

TRENDOVÁ ANALÝZA VHLKOSTNÉHO REŽIMU PÔD V 2. AŽ 5. VEGETAČNOM STUPNI KREMICKÝCH VRCHOV V ROKOCH 2004 – 2009

JOZEF IŠTOŇA, VLADIMÍR ČABOUN

Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22,
SK – 960 92 Zvolen, e-mail: jozef.istona@nlcsk.org, vladimir.caboun@nlcsk.org

IŠTOŇA J., ČABOUN V.: Trend analysis of forest soils moisture regime in the 2nd up to the 5th altitudinal vegetation zones in Kremnické Mts. in the years 2004–2009. Lesn. Čas. – Forestry Journal, **56**(4): 349 – 368, 2010, 8 fig., tab. 10., ref. 19. Original paper. ISSN 0323 – 10468

The presented paper analyses a dynamics of forest soil moisture regime. Trend analysis of the dynamics is made.

The research plots are at the altitude ranging from 370 m to 850 m in forest geobiocenoses selected from the 2nd to the 5th altitudinal vegetation zone (avz) in the transect Hronská Dúbrava – Mláčik. The research was conducted during the period 2004–2009 at layer 0–50 cm of soils representing groups of forest types *Fageto-Quercetum* (FQ – the 2nd avz), *Fagetum pauper inferiora* (Fp inf. – the 3rd avz) and *Fagetum typicum* (Ft – the 4th avz) and *Fageto-Aceretum inferiora* (FAC inf. – the 5th avz) according to the classification of Zlatník.

Soil moisture in the depth 10 and 30 cm was determined gravimetrically and results are presented in weighted %.

Trend analysis evaluated the averaged moisture content in warm and cold period of 2004–2009 as well as summer trend of minimal moisture values. In both cases results are statistically evaluated.

The moisture content in soil decreased only in warm period of year. It reflects intensive desiccation of soils in the 2nd altitudinal vegetation zone as well as differences among altitudinal vegetation zones and groups of forest types (slt).

Key words: *altitudinal transect, altitudinal vegetation zone, desiccation of soils, trends, drought*

Predkladaná práca analyzuje dynamiku vlhkostného režimu lesných pôd a následne ju podrobuje trendovej analýze.

Výskumné plochy sú v nadmorskej výške 370 – 850 m v lesných geobiocenózach vybraných v rozpätí 2. až 5. lesného vegetačného stupňa (lvs) na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik. Skúmané boli v rokoch 2004 až 2009 vo vrstve 0 – 50 cm a reprezentujú skupinu lesných typov (slt) *Fageto-Quercetum* (FQ – 2. lvs), *Fagetum*

pauper inferiora (Fp inf. – 3. lvs), *Fagetum typicum* (Ft – 4. lvs) a *Fageto-Aceretum inferiora* (FAc inf. –5. lvs) (v zmysle Zlatníka).

Vlhkosť pôdy v hĺbke 10 a 30 cm sme stanovili gravimetricky a výsledky sú uvedené v hmotnostných %.

Trendovú analýzou je zhodnotená tak priemerná vlhkosť pôdy v teplom a chladnom období rokov 2004–2009, ako aj letný trend minimálnych hodnôt vlhkosti. V oboch prípadoch sú výsledky štatisticky zhodnotené.

Klesajúci obsah vlhky v pôde sa zistil len počas letného polroka a poukazuje na silné presychanie pôd v 2. lvs i na rozdiely medzi vegetačnými stupňami a skupinami lesných typov.

