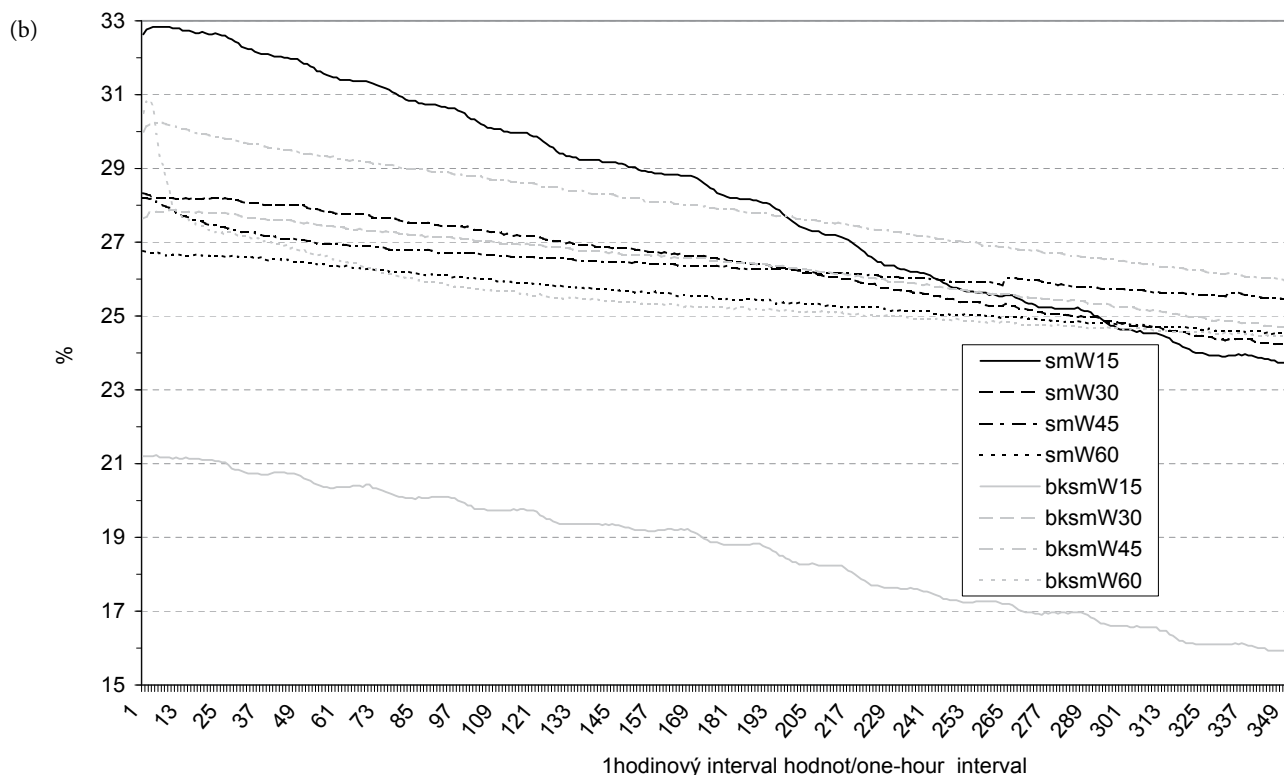
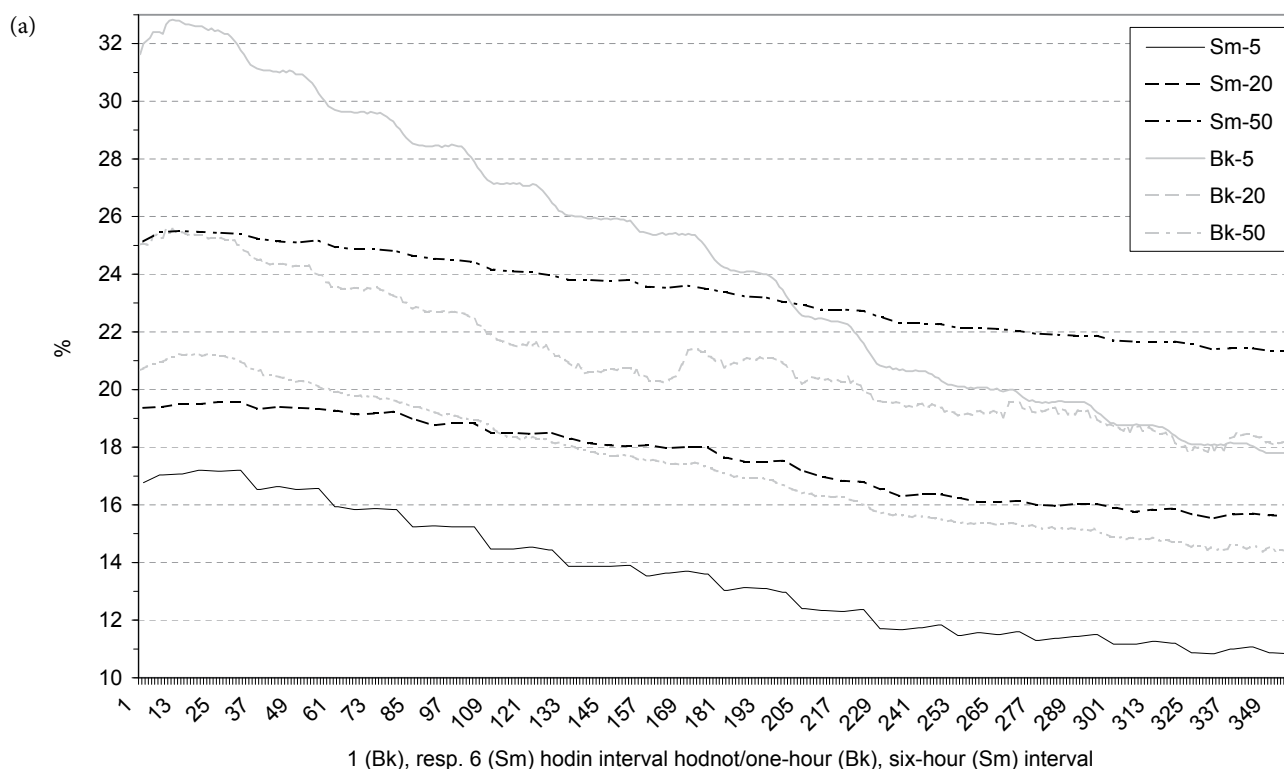
Two-factor analysis of variance without replication of dry periods for volume soil moisture (W): factor of corresponding dry periods (Koresp. such. per.) and factor of soil depths in soil profiles (Hl.) together with tree species composition of forest stands (Dřev.) and research areas (Stac.)

