

# TREND VÝVOJA PEDOHYDROLOGICKÝCH CYKLOV V SMREKOVOM EKOSYSTÉME V EXISTUJÚCICH KLIMATICKÝCH PODMIENKACH NA SLOVENSKU

## PEDOHYDROLOGICAL CYCLES DEVELOPMENT IN THE SPRUCE ECOSYSTEM UNDER THE CURRENT CLIMATIC CONDITIONS OF SLOVAKIA

LADISLAV TUŽINSKÝ<sup>1</sup> ✉ - JURAJ GREGOR<sup>1</sup> - MAREK TUŽINSKÝ<sup>2</sup> - MARIÁN HOMOLÁK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Mararyka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 1176, 165 21 Praha - Suchbát, Czech Republic

✉ e-mail: [tuzinskyladislav@gmail.com](mailto:tuzinskyladislav@gmail.com)

### ABSTRACT

The paper analyzes the balance of soil water in the spruce stand mountain conditions in the Upper Orava region, Slovakia. The long-term research (1991–2014) shows that the predominant moisture interval in the vegetation period (V–X) is semi-uvitic soil interval (MCC – PDA) with a good or sufficient supply of usable water. In the growing period, (VI–VIII) there is a marked differentiation of the soil water supply in the whole physiological profile (0–100 cm). In the summer months (VII–VIII) soil moisture varies between MCC and wilting point (WP) hydrolimites, while in dry periods that are accompanied by higher temperatures and precipitation deficiency, the available water supply in the surface and middle layers (0–40 cm) may fall to low or lower inadequate supply. Ongoing climatic conditions during the study, with a gradual reduction of precipitation (81.3% of average) and increase of air temperature (+ 1.3°C), pose the danger associated with the development of dry periods to the spruce. The lack of water affects the surface and middle layers of soil (0–40 cm) mainly in extremely dry and longer drought periods, the shortage of available water also occurs in deeper horizons for a short time. Under such conditions the spruce is threatened with drought, and its response is physiological weakness, reduced evapotranspiration, increased fall of assimilation organs, reduced increment, degradation of physical and hydrological properties of soil, and reduction of transport of mineral and organic substances.

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

**Klíčové slová:** lesný ekosystém; vlhkosť pôdy; hydrolimity; pedohydrologické cykly; využitelná voda

**Key words:** forest ecosystem; soil moisture; hydrolimites; pedohydrological cycles; available water

### ÚVOD

Existencia, vývoj, zdravotný stav a fungovanie lesných ekosystémov, sú v značnej miere podmienené procesmi, ktoré vznikajú v hydrosfére ovzdušného a pôdneho prostredia. Ide najmä o procesy zložiek vodnej bilancie, predovšetkým evapotranspiráciu, odtokové pomery a vodný režim pôdy. Z komplexu zložiek vodnej bilancie patrí nezastupiteľné miesto pôdnej vode, jednému z faktorov zúčastňujúcich sa na tvorbe pôdy, jej fyzikálnych a chemických vlastnostiach, transpirácii, látkovo-energetickom metabolizme, fyziologických procesoch a dezertifikácii územi.

V ostatnom období, v meniacich sa klimatických a z nich vyplývajúcich ekologických podmienkach prírodného prostredia, dochádza aj k zmene režimu navlhčovacích a vysušovacích cyklov. Pôsobením zvýšenej teploty vzduchu, rastúcej potenciálnej evapotranspirácie a deficitu zrážkových úhrnov, sa pôdna voda stáva jedným z limitujúcich faktorov existencie, rastu a zdravotného stavu lesných ekosystémov.

Kvalitatívne a kvantitatívne zmeny hydrologických podmienok, v geometricky vymedzenej priestorovej jednotke systému atmosféra – lesný ekosystém – zóna aerácie, sa v najväčšej miere prejavujú vo fyziologickom profile pôdy.

Smrek patrí medzi dreviny, ktoré sú náročné na vodu a jej pravidelnú dodávku. Jeho výskyt na prevažne minerálne chudobných pôdach, s menej priaznivým živinovým režimom a najvyššou mierou zmien hydrofyzikálnych vlastností v povrchových vrstvách pôdy znamená zvýšené riziko nebezpečenstva jeho ohrozenia zo sucha (TUŽINSKÝ 2000, 2002, 2004; KANTOR et al. 2008).

Predmetom príspevku je analýza zložiek vodnej bilancie s prioritným zameraním na režim vlhkosti pôdy vo fyziologickom profile pôdy v 24ročnom nepretržite sledovanom období vegetácie v prostredí smrekového ekosystému v oblasti Hornej Oravy – LHC Oravská Polhora na Slovensku.

## Problematika

Vodný režim lesných pôd je vzhľadom na existenciu a rast lesa dominantný. Je jedným zo základných hydrologických a pedohydrologických parametrov vodnej bilancie lesných ekosystémov. Vodohospodársky výskum lesov začína u nás všestrannejšiu a intenzívnejšiu činnosť začiatkom 70. rokov 20. storočia, kedy sa začal zdôrazňovať význam biologických funkcií lesa. Väčšina prác z oblasti vodnej bilancie v lesných ekosystémoch v Československu sa zameriavala spravidla len na režim zrážok a odtokové pomery (KRONTORÁD 1958; KREČMER, FOJT 1974; MRÁZ 1980). Hlavná príčina absencie štúdia vlhkostných pomerov pôd súvisela pravdepodobne s problematikou komplexného riešenia uvedenej problematiky vzhľadom na špecifické pôsobenie lesa na jednotlivé zložky vodnej bilancie a vo vyšších nadmorských výškach (nad 800 m n. m.) ešte pre relatívne priaznivé vlhkostné pomery lesných pôd.

Hlavná pozornosť sa v tomto období venovala problematike destabilizácie lesov vplyvom znečisteného ovzdušia diaľkovým prenosom imisií (GRÉK et al. 1991).

Prevažne kyslý typ diaľkových imisií pôsobil škodlivo najmä v horských lesoch, v chladnejšom a vlhkejšom období roka účinkom kyslých hmiel, vplyvom vzrastajúcej koncentrácie silných kyselín (BUBLINEC 1995; KONTRIŠOVÁ et al. 1995; KUKLA, TUŽINSKÝ 1996). Negatívny účinok imisií sa prejavoval zhoršením vlastností pôdy, narastaním deficitu živín, znížením odolnosti lesných ekosystémov proti škodlivým činiteľom, zmenou ich druhovej skladby a následne aj vysokou početnosťou odumierania smreka.

Rastúci rozsah poškodenia lesných porastov v dôsledku znečisteného prostredia kyslým imisným typom, prevažne oxidmi síry z najväčšieho zdroja znečistenia ostravsko-karvinskej oblasti, možno odôvodniť v oblasti Hornej Oravy, napr. postupujúcou acidifikáciou pôdneho prostredia a znižovaním obsahu prístupných živín.

Zvyšovanie teploty vzduchu, nerovnomerná distribúcia zrážok a pribúdajúci výskyt období s deficitom zrážkových úhrnov vytvárali priaznivé podmienky pre abioticky škodlivého činiteľa – suchu. Konštatovania o škodách suchom boli interpretované často len na subjektívnych základoch, bez štúdia a analýzy z experimentálne získaných údajov vodného režimu pôdy.

Zmeny klimatických podmienok s pribúdajúcim limitujúcim množstvom fyziologicky prístupnej vody v nížinných a pahorkatinných oblastiach Slovenska (TUŽINSKÝ 1984) boli signálom k rozšíreniu výskumu vodného režimu pôd aj v oblasti horských lesov. V prípade zásobovania vodou a živinami bolo ohrozenie smreka suchom významné aj z hľadiska miery najväčších zmien hydrofyzikálnych vlastností pôdy v jej povrchových a stredných vrstvách, v ktorých sa nachádza najväčší výskyt jeho aktívnych koreňov. Vplyvom kyslých depozícií, ktoré sa v najväčšej miere hromadili v humusovej vrstve, sa zvyšoval aj osmotický tlak pôdnych roztokov a zároveň aj kritická hranica využiteľnej vody.

Rozšírenie výskumu vodnej bilancie o štúdium vodného režimu pôdy, ktoré začalo v oblasti Hornej Oravy v roku 1991, reagovalo aj na zmeny vodnej bilancie lesných ekosystémov vplyvom klimatických zmien, osobitne zvýšením teploty, zmenou distribúcie zrážok a parametrov prostredia pre zložky vodnej bilancie (evapotranspirácie a transpirácie).

Naliehavosť riešenia tejto problematiky sa potvrdila v priebehu výskumu vodnej bilancie, napr. výskytom pedohydrologických cyklov so zníženou zásobou využiteľnej vody vyvolávajúcou stres zo sucha (LARCHER 2003).

## MATERIÁL A METODIKA

Výskumná plocha (OLZ Námestovo, Lesná správa Oravská Polhora) v prevažne smrekovom poraste so zastúpením (*Picea abies* [L.] Karst) 85, *Fagus sylvatica* L. 13, *Abies alba* Mill. 2) bola založená v roku 1984 za účelom sledovania chemizmu zrážok; od roku 1991 bol výskum rozšírený o štúdium jednotlivých zložiek vodnej bilancie. Vek porastu bol 80 rokov, zakmenenie 0,8, zápoj 90 %. Typologicky je zaradený do skupiny lesných typov *Fageto Abietum*. Pôdnym typom je kambizem modálna kyslá. Nachádza sa v nadmorskej výške 940 m, sklon územia s orientáciou na juh je 15 %.