Kľúčové slová: výškový transekt, 2. až 5. lesný vegetačný stupeň, presychanie pôd, trendy zmien vlhkosti

1. Úvod a rozbor problematiky

Existencia lesa, jeho štruktúra, ekologická stabilita a z toho vyplývajúce plnenie funkcií závisí od stanovištných podmienok a vnútroekosystémových vzťahov. Najmä ľudská činnosť, meniaci štruktúra lesov priamo, ale aj prostredníctvom negatívneho vplyvu imisí, mala veľmi negatívne dopady na celé životné prostredie. V súčasnosti už viac ako dvojnásobné zvýšenie koncentrácií skleníkových plynov v atmosfére spôsobuje nielen celkové otepľovanie atmosféry, ale aj veľkú rozkolísanosť v chode meteorologických prvkov, ako to uvádza LAPIN *et al.* (2001), ale aj správa Medzinárodného panelu pre zmenu klímy (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) z novembra 2007. Predpokladané negatívne klimatické zmeny by mohli byť vážnou hrozbou poklesu zásob rastlinám disponibilnej vody a výraznejšieho presychania pôd. MINĎÁŠ & ŠKVARENINA (1996, 2003), TUŽINSKÝ (2004), ŠKVARENINA *et al.* (2006) a iní poukazujú, že nedostatok zrážok objavujúci sa v poslednom období na väčšej časti územia Slovenska bude mať negatívny vplyv na vlhkové zabezpečenie, zdravotný stav a produkciu lesných drevín od nížin až po horské polohy. Dlhodobé silné preschnutie pôdy nesúvisí len s deficitom rastlinám fyziologicky prístupnej vody, ale aj so zhoršením jej ďalších produkčne významných vlastností a znakov. Ďalšie práce rozoberajú vplyv meniacich sa klimatických faktorov, napríklad na dynamiku hrúbkového rastu drevín (PAJTÍK & IŠTOŇA 2003), ale aj na ďalšie zložky prírodného prostredia (PAVLENDÁ *et al.* 2009). Problematika možného vplyvu globálnej klimatickej zmeny na lesy Slovenska je podrobne rozobraná v publikáciách MINĎÁŠ & ŠKVARENINA (2003), ČABOUN *et al.* 2008.

Ak chceme možné dopady meniacej sa klímy lepšie poznať a predvídať, musíme základné zložky prostredia neustále monitorovať. Jedným z veľmi dôležitých ukazovateľov, ktorého dynamika sa pravdepodobne v dôsledku klimatickej zmeny významne mení, je pôdna vlhkosť. Pôdna vlhkosť sa dá presne zistiť – priamo zmerať. Nejde teda o odvodenú veličinu, a preto patrí k najobjektívnejším charakteristikám hodnotenia vodného režimu pôdy.

Dynamika a periodicita obsahu vody v pôde je ovplyvnená celým radom faktorov, ktorých synergické pôsobenie sa premieta do charakteristického vlhkosťového režimu porastov, pričom k najväčším a najdôležitejším zmenám vlhkosti pôdy dochádza vo

Tabuľka 1. Charakteristiky plôch na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik
 Table 1. Basic stands characteristics of plots on transect Hronská Dúbrava – Mláčik

Číslo plochy ¹⁾	Lokality ²⁾	slt ³⁾	Ivs ⁴⁾	Nad. výška ⁵⁾ (m)	Expozícia ⁶⁾	Sklon ⁷⁾ (%)	Vek ⁸⁾ (r.)	Poznámka ⁹⁾
1	Nad Hr. Dúbravou	FQ	2.	350	JZ	55	110/50	DB 50 %, HB 50 %
2	TMP Turová	Fp inf.	3.	580	SV	25	80	BK 99 %, DB 1 %
3	Poruba	Ft	4.	710	SV	35	140	BK 95 %, JD 5 %
4	Mláčik	FAC inf.	5.	850	SV	15	150	BK 65 %, JD 25 %, JH 5 %, JS 5 %

DB – oak, BK – beech, JD – fir, JS – Ash

¹⁾Plot number, ²⁾Locality, ³⁾Group of forest types, ⁴⁾Altitudinal vegetation zone, ⁵⁾Altitude, ⁶⁾Exposure, ⁷⁾Slope, ⁸⁾Age, ⁹⁾Note

vegetačnom období. Pôdy v nížinách a pahorkatinách v letnom a jesennom období pravidelne presychajú.