Faktor/Factor	Počet/Number	Součet/Sum	Průměr/Average	Rozptyl/Variance
V-2012	14,00	330,96	23,64	25,29
VIII-2012	14,00	286,83	20,49	24,37
IX-2012	14,00	286,09	20,44	28,87
X-2012	14,00	348,83	24,92	32,45
VI-2013	14,00	341,33	24,38	19,98
VI-VII-2013	14,00	260,31	18,59	22,62
VIII-2013	14,00	260,00	18,57	32,77
IX-X-2013	14,00	325,77	23,27	29,78
smW5-DS	8,00	99,10	12,39	5,84
smW20-DS	8,00	140,20	17,53	6,40
smW50-DS	8,00	179,80	22,48	3,09
bkW5-DS	8,00	160,90	20,11	27,45
bkW20-DS	8,00	146,20	18,28	10,07
bkW50-DS	8,00	129,90	16,24	7,59
smW15-UDL	8,00	216,84	27,11	32,36
smW30-UDL	8,00	207,47	25,93	6,30
smW45-UDL	8,00	210,55	26,32	1,12
smW60-UDL	8,00	210,07	26,26	8,60
bksmW15-UDL	8,00	129,60	16,20	16,21
bksmW30-UDL	8,00	198,73	24,84	5,80
bksmW45-UDL	8,00	212,17	26,52	4,61
bksmW60-UDL	8,00	198,59	24,82	2,79

