

PROJEVY SUCHA VE SMRKOVÉ TYČOVINĚ V LÉTĚ 2015

MANIFESTATION OF DROUGHT IN SPRUCE POLE-STAGE STAND IN SUMMER 2015

VLADIMÍR ČERNOHOUS¹⁾ - VLADIMÍR ŠVIHLA²⁾ - FRANTIŠEK ŠACH¹⁾ ✉

¹⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

²⁾Beroun, Fügnerova 809, Czech Republic

✉ e-mail: sach@vulhmop.cz

ABSTRACT

Drought analysis was done in spruce pole-stage stand within the U Dvou louček experimental catchment in the Orlické hory Mts. (Czech Republic). The model of hydrological balance of closed-canopy forest stands and soil water constant theory were chosen for doing the analysis. All model parameters were measured excepting evapotranspiration based on the balance equation. Impact of drought on the spruce stand was assessed using the point of decreased availability (temporary wilting point), the wilting point, and minimum rainfall and stream discharge data. Phenomenon of drought was demonstrated by events such as a decrease of soil moisture below point of decreased availability in cambisol and fall of soil moisture near the point of decreased availability in podzol. Reduced evapotranspiration sustained from soil water storage contributed to the spruce stand survival without visible injury over the two weeks of the drought. However, the base flow from springs decreased enormously. It appeared to be under average of 365-day-discharge during the extreme dry period. Decrease of discharge of the stream lasted from June 2nd to October 15th, i.e. 136 days. Extremely low soil moisture exhibited over two weeks from July 31st to August 11th. It was concluded that injury due to drought would appear after extreme drought events longer than two weeks.

For more information see Summary at the end of the article.

Klíčová slova: lesní povodí; hydrologická bilance; smrk; lesní půda; sucho; Orlické hory; Česko

Key words: forested catchment; hydrologic balance; spruce; forest soil; drought; Orlické hory Mts.; Czech Republic

ÚVOD

Extrémní sucho v létě 2015 zasáhlo prakticky celou Českou republiku. K nejvíce zasaženým územím patřily také nížinné a podhorské části Podorlicka a Orlické hory. Sucho nastalo v důsledku dlouhého období bez srážek trvajícího od 2. 6. do 15. 10. Dlouhodobé sledování hydrologických poměrů lesnatého horského povodí U Dvou louček umožnilo srovnání reakce vodního provozu smrkové tyčoviny na toto 136denní suché období. Na suché epizody v nehorských pahorkatinných povodích se zaměřili KUPEC, DEUTSCHER (2016), kteří v suchých periodách vegetačního období, kdy je vliv vegetace na průtok v korytě nejzřetelnější, konstatují několikrát nižší průměrný specifický odtok než z povodí horských.

Suché období trvající od začátku června do poloviny října bylo prokázáno na základě charakteristik průběhu průtoků v recipientu experimentálního povodí. K rozboru byl použit model hydrologické bilance (HB) uzavřeného povodí U Dvou louček a teorie hydrolimitů. Úkolem bylo stanovení a analýza parametrů vodního režimu povodí pokrytého mladým smrkovým porostem. Pozornost byla věnována prognóze

dalšího vývoje vlhkosti půdy při hypotetickém prodloužení periody kritického sucha pod bod snížené dostupnosti (BSD), který je roven bodu dočasně vadnutí (BDV). Cílem bylo zejména objasnit působení půdy a srážek k zajištění evapotranspirace. Důležitou částí analýzy bylo posouzení významnosti rozdílů parametrů HB mezi vegetačním obdobím 2015 a srážkově normálním vegetačním obdobím 2014 ve stejném úseku s využitím statistických testů.

MATERIÁL A METODIKA

Experimentální povodí U Dvou louček (32,6 ha) je reprezentantem horského povodí na vrcholu Orlických hor. Horský terén obsahuje četné pramenní vývěry, které uprostřed plochy povodí jsou původcem drobného rašeliniště. Střed povodí je odvodněn sporadickou sítí otevřených příkopů, které regulují podpovrchový odtok na ploše ca 5 ha. V horní části povodí se nachází 20letá smrková tyčovina na kambizemi, v dolní části povodí pak s pomístně vtroušeným bukem na humusovém podzolu. Skupiny dospělého porostu smrku a buku byly ve výpočtech zanedbány, neboť zauímají pouze 10 % plochy povodí

při rozvodnici. Měření bylo organizováno zvlášť na kambizemi a humusovém podzolu s poměrovou extenzí na plochu povodí. Parametry *HB* (rovnice 1a) se zjišťovaly všechny, kromě evapotranspirace; ta se stanovovala početně jako neznámá z rovnice vodní bilance ve tvaru (1b).

Měření odtoků Thompsonovým přepadem, srážek registračními i staničními srážkoměry, intercepce prostřednictvím podkorunových srážkoměrů a vlhkosti půdy vlhkoměrnými čidly je průběžné, měření sacích tlaků tenzometry, hladiny vod v jehlových vrtech a hloubkových vrtech (*HV*), sloužící ke zjišťování průsaku do geologických struktur půdního podloží, je periodické v průměru po 14 dnech. Vztlínání je počítáno Darcyho zákonem z koeficientu nenasycené hydraulické vodivosti a rozdílů potenciálů hydraulických výšek na spodním okraji půdní vrstvy o hloubce 60 cm.

Za základní přístup k analýze byla zvolena metoda hydrologické bilance:

$$HS(o) - I(t) - Q(p) \pm \Delta w(a) \pm \Delta w(g) - Q(gr) - ET + V(z) = 0 \quad (1a)$$

$$ET = HS(o) - I(t) - Q(p) - Q(gr) \pm \Delta w(a) \pm \Delta w(g) + V(z) \quad (1b)$$

HS(o) – srážky volné plochy / precipitation of open area

HS(ef) – srážky efektivní (porostní) / effective (net) precipitation (precipitation under forest stand canopy = throughfall + stemflow)

I(t) – intercepce / interception = *HS(o)* – *HS(ef)*

Q(p) – odtok v závěrném profilu povodí / discharge at outlet section of the catchment

$\pm \Delta w(a)$ – přírůstek nebo úbytek půdní vláhy z pórů průměru 0,003 až 0,02 mm / increment or decrement of soil water from pores of 0.003 to 0.020 mm diameter

$\pm \Delta w(g)$ – přírůstek nebo úbytek půdní vláhy z pórů průměru větším než 0,02 mm / increment or decrement of soil water from pores of diameter greater than 0.020 mm

Q(gr) – průsak do geologických struktur půdního podloží / percolation of water into hydrogeologic structures of bedrock

Q(c) – odtok celkový / total runoff = *Q(p)* + *Q(gr)*

ET – evapotranspirace / evapotranspiration

V(z) – vztlínání vláhy do půdního profilu z hloubky 60 cm / capillary rise into soil profile from 60 cm depth

Za výpočtové období sucha v roce 2015 byla stanovena perioda od 2. 6. do 15. 10. podle průběhu odtokové výšky *Q(p)*. Od 2. 6. do 15. 10. byl odtok charakterizován minimálními hodnotami 1,0 mm po dobu 15 dnů až 5,1 mm po dobu 19 dnů (t. j. 0,77 až 3,11 L.s⁻¹.km⁻²). Při průměrném *Q(365)* potoka U Dvou louček 1 L.s⁻¹ jsme v roce 2015 naměřili minimální hodnoty v rozmezí 0,25–1,01 L.s⁻¹ z plochy povodí 32,6 ha.