Preto cieľom príspevku je analýza dynamiky a trendov zmien vlhkosti pôdy pod dubinou (2. lvs) a bučinou (3. až 5. lvs) v podmienkach Kremnických vrchov v rokoch 2004 až 2009 a posúdenie významnosti týchto zmien.

2. Materiál a metódy

K analyzovanej problematike boli využité výsledky meraní vlhkosti pôdy z obdobia rokov 2004 až 2009 na tranzekte Hronská Dúbrava, Turová, Poruba (Kamenná) a Mláčik (v Kremnických vrchoch – lesná oblasť 27B), v skupinách lesných typov (slt) stanovišť 2. lvs (slt *FQ*), 3. lvs (slt *Fp inf.*), 4. lvs (slt *Ft*) a 5. lvs (*FAC inf.*), ktoré sa nachádzajú v rozpätí 350 až 850 m n. m. Charakteristiky jednotlivých plôch sú v tabuľke 1.

Práca nadväzuje na čiastkové štvorročné výsledky autorov IŠTOŇA & ČABOUN (2006, 2007) a IŠTOŇA (2009), v tejto podrobnejšie zhodnocujeme 6 rokov vlhkosťného režimu v pôdach 2. – 5. lvs v letnom (IV. – IX.) a zimnom (XI. – III.) období rokov 2004–2009.

Na doplnenie charakteristiky modelových plôch (tab. 1) treba dodať, že kým porovnateľnosť plôch nachádzajúcich sa v 3., 4. a 5. lvs je vcelku dobrá, plocha 2. lvs sa odlišuje, hoci je tiež na andezitovom podloží. V prípade slt *FQ*, lesný typ 2305 s mierne hlbokou a skeletnatou pôdou, ide o extrazonálnu dubinu, ktorá sa nachádza v makroklimatickom priestore 3. lvs, kde obmedzené edaficko-hydrické pomery umožnili presadiť sa dubu a hrabu na úkor buka.

Lesné vegetačné stupne (lvs), skupiny lesných typov (slt) a lesné typy (lt) sú chápané v zmysle školy prof. Zlatníka (ZLATNÍK 1959), číslovanie lesných typov uvádzame podľa HANČINSKÉHO (1972).

Pôdnym predstaviteľom v 2. – 4. lvs je kambizem modálna (KMm), v 5. lvs je kambizem andozemná (KMn). Označenie pôdneho typu je podľa KOLEKTÍVU (2000).

Vlhkosť pôdy sme zisťovali predovšetkým vo vegetačnom období. Odbery sa realizovali prevažne v štvrtýždňových intervaloch zvyčajne aj v prepojení na končiace sa epizódy sucha. Zimné odbery boli nepravidelné, obmedzovala ich výška snehu. Vzorky pôd sme získali z vykopaných sond hlbokých do 60 cm, ktoré boli umiestnené medzi stromami v priemete dotyku obvodov korún. Vzorky jemnozeme sme odoberali do hliníkových odvažovačiek. Z vrchnej vrstvy 0 – 10 cm sme odoberali po 12 vzoriek, zo strednej 20 – 30 cm vrstvy spodnej vrstvy 40 – 50 cm boli odoberané po 4 vzorky,

a to na základe výsledkov štatistického hodnotenia variability vlhkosti pôdy v jednotlivých hĺbkach pôdy v máji odobratej prieskumnej množiny vzoriek. Štatistickou analýzou 50 vzoriek sme zistili, že variabilitu hodnôt vlhkosti pôdy podľa vrstiev pri uvedenom počte odoberaných vzoriek dokážeme stanoviť s presnosťou $\pm 10\%$ pri 95% spoľahlivosti.

Vlhkosť pôdy sme stanovili v % hmotnosti gravimetrickou metódou. Analýzu zmien celkových trendov vlhkosti pôdy sme rozdelili na dve samostatné obdobia, a to letné a zimné, pričom po sebe idúce roky sme k sebe pripojili a zobrazili s tým, že sme im podľa dátumu merania priradili aj poradové číslo dňa v príslušnom roku.