Klimaticky patrí do oblasti chladnej klímy s priemernou ročnou teplotou vzduchu 5 °C, vo vegetačnom období 11 °C, s ročným úhrnom zrážok viac ako 1000 mm a najvyššími zrážkami v júni a júli (tab. 1).

Priebeh okamžitej vlhkosti sa sledoval v desaťdňových, vo vybraných periódach s deficitom zrážok v dvojdných intervaloch, gravimetricky zo vzoriek zeminy, ktoré boli odobrané do kovových vysušovačiek prostredníctvom pôdneho vrtáka, do hĺbky 100 cm, v 10cm vrstvách, v 3 až 5 opakovaniach, alebo zo zmiešanej vzorky z 5 odberových miest. Z takto odobratých pôdnych vzoriek pôdy sa okamžitá vlhkosť určila metódou ich vysušenia pri teplote 105 °C a vyjadřila sa v % hmotnosti a % objemu.

Z hydrofyzikálnych charakteristík sa stanovili: maximálna kapilárna kapacita (MKK) podľa Nováka (in KLIKA et al. 1954), bod zníženej dostupnosti (BZD) a bod vädnutia (BV) podľa DRBALA (1965). Priemerné hodnoty uvedených charakteristík sú uvedené v tab. 2. Zrntostné zloženie pôdy sa zistilo plavením podľa Kopeckého (HRAŠKO et al. 1962), merná hmotnosť zeminy pyknometricky, objemová hmotnosť výpočtom.

Vodná bilancia sa stanovila podľa vzorca:

$$W_1 + R = P_v + R_s + E_t + W_2 \text{ (mm)},$$

kde

$W_1$  je množstvo pôdnej vody na začiatku pozorovacieho obdobia

$R$  je množstvo zrážok

$P_v$  je vertikálny priesak vody do spodín

$R_s$  je povrchový odtok

$E_t$  je evapotranspirácia

$W_2$  je množstvo pôdnej vody na konci pozorovacieho obdobia.

Zrážky prenikajúce cez koruny stromov sa zachytávali do zrážkomerých korýt z pozinkovaného plechu so zachytnou plochou 2000 cm<sup>2</sup>, v 5 opakovaniach, umiestnených na výskumných plochách v tvare kríža.

Stok po kmeni sa sledoval na troch smrekoch s priemerom  $d_{1,3}$  24 cm a výškou 21 m, 22 m a 22,5 m pomocou žlabov z oloveného plechu obtočeného po obvode kmeňa.

Prienik zrážok cez bylinný podrast a opadanku bol meraný v hĺbke 100 cm prostredníctvom lyzimetrov so zachytnou plochou 343 cm<sup>2</sup>.

Povrchový odtok sa sledoval metódou rozostavenia deluometrov – žlabov a nádob na zachytávanie odtoku z plôch od 0,75 do 3 m<sup>2</sup>.

Spotreba vody na evapotranspiráciu bola vyčíslená z rozdielu počiatočnej a konečnej zásoby vody v pôde s prihliadnutím k ostatným zložkám vodnej bilancie (intercepcia, stok po kmeni, povrchový odtok).

Množstvo vody využiteľnej pre rastliny sa vypočítalo odpočítaním mŕtvej vody od okamžitej vlhkosti pôdy. Hranicou medzi fyziologicky prístupnou a mŕtvou vodou bol bod vädnutia (BV). Zásoba využiteľnej vody (tab. 3) sa hodnotila podľa KUTÍLKA (1966), ekologická klasifikácia vodného režimu pôd podľa toho istého autora (KUTÍLEK 1971).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z výsledkov pedohydrologického výskumu v analyzovaných vegetačných obdobiach rokov 1991–2015 vyplýva, že k zmenám procesov, ktoré vznikajú v hydrosfére ovzdušného a pôdneho prostredia lesných ekosystémov dochádzalo v prvom rade pôsobením teploty a vplyvom navlhčovacích a vysušacích cyklov. Pôsobenie extrémnych typov počasia, v rastovej časti vegetačného obdobia (jún – august), najmä nerovnomerná distribúcia zrážok, výskyt bezzrážkových období, prítomnosť pedohydrologických cyklov so zníženou zásobou využiteľnej vody, zvyšovalo pre smrek riziko jeho fyziologického oslabenia zo sucha.

Z tab. 4 vyplýva, že teploty vzduchu v sledovanom období rokov 1991–2014 boli v rastovej časti hydrologického roka v priemere vyššie o 1,3 °C, v najväčšej miere sa zvýšila teplota vzduchu v letných mesiacoch, v júli o 2 °C, v auguste o 1,8 °C.

Preukazne vyššie odchýlky od dlhodobého priemeru boli v úhrnoch zrážok. Celkové množstvo zrážok predstavovalo v priebehu výskumu 84,2 % z dlhodobého priemeru, najväčší deficit v letných mesiacoch, v júli a auguste predstavoval v priemere 77 % z úhrnov dlhodobého priemeru.

Najmenej zrážok bolo vo vegetačnom období roka 2003, kedy spadlo 334 mm (54 %), najmenej v auguste – 35 mm a septembri – 25 mm (32 %). Medzi zrážkovo deficitné možno zaradiť aj mesiace júl 1994 (38 mm = 27 %) a 2006 (24 mm = 17 %) a september 1992 (35 mm = 45 %), 2006 (27 mm = 35 %) a 2011 (16 mm = 21 %).

Vodný režim závisel od meteorologických a klimatických podmienok, hydrofyzikálnych vlastností pôdy a tiež aj od transformačného vplyvu lesného porastu. K najväčším zmenám zásob vody dochádzalo vplyvom vyšších teplôt vzduchu a dlhšie trvajúcich suchých období, v druhej polovici vegetačného obdobia a v povrchových vrstvách pôdy.

**Tab. 1.**

Klimatická charakteristika (PETROVIČ 1972)  
Climatic characteristics (PETROVIČ 1972)

Stanica Station	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Year	VO GS
Teplota vzduchu/Air temperature [°C]														
Oravská Polhora, Rabča 1951–1980	1,4	-2,8	-5,1	-4,1	-0,9	4,5	9,5	13,1	14,6	14,1	10,3	5,8	5,0	11,0
Zrážky/Precipitation [mm]														
	66	69	68	63	61	66	92	130	143	109	78	68	1013	618

**Tab. 2.**

Hydrolimity a intervaly vlhkosti pôdy [mm]  
Hydrolimits and soil moisture interval [mm]

0–20 cm	0–100 cm
uvidický interval (> MKK) >73.1	uvidic interval (> MCC) >276.7
semiuvidický interval (MKK-BZD) 73.1–51.4	semiuvidic interval (MCC-PDA) 276.7–164.8
semiaridný interval (BZD–BV) 51.4–30.0	semiarid interval (PDA–WP) 164.8–134.9

**Tab. 3.**

Zásoba využiteľnej vody [mm] podľa KUTÍLKA (1966)  
Available water supply (KUTÍLEK 1966)

vo vrstve pôdy 0–20 cm <sup>1</sup>		vo vrstve pôdy 0–100 cm <sup>2</sup>	
dobrá <sup>3</sup>	> 40 mm	veľmi dobrá <sup>6</sup>	> 160 mm
dostatočná <sup>4</sup>	20–40	dobrá <sup>3</sup>	130–160
nedostatočná <sup>5</sup>	< 20	dostatočná <sup>4</sup>	90–130
		nízka <sup>7</sup>	60–90
		veľmi nízka <sup>8</sup>	< 60

<sup>1</sup>soil layer 0–20 cm; <sup>2</sup>soil layer 0–100 cm; <sup>3</sup>good water supply; <sup>4</sup>sufficient water supply; <sup>5</sup>insufficient water supply; <sup>6</sup>very good water supply; <sup>7</sup>low water supply; <sup>8</sup>very low water supply

**Tab. 4.**

Odchýlky teplôt [°C] a zrážok [mm] od dlhodobého priemeru (Rabča 1951–1980)  
Aberrances of temperature [°C] and precipitation [mm] from long-term average (Rabča 1951–1980)

	[°C]						
	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	V. - X.
1991–2014	11,3	14,2	16,6	15,9	10,5	6,6	12,5
Odchýlka <sup>1</sup>	+1,8	+1,1	+2,0	+1,8	+0,2	+0,6	+1,3
	[mm]						
	Sa	1951	2519	2538	1943	1665	1395
Odchýlka	-165	-471	-751	-564	-129	-169	-2249

<sup>1</sup>deviation

Pri ich vyššom vysušení sa vytvárala málo vodivá vrstva pôdy, cez ktorú aj väčšie zrážky len pomaly prenikali do hlbších horizontov.

Priemerné hodnoty vlhkosti v povrchovej vrstve pôdy (obr. 1) sa pohybovali prevažne medzi hydrolimitmi MKK a BZD, s trendom mierneho poklesu k hranici spodnej tretiny variačného rozpätia. V celom fyziologickom profile pôdy sme zaznamenali mierne stúpajúci trend (obr. 2), preukazne ovplyvnený zvýšenými zásobami vody zo zimných a jarných mesiacov.