#### ANOVA

Zdroj variability <sup>1</sup>	SS <sup>2</sup>	df <sup>3</sup>	MS <sup>4</sup>	F <sup>5</sup>	Hodnota P <sup>6</sup>	F krit <sup>7</sup>
Koresp. such. per. <sup>8</sup>	646,87	7,00	92,41	26,23	0,00	2,11
Hl. Dřev. Stac. <sup>9</sup>	2488,89	13,00	191,45	54,34	0,00	1,83
Chyba <sup>10</sup>	320,63	91,00	3,52			
Celkem <sup>11</sup>	3456,40	111,00				

<sup>1</sup>Source of variability; <sup>2</sup>Sum of squares; <sup>3</sup>df; <sup>4</sup>Mean square; <sup>5</sup>F; <sup>6</sup>P-value; <sup>7</sup>F-crit; <sup>8</sup>Corresponding dry periods; <sup>9</sup>Soil depths in soil profiles (Hl.) together with tree species composition of forest stands (Dřev.) and research areas (Stac.); <sup>10</sup>Error; <sup>11</sup>In total



**Obr. 3.**

(a) Průběh průměrné objemové vlhkosti jemnozeme v půdních vrstvách v hloubce 5 cm, 20 cm a 50 cm půdního profilu mladého Sm a Bk porostu během suché periody 11.–26.08.2012 (DS)

(b) Průběh průměrné objemové vlhkosti jemnozeme v půdních vrstvách v hloubce 15 cm, 30 cm, 45 cm a 60 cm v mladém Sm a Bk-Sm porostu během stejné suché periody 11.–26.08.2012 (UDL)

**Fig. 3.**

(a) Course of mean volume moisture in soil layers at the depths of 5 cm, 20 cm and 50 cm of soil profile in young stands of spruce (Sm) and beech (Bk) during dry period of August 11–26, 2012 (DS)

(b) Course of mean volume moisture in soil layers at the depths of 15 cm, 30 cm, 45 cm and 60 cm of soil profile in young stands of spruce (Sm) and beech-spruce (Bk-Sm) during dry period of August 11–26, 2012 (UDL)

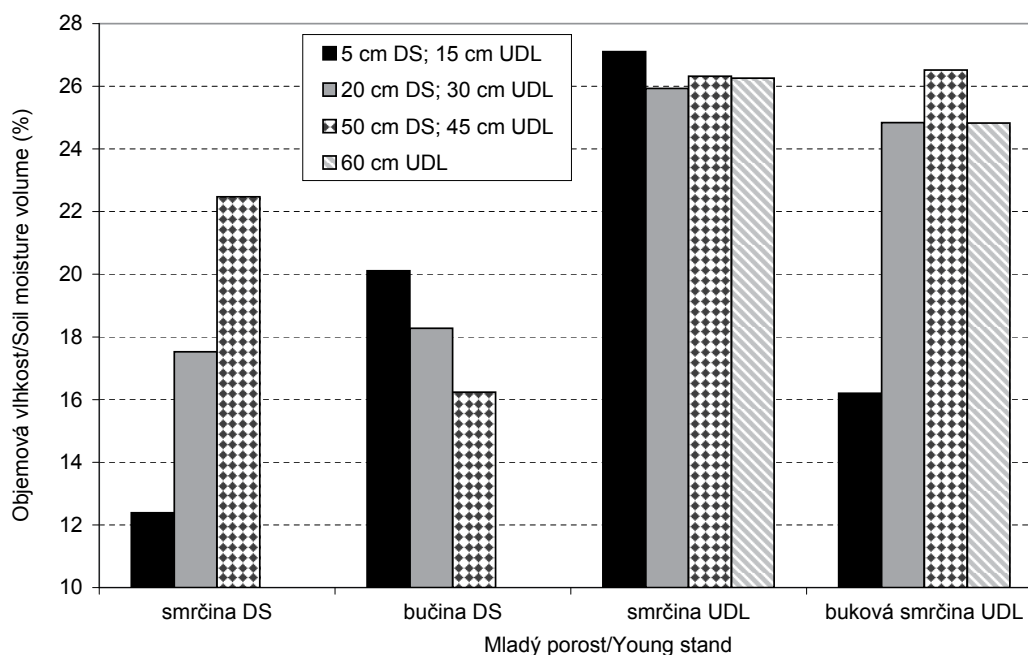
**Tab. 8.**

Odhad potenciálu hydraulického liftu buku ve prospěch smrku pro periody se sníženou dostupností půdní vody pro rostliny (objemová vlhkost půdních vrstev W v rozmezí 4–11%) na experimentální ploše Deštenská stráň