Do grafov na obrázkoch 2 a 3, na ktorých je zachytená dynamika vlhkosti pôdy v šiestich letných polrokoch 2. až 5. lvs v roku 2004 až 2009, sme vložili aj trendové línie vlhkosti pôdy.

Trendové línie sme získali pomocou lineárnej funkcie $y = a + bx$. Významnosť zmien vlhkosti pôdy sme vyhodnotili pomocou t-testu. Testovanie a štatistické charakteristiky sú urobené pomocou programov Statistica 8.

3. Výsledky

3.1. Dynamika vlhkosti pôdy v období 1. 4. – 30. 9.

rokov 2004 až 2009 na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Súhrnné výsledky meraní – priemerné a extrémne hodnoty vlhkosti pôdy v hĺbke 10 a 30 cm sú uvedené v tabuľke 2 a 3. Hodnoty vlhkosti v oboch tabuľkách varujú

Tabuľka 2. Vlhkosť pôdy v hĺbke 10 cm vo vegetačnom období (1. 4. – 30. 9.) v rokoch 2004–2009 na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Table 2. Soil moisture in 10 cm depth in growing season (1 Apr – 30 Sep) of the 2004–2009 period in transect Hronská Dúbrava – Mláčik

Lesný vegetačný stupeň ¹⁾	Štatistická charakteristika ²⁾	Rok ³⁾						Priemer ⁴⁾
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	
		(% hmot.)						
2. bukovo-dubový ⁵⁾	Priemer ⁴⁾	22,55	19,45	23,18	16,7	19,92	21,05	20,96
	Sx	9,37	12,03	13,2	7,55	10,50	10,81	10,34
	Max	33,6	39,2	38,5	28,0	37,0	34,3	
	Min	10,4	10,7	9,0	9,2	8,1	9,4	
3. dubovo-bukový ⁶⁾	Priemer ⁴⁾	28,88	22,14	24,42	24,42	27,38	25,82	25,91
	Sx	8,60	6,07	7,34	7,64	7,66	10,21	7,74
	Max	39,8	32,3	32,7	36,6	40,0	34,7	
	Min	16,9	17,6	16,4	16,7	18,4	16,6	
4. bukový ⁷⁾	Priemer ⁴⁾	33,14	28,29	32,31	25,72	32,70	31,36	31,04
	Sx	10,15	11,69	10,09	7,21	7,23	10,16	9,42
	Max	46,9	47,4	42,9	32,6	44,5	41,7	
	Min	19,3	20,0	20,5	17,4	20,9	20,2	
5. jedľovo-bukový ⁸⁾	Priemer ⁴⁾	43,18	43,31	51,49	44,29	45,14	45,86	45,84
	Sx	9,57	13,5	9,26	5,59	7,27	11,86	9,61
	Max	55,1	65,3	61,8	50,0	55,6	56,6	
	Min	32,0	31,6	39,0	36,5	35,9	29,4	

¹⁾Altitudinal vegetation zone, ²⁾Statistical characteristics, ³⁾Year, ⁴⁾Average, ⁵⁾Beech-oak, ⁶⁾Oak-beech, ⁷⁾Beech, ⁸⁾Fir-beech

Tabuľka 3. Vlhkosť pôdy v hĺbke 30 cm vo vegetačnom období (1. 4. – 30. 9.) v rokoch 2004–2009 na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Table 3. Soil moisture in 30 cm depth in growing season (1 Apr – 30 Sep) of the 2004–2009 period in transect Hronská Dúbrava – Mláčik