Za dôležité vzhľadom na trend vývoja vodného režimu a hydrologické pomery treba uviesť zvyšovanie počtu a dĺžky zrážkovo nezabezpečených a teplých období, v ktorých dochádzalo k najvýraznejším zmenám zásob vody v celom fyziologickom profile pôdy. Z oblasti dobrej zásoby (0–20 cm), resp. veľmi dobrej zásoby využiteľnej vody pre rastliny (0–100 cm) na začiatku obdobia sa zásoby vody znižovali v povrchovej 20cm vrstve pôdy až do kategórie nedostatočnej, v celom fyziologickom profile pôdy do kategórie nízkej zásoby využiteľnej vody.

Fyziologické oslabenie smreka hrozilo najmä v prípadoch, keď nízke zásoby využiteľnej vody trvali dlhšie obdobie. Napr. v roku 2006, v priebehu celého júla spadlo 8,2 mm zrážok, z toho na pôdu pod porastom 3,1 mm, priemerná teplota vzduchu predstavovala 18,7 °C. Zásoba vody sa v povrchovej vrstve pôdy znížila o 21 mm, vo fyziologickom profile o 76 mm. Množstvo využiteľnej vody v povrchovej vrstve pôdy kleslo z dobrej do nedostatočnej zásoby, v celom profile z veľmi dobrej do dostatočnej zásoby využiteľnej vody (tab. 4).

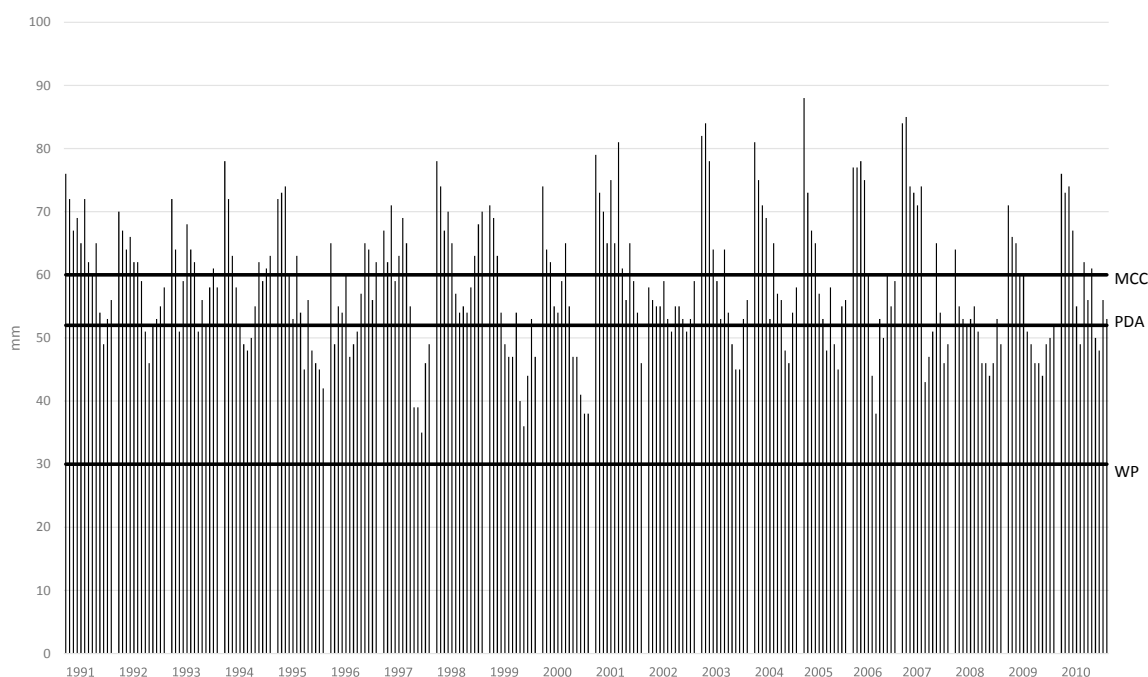
Dĺžka periód sucha (obdobie bez zrážok, resp. s množstvom zrážok pod hranicou skropnej kapacity < 2 mm) sa v priemere pohybovala od 6 do 15 dní. Vo vegetačnom období roka 1999, v dňoch od 19. 8. do 25. 9. bolo celkom 5 zrážkových dní, z toho len 1 deň so zrážkou vyššou ako 2 mm (8,8 mm). V povrchovej 20cm vrstve pôdy mala vegetácia v poslednej tretine tohto obdobia k dispozícii menej ako 39 mm, z toho využiteľnej vody necelých 17 mm, čo predstavovalo nedostatoč-

nú zásobu. Podobne prebiehajúce zmeny vodného režimu boli aj vo vegetačných obdobiach rokov 2000, 2003, 2006, v rokoch 2000 (4. 8. – 24. 8.) a 2012 (20. 7. – 10. 8.) na ich začiatku aj s najvyššou dennou hodnotou transpirácie (> 4 mm), v druhej polovici periód sucha s nulovou hodnotou odtokového koeficienta.

Maximálne hodnoty s deficitom zásob využiteľnej vody sa pohybovali v rozpätí od -20 do -45 mm. Významnou mierou k tomu prispeli vyššia skeletnosť pôdy (> 30 %), prítomnosť väčšieho počtu makropórov, rýchlejšia infiltrácia a zvýšený priesak vody do hlbších horizontov pôdy. V takýchto prípadoch hrozilo smreku nebezpečenstvo zo sucha, limitované dlhšie trvajúcim obdobím s veľmi nízkymi zásobami využiteľnej vody. Sprievodnými znakmi pri existencii takéhoto vlhkostného režimu možno označiť zníženú evapotranspiráciu, zmeny jeho fyziologických a biochemických daností, prejavujúcich sa v raste a jeho zdravotnom stave (IŠTOŇA, PAJTÍK 2005; KOPROWSKI, ZIELSKI 2006). Na nebezpečenstvo vzťahu medzi suchom, teplotou a hrúbkovým prírastkom, najčastejšie prítomnom v hlavnom rastovom období upozorňujú PICHLER, OBERHUBER (2007), a SPIECKER (1990), na interakciu vzťahov sucha a transpiračného deficitu BALÁŽ et al. (2011) a STŘELCOVÁ et al. 2009.

Podľa údajov analýzy prevlhčenia, dĺžky prevlhčenia a stratifikácie vlhkosti prostredníctvom hydrolimitov (KUTÍLEK 1971) sa v priebehu výskumu vyskytovali vo vegetačnom období pod smrekovým porastom 3 klasifikačné triedy vlhkosti, v tab. 2 uvedené aj s priemernými hodnotami hydrolimitov. Najmenej zastúpený bol uvidický interval (>MCK) a najdlhšie trvajúci semiuvidický interval (MCK – BZD). Semiaridný interval (BZD – BV) bol prítomný vo vegetačných obdobiach s veľmi nízkym zrážkovým úhrnom, v povrchovej a ojedinele aj v stredných vrstvách pôdy, maximálne do 40cm hĺbky.

V zrážkovo nadnormálnych vegetačných obdobiach bol v povrchovej vrstve pôdy (obr. 3) dominantný semiuvidický interval. Uvidický in-