Estimation of potential of beech hydraulic lift in favour of spruce for periods with decreased soil water availability for plants (volume moisture of soil layers W in a range of 4–11%) on the DS experimental area

Lesní porost <sup>1</sup>	Pořadové číslo suché periody/rok (viz tab. 1) <sup>2</sup>			
Hloubka W (cm) <sup>3</sup>	15/2012	16/2012	19/2013	20/2013
Mladá bučina <sup>4</sup>	Objemová vlhkost půdy W (%) <sup>5</sup>			
W5	17,8	18,0	15,5	12,7
W20	18,1	13,9	17,6	15,8
W50	14,4	15,3	13,4	12,6
Mladá smrčina <sup>6</sup>				
W5	<b>10,8</b>	<b>11,2</b>	<b>9,8</b>	<b>9,6</b>
W20	15,6	16,5	14,5	14,6
W50	21,3	22,0	20,3	20,2
Modelová mladá buková smrčina <sup>7</sup> sm 70, bk 30				
W5	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
W20	16	16	15	15
W50	19	20	18	18

<sup>1</sup>Forest stand; <sup>2</sup>Serial number of a dry period/year (see Tab. 1); <sup>3</sup>Soil depth for W; <sup>4</sup>Young beech stand; <sup>5</sup>Volume soil moisture; <sup>6</sup>Young spruce stand; <sup>7</sup>Model young beech spruce stand: spruce 70%, beech 30%



**Obr. 4.**

Průměrná objemová vlhkost půdy ve třech (DS), resp. ve čtyřech (UDL) hloubkách půdního profilu na konci souběžných suchých period na experimentální ploše Deštenská stráň a na experimentálním povodí U Dvou louček

**Fig. 4.**

Average soil moisture volume in three (DS) and four depths (UDL) of soil profile at the end of parallel dry periods on the Deštenská stráň experimental area and on the U Dvou louček experimental catchment



dená tab. 1). Na experimentálním povodí U Dvou louček se ve srovnávaných vegetačních obdobích 2011–2013 suché periody vykazující v půdních vrstvách sníženou dostupnost vody (rozmezí objemové vlhkosti zeminy 4–11 %) prakticky nevyskytly.

Odhad jsme provedli prostou superpozicí buku do smrku váženým aritmetickým průměrem (tab. 8). Vzhledem k poznatkům výzkumu ohledně dřevoprodukční a vodohospodářské služby (funkce) lesního hospodářství (ARMBRUSTER et al. 2004; ŠACH et al. 2014) bylo zastoupení buku pro horské lesy (6. a 7. lvs) navrženo nižší než zastoupení smrku. Pro účely hydraulického liftu buku ve prospěch smrku bylo odvozeno jednotlivé přimíšení buku 30%. Lze konstatovat, že 30% přimíšení buku ve smrkovém porostu modelově zvýšilo objemovou vlhkost půdních vrstev na konci vyskytujících se suchých period nad hodnotu mimo oblast snížené dostupnosti půdní vody pro rostliny. Modelově tak mohlo být doporučeno druhové složení porostů horských lesů ve vazbě na hydraulický lift buku: smrk 70, buk 30.

## ZÁVĚŘ

Výsledky z DS na konci suchých period ukazují v mladém smrkovém porostu zvyšování objemové vlhkosti od nejsušší svrchní půdní vrstvy k nejvlhčí vrstvě v hloubce 50 cm. V mladém bukovém porostu na DS je tomu právě naopak. Vláhové podmínky buku by tak v suchších periodách mohly být pro smrk příznivé. Otázkou zůstává poměr zastoupení obou dřevin (ARMBRUSTER et al. 2004).