Lesný vegetačný stupeň ¹⁾	Štatistická charakteristika ²⁾	Rok ³⁾						Priemer ⁴⁾
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	
		(% hmot.)						
2. bukovo- dubový ⁵⁾	Priemer ⁴⁾	17,26	14,17	17,25	13,12	14,53	13,28	15,44 6,98
	Sx	7,04	6,14	8,72	6,61	6,44	8,26	
	Max	24,9	23,4	25,5	20,9	24,9	24,2	
	Min	7,5	8,5	7,5	6,8	7,2	6,8	
3. dubovo- bukový ⁶⁾	Priemer ⁴⁾	23,99	21,17	22,43	20,89	22,6	20,32	22,30 4,97
	Sx	4,33	4,48	5,64	4,59	5,58	6,71	
	Max	29,2	27,8	28,67	26,9	29,9	28,46	
	Min	17,0	17,5	17,0	16,5	16,4	14,7	
4. bukový ⁷⁾	Priemer ⁴⁾	28,87	24,85	27,99	25,04	26,66	22,14	26,58 7,36
	Sx	7,39	7,38	8,37	7,04	6,95	8,21	
	Max	35,9	35,8	36,8	33,16	35,8	32,16	
	Min	16,9	19,0	18,0	16,8	18,7	15,4	
5. jedľovo- bukový ⁸⁾	Priemer ⁴⁾	40,42	34,15	40,65	36,46	36,18	32,48	37,28 7,00
	Sx	8,51	7,26	7,27	5,96	6,37	7,44	
	Max	46,4	45,9	49,5	44,8	43,7	42,4	
	Min	29,3	27,0	32,5	29,7	25,3	25,2	

¹⁾Altitudinal vegetation zone, ²⁾Statistical characteristics, ³⁾Year, ⁴⁾Average, ⁵⁾Beech-oak, ⁶⁾Oak-beech, ⁷⁾Beech, ⁸⁾Fir-beech

v závislosti od množstva a distribúcie zrážok a teplotných charakteristík v jednotlivých rokoch. So stúpajúcou nadmorskou výškou, a teda aj vegetačným stupňom, stúpajú aj celkové priemerné hodnoty vlhkosti pôdy. Kým priemerná vlhkosť v 10 cm hĺbke pôdy v 2. lvs bola za sledované šesťročné obdobie necelých 21 %, v 3. lvs dosiahla takmer 26 %, v 4. lvs 31 % a v 5. lvs až takmer 45,8 %. Vlhkosť pôdy rovnomerne vzrastala od 2. lvs po 5. lvs priemerne o 4,9 %. Priemerná vlhkosť pôdy v hĺbke 30 cm bola v 2. lvs iba 15,4 %, v 3. lvs 22,3 %, v 4. lvs 26,6 % a v 5. lvs až 37,3 %. Rozdiely vo vlhkosti pôdy medzi vegetačnými stupňami v tejto hĺbke už nie sú také pravidelné, ako pri hĺbke 10 cm. Zjavné rozdiely v obsahu vody v hĺbke 30 cm medzi vegetačnými stupňami sa dajú vysvetliť slabšou, hoci aj častou zrážkovou činnosťou v uvedených rokoch a teplejšími letami, v ktorých je transpirácia drevín vyššia, čo sa najviac prejavilo rozkolísanosťou zásob vody najmä v strednej, silne prekorenenej hĺbke pôd.

Aby bolo zrejme do akej miery ovplyvňuje vlhkosť pôdy množstvo zrážok v jednotlivých rokoch, porovnali sme priemerné hodnoty vlhkosti pôdy a množstva podkuru-

Tabuľka 4. Množstvo podkorunových zrážok v období 1. 1. až 16. 4., vo vegetačnom období (16. 4. – 29. 9.) a priemerná hodnota vlhkosti pôdy na TMP Turová (3. lvs)

Table 4. Quantity of throughfall in the period from 1 Jan to 16 Apr in growing season (16 Apr –29 Sep) and average value of soil moisture on PMP Turová (the 3rd avz)

Klimatická charakteristika ¹⁾		Rok ²⁾						Priemer ³⁾
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Zrážky ⁴⁾ 1. 1. – 16. 4.	(mm)	187	170	112	255	142	143	168
Zrážky ⁴⁾ 16. 4. – 29. 9.		283	270	262	224	219	190	241
Vlhkosť pôdy ⁵⁾ v 10 cm	%	28,88	22,14	24,42	24,42	27,38	25,82	25,91
Vlhkosť pôdy ⁵⁾ v 30 cm	hmot.	23,99	21,17	22,43	20,89	22,6	20,32	22,30