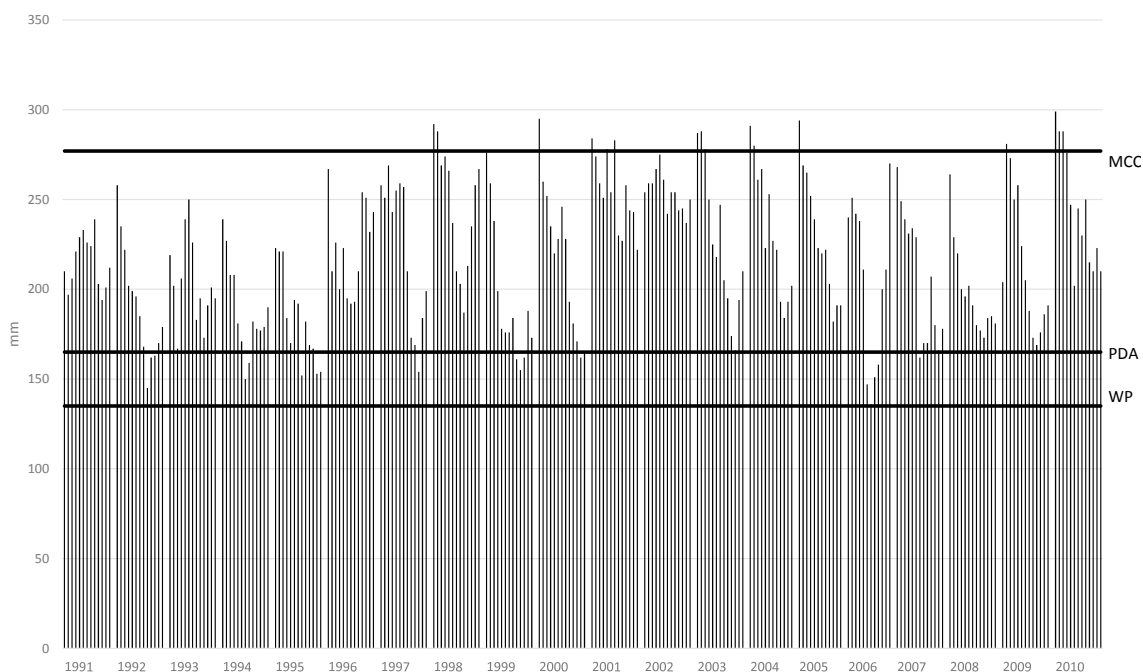


**Obr. 1.**

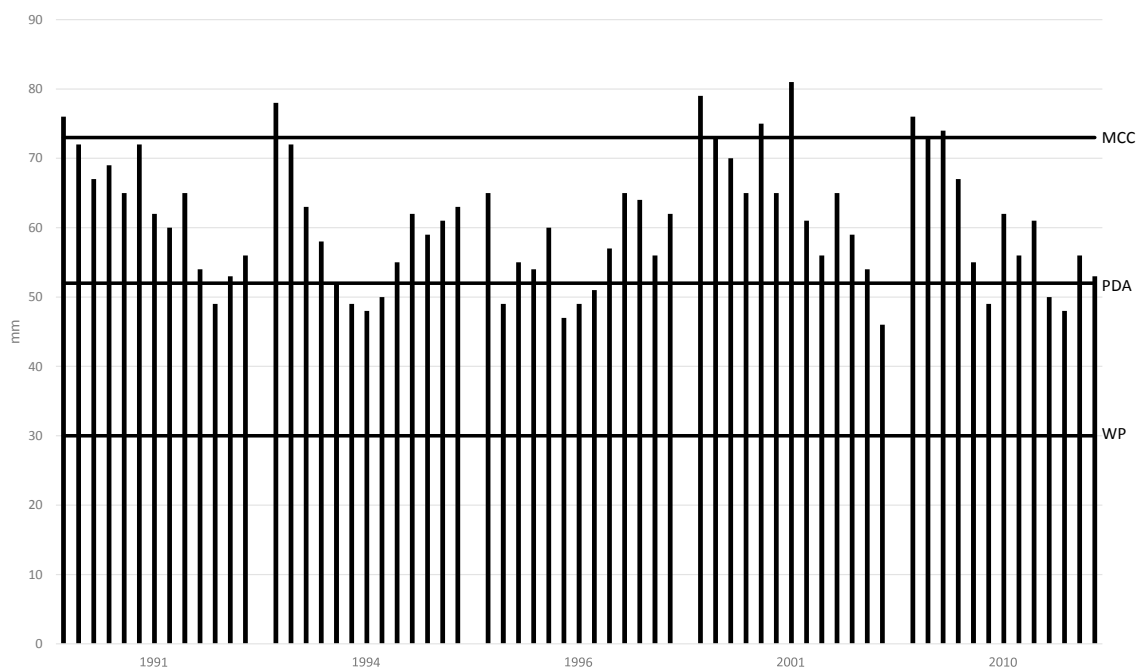
Zásoba vody [mm] v povrchovej 20cm vrstve pôdy vo vegetačných obdobiach rokov 1991–2010

Fig. 1.

Water supply [mm] in the soil layer of 0–20 cm during the growing seasons 1991–2010



**Obr. 2.**  
Zásoba vody [mm] vo fyziologickom profile pôdy vo vegetačných obdobiach 1991–2010  
**Fig. 2.**  
Water supply [mm] in the soil physiological profile during the growing seasons 1991–2010



**Obr. 3.**  
Zásoba vody [mm] v povrchovej 0–20 cm vrstve pôdy v zrážkovo nadnormálnych vegetačných obdobiach  
**Fig. 3.**  
Water supply [mm] in the soil layer of 0–20 cm during the precipitation above normal growing seasons

terval, ktorý vznikol na krátky čas v 2. a 3. dekáde júla 2001 spôsobili veľmi výdatné zrážky (258 mm). Priebeh vlhkosti v tejto vrstve pôdy poukazuje na už spomínané nebezpečenstvo znižovania zásob vody do spodnej tretiny variačného rozpätia hydrolimitov MKK – BZD. Znamená to, že aj v relatívne krátkom bezzrážkovom období s vyššími teplotami vzduchu ( $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sa zásoby vody môžu znížiť do kategórie nízkej zásoby využiteľnej vody (obr. 4).

V zrážkovo normálnych vegetačných obdobiach sa v povrchovej vrstve pôdy (obr. 5) udržiavala zásoba vody na ich začiatku v hornej tretine variačného rozpätia hydrolimitov MKK – BZD. Maximálny vzostup zásoby vody o viac ako 30 mm v prvej dekáde vegetačného roka 2007 a jej udržanie na úrovni hranice hydrolimitu MKK do druhej dekády júla spôsobili dlhšie trvajúce zrážky s celkovým úhrnom 196 mm. K najväčšiemu poklesu došlo vo vegetačnom období roka 2000, v ktorom sa od augusta do októbra znížila zásoba vody pod hranicu hydrolimitu BZD, s najnižšou hodnotou (36 mm) v spodnej tretine rozpätia BZD – BV.

Vo fyziologickom profile pôdy (obr. 6) sa zásoba vody udržiavala väčšinou v semiuvidickom intervale (MKK – BZD). Výraznejšie kolísanie zásob vo vegetačných obdobiach 1997 a 2000 korešpondovalo s časovým rozdelením zrážok. Najväčšie rozdiely boli prevažne v druhej polovici vegetačného obdobia v čase veľmi nízkeho zrážkového úhrnu. Prudko klesajúcu zásobu vody s maximálnymi hodnotami od 64 do 98 mm možno označiť ako reakciu na kombinácie pôsobiacich faktorov, nedostatočné zásobovania pôdnej vody zo zrážok, teplotu a desukciu.

Z údajov využiteľnej vody vyplýva, že v prvej polovici vegetačných období mala vegetácia k dispozícii dobrú zásobu využiteľnej vody ( $> 130\text{ mm}$ ), v druhej polovici prevažne dostatočnú zásobu (90–130 mm). V období s najväčším poklesom zásob pôdnej vody v septembri a októbri roka 1997 a 2000 sa využiteľná voda pohybovala v rozpätí medzi dostatočnou a nízkou zásobou.

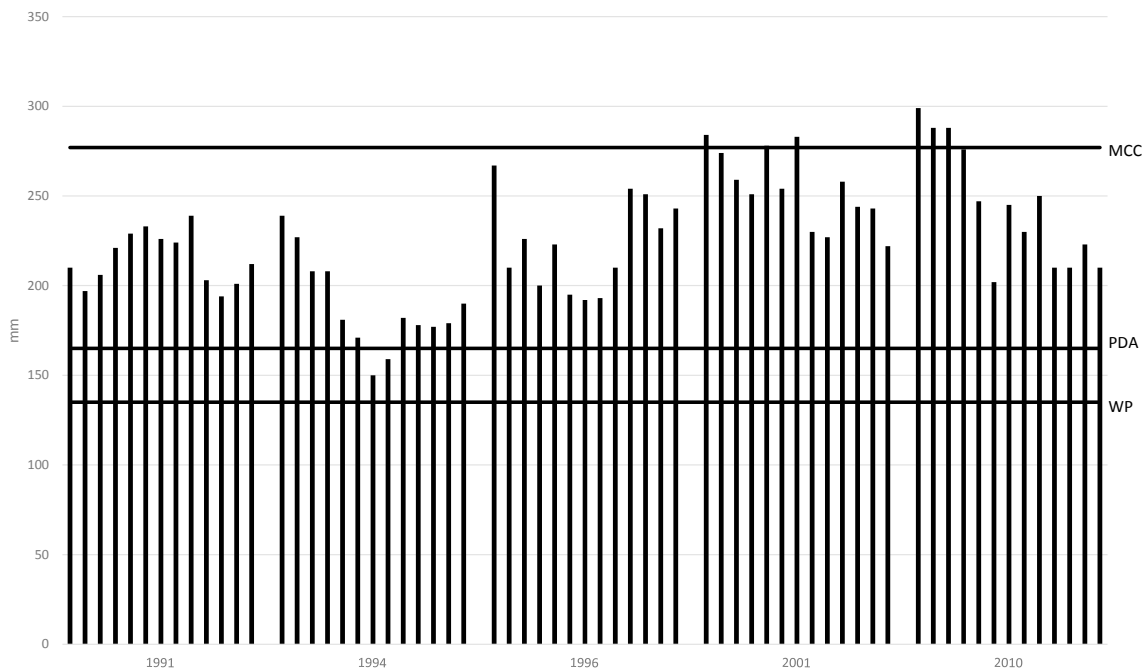
V najmenej zrážkovo zabezpečených vegetačných obdobiach rokov 1992, 1995, 1999, 2006 a 2009 spadlo v priemere 77 % zrážok z dlhodobého úhrnu, najmenej v roku 1999 (460 mm = 74 %), najviac v roku 1995 (529 mm = 85 %).

Predpokladaný priaznivý vlhkosťný režim v povrchových vrstvách pôdy (obr. 7) v jarných mesiacoch vyplýva už zo spomínanej akumulácie vody zo zásob vody zo zimného obdobia, aktuálnych zrážok a ešte redukovanej spotreby vody na evapotranspiráciu. Priebeh vlhkosti pôdy sa začínal výraznejšie meniť v letných mesiacoch. S výnimkou vegetačného obdobia roka 2006 v júli a auguste klesla zásoba pôdnej vody na, resp. pod hranicu hydrolimitu BZD. K najväčšiemu poklesu o 39 mm došlo od začiatku vegetácie do augusta v roku 1999, o 32 mm v roku 1995. Dobrá zásoba využiteľnej vody klesla v týchto dňoch do stavu blízkej sa kategórie nedostatočnej zásoby.

Z údajov zásob vody vo fyziologickom profile pôdy (obr. 8) je zrejme, že aj v horských podmienkach smrekových porastov môže dôjsť v období s dlhšie trvajúcim deficitom zrážok k výraznejšiemu zníženiu zásob vody v celom profile pôdy. Z údajov zásob vody vo vegetačnom období rokov 1992 (245–150 mm) a 1995 (235–142 mm) to napr. predstavovalo pokles z kategórie dobrej do nízkej zásoby využiteľnej vody.