Na základě výsledků z DS jsme navrhli metodu odhadu potenciálu hydraulického liftu buku ve prospěch smrku superpozicí buku do smrkového porostu. Pro účely hydraulického liftu buku ve prospěch smrku bylo odvozeno jednotlivé přimíšení buku 30%. Příměs 30 % buku ve smrkovém porostu modelově zvýšila objemovou vlhkost nejsvrchnější půdní vrstvy (0–10 cm) v konci vyskytujících se suchých period nad hodnotu mimo oblast snížené dostupnosti půdní vody pro rostliny (4–11 %). Modelově tak mohlo být doporučeno druhové složení porostů horských lesů ve vazbě na hydraulický lift buku: smrk 70, buk 30.

Obdobnou distribuci objemové půdní vlhkosti, jaká je v konci suchých period ve smrkovém porostu na DS, má i mladý buko-smrkový (bksm) porost UDL. Distribuci vlhkosti v půdním profilu mladého bksm porostu UDL, podobnou té v porostu smrku na DS, může způsobovat dočasná potlačení prosadby ve smrku.

Na experimentálním povodí U Dvou louček se suché periody, vykazující v půdních vrstvách sníženou dostupnost vody (rozmezí objemové vlhkosti zeminy 4–11 %) ve srovnávaných vegetačních obdobích 2011–2013, prakticky nevyskytly.

Mladý smrkový porost UDL má na konci suchých period distribuci objemové půdní vlhkosti nevýraznou, ale s podobným trendem jako mladý bukový porost na DS. Odlišnost umístění vlhkostních čidel UDL ve svrchní půdní vrstvě až v hloubce 15 cm, kde je méně podchycena obvykle sušší vrstva nadložního humusu smrku, může výsledky vychýlovat k vyšším hodnotám.

Závěrem musíme konstatovat, že srovnání obou lokalit je třeba ještě rozšířit a prohloubit. K ověření existence hydraulického liftu by bylo rovněž potřeba „sestoupit“ s výzkumem do nižších vegetačních stupňů s ještě nižší nabídkou výše srážek a delšími suchými periodami.

### Poděkování:

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZe projektu NAZV QI112A174 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“ a z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0114 (č. j. 8653/2014- MZE-17011).

## LITERATURA

- ANDERLE K. 1949. Jak obrodit naše lesy. Praha, Brázda: 96 s.
- ARMBRUSTER M., SEEGERT J., FEGERT K.H. 2004. Effects of changes in tree species composition on water flow dynamics – model applications and their limitations. *Plant and Soil*, 264: 13–24.
- BROOKS J.R., MEINZER F.C., COULOMBE R., GREGG J. 2002. Hydraulic redistribution of soil water during summer drought in two contrasting Pacific Northwest coniferous forests. *Tree Physiology*, 22: 1107–1117.
- CALDWELL M.M., DAWSON T.E., RICHARDS J.H. 1998. Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 113: 151–161.
- ČERNOHOUS V. 2006. Hodnocení dostupnosti půdní vláhy dřevinám na základě tenzometrických měření. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51 (1): 57–59.
- ČERNOHOUS V., ŠACH F. 2008. Daily baseflow variations and forest evapotranspiration. *Ekológia (Bratislava)*, 27 (2): 189–195.
- ČERNOHOUS V. 2012. Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině. Redakčně upravená roční zpráva. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 98 s.
- ČERNOHOUS V. 2013. Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině. Redakčně upravená roční zpráva. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 92 s.
- ČERNOHOUS V. 2014. Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině. Redakčně upravená závěrečná zpráva. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 83 s.
- DAWSON T.E. 1993. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia*, 95: 565–574.
- EPELETA J.F., WEST J.B., DONOVAN L.A. 2004. Species-specific patterns of hydraulic lift in co-occurring adult trees and grasses in a sandhill community. *Oecologia*, 138: 341–349.
- FILELLA I., PENUELAS J. 2003. Indications of hydraulic lift by *Pinus halepensis* and its effects on the water relations of neighbour shrubs. *Biologia Plantarum*, 47 (2): 209–214.
- HIETZ P., OFFENTHALER I., SCHUME H., RICHTER H. 2000. Transpiration and canopy conductance in a spruce stand and spruce-beech stand. In: Hasenauer, H. (ed.): Forest ecosystem restoration: ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests. Proceedings of the international conference held in Vienna, Austria 10.–12. April 2000. Wien, Institute of Forest Growth Research, University of Agricultural Sciences: 126–132.
- HORTON J.L., HART S.C. 1998. Hydraulic lift: a potentially important ecosystem process. *Tree*, 13 (6): 232–235.
- KANTOR P., ŠACH F., KARL Z., ČERNOHOUS V. 2009. Development of vaporization process from young stands of Norway spruce and European beech after snow breakage. *Soil and Water Research*, 4 (Special issue 2): S28–S38.
- KUTÍLEK M. 1978. Vodohospodářská pedologie. Praha, SNTL-ALFA: 296 s.
- LICHNER L., KODEŠOVÁ R., TESAŘ M. 2008. Introduction to special issue on biohydrology. *Soil and Water Research*, 3 (Special issue 1): S2–S4.
- 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.
- LUDWIG F., DAWSON T.E., KROON H., BERENDSE F., PRINS H.H.T. 2003. Hydraulic lift in *Acacia tortilis* trees on an East African savanna. *Oecologia*, 134: 293–300.