¹⁾Characteristic, ²⁾Year, ³⁾Average, ⁴⁾Throughfall precipitation, ⁵⁾Soil moisture content

nových zrážok na trvalej monitorovacej ploche (TMP) Turová (tab. 4). Údaje ukazujú na výrazne klesajúcu tendenciu množstva podkorunových zrážok vo vegetačnom období rokov 2004–2009. V roku 2009 dosiahli podkorunové zrážky na TMP Turová iba 190 mm, čo sa prejavilo aj v najväčšom výskyte minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy najmä v hĺbke 30 cm. Nedostatok zrážok v roku 2009 sa prejavil vo všetkých vegetačných stupňoch minimálnymi hodnotami vlhkosti pôdy v hĺbke 30 cm. Kým v 2. lvs bola hodnota vlhkosti iba 6,8 %, v 3. lvs sa zvýšila na 14,7 %, v 4. lvs na 15,4 % a v 5. lvs minimálne hodnoty vlhkosti dosiahli až 25,2 %.

Maximálne hodnoty obsahu vlhkosti pôdy v hĺbke 10 cm sa vo väčšine prípadov vyskytli v roku 2005, na začiatku vegetačného obdobia, keď na prvej ploche jarné dažde už celkom roztopili sneh a na ostatných ešte ostala snehová pokrývka. V 2. lvs bola maximálna hodnota vlhkosti 39,2 %, v 3. lvs pod snehom 32,3 %, vo 4. lvs 47,4 % a v 5. lvs až 65,3 %. Hodnota vlhkosti pôdy v 5. lvs je skutočne vysoká, a to v dôsledku zimnej gravitačnej vody z roztápajúceho sa snehu, alebo z rozmŕzajúcej pôdy a vysokej sorpčnej schopnosti humóznej zložky andozemných pôd. V 3. lvs sa maximálne hodnoty vlhkosti vyskytli v rokoch 2008 a 2004, teda v zrážkovo rozdielnych rokoch, čo poukazuje na to, že nielen množstvo zrážok, ale aj ich rozdielna distribúcia počas vegetačného obdobia, prípadne iné vplyvy môžu ojedinele ovplyvniť vlhkosť pôdy. V hĺbke 30 cm sa maximálne hodnoty vlhkosti vyskytli v roku 2006, tiež po dlho trvajúcej snehovej pokrývke, a to vo všetkých lvs, s výnimkou 3. lvs. Maximálna hodnota vlhkosti pôdy v 2. lvs bola 25,5 % v 4. lvs 36,8 % a 5. lvs až 49,7 %. Pre 3. lvs maximálna hodnota 29,9 % pripadá na jarnú májovú vlahu roku 2008. Tak ako pri priemerných hodnotách vlhkosti pôdy, aj pri maximálnych, či minimálnych hodnotách vidieť pokles hodnôt od 5. lvs po 2. lvs.

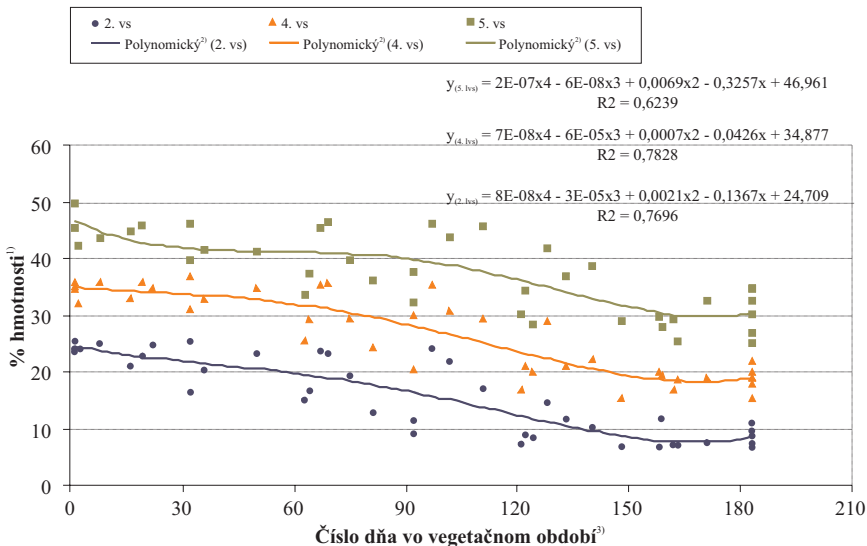
Pre lesné spoločenstvá je rozhodujúci predovšetkým minimálny obsah vlhky v pôde, dĺžka trvania tohto stavu, tiež časové obdobie, t. j. v ktorej časti vegetačného obdobia sa suchá perióda vyskytla. Uvedené skutočnosti majú značný význam z hľadiska zdravotného stavu, vitality drevín a samozrejme z hľadiska tvorby dendromasy.

Kým v prípade priemerných hodnôt vlhkosti pôdy najmä v hĺbke 10 cm sú medzi 2. až 5. lvs počas vegetačného obdobia pomerne pravidelné rozdiely, pri minimálnych

hodnotách vlhkosti sú v oboch sledovaných hĺbkach veľké rozdiely medzi 2. a 3. lvs a medzi 4. a 5. lvs. Z uvedeného vyplýva, že extremity sucha sa veľmi drasticky prejavujú v 2. lvs (6,8 a 8,1 %), kým v 3. a 4. lvs sú rozdiely zanedbateľné (štatisticky nevýznamné) a minimálne hodnoty sa pohybujú od 14,7 % po 17,4 % (dvojnásobok hodnôt 2. lvs), čomu zodpovedá aj reakcia rastlín. Minimálne hodnoty vlhkosti zistené v pôdach 5. lvs jasne ukazujú, že aj na týchto stanovištiach počas leta dochádza k značnému poklesu pôdnej vlahy až na 25,2, resp. 29,4 %. Takýto obsah vlahy v pôde ale stále považujeme za dostatočný až dobrý, takže dreviny nie sú vystavené stresu z nedostatku vlahy.

V 3. lvs reprezentovanom slt *Fp inf.* sa minimálne hodnoty vlhkosti pôdy za celé sledované obdobie pohybovali v rozpätí 14,7 až 18,4 %. V období presychania pôdy to znamená len väčšie zníženie dostupnosti vody pre rastliny, v krajnom prípade len priblíženie sa obsahu vody k hodnotám bodu vädnutia. Veľmi podobné hodnoty minimálnej vlhkosti ako pôdy v 3. lvs majú v letných a jesenných mesiacoch aj pôdy v 4. lvs.

I napriek tomu, že ročná dynamika vlhkosti pôdy sa rámcovo opakuje, pri podrobnom pohľade vidíme mnohé rozdielnosti. Obraz o dynamike vlhkosti pôdy v 10 a 30 cm hĺbkach pôd poskytujú trendové grafy priebehu vlhkosti vo vegetačnom období rokov 2004–2009. Trendy priemerných hodnôt vlhkosti pôdy ukazujú, že rozdiel medzi po-



Obr. 1. Dynamika priemerných hodnôt vlhkosti pôdy v hĺbke 30 cm vo vegetačných obdobiach šiestich rokov (2004–2009) na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Fig. 1. Dynamics of average values of soil moisture in 30 cm depth in growing season of 2004–2009 in transect Hronská Dúbrava – Mláčik.

¹⁾Weighted %, ²⁾Polynomial, ³⁾Number of day during growing season

čiatočnou – jarnou (najvyššou) a koncovou – jesennou (najnižšou) hodnotou vlhkosti pôdy v 2., 4. a 5. lvs je takmer ten istý a činí 17 – 18 %. Priebehy vlhkosti pôdy v 2., 4. a 5. lvs vyjadrené polynomickými krivkami sú si veľmi podobné a je medzi nimi počas roka priemerná diferencia 11 % (obr. 1). Podobný priebeh ako v 30 cm hĺbke majú aj trendové krivky vlhkosti pôdy v hĺbke 10 cm.

Do grafu na obrázku 1 sme nevložili krivku vlhkosti pôdy v 3. lvs, nakoľko táto má špecifický tvar. Kým v jarných mesiacoch sa približuje ku krivke vlhkosti pôdy v 2. lvs, jesenné hodnoty vlhkosti sú veľmi blízko hodnotám vlhkosti pôdy 4. lvs. Z uvedeného vyplýva, že 3. lvs reprezentovaný slt *Fp inf.* možno z hľadiska suchosti, resp. nedostatku vlhkosti v pôde stotožniť s hodnotami plochy 4. lvs (slt *Ft*). Táto možnosť je veľmi zaujímavá a ukazuje, že špecifikácia jednotlivých vegetačných stupňov prostredníctvom stanovenia ekologických charakteristík stanovištných podmienok by si vyžadovala podrobnejšiu štúdiu, ktorá by bola veľmi užitočná aj z hľadiska rozvoja lesníckej typológie. Na základe našich meraní si nedovoľujeme robiť zovšeobecňujúce závery, nakoľko je možné predpokladať, že plocha založená v slt *Fp inf.* (3. lvs) nie je najvhodnejším reprezentantom 3. lvs, pretože sa nachádza v hornej tretine výškového výskytu 3. lvs na Slovensku.

Rozdiely medzi jarnými a letnými obsahmi vlhky v pôdach 2. – 5. lvs sme podrobili štatistickej analýze. Studentovým t-testom významnosti sme hodnotili významnosť diferencií hodnôt vlhkosti pôdy v dňoch 8. 6. 2004 a 8. 9. 2004 a v dňoch 2. 6. 2009 a 26. 8. 2009 (tab. 5). Výsledky ukázali, že rozdiely v hodnotách jarnej vlhkosti pôdy v 2. a 3. lvs nie sú vo vlhších rokoch štatisticky významné a aj v suchších rokoch sú len málo významné. Rozdiely v hodnotách jesennej vlhkosti pôdy v 3. a 4. lvs nie sú vždy štatisticky významné. Uvedený fakt potvrdzuje naše rozhodnutie pracovať v grafoch len s krivkami 2., 4. a 5. lvs.

Tabuľka 5. Rozdiely vo vlhkosti pôdy na pokusných plochách v roku 2004 a 2009 v hĺbke 30 cm (t-test, $\alpha = 0,05$)

Table 5. Differences in soil moisture on experimental plots in the year 2004 and 2009 in 30 cm depth (t-test, $\alpha = 0.05$)

slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAc inf.</i> (5. lvs)	slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAc inf.</i> (5. lvs)
8. jún 2004³⁾					8. september 2004⁴⁾				
<i>FQ</i>	(2. lvs) ²⁾		**	**	<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp</i>	(3. lvs)		**	**	<i>Fp</i>	(3. lvs)			**
<i>Ft</i>	(4. lvs)	**		**	<i>Ft</i>	(4. lvs)			**
2. jún 2009⁵⁾					26. august 2009⁶⁾				
<i>FQ</i>	(2. lvs)	*	**	**	<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp</i>	(3. lvs)			**	<i>Fp</i>	(3. lvs)			**
<i>Ft</i>	(4. lvs)			**	<i>Ft</i>	(4. lvs)			**

¹⁾slt – groups of forest types, ²⁾avz, ³⁾8 June 2004, ⁴⁾8 Sept 2004, ⁵⁾2 June 2009, ⁶⁾26 August 2009

Osobitnú pozornosť si zasluhuje 2. lvs, ktorého pôdy sú počas letných a jesenných mesiacov často postihované výrazným presychaním