Charakteristický priebeh vlhkosti v smrekovom poraste vyplýva z chronoizopliet vlhkosti pôdy vo vegetačnom období roka 2015 (obr. 9). Išlo o normálnu stratifikáciu vlhkosti pôdy so zvyšujúcou sa vlhkosťou s hĺbkou pôdy. Najväčšie zásoby vody, nad hornou hranicou hydrolimitu MKK, boli v celom fyziologickom profile na začiatku vegetačného obdobia, v najhlbších vrstvách pôdy počas celého vegetačného obdobia.

Dominantný semiuvidický interval vlhkosti pôdy (MKK – BZD) s kapilárne dobre pohyblivou vodou sa nachádzal v dolnej tretine fyziologického profilu. Z porovnaní s vlhkosťou v povrchových vrstvách

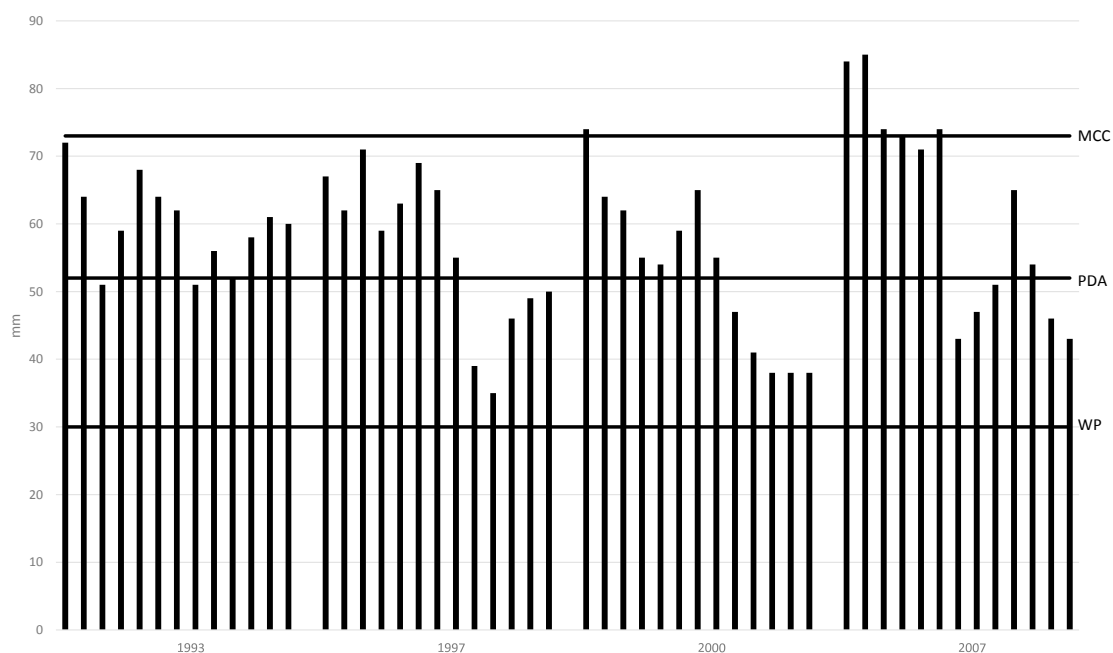


**Obr. 4.**

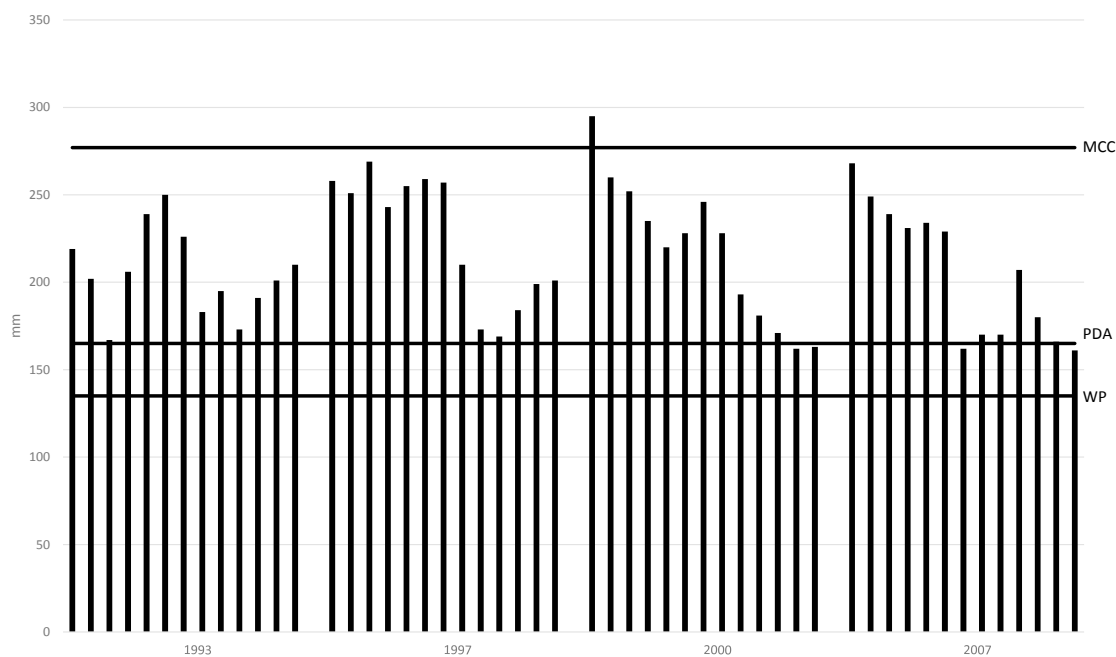
Zásoba vody [mm] vo fyziologickom profile pôdy

**Fig. 4.**

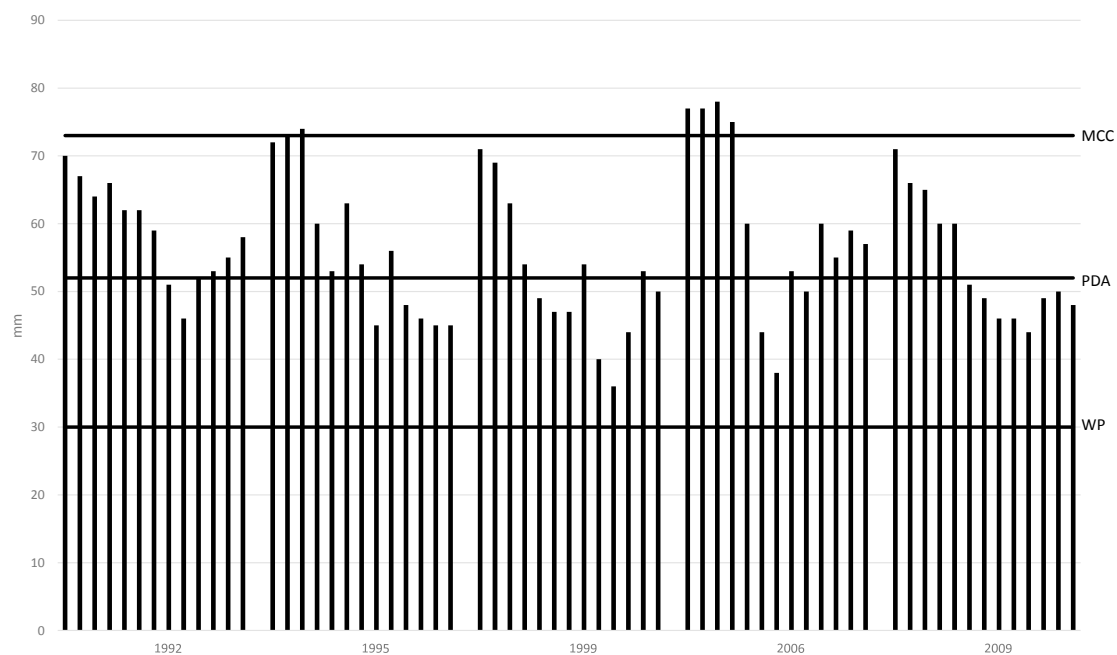
Water supply [mm] in the soil physiological profile