- NADEZHINA N., FERREIRA MARIA I., SILVA R., PACHECO C.A. 2008. Seasonal variation of water uptake of a *Quercus suber* tree in Central Portugal. *Plant and Soil*, 305: 105–119.
- NADEZHINA N., URBAN J., ČERMÁK J., NADEZHIN V., KANTOR P. 2014. Comparative study of long-term water uptake of Norway spruce and Douglas-fir in Moravian upland. *Journal of Hydrology Hydromechanics*, 62 (1): 1–6.
- PALÁTOVÁ E. 2003. Kořenový systém jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia* L.). Habilitační práce. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická universita: 96 s.
- SCHOLZ F.G., BUCCI S.J., GOLDSTEIN G., MEINZER F.C., FRANCO A.C. 2002. Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees. *Tree Physiology*, 22: 603–612.
- SCHOLZ F.G., BUCCI S.J., GOLDSTEIN G., MOREIRA M.Z., MEINZER F.C., DOMEK J.C., VILLALOBOS-VEGA R., FRANCO A.C., MIRALLES-WILHELM F. 2008. Biophysical and life-history determinants of hydraulic lift in Neotropical savanna trees. *Functional Ecology*, 22: 773–786.
- SCHUME H., JOST G., HAGER H. 2004. Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology*, 289: 258–274.
- ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KANTOR P. 2014. Management of mountain forests in the hydrology of a landscape, the Czech Republic – review. *Journal of Forest Science*, 60 (1): 42–50.
- ŠVIHLA V., ŠACH F., ČERNOHOUS V. 2005. Příspěvek k řešení problému vztlínání podzemní vody na povodí U Dvou louček v Orlických horách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 50 (1): 53–57.
- TUŽINSKÝ L. 2009. Soil water regime analysis in spruce ecosystem in relation to its disponibility towards drought. *Beskydy*, 2 (1): 77–84.

## HYDRAULIC LIFT BY BEECH TO SPRUCE: POTENTIALLY IMPORTANT ECOSYSTEM PROCESS FOR SPRUCE STAND SILVICULTURE IN CONNECTION WITH CLIMATIC CHANGE OF WARMING

### SUMMARY

At present, climatic changes, weather fluctuation and correlated dry episodes are relevant. Shortage of soil water during dry periods endangers tree species with surface spread of fine roots. There is especially Norway spruce, representing ca 65% proportion of forest tree species composition in the Czech Republic.

For this reason, possibilities of especially nocturnal hydraulic lift of deeply rooting tree species are studied. In this paper we focused on European beech. Hydraulic lift represents suction of water by roots from deeper moister soil horizons and its redistribution and exudation from roots into upper drier soil layer partly for the purpose of sustaining functionality of lateral roots of beech with respect to nutrient uptake from topsoil, partly also for providing water to transpiration of adjacent spruce.

Problems of hydraulic lift of beech for spruce were mentioned in connection with biohydrology in the Czech Republic by LICHNER et al. (2008), but they did not develop that idea further. In foreign countries the problems of hydraulic lift were studied by many researches, especially in dry regions (DAWSON 1993; CALDWELL et al. 1998; HORTON, HART 1998; BROOKS et al. 2002; SCHOLZ et al. 2002; LUDWIG et al. 2003; ESPELETA et al. 2004; FILELLA, PENUELAS 2003; NADEZHINA et al. 2008).