Hydrologická bilance v takto stanoveném úseku sucha pro vegetační období 2015 byla porovnána s hydrologickou bilancí srážkově normálního vegetačního období 2014. Výsledky byly podrobeny parametrickým i neparametrickým statistickým testům, které umožnily posouzení charakteru sucha. Dále byl podrobně analyzován průběh vlhkosti půdy pomocí teorie hydrolimitů. Následně byl proveden rozbor způsobu zabezpečení vláhy pro evapotranspiraci.

Retence vody v půdě jako retenční kapacita *R(k)* byla stanovena na principu hydrolimitů maximální kapilární vodní kapacity (*MKVK*) dle Nováka (in KLIKA et al. 1954), bodu snížení dostupnosti (*BSD*) a bodu vadnutí (*BV*). *BSD* byl definován sacím tlakem 630 cm vodního sloupce, tj. *pF* = 2,8. Toto číslo bylo zvoleno jako bezpečný průměr z publikovaných údajů osmi autorů (SEKERA 1938; Novák in KLIKA et al. 1954; PELÍŠEK 1964; DRBAL 1971; ČERMÁK 1973; KUTÍLEK 1978;

ŠVIHLA et al. 2005; ČERMÁK et al. 2015). Bod vadnutí byl stanoven dle SOLNAŘE (in KUTÍLEK, NIELSEN 1994):

$$BV = \frac{I.k.K.}{2,4} = \frac{30}{2,4} = 12,5\% = 62,9 \text{ mm}$$

12,5 % – to je z vrstvy půdy 600 mm s vyloučenou průměrnou objemovou kamenitostí 16,2 %, což je 0,125. (600 – 600. 0,162) = 0,125. 503 = 62,9 mm.

Zkratka *I.k.K.* v čitateli znamená procento I. kategorie zrnitosti dle KOPECKÉHO (in KLIKA et al. 1954), průměr z 10 sond. Číslo ve jmenovateli rovnající se hodnotě 2,4 je Solnařova konstanta (in KUTÍLEK, NIELSEN 1994).

Pokles obsahu vody v půdě v rozmezí *BSD* – *BV* byl stanoven extrapolací. Na začátku procesu byl pokles rovný 0,72 mm.den⁻¹, na jeho konci při *BV* se limitně blížil 0. Při tomto procesu se předpokládá účinnost kořenového systému smrku v půdě hluboké 60 cm do 50 % rozdílu *BSD* – *BV*, tj. za etapu vadnutí vyčerpají kořeny smrku 50 % zásoby vody v půdě.

$$W = \frac{1}{2} (154,8 - 62,9) = 45,9 \text{ mm}$$

V grafu na obr. 1 bylo výpočtem stanoveno vyčerpání obsahu vody v půdě kořeny smrku 46,0 mm.

Teorie tohoto procesu byla čerpána z literárních informací o hydrologii nenasycené zóny (MAŘAN 1947; KLIKA et al. 1954; ČERMÁK 1973; KUTÍLEK 1978; LANDSBERG 1986; CARMINATI et al. 2010; KROENER et al. 2014; ZAREBANADKONKI et al. 2016). Základem řešení hydrologie nenasycené zóny je pak darcyovská formulace pohybu vody (KUTÍLEK, NIELSEN 1994):

$$-\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{1}{\partial z} \cdot \left[K(h) \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right] + S(z, t)$$

Θ – objemová vlhkost půdy; *t* – čas; *z* – souřadnice pohybu vody; *h* – sací tlak; *K* – koeficient hydraulické vodivosti nenasycené zóny; *S* – extrakce vody kořeny

Platí (DOLEŽAL 2007): $\lim K(h) \rightarrow 0, h \rightarrow 630 \text{ cm v. s. (vodního sloupce)}$ a potom

$$-\frac{\partial \Theta}{\partial t} = S(z, t)$$

tj. po dosažení vlhkosti půdy na bodu snížené dostupnosti sacího tlaku *pF* = 2,8 je evapotranspirace smrku sycena jen extrakcí vody sací silou kořenů smrku z nejbližšího okolí kořenů stromu, kdy je v podstatě zredukován kapilární pohyb vody. Dostaví se proto vadnutí vegetace. Aplikovaná metoda hydrologické bilance přispívá k řešení projevů klimatického sucha.

VÝSLEDKY

Základem hodnocení charakteru sucha ve vegetačním období 2015 je porovnání jeho hydrologické bilance 2. 6.–15. 10. se stejným úsekem srážkově normálního vegetačního období 2014. Výsledky hydrologických bilancí jsou uvedeny v tab. 1–4. Významnost rozdílů složek hydrologické bilance, vlhkosti a retence vody v půdě let 2014 a 2015 byla testována statistickými párovými testy (ŠKRÁŠEK, TICHÝ 1990) a nepárovými testy *F*, *t* (MYSLIVEC 1957) a *X* (WAERDEN 1960). Významné rozdíly byly shledány u odtoku v závěrném profilu *Q(p)*, u minimálního odtoku *Q(min)*, průsaku do geologických struktur *Q(gr)*, skutečné retence *R(sk)* a u vlhkosti v půdě *W*. Nápadný je pokles odtoku *Q(p)* a *Q(min)* ve vegetačním období 2015, který byl oproti vegetačnímu období 2014 vysoce významný. Naopak překvapující je nevýznamný rozdíl *ET*, který svědčí o významné úloze vlhkosti půdy v době sucha, která v tomto období vyrovnává deficit srážek. Přehled výsledků testů rozdílů parametrů 2014 a 2015 uvádí tab. 5. V periodě sucha 2. 6.–15. 10. spadlo v roce 2015 79 % (286,1 mm) srážek stejného období roku 2014 (362,7 mm). Nesignifikantní rozdíl srážek daný testy

Tab. 1.

Hydrologická bilance (mm) 2014, U Dvou louček, kambizem
Hydrologic balance (mm) 2014 at the U Dvou louček catchment, Cambisol

Datum/Date	<i>HS(o)</i>	<i>I(t)</i>	<i>HS(ef)</i>	<i>Q(p)</i>	<i>Q(gr)</i>	$\Delta w(a)$	$\Delta w(g)$	<i>V(z)</i>	<i>ET</i>
2.6.–15.6.	6,4	1,4	5,0	10,4	2,7	-14,9	-19,6		26,4
16.6.–30.6.	50,1	10,8	39,3	9,9	2,7	+1,1	+3,5		22,1
1.7.–14.7.	31,6	1,9	29,7	8,0	2,5	-17,5	-2,3		39,0
15.7.–30.7.	41,8	4,0	37,8	11,1	2,6	-6,4	+0,0		30,5
31.7.–11.8.	60,3	1,9	58,4	6,8	1,0	+27,7	+0,0		22,9
12.8.–1.9.	54,2	-2,3	56,5	11,5	1,0	-3,7	+2,2		45,5
2.9.–14.9.	79,9	-11,6	91,5	13,6	2,9	+13,9	+34,1		27,0
15.9.–30.9.	25,2	-4,9	30,1	7,9	2,9	-0,7	-34,3		54,3
1.10.–15.10.	13,2	-2,9	16,1	6,3	5,2	-1,2	+2,2		3,6
Celkem/Total	362,7	-1,7	364,4	85,5	23,5	-1,7	-14,2		271,3
Procenta/Ratio	100,0	-0,5	100,5	23,6	6,5	-0,5	-3,9		74,8

Explanatory notes: *HS(o)* – open area precipitation; *I(t)* – interception; *HS(ef)* – net precipitation; *Q(p)* – drainage in outlet of catchment; *Q(gr)* – percolation into bedrock; $\Delta w(a)$ increase or decrease of soil water from pores of diameter sized 0.003–0.02 mm; $\Delta w(g)$ – increase or decrease of soil water from pores of diameter greater than 0.02 mm; *V(z)* – capillary rise up into soil profile from 0.6 m depth; *ET* – evapotranspiration

Tab. 2.

Hydrologická bilance (mm) 2014, U Dvou louček, humusový podzol
Hydrologic balance (mm) 2014 at the U Dvou louček catchment, humus podzol

Datum/Date	<i>HS(o)</i>	<i>I(t)</i>	<i>HS(ef)</i>	<i>Q(p)</i>	<i>Q(gr)</i>	$\Delta w(a)$	$\Delta w(g)$	<i>V(z)</i>	<i>ET</i>
2.6.–15.6.	6,4	-0,6	7,0	10,4	2,7	-3,4	-10,8		8,1
16.6.–30.6.	50,1	-1,9	52,0	9,9	2,7	+0,2	+3,7		35,5
1.7.–14.7.	31,6	-0,4	32,0	8,0	2,5	-13,5	-3,4		38,4
15.7.–30.7.	41,8	-0,3	42,1	11,1	2,6	-3,4	+1,7		30,1
31.7.–11.8.	60,3	-2,3	62,6	6,8	1,0	+12,2	-1,2		43,8
12.8.–1.9.	54,2	-15,9	70,1	11,5	1,0	-1,6	+2,0		57,2
2.9.–14.9.	79,9	-17,7	97,6	13,6	2,9	+11,6	+14,1		55,4
15.9.–30.9.	25,2	-7,6	32,8	7,9	2,9	-6,8	-13,6		42,4
1.10.–15.10.	13,2	-3,3	16,5	6,3	5,2	-1,3	+1,4		4,9
Celkem/In total	362,7	-50,0	412,7	85,5	23,5	-6,0	-6,1		315,8
Procenta/Ratio	100,0	-13,8	113,8	23,6	6,5	-1,6	-1,7		87,0

For explanatory notes see Tab. 1.

Tab. 3.

Hydrologická bilance (mm) 2015, U Dvou louček, kambizem
Hydrologic balance (mm) 2015 at the U Dvou louček catchment, Cambisol

Datum/Date	<i>HS(o)</i>	<i>I(t)</i>	<i>HS(ef)</i>	<i>Q(p)</i>	<i>Q(gr)</i>	$\Delta w(a)$	$\Delta w(g)$	<i>V(z)</i>	<i>ET</i>
2.6.–15.6.	22,7	2,7	20,0	4,5	3,0	-12,5	+1,7		23,3
16.6.–30.6.	28,5	3,3	25,2	4,5	3,0	+7,2	0,0		10,5
1.7.–14.7.	36,3	14,9	21,4	2,6	1,2	-7,1	+1,7		23,0
15.7.–30.7.	20,0	8,2	11,8	2,1	1,2	-27,6	-2,4	10,7	49,2
31.7.–11.8.	1,2	-0,1	1,3	1,0	0,8	-9,3	-1,2	3,3	13,3
12.8.–1.9.	63,2	-5,9	69,1	5,1	0,8	+27,1	+7,9		28,2
2.9.–14.9.	64,2	3,7	60,5	2,7	0,3	+30,9	0,0		26,6
15.9.–30.9.	2,2	0,1	2,1	1,0	0,3	-34,5	-6,4		41,7
1.10.–15.10.	47,8	-22,4	70,2	2,0	0,5	+32,8	+18,0		16,9
Celkem/In total	286,1	4,5	281,6	25,5	11,1	+7,0	+19,3	14,0	232,7
Procenta/Ratio	100	1,6	98,4	8,9	3,9	+5,8	+6,7	4,9	78,0

For explanatory notes see Tab. 1.

Tab. 4.

 Hydrologická bilance (mm) 2015, U Dvou louček, humusový podzol
 Hydrologic balance (mm) 2015 at the U Dvou louček catchment, humus podzol

Datum/Date	HS(o)	I(t)	HS(ef)	Q(p)	Q(gr)	$\Delta w(a)$	$\Delta w(g)$	V(z)	ET
2.6.–15.6.	22,7	0,3	22,4	4,5	3,0	+1,5	+2,7		10,7
16.6.–30.6.	28,5	0,3	28,2	4,5	3,0	-9,8	-2,9		33,4
1.7.–14.7.	36,3	5,7	30,6	2,6	1,2	+3,6	-0,4	0,8	24,4
15.7.–30.7.	20,0	3,1	16,9	2,1	1,2	-30,7	-1,6	9,0	54,9
31.7.–11.8.	1,2	-0,2	1,4	1,0	0,8	-9,7	-0,9		10,2
12.8.–1.9.	63,2	-11,1	74,3	5,1	0,8	+14,4	+0,9		53,1
2.9.–14.9.	64,2	-10,3	74,5	2,7	0,3	+36,0	+4,8		30,7
15.9.–30.9.	2,2	-0,3	2,5	1,0	0,3	-34,8	-4,2		40,2
1.10.–15.10.	47,8	-10,0	57,8	2,0	0,5	+45,3	+10,6	2,2	1,6
Celkem/In total	286,1	-22,5	308,6	25,5	11,1	+15,8	+9,0	12,0	255,2
Procenta/Ratio	100	-7,8	107,8	8,8	3,8	+5,5	+3,1	4,1	90,7

For explanatory notes see Tab. 1.

Tab. 5.

 Výsledky statistických testů parametrů roku 2014 oproti 2015
 Results of statistical testing parameters of 2014 yr compared to 2015 yr

Parametr/ Parameter	Termín/Date	Kambizem/Cambisol				Humusový podzol/Humus podzol				Celé povodí/Whole catchment			
		Šk-T	F	t	X	Šk-T	F	t	X	Šk-T	F	t	X
HS(o)	2.6.–15.10.	-								N	N	N	N
	31.7.–11.8.	-								-	VV	-	-
Q(p)	2.6.–15.10.	-								VV	N	VV	VV
	31.7.–11.8.	-								-	VV	-	-
Q(min)	2.6.–15.10.	-								VV	N	V	VV
	31.7.–11.8.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta w(a)$ + $\Delta w(g)$	2.6.–15.10.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-
Q(gr)	2.6.–15.10.	V	N	V	N	V	N	V	N	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	-	-	VV	-	-	-	-	VV	-	-	-	-
ET	2.6.–15.10.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-
Z	2.6.–15.10.	-	-	-	-	-	-	-	-	N	N	N	N
	31.7.–11.8.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	VV	-	-
R	2.6.–15.10.	V	N	V	N	-	VV	-	-	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	VV	N	VV	V	VV	N	VV	V	-	-	-	-
W	2.6.–15.10.	V	N	N	N	-	V	-	-	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	N	N	N	N	-	N	N	N	-	-	-	-
I(t)	2.6.–15.10.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-
	31.7.–11.8.	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	-

Šk-T – párový test / Škrášek - Tichý paired test

N – rozdíl parametrů není významný/non-significant difference

F – Snedecorův test / Snedecor's F-test

V – významný rozdíl parametrů na hranici 5 %/significant difference at 5% level

t – Studentův test / Student's t-test

X – pořádkový test / ordinary test

VV – vysoce významný rozdíl parametrů na hranici 1 % a méně / very significant difference at 1% and lower level

HS(o) – srážky volné plochy / precipitation of open area

Q(p) – odtok v závěrném profilu povodí / discharge at outlet section of the catchment

Q(min) – odtoková minima / drainage minima

 $\pm \Delta w(a)$ – přírůstek nebo úbytek půdní vláh z pórů průměru 0,003 až 0,020 mm / increment or decrement of soil water from pores of 0.003 mm to 0.020 mm diameter

 $\pm \Delta w(g)$ – přírůstek nebo úbytek půdní vláh z pórů průměru větším než 0,020 mm / increment or decrement of soil water from pores of diameter greater than 0.020 mm

Q(gr) – průsak do geologických struktur půdního podloží / percolation of water into hydrogeologic structures of bedrock

ET – evapotranspirace / evapotranspiration

 $Z = HS(o) - Q(p)$

 R – retenční / retention, $R(sk) = W(mom) - BSD$

W – obsah vody v půdě / soil water content

 I(t) – intercepce / interception, $I(t) = HS(o) - HS(ef)$

HS(ef) – srážky efektivní (porostní) / effective (net) precipitation (precipitation under forest stand canopy = throughfall + stemflow)

Tab. 6.

Dynamika vlhkosti 2015, U Dvou louček, kambizem
Soil moisture dynamics in 2015 yr. at the U dvou louček catchment, Cambisol

Parametry Datum/Date	Jednotky/ Units	$\Delta w(a) + \Delta w(g) + V(z)$	$HS(ef)-Q(c)$	ET	Hodnocení/Assessment
2.6.–15.6.	mm	-10,8	12,5	23,3	ET je dotována ¹ z 53,7 % srážkou ² a z 46,3 % půdou ³
	%	46,3	53,7	100,0	
16.6.–30.6.	mm	+7,2	17,7	10,5	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
1.7.–14.7.	mm	-5,4	17,6	23,0	ET je dotována ze 76,5% srážkou a z 23,5% půdou
	%	23,5	76,5	100,0	
15.7.–30.7.	mm	-40,7	8,5	49,2	ET je dotována z 17,3 % srážkou a z 82,7 % půdou
	%	82,7	17,3	100,0	
31.7.–11.8.	mm	-13,8	-0,5	13,3	ET je dotována ze 100 % půdou
	%			100,0	
12.8.–1.9.	mm	+35,0	63,2	28,2	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
2.9.–14.9.	mm	+30,9	57,5	26,6	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
15.9.–30.9.	mm	-40,9	0,8	41,7	ET je dotována z 98,1 % půdou a z 1,9 % srážkou
	%	98,1	1,9	100,0	
1.10.–15.10.	mm	+50,8	67,7	16,9	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
Celkem/In total	mm	+12,3	245,0	232,7	

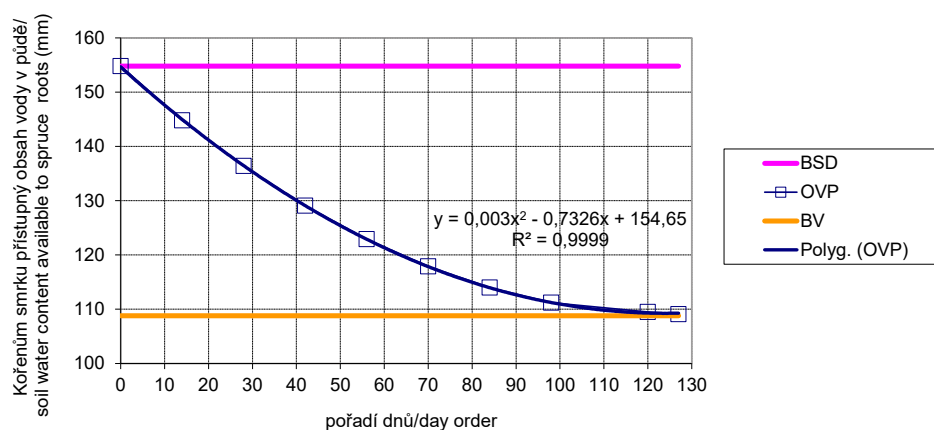
Explanatory notes: ¹dotována/trickled down; ²srážkou/precipitation; ³půdou/soil

Tab. 7.

Dynamika vlhkosti 2015, U Dvou louček, humusový podzol
Soil moisture dynamics in 2015 yr. at the U Dvou louček catchment, humus podzol

Parametry Datum/Date	Jednotky/Units	$\Delta w(a) + \Delta w(g) + V(z)$	$HS(ef)-Q(c)$	ET	Hodnocení/Assessment
2.6.–15.6.	mm	+4,2	14,9	10,7	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
16.6.–30.6.	mm	-12,7	20,7	33,4	ET je dotována z 62 % srážkou a z 38 % půdou
	%	38,0	62,0	100,0	
1.7.–14.7.	mm	+2,4	26,8	24,4	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
15.7.–30.7.	mm	-41,3	13,6	54,9	ET je dotována ze 75,2% půdou a z 24,8% srážkou
	%	75,2	24,8	100,0	
31.7.–11.8.	mm	-10,6	-0,4	10,2	ET je dotována ze 100 % půdou
	%			100,0	
12.8.–1.9.	mm	+15,3	68,4	53,1	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
2.9.–14.9.	mm	+40,8	71,5	30,7	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
15.9.–30.9.	mm	-39,0	1,2	40,2	ET je dotována z 97 % půdou a ze 3 % srážkou
	%	97,0	3,0	100,0	
1.10.–15.10.	mm	+53,7	55,3	1,6	ET je dotována ze 100 % srážkou
	%			100,0	
Celkem/Total	mm	+12,8	272,0	259,2	

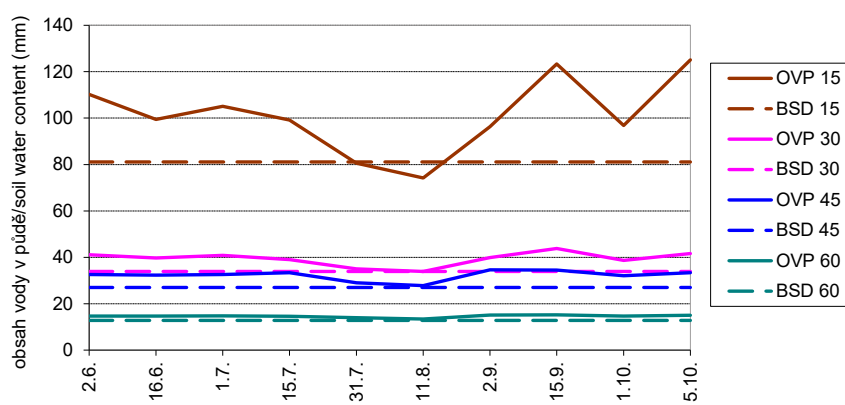
For explanatory notes see Tab. 6.


Obr. 1.

Prognóza vývoje obsahu kořenům smrku přístupné vody (*OVP*) v profilu kambizemě od bodu snížené dostupnosti (*BSD*) k bodu vadnutí smrku (*BV*)

Fig. 1.

Forecast of development of soil water content available to spruce roots (polynomial *OVP*) in Cambisol profile from point of decreased availability (*BSD*) to wilting point (*BV*)


Obr. 2.

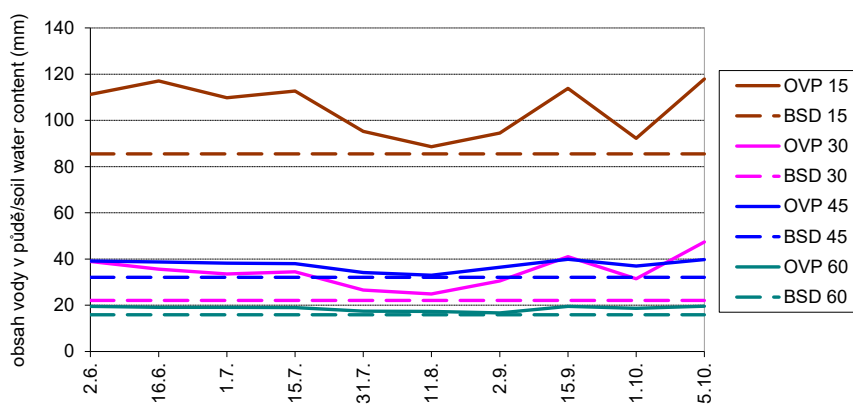
Obsah vody v pórech kambizemě o průměru 0,003–0,020 mm v suchém období 2015

Fig. 2.

Soil water content in the Cambisol with pores of diameter sized 0.003–0.020 mm in dry season of 2015

Vysvětlivky: *OVP* – obsah vody v půdě (mm), *BSD* – bod snížené dostupnosti vody v půdě (bod dočasného vadnutí *BDV*), obě ve vrstvách 0–22,5 cm (kód 15), 22,5–37,5 cm (kód 30), 37,5–52,5 (kód 45) a 52,5–60,0 cm (kód 60); tloušťky vrstev 22,5, 15,0, 15,0 a 7,5 cm s průměrnou objemovou kamenitostí 16,2%

Explanatory notes: *OVP* – soil water content (mm), *BSD* – point of decreased soil water availability (point of temporary wilting *BDV*), both in layers of 0–22.5 cm (code 15), 22.5–37.5 cm (code 30), 37.5–52.5 (code 45) a 52.5–60.0 cm (code 60); layer thickness equals 22.5, 15.0, 15.0, and 7.5 cm with 16.2% average volume stoniness


Obr. 3.

Obsah vody v pórech humusového podzolu o průměru 0,003–0,020 mm v suchém období 2015

Fig. 3.

Soil water content in the humus podzol with pores of diameter sized 0.003–0.020 mm in dry season of 2015

For explanatory notes see Fig. 2.

svědčí o srovnatelnosti let 2014 a 2015 v etapě 2. 6. – 15. 10. V kritické periodě 31. 7. – 11. 8. 2015 však byl rozdíl srážek velmi významný, protože v roce 2015 v tomto období spadla pouze 2 % srážek roku 2014 (1,2 mm oproti 60,3 mm). Výsledky statistických testů v této periodě shodně potvrzují významné rozdíly také u $HS(o)$, $Q(p)$, Z , $Q(g)$ a $R(sk)$.

U dynamiky vody v půdě $\Delta w(a)$, $\Delta w(g)$ jsou rozdíly v kritické periodě 31. 7. – 11. 8. mezi suchým rokem 2015 a srážkově normálním rokem 2014 nevýznamné. Stejně porovnání pro celé období 2. 6. – 15. 10. je nevýznamné jak na kambizemi, tak na humusovém podzolu.

Zvláštní pozornost zasluhuje evapotranspirace, když rozdíly mezi normálním a suchým vegetačním obdobím jsou i v kritickém úseku nevýznamné. Je zřejmé, že i v období sucha byly lesní půdy dostatečně vlhké, aby stačily evapotranspiraci dotovat. Schéma zajištění vláhy pro ET je uvedeno v tab. 6 a 7, kde je zřejmá důležitost zásoby půdní vláhy v době sucha. Půda a její podloží od 15. 7. do 11. 8. dotovala evapotranspiraci na kambizemi 54,5 mm a na humusovém podzolu 51,9 mm půdní vláhou.

Podíl vody v půdě přístupné kořenům vyjadřuje vztah momentální retence půdy $R(sk)$ ku její kapacitě $R(k)$ (tab. 8):

$$\eta = \frac{R(sk)}{R(k)} = \frac{W(mom) - BSD}{MKVK - BSD}$$

Zatímco tento poměr je v suchém vegetačním období 2015 v průměru 0,357 (kambizem) a 0,418 (humusový podzol), ve srážkově průměrném vegetačním období 2014 je 0,519 (kambizem) a 0,588 (humusový podzol). V období 15. 7. – 11. 8. bylo v roce 2015 z kapilárních a semikapilárních porů dáno k dispozici na kambizemi 36,9 mm vody a na humusovém podzolu 40,4 mm vody. Maximální rozdíl hodnot indexu η byl 12. 8. 2015, kdy obsah vody v kambizemi (graf na obr. 2) byl o 5,5 mm pod BSD ($\eta = -0,043$) a na humusovém podzolu (graf na obr. 3) o 8,2 mm vody nad BSD ($\eta = 0,099$). Voda v půdě přístupná kořenům $R(sk)$ vykazuje v letech 2014 a 2015 významné rozdíly (testováno R , tab. 5).

Zvláštní pozornost při analýze vlivu sucha byla věnována režimu půdní vlhkosti. Statistickými testy $\bar{S} - T$, F , t , X byly porovnány vlhkosti kritických dnů 31. 7. až 11. 8. v roce 2014 a 2015. Jediný významný

rozdíl na 5% hranici byl zjištěn testem $\bar{S} - T$ 31. 7., a to u kambizemě i u humusového podzolu a 11. 8. u humusového podzolu. Testem $\bar{S} - T$ byly i rozdíly vlhkostí půdy celkové periody sucha 2. 6. – 15. 10. klasifikovány jako významné. Za pokračujícího období sucha byl obsah vody ve sledovaném profilu kambizemě po dosažení BSD 154,8 mm a v profilu humusového podzolu 155,6 mm. V době sucha došlo 11. 8. 2015 na kambizemi k poklesu obsahu vody v půdním profilu (149,3 mm) pod BSD (154,8 mm), a to jak v hloubce 15 cm a 30 cm, tak i v celém profilu půdy. Na humusovém podzolu došlo k přiblížení obsahu vody v půdním profilu (163,8 mm) k BSD (155,6 mm). Tyto výsledky dokumentují grafy na obr. 2 a 3. Prognóza rozvoje sucha po dosažení BSD předpovídá, že půdní vlhkost klesne k hranici přístupné vody v půdě za 127 dní (obr. 1). V tomto období by se dostavilo vadnutí smrkového porostu. Při tomto výpočtu se předpokládá podle půdního průzkumu, že U Dvou louček ovládá kořenový systém smrku ca 50 % půdního prostoru do hloubky 60 cm, tj. 30 cm, poklesne-li vlhkost pod BSD.

Ve dnech sucha 15. 7. až 11. 8. dodala půdní vlhkost a vztlínání do oběhu vody v povodí na kambizemi 54,5 mm a na humusovém podzolu 51,9 mm půdní vody. Tento proces zmenšil dopad deficitu srážek na evapotranspiraci. Všechny statistické testy potvrdily nevýznamnost rozdílů celkové evapotranspirace smrku v obou sledovaných obdobích v roce 2014 a 2015 na obou půdních profilech. Avšak rozdíly v evapotranspiraci v kritickém období 31. 7. – 11. 8. mezi rokem 2015 a 2014 (1,11 ku 1,91 mm/den u kambizemě a 0,85 ku 3,65 mm/den u humusového podzolu) nelze považovat za bezvýznamné. Pokles ET v kriticky suchém období 31. 7. – 11. 8. roku 2015 lze považovat za výrazný. Na kambizemi v době kritického sucha 31. 7. – 11. 8. je ET 58 %, na humusovém podzolu 23 % hodnoty roku 2014.

Pozornost byla věnována též parametru $Z = HS(o) - Q(p)$, který představuje souhrn výparu, výměny vláhy s půdou a průsaku do podloží půdy. Všechny testy potvrdily, že v celém období sucha 2. 6. – 15. 10. není u tohoto parametru významný rozdíl mezi suchým vegetačním obdobím 2015 a srážkově normálním vegetačním obdobím 2014. Statisticky významný rozdíl vykazuje však období kritického sucha 31. 7. – 11. 8. Parametr Z je důležitým ukazatelem transformace srážek povodím, vyjma odtoku. Jasně ukazuje rozdílnost oběhu vody v povodí za kritického sucha mezi normálním stavem a suchem.

Tab. 8.

Retence jako podíl vody v půdě přístupné kořenům v letech 2014 a 2015 [$W(mom) - BSD$] / [$MKVK - BSD$] U Dvou louček, celé povodí Soil water retention as $\eta = [W(mom) - BSD] / [MKVK - BSD]$ at the U Dvou louček, all the catchment in 2014 and 2015

Půda/Soil	Kambizem/Cambisol		Humusový podzol/Humus podzol	
Datum/Date	2014	2015	2014	2015
2.6.	0,651	0,469	0,657	0,549
16.6.	0,491	0,335	0,623	0,564
1.7.	0,508	0,412	0,626	0,466
15.7.	0,316	0,336	0,490	0,502
31.7.	0,247	0,041	0,456	0,196
12.8.	0,544	0,043	0,578	0,099
2.9.	0,504	0,333	0,562	0,243
15.9.	0,653	0,664	0,678	0,602
1.10.	0,646	0,294	0,610	0,255
15.10.	0,631	0,646	0,597	0,707
Průměr	0,519	0,357	0,588	0,418

$W(mom)$ – obsah vody v půdě (mm) / momentary soil water content

BSD – bod snížené dostupnosti / point of decreased availability

MKVK – maximální kapilární vodní kapacita dle Nováka (in KLÍKA et al. 1954) / maximum soil water capacity by Novák (in KLÍKA et al. 1954)

DISKUSE

Při analýze bylo sledováno hledisko, že kritické období sucha U Dvou louček lze kvalifikovaně určit jen po analýze celku suchého období 2. 6. – 15. 10. Tento úsek ve vegetačním období 2015 vykazuje průměrný průtok $2,16 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, který se nachází pod hranicí průměru průtoků $Q(365) = 3,06 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ v letech 2007–2014. Pokles odtoků v létě roku 2015 je výrazný ve srovnání se srážkově průměrným vegetačním obdobím 2014. Naopak evapotranspirace významný rozdíl mezi vegetačními obdobími 2015 a 2014 neprokazuje. Je tedy zřejmé, že v suchém vegetačním období většinu srážek lesní půda poskytne na evapotranspiraci a odtok dotuje jen minimálně (tab. 1, 2, 3, 4, 6, 7).

Celkový odtok v suché letní periodě 2. 6. – 15. 10. poklesl v roce 2015 na 16,8 % celkového odtoku srážkově normálního vegetačního období 2014. Katastrofální dopad sucha na odtoky je průkazný a svědčí o tom, že v době sucha poklesly nejen odtoky půdou, ale i pramenné vývěry z geologického podloží. Ty jsou podle geologického průzkumu 3–6 $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. Naopak evapotranspirace, která ve vegetačním období 2015 činila 82 % vegetačního období 2014 dokazuje, že půda svou dotací ze zásoby půdní vláhy a vztlínáním ve výši 52–54 mm pomohla smrkovým porostům zvládnout sucho v době od 15. 7. do 11. 8. Úhrn zásob půdní vláhy se k bodu snížené dostupnosti v době kritického sucha přiblížil (humusový podzol) nebo jen mírně pod něj poklesl (kambizem). To znamená, že na vegetaci smrku sucho ve vegetačním období 2015 nijak katastrofálně nedopadlo, což potvrzuje i skutečnost, že na habitu smrku U Dvou louček se sucho nijak neprojevalo.

Předložená analýza upřesňuje náhled na retenci vody v půdě. Retenční kapacita $R(k)$, daná rozdílem $MKVK$ a BSD , je u kambizemě hluboké 60 cm 93 mm, u humusového podzolu 100 mm. Jde o vodu v půdě pohyblivou, smrku normálně přístupnou. V době kritického sucha 31. 7. – 11. 8. byla retenční kapacita využita u kambizemě z 56 %, u humusového podzolu z 54 %. Mezi bodem vadnutí (BV) a BSD se U Dvou louček nachází zásoba půdní vláhy 91,9 mm, která je však kořenům smrku přístupná jen z 50 % (viz odstavec Pokles obsahu vody v půdě v rozmezí $BSD - BV$ v oddíle Materiál a metodika). Avšak při vlhkosti půdy pod BSD se dostaví fáze vadnutí, protože přísun vody ke kořenům je nižší než požadavky evapotranspirace.

Pokles vydatnosti pramenů v době sucha rezultuje z vrcholové partie, jež představuje malou, relativně rychle se vyprazdňující zvědeň. Půda redistribuje srážky a půdní vláhu přednostně na ET , a snižuje tak celkový odtok $Q(c) = Q(p) + Q(gr)$.

Souhrnný parametr $Z = HS(o) - Q(p)$, který představuje souhrn výparu, výměny vláhy s půdou a průsaku do podloží půdy, dokládá odlišnost procesů v půdě v době sucha od normálního stavu. Zejména se liší rozdělování srážkové vody infiltrované do půdy. Parametr Z dokládá důležitost vlastností lesní půdy ovládající vodní režim celého povodí včetně tvorby odtoku.

Podrobně se zabýval měřením retenční kapacity MAŘAN (1947) v Českém krasu na lokalitě Velká Hora (400–450 m n. m., půdní typ rendziny). Retenční kapacita smrkové tyčoviny (dle MAŘANA dešťová kapacita) tam činila 88,5 mm na přepočteném profilu půdy 60 cm. Souvztažná korelující čísla uvádí KRÁLOVEC et al. (2016) ze Šumavy. Retenční kapacita ve dvou sledovaných povodích je uváděna ve výši 281 mm a 302 mm. Jde o retenční kapacitu absolutní, tj. o plnou vodní kapacitu. Uvážíme-li, že rostlinám přístupná voda v půdě činí asi 1/3 plné vodní kapacity, pak srovnatelné hodnoty $R(k)$ jsou přibližně 93–100 mm. Je tedy zřejmé, že rozbořením získané hodnoty $R(k)$ U Dvou louček 93 mm a 100 mm se od uvedených literárních údajů neliší.

ZÁVĚR

Analýza období sucha na experimentálním povodí U Dvou louček v Orlických horách byla provedena metodou hydrologické bilance povodí a teorií hydrolimitů v lesní půdě. Pro rozbor byla zvolena dvě období. Jednak období celkového sucha od 2. 6. 2015 do 15. 10. 2015, jednak období kritického sucha 31. 7. 2015 – 11. 8. 2015. Hodnocení výsledků bylo provedeno porovnáním parametrů rozboru ve srážkově normálním vegetačním období 2014 se suchým vegetačním obdobím 2015 čtyřmi statistickými testy. V suchém vegetačním období 2015 byly v závěrném profilu povodí naměřeny minimální odtoky na úrovni nižší, než byl průměrný $Q(365)$ let 2007–2014. Výsledek je vysoce významný.

Dále bylo zjištěno vyčerpání skutečné retence v kritickém období 31. 7. – 11. 8. 2015. Evapotranspirace byla v kritickém období dotována ze zdrojů vláhy v půdě. Dotace činila 52–54 mm a vedla k překlenu-tí období sucha vegetací. Rozdíly v evapotranspiraci v suchém (2015) a srážkově normálním (2014) vegetačním období jsou nevýznamné. Smrková tyčovina na experimentální ploše nevykázala ve vegetačním období 2015 žádné příznaky poškození suchem.

Závěrem je možno říci, že horské podmínky stanoviště lesních porostů umožňují překonat kritické sucho v délce 14 dní v celkově suchém období.

Poděkování:

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO0118 a z podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků MZE projektu NAZV QJ1520291 „Pěstební opatření na podporu odolnosti lesních porostů vůči vlivům zvýšených depozic dusíku“.

LITERATURA

- CARMINATI A., MORADI A.B., VETTERLEIN D., VONTOBEL P., LEHMANN E., WELLER U., VOGEL H.-J., OSWALD S.E. 2010. Dynamics of soil water content in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 332: 163–176. DOI: 10.1007/s11104-010-0283-8
- ČERMÁK J. 1973. Použití tenzometrů při řízení závlahových režimů. Praha, Státní meliorační správa: 19 s.
- ČERMÁK J., ČERNÝ M., ŠRÁMEK M., POKORNÝ J., VICHROVÁ G., KLEWAR M. 2015. Makrostruktura, růst a vodní provoz smrku ztepilého. Výzkumná zpráva. Brno, Mendelova univerzita v Brně: 37 s.
- DOLEŽAL F. 2007. Měření nenasycené hydraulické vodivosti výparnou metodou U Dvou louček. Nepublikovaná výzkumná zpráva. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: 2 s.
- DRBAL J. 1971. Praktikum meliorační pedologie. Praha, Státní pedagogické nakladatelství: 258 s.
- KLIKA J., NOVÁK V., GREGOR A. 1954. Praktikum fytoecologie, ekologie, klimatologie a půdoznalství. Praha, Československá akademie věd: 773 s.
- KRÁLOVEC V., KLIMENT Z., VLČEK L. 2016. Hodnocení retence vody v půdě v lesním a nelesním prostředí. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61 (3): 181–189.
- KROENER E., ZAREBANADKOUKI M., KAESTNER A., CARMINATI A. 2014. Nonequilibrium water dynamics in the rhizosphere: How mucilage affects water flow in soils. *Water Resources Research*, 50: 6479–6495. DOI: 10.1002/2013WR014756
- KUPEC P., DEUTSCHER J. 2016. Srovnání denní dynamiky průtoků pahorkatinných mikropovodí v několikadenních periodách bez srážek. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61 (3): 190–196.
- KUTÍLEK M. 1978. Vodohospodářská pedologie. Praha, Státní nakladatelství technické literatury: 295 s.
- KUTÍLEK M., NIELSEN D.R. 1994. *Soil hydrology*. Cremlingen-Destedt, Catena: 370 s.
- LANDSBERG J.J. 1986. *Physiological ecology of forest production*. London, Academic Press: 171 s.
- MAŘAN B. 1947. Vliv porostů a reliéfu na rendziny Karlštejska. Praha, Ministerstvo zemědělství republiky Československé: 152 s. Sborník výzkumných ústavů lesnických, sv. 2.
- MYSLIVEC V. 1957. *Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví*. Praha, Československá akademie zemědělských věd ve Státním zemědělském nakladatelství: 555 s.
- PELÍŠEK J. 1964. *Lesnické půdoznalství*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 568 s.
- SEKERA F. 1938. Statik und Dynamik des Bodenwassers. *Bodenkunde und Pflanzenernährung*, 51 (6): 288–312.
- ŠKRÁŠEK J., TICHÝ Z. 1990. *Základy aplikované matematiky III*. Praha, Státní nakladatelství technické literatury: 834 s.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2005. Příspěvek k hydrologické analýze povodí U Dvou louček v Orlických horách. In: *Soil and Water. Scientific Studies*. 4/2005. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha: 95–105.
- WAERDEN VAN DER B.L. 1957. *Mathematische Statistik*. Berlin, Springer: 360 s.
- ZAREBANADKOUKI M., AHMED M.A., CARMINATI A. 2016. Hydraulic conductivity of the root-soil interface of lupin in sandy soil after drying and rewetting. *Plant and Soil*, 398: 267–280. DOI: 10.1007/s11104-015-2668-1

MANIFESTATION OF DROUGHT IN SPRUCE POLE-STAGE STAND IN SUMMER 2015

SUMMARY

Large areas were affected by summer 2015 drought in the Czech Republic. Drought analysis was done in spruce pole-stage stand within the U Dvou louček experimental catchment (UDL) in the Orlické hory Mts. The enormously dry summer 2015 was compared with normally wet summer 2014. The model of hydrological balance of closed-canopy forest stands (eq. 1a) within the UDL catchment (Tab. 1, 2, 3 and 4), and forest soil water constant theory were used to show drought impact on the young stand. All model parameters were measured besides evapotranspiration (ET). The ET was based on the balance equation (1b). The drought impact was assessed using soil water constants such as decreased availability (temporary wilting point) and wilting point, and minimum rainfall and stream discharge data.

Two dry periods were analyzed: June 2nd to October 15th and July 31st to August 11th. The former whole-time drought period took 136 days, the latter was even more critical. Despite catastrophic minimal discharges in streams and depleted soil water storage usually available to spruce roots, a normal level of evapotranspiration of spruce stands was found. Water regime conditions in the UDL were very different in both years of interest. Normally wet 2014 was compared to the dry 2015 using four statistic tests (Tab. 5). In dry 2015 the minimum discharges from the UDL were lower than the average 365-day-discharge based on 2007–2014 measurement.

Phenomenon of drought was demonstrated by events such as a decrease of soil moisture below point of decreased availability in cambisol and fall of soil moisture near the point of decreased availability in podzol. Both events occurred circa in the middle of drought period (Fig. 2 and 3). Over two weeks of the critical drought, the spruce stand reduced evapotranspiration and survived showing no visible injury. However, the base flow from springs decreased enormously as it fell below 365-day average discharge. The decreased discharge lasted from June 2nd to October 15th, i.e. 136 days. Extremely low soil moisture persisted over two weeks (from July 31st to August 11th). The longer drought is likely to affect the spruce stand more negatively.

We also found a depletion of the actual retention [$Rsk = W(mom) - BSD$] in the period of the two-week critical drought (Tab. 8). ET was sustained in the period of the critical drought from water storage in soil being equal to 52–54 mm. It led to coping of forest vegetation cover with the dry period. Differences between the dry year (2015) and normally wet year (2014) ET values were found insignificant.

It can be concluded that spruce pole-stage stand did not show any symptoms of injury by drought within the UDL in 2015. Spruce trees did not, however, suffer from drought because lack of precipitation over the two-week critical drought was compensated by water depletion from reserves in forest soil (Tab. 6 and 7). Injury due to drought would appear if extreme drought duration was longer than two weeks. Prognosis of drought development predicts that after reaching point of decrease availability BSD soil water content drops to the level of soil water availability BV during 127 days (Fig. 1). Then the spruce die-off would be expected.

Zasláno/Received: 30. 08. 2017

Přijato do tisku/Accepted: 02. 11. 2017