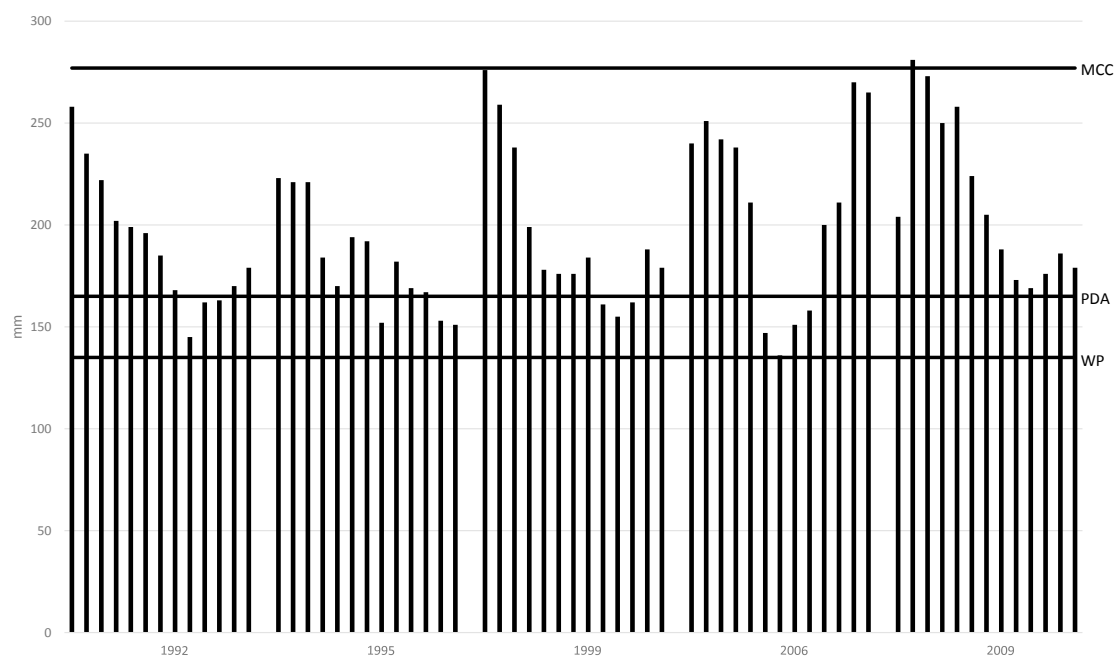
**Obr. 5.**  
 Zásoba vody [mm] v povrchovej 0–20 cm vrstve pôdy v zrážkovo normálnych vegetačných obdobiach  
**Fig. 5.**  
 Water supply [mm] in the soil layer of 0–20 cm during the precipitation normal growing seasons



**Obr. 6.**  
 Zásoba vody [mm] vo fyziologickom profile pôdy  
**Fig. 6.**  
 Water supply [mm] in the soil physiological profile



**Obr. 7.**  
 Zásoba vody [mm] v povrchovej vrstve pôdy v zrážkovo podnormálnych vegetačných obdobiach  
**Fig. 7.**  
 Water supply [mm] in the soil layer of 0–20 cm during the precipitation subnormal growing seasons



**Obr. 8.**  
 Zásoba vody [mm] vo fyziologickom profile pôdy  
**Fig. 8.**  
 Water supply [mm] in the soil physiological profile



pôdy boli diferencie zásoby vody podmienené v prvej polovici vegetačného obdobia prevažne pôdnohydrologickými procesmi (účinkom pokrývkového humusu, kapilárny výstup), v druhej polovici obdobia vegetácie ovplyvňované vyššou potenciálnou transpiráciou.

Za pozitívny vplyv v období znižovania deficitu využiteľnej vody v povrchových vrstvách pôdy v pokročilých fázach vysušovacích periód možno v takomto prípade považovať čiastočne regulovaný vodný režim redistribúciou vody prostredníctvom aktívnych koreňov a jej kapilárnym vztlánaním z hlbších horizontov (PERSSON et al. 1995; ŠACH et al. 2017).

Z priebehu dlhodobého experimentálneho pedohydrologického výskumu vyplýva, že obsah vody vo fyziologickom profile pôdy sa udržiaval prevažne v rozmedzí existenčného intervalu vody pre rastliny, medzi hydrolimitmi MKK a BV (ŠÚTOR et al. 2005, 2006). V priebehu dlhších suchých období, charakterizovaných denným zrážkovým úhrnom menším ako 2 mm a dĺžkou trvania viac ako 10 dní dochádzalo v letných mesiacoch k zníženiu využiteľnej vody do kategórie veľmi nízkej zásoby. Išlo väčšinou o povrchové vrstvy, pri dlhšie trvajúcim poklese vlhkosti pôdy zasahovalo aj do stredných vrstiev pôdy (30–50 cm), čím sa stresový faktor sucha ovplyvňujúci fyziologické procesy smreka zvyšoval (SPIECKER 1990; PAJTRÍK, IŠTOŇA 2004; ČEJKOVÁ, KOLÁŘ 2005). V extrémne suchých obdobiach, napr. v auguste roka 2000 bola na jeho konci v povrchovej vrstve pôdy veľmi nízka zásoba vody (16,7 mm), zmierneniu deficitu využiteľnej vody bránili aj nízke zásoby vody z nižších horizontov (tab. 5). Stres vyvolaný suchom možno predpokladať aj zo zásob vody v extrémne suchých a teplých obdobiach júla roka 2006, tretej dekády júla a prvej dekády augusta roka 2012. V prvom prípade v povrchovej vrstve prevládala nedostatočná zásoba využiteľnej vody (< 20 mm), v celom profile pôdy sa znížila využiteľná voda z veľmi dobrej zásoby k hranici nízkej zásoby (175–99 mm). V uvedenom období roka 2012 sa blížila vlhkosť k hodnote hydrolimitu BV, zásoba využiteľnej vody klesla z 27,3 mm na 8,6 mm, v celom profile pôdy z 95 mm na 68 mm. V priebehu celého obdobia mala vegetácia k dispozícii nedostatočnú zásobu využiteľnej vody vzhľadom na výskyt aktívnych koreňov v najviac vysušenej povrchovej vrstve pôdy a zníženú dostupnosť vody v celom profile.

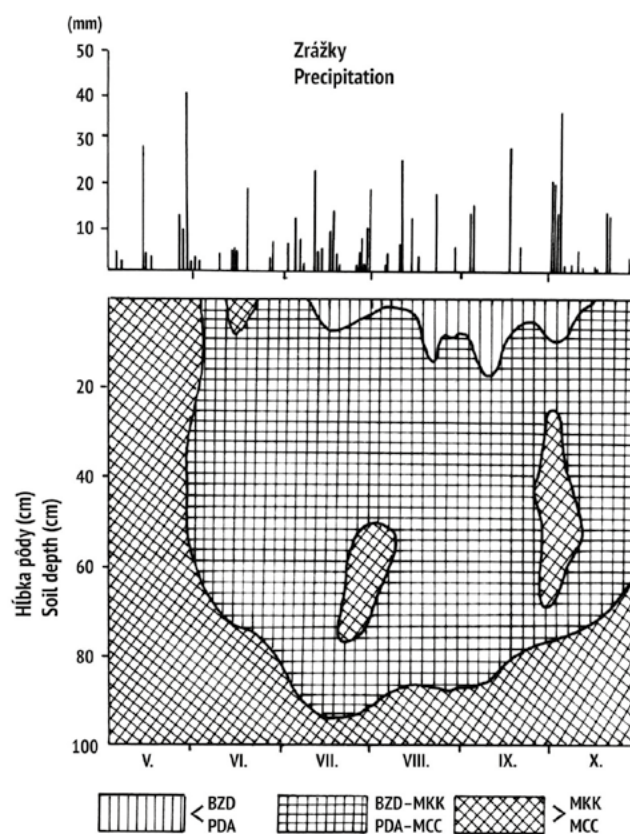
Z obr. 1 a 2, ktoré demonštrujú zásoby vody v povrchovej vrstve pôdy a celom fyziologickom profile za obdobie rokov 1991–2010 vyplýva, že sa priemerné hodnoty vlhkosti pohybovali medzi hydrolimitmi MKK a BZD, s prítomnosťou dobrej, resp. dostatočnej využiteľnej vody, ale trendom postupného znižovania vo fyziologickom profile s miernym zvyšovaním zásob vody.

V rastovom období vegetačného obdobia (máj – september) bola situácia výrazne odlišná. V obidvoch vrstvách fyziologického profilu sa priemerné hodnoty vlhkosti postupne znižovali. V celom fyziologickom profile prebiehal postupný pokles prevažne medzi hydrolimitmi MKK a BZD. V povrchovej vrstve s výraznejším poklesom varíovala vlhkosť v spodnej tretine rozpätia hydrolimitov BZD a BV, s kategóriami nízkej a nedostatočnej zásoby využiteľnej vody.

Podobný charakter vodného režimu pod smrekovými ekosystémami sme pozorovali aj v ďalších oblastiach Slovenska, v biosférickej rezervácii Poľana, v Nízkych a Vysokých Tatrách. Z priebežných výsledkov výskumu, napriek menšej výpovednej hodnote vzhľadom na krátku dobu výskumu (3–5 rokov) sa zistil priaznivý vstup do vegetačného obdobia, charakterizovaný množstvom vody medzi plnou vodnou kapacitou a MKK, v zrážkami zabezpečenom období prítomnosťou gravitačne presakujúcej vody. Deficit zrážok oproti normálu sa sporadicky vyskytol aj v zimných a jarných mesiacoch. Extrémne nízke úhrny boli zaznamenané napr. v apríli, čo možno označiť ako jednu z príčin oslabenia rezistencie smrekových porastov a ich následného masívneho napadnutia práve sa rojajúcim podkôrnym hmyzom. V letných mesiacoch vegetačného obdobia, zmenou klimatických podmienok (zvyšovanie teploty, absencia zrážok, výskyt suchých periód)

v pôdach, ktoré sú prevažne plytké, skeletnaté, s vyvinutým kyslým humusovým horizontom dochádzalo v priebehu vysušovacích periód k najväčšiemu poklesu zásob vody v povrchových vrstvách, v rizo-sfernej vrstve, s najväčším výskytom aktívnych koreňov. Dlhodobejší pokles vlhkosti pôdy s prítomnosťou nízkej, resp. nedostatočnej zásoby využiteľnej vody, podporovali okrem zvýšenej evapotranspirácie a absencie zrážok s nižším úhrnom ako 2 mm aj vysoká skeletnatosť (> 40 %) blokujúca dodávku vody z hlbších, zvodnených vrstiev pôdy prostredníctvom kapilárneho vztlánania.