Hypothesis verification that the beech admixed to spruce stands could bring diminution of dangerous dry events for spruce through the hydraulic lift represents the main aim of the study. The hypothesis is supported also by statement (ANDERLE 1949) that the beech directly feeds the spruce with nutrients from leaf fall, with water from stemflow (ca 12% of year precipitation) and potentially also with the hydraulic lift.

Our recent solution of the problems was running as a subproject to investigation of water balance of young spruce (sm), beech (bk) and beech-spruce (bksm) forest stands on long lasting research objects represented by the Deštná stráž (DS) experimental area and by the U Dvou louček (UDL) experimental catchment.

The solution came out from the continuous measuring volume soil moisture (W) in three (5 cm, 20 cm, 50 cm) and four (15 cm, 30 cm, 45 cm, 60 cm) soil profile depths. There are 45 soil moisture sensors on both research objects in total. At the disposal there are 15-year time series of data records for spruce and beech on the DS experimental area and 5-year and 3-year for spruce and beech-spruce data time series on the UDL experimental catchment. Example of time behaviour of mean volume moisture in particular soil layers during a dry period is presented in Fig. 1 and 2.

Dry periods were represented by series of rainless days on the open area usually exceeding 10 days, potentially days with precipitation depth lower than wetting capacity of canopy (ca 2 mm). Choice of dry periods was further suggested by reference to long-time decrease of water content in soil horizons.

In the young spruce and beech stands on the DS plots, 22 dry periods were assessed during 1999–2013 growing seasons (Tab. 1). In the young spruce and beech-spruce stands on the UDL catchment, 22 dry periods were also evaluated during 2009–2013 growing seasons (Tab. 4).

On the DS experimental area in the young spruce stand, mean volume soil moistures from observed depths at the end of dry periods shows soil moisture increase from the driest topsoil layer in the depth of 5 cm to the moistest layer in the depth of 50 cm. In the young beech stand it was just contrariwise (Tab. 2 and 3). Moisture conditions in soil profile under beech could so be for spruce during dry periods favourable.

On the UDL catchment, the young spruce stand demonstrated insignificant distribution of volume soil moisture (Tab. 5 and 6) in the soil profile at the end of dry periods. Placing of moisture sensors in topsoil as far as at the depth of 15 cm can result in faulty recording of usually drier spruce forest floor; so measuring point depth will be necessary to refine. The young beech-spruce stand on the UDL catchment showed at the end of dry periods mean soil moisture distribution similar to moisture distribution in the young spruce stand on the DS area; it was probably a subsequence of temporarily suppressed beech interplantation.

The outcomes from the DS experimental area and the UDL experimental watershed show, during dry periods, different intake of water in the young spruce stand, beech stand and beech-spruce stand (Fig. 3a and 3b; Tab. 7). On the DS, the different intake of water from soil horizons indicates possible water transfer within the pedon of a beech stand from lower layers into upper layers of soil profile and potential forming favourable soil moisture conditions for spruce during dry periods. The spruce stand in the UDL experimental watershed showed little distinctive soil moisture distribution, most probably due to insufficient recording moisture of forest floor, and completion of measuring soil moisture within forest floor will be necessitated. In the mixed young spruce stand interplanted by beech, the hydraulic lift of temporarily suppressed beech interplantation has not yet appeared.

On the basis of the results from DS, the estimating method of hydraulic lift potential of beech in favour of spruce was devised (Tab. 8). The estimate was carried out by proportional superposition of beech into a spruce stand. To the use of hydraulic lift of the beech in favour of spruce, the single admixture of beech tree equal to 30% was deduced. Thirty percent admixture of beech into the spruce stand increased model volume moisture of the upper soil layer (0–10 cm) at the end of dry periods above value beyond range of decrease availability of soil water for plants (4–11%). Consequently, we were able to recommend model tree species composition share of mountain woods in relation to hydraulic lift of beech: 70% spruce and 30% beech.