Zo spôsobov zmiernenia zvýšeného nebezpečenstva stresu zo sucha pre smrek, vzhľadom na stále častejší výskyt pedohydrologických cyklov s deficitom využiteľnej vody pre rastliny, možno uviesť ekosystémový proces – redistribúciu vody v pôdnom profile prostredníctvom tzv. hydraulického liftu. Spočíva v nasávaní vody koreňmi niektorých drevín, napr. buka, z hlbších zvodnených vrstiev pôdy do povrchových suchších vrstiev s dominanciou aktívnych koreňov smreka. Z výsledkov výskumu vlhkosti pôdy metódou odhadu potenciálu hydraulického liftu, v suchých periódach vegetačného obdobia v Orlických horách, pri 30% zastúpení buka, by sa zvýšila objemová vlhkosť povrchovej 10cm vrstvy pôdy na konci suchých periód nad hornú hranicu zníženej dostupnosti využiteľnej vody pre rastliny (ŠACH, ČERNOHOUS 2015; ŠACH et al. 2017).



**Obr. 9.** Chronoizoplety pedohydrologických cyklov vo vegetačnom období 2015

**Fig. 9.** Soil moisture chronoizoplethes pedohydrological cycles in the growing season 2015

## ZÁVER

V komplexe diverzifikovaných zmien stanovištných a pôdnych pomerov a charakteristík, fyziologických parametrov, látkovo-energetického metabolizmu, štruktúry, vývoja a rastových vlastností lesných porastov, efektívnosti aplikovaných účinných látok, napr. prihnojovania, ale aj ďalších parametrov predstavuje sucho jedno z najvýznamnejších nebezpečenstiev pre lesné ekosystémy (TUŽINSKÝ 2004; STŘELCOVÁ et al. 2009).

Štúdium a výskum rizikového sucha, faktora vodnej bilancie, sa v súčasnom období uskutočňuje v rámci hydrologického a ekofyziologického výskumu s použitím nových metód riešenia a technického vybavenia, čo umožňuje rozšíriť doterajšie poznatky v podstatne širšom kontexte.

Z výsledkov doterajšieho výskumu je zrejmé, že pri posudzovaní vodohospodárskej funkcie lesov patrí vodný režim pôdy medzi veľmi významné parametre. Zvyšovanie teploty a ďalšie sprievodné zmeny (zvýšenie potenciálnej evapotranspirácie, zmena štruktúry, úhrnov a rozdelenia zrážok) sú zároveň predpokladom pokračujúcich zmien vodného režimu, okrem iného aj postupného znižovania schopnosti lesných drevín adaptovať sa na takto prebiehajúce zmenené ekologické podmienky prostredia.

Z aspektu vodného režimu na meniace sa klimatické a s tým súvisiace ekologické podmienky prírodného prostredia treba upozorniť najmä na zmeny, osobitne zvyšovanie počtu a dĺžky dní so zvýšenou teplotou vzduchu a deficitom zrážok a výskytom pedohydrologických cyklov s nízkou, resp. nedostatočnou zásobou využiteľnej vody pre rastliny. Riziko ohrozenia smrekových porastov s ešte relatívne priaznivým vlhkostným režimom v horských podmienkach Slovenska hrozí z postupného znižovania fyziologicky prístupnej vody v pôdnych horizontoch s najväčším výskytom aktívnych koreňov.

Existujúci zdravotný stav smrekových ekosystémov a prognózy jeho ďalšieho vývoja nie sú uspokojivé. Fyziologickým oslabovaním smrekových porastov hrozí postupné znižovanie ich obranyschopnosti voči abiotickým a biotickým škodlivým činiteľom, ohrozenie ich ďalšieho vývoja, v konečnom prípade aj ich odumieranie.

Horské lesy, zložené prevažne zo smrekových porastov, patria medzi hlavné zásobárne vody na Slovensku. V prebiehajúcich podmienkach globálnych klimatických zmien a existujúceho zdravotného stavu nemožno od smrekových ekosystémov očakávať požadované plnenie ich vodohospodárskej funkcie. Dlhšie trvajúce obdobie hydrologického výskumu preukázalo, že vodohospodárska funkcia lesa spočíva okrem priaznivých vplyvov na kvantitu, kvalitu a hygienu vody, zabezpečovanie dostatočnej vodnosti vodných tokov a maximálneho množstva disponibilnej vody aj od trendu vývoja vodného režimu. Vztahuje sa

Tab. 5.

Zásoby a kategórie pôdnej vody v zrážkovo deficitných vegetačných obdobiach  
Supplies and soil water categories in the precipitation deficit growing seasons

GS		T <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	W <sup>3</sup>	[mm]	ZV <sup>4</sup>	[mm]	AW <sup>5</sup>	
		[°C]	[mm]	0-20 cm	0-100	0-20	0-100	0-20	0-100 cm
1992	1.8.	15,6	3,9	65,7	271,1	43,2	154,5	D/G	D/G
	21.8.			46,8	208,3	24,3	91,7	DS/S	DS/S
1993	1.8.	14,4	6,6	75,4	371,5	52,9	254,9	D/G	VD/VG
	22.8.			63,2	232,5	27,6	115,9	DS/S	DS/S
1994	19.7.	17,1	4,1	73,6	349,9	51,1	233,3	D/G	VD/VG
	5.8.			51,8	226,5	29,3	110,9	DS/S	D/G
1995	4.8.	15,0	1,8	67,5	252,7	45,0	136,1	D/G	D/G
	23.8.			45,7	214,5	23,2	97,9	DS/S	DS/S
1998	1.8.	14,7	15,6	70,9	417,6	48,4	301,0	D/G	VD/VG
	20.8.			43,4	298,5	20,9	181,9	DS/S	VD/VG
1999	19.8.	14,2	6,5	50,3	217,3	27,8	100,7	DS/S	DS/S
	25.9.			39,1	182,9	16,6	66,3	ND/US	N/L
2000	4.8.	16,8	2,8	60,2	334,7	37,7	218,1	DS	VD
	24.8.			39,5	253,2	16,7	136,6	ND/US	D/G
2003	30.7.	15,1	1,2	69,8	342,5	47,3	225,9	D(G)	VD/VG
	13.8.			41,5	273,4	19,0	156,8	ND/US	D/G
2006	1.7.	18,7	8,2	57,9	291,4	35,4	174,8	D/G	VD/VG
	29.7.			36,7	215,3	14,2	98,7	ND/US	DS/S
2007	11.7.	19,3	0,0	75,8	331,9	53,3	215,3	D/G	VD/VG
	26.7.			52,6	249,4	30,1	132,8	DS/S	D/G
2012	20.7.	17,9	7,2	59,3	225,3	27,3	95,3	DS/S	DS/S
	10.8.			40,6	198,5	8,6	68,5	ND/US	N/L
2013	11.7.	17,1	16,7	56,3	260,7	24,3	130,7	DS/S	D/G
	30.8.			51,2	195,8	19,2	65,8	ND/US	N/L

<sup>1</sup>Teplota/Temperature; <sup>2</sup>Zrážky/Precipitation; <sup>3</sup>Zásoba vody v pôde/Quantity of soil water; <sup>4</sup>Zásoba vody ZV/Quantity of available water; <sup>5</sup>Kategórie ZV/Category of available water AW); VD/VG = veľmi dobrá; D/G = dobrá/good; DS/S = dostatočná/sufficient; ND/US = nedostatočná/insufficient; N/L = nízka/low

najmä na zásoby využiteľnej vody rozhodujúcej pre prebiehajúce mikrobiologické a fyziologické procesy v pedosfére, v ovzdušnom prostredí a priamo aj vo vegetácii.

V súvislosti s prebiehajúcimi klimatickými zmenami je z hľadiska hydrolickej funkcie lesa pre zmiernenie nepriaznivého vývoja vodného režimu potrebné vychádzať z princípov trvalo udržateľného vývoja lesného hospodárstva zachovaním biodiverzity, komplexom ochranných opatrení zabezpečujúcich zodpovedajúcu kvalitu pôd maximálnym možným zadržiavaním zrážok a ich optimálnym využitím v rizosférenej vrstve pôdy, rovnomerným rozdelením zásob vody vo fyziologickom profile pôdy pestovaním nerovnovekých, zmiešaných porastov so zvýšeným zastúpením listnatých drevín.

## LITERATÚRA

- BALÁŽ P., STŘELCOVÁ K., BLAŽENEC M., SITKOVÁ Z. 2011. Kvantifikácia sucha v modelových porastoch indexu sucha a kumulatívneho transpiračného deficitu. In: Střelcová, K. et al. (eds.): Stres suchom a lesné porasty. Aktuálny stav a výsledky výskumu. Zvolen, TU vo Zvolene: 213–221.
- BUBLINEC E. 1995. Koncentrácia, akumulácia a kolobeh prvkov v bukovom a smrekovom ekosystéme [Concentration, accumulation and cycling of elements in beech and spruce ecosystem]. Acta Dendrologica. Bratislava, Veda: 85 s.
- ČEJKOVÁ A., KOLÁŘ T. 2005. Dendrochronological investigations of the Šumava Mountains at the Šumava foothills, Czech Republic. In: Sarlatko, M. et al. (eds.): Abstract book of Eurodendro 2005. International Conference of Dendrochronology. September 28th–October 2nd 2005. Viterbo, Sette Città: 31–32.
- DRBAL J. 1965. Praktikum melioračního půdoznalství [Practicals of amelioration soil science]. Praha, SPN: 95 s.
- GRÉK J. et al. 1991. Výskum hospodárenia v lesoch v podmienkach imisného zafaženia. Výskumná správa. Zvolen, LVÚ: 104 s.
- HRAŠKO J., ČERVENKA L., FACEK Z., KOMÁR J., NĚMEČEK J., POSPÍŠIL F., SIROVÝ V. 1962. Rozbory pôd. Bratislava, Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry: 335 s. Rastlinná výroba, zv. 105.
- IŠTOŇA J., PAJTÍK J. 2005. Odras nedostatku pôdnej vlhkosti na hrúbkový prírastok duba. In: Sobocká, J. (ed): Štvrté pôdoznalecké dni v SR. Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR. Čingov, 14. – 16. 6. 2005. Bratislava, VÚPOP: 171–177. Societas Pedologica Slovaca.
- KANTOR P., KARL Z., ŠACH F. 2008. Analýza vodní bilance mladého smrkového a bukového porostu na stacionáru Deštné v hydrologickem roce 2006/2007. In Kantor, P. et al.: Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací – povodní a sucha. Projekt NAZV 1G57016. Brno, MZLU v Brně; Jíloviště, VÚLHM – VS Opočno: 20–34.
- KLIKA J., NOVÁK V., GREGOR J. (red.) 1954. Praktikum fytoecologie, ekologie, klimatologie a půdoznalství. Praha, Nakladatelství Československé akademie věd: 773 s.
- KONTRIŠOVÁ O., KONTRIŠ J., KOVÁČOVÁ M. 1995. Obsah prvkov v ihličí smreka v oblasti Beskyd (časť Kysuce). 7–92.
- KOPROWSKI M., ZIELSKI A. 2006. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) from two range centres in lowland Poland. Trees, 20: 383–390. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0051-9>
- KREČMER V., FOJT V. 1974. Intercepční proces v horské smrčíně. (Význam horizontálních kapalných srážek z mlhy). Vedecké práce VÚLH vo Zvolene, XIX: 19–43.
- KRONTORÁD K. 1958. Některé změny v půdách pod mlazinami s různými pěstebními zásahy. Sborník Vysoké školy zemědělské a lesnické v Brně, řada C.: 153–165.
- KUKLA J., TUŽINSKÝ L. 1996. Stav horských lesov v oblastiach LHC Javorinka. Lesnícky časopis – Forestry Journal, 42 (3): 167–181.
- KUTÍLEK M. 1966. Vodohospodárska pedologie. Praha, SNTL: 275 s.
- KUTÍLEK M. 1971. Ekologická klasifikace půdní vlhkosti. Vodní hospodářství, 9: 250–256.
- LARCHER W. 2003. Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Berlin, Springer: 513 s.
- MRÁZ K. 1980. Závislost mezi některými hydropedologickými veličinami v chlumních smrkových porostech na pseudogleji. Lesnictví, 26 (LIII): 699–711.
- PAJTÍK J., IŠTOŇA J. 2004. Odras extrémity zrážok na dynamiku hrúbkového rastu drevín na TMP Čifáre a Lomnístá dolina. In: Bioklimatologické pracovné dni 2004. Viničky, 23. – 26. 8. 2004. [7 s.] Dostupné na/Available on: [http://www.cbks.cz/SbornikVinicky04/bpd.2004/content/05Sekcia\\_lesnickej\\_bioklimatologie/Pajtik.pdf](http://www.cbks.cz/SbornikVinicky04/bpd.2004/content/05Sekcia_lesnickej_bioklimatologie/Pajtik.pdf)
- PERSOON H., FIRCKS Y. VON, MAJDI H., NILSSON L.O. 1995. Root distribution in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stand subjected to drought and ammonium-sulphate application. Plant and Soil, 168: 161–165. DOI: 10.1007/BF00029324
- PETROVIČ, Š. (ed). 1972. Klimatické a fenologické pomery stredoslovenského kraja. Bratislava, Hydrometeorologický ústav: 431 s.
- PICHLER P., OBERHUBER W. 2007. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. Forest Ecology and Management, 242: 688–699. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.02.007
- SPIECKER H. 1990. Growth variation and environmental stresses. Long-term observations on permanent research plots in southwestern Germany. In: Zöttl, H.W., Hüttl, R.F. (eds.): Management of nutrition in forests under stress. Proceedings of the international symposium, sponsored by the IUFRO. September 18–21, 1989, Freiburg, Germany. Dordrecht, Springer: 247–256.
- STŘELCOVÁ K., KUČERA J., FLEISCHER P., GIORGI S., GÖMÖRYOVÁ E., ŠKVARENINA J., DITMAROVÁ L. 2009. Canopy transpiration of mountain mixed forest as a function of environmental conditions in boundary layer. Biologia (Bratislava), 64 (3): 507–511.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V. 2015. Hydraulický lift buku pro smrk: potenciálně významný ekosystémový proces pro pěstování smrkových porostů v souvislosti s klimatickou změnou oteplování. Zprávy lesnického výzkumu, 60 (1): 53–63.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V., KANTOR P. 2017. Brzdil by hydraulický lift buku usychání smrkových porostů? Lesnická práce, 96: 741–743.
- ŠŤUTOR J., GOMBOŠ M., MATI R. 2005. Kvantifikácia pôdneho sucha a jej interpretácia. Acta Hydrologica Slovaca, 6 (2): 299–306.
- ŠŤUTOR J., GOMBOŠ M., MATI R. 2006. Vplyv pôdneho druhu na zdroj vody v zóne aerácie pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, 7 (1): 128–134.
- TUŽINSKÝ L. 1984. Hydrologické pomery lesných ekosystémov Malých Karpát. Vodohospodársky časopis 32, 5: 473–485.
- TUŽINSKÝ L. 2000. Spruce and beech forest stands water balance. Ekológia (Bratislava), 19 (2): 198–210.
- TUŽINSKÝ L. 2002. Soil moisture in mountain spruce stand. Journal of Forest Science, 48 (1): 27–37.
- TUŽINSKÝ L. 2004. Vodný režim lesných pôd. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 101 s.

## PEDOHYDROLOGICAL CYCLES DEVELOPMENT IN THE SPRUCE ECOSYSTEM UNDER THE CURRENT CLIMATIC CONDITIONS OF SLOVAKIA

### SUMMARY

Mountain forests, with predominantly spruce ecosystems, are the most endangered in terms of the risk of damage caused by biotic and abiotic pests. Soils are characterized by the alternation of horizons with different physical and chemical characteristics, the accumulation of pollutants, especially the high content of acidic deposits and photooxidants. Spruce ecosystems have been exposed to the risk of ongoing climate changes, decreases in aggregate, distribution and precipitation timing, increased evapotranspiration, and longer drought periods. Stress from drought poses a threat to spruce from the presence of pedohydrological cycles with low, an insufficient supply of available water for plants.

The paper analyzes the results of the 24-year water balance research in spruce ecosystems in the Upper Orava region, Slovakia. The Oravská Polhora Research Area was established in 1984 to investigate the input of pollutants from atmospheric precipitation. In 1989, the research was expanded to pursue individual water balance components such as interception, stem-flow, surface run-off, infiltration, water seepage and soil water balance.

During the observed vegetation periods, freefall precipitation ranged from 350 mm (57%) in 2003 to 775 mm (125%) in 1991. The biggest decrease occurred in the summer months. In July it showed 84.2%, in August 77% of long-term average rainfall. The largest percentages were precipitation with a daily subsistence of < 2 mm, which represents the water holding capacity of the crown layer of spruce. Average air temperature increased by 1.3 °C, mostly in July by 2 °C, in August by 1.8 °C. The largest expenditure component of the water balance was evapotranspiration, ranging between 39% and 50% on average of the total rainfall. Average values of seepage fluctuated between 33% and 41%.

After the under-average precipitation in 2003 vegetation period, the lowest draining coefficient was 0.44, in July 2007 and August 2012 it was 0.00. The highest drainage coefficient, mostly in the spring months, fluctuated between 0.61 and 0.67. The largest decrease in water supplies occurred in 2012. In the dry periods (Table 5) in July and August, the soil water supply dropped below the critical value (8,6 mm) of wilting point (WP), in the whole physiological profile to the lower third of the variation range between the point of diminished availability (PDA) and WP hydrolimits, the soil had insufficient available soil water supply (69 mm).

Dominant moisture interval was the semi-uvitic soil interval (maximal capillary capacity MCC – PDA) with good or sufficient supply of available water (Fig. 1 and 2). In the growing period (VI–VIII) there was a significant difference in the soil water supply in the whole physiological profile (0–100 cm). In the summer months (VII–VIII) the moisture varied between the MCC and WP hydrolimits. In the dry periods with higher temperatures and precipitation deficiencies, the supply of available water decreased in the surface and middle layers (0–40 cm) to inadequate supply. Ongoing climatic conditions during the research, gradual reduction of rainfall and increase in air temperature caused the danger associated with a significant reduction in water supplies and an increase in the number and duration of dry periods. The lack of water has affected predominantly surface and middle layers of soil, in extremely dry and longer drought periods, with a shortage of usable water even in deeper horizons. From the accompanying signs, spruce responded by physiological weakening, decreased evapotranspiration, increased fall of assimilation organs, decreased growth, in the soil environment by deterioration of physical and hydrological ratios and reduction of transport of mineral and organic substance.

*Zasláno/Received: 16. 04. 2018*

*Přijato do tisku/Accepted: 16. 08. 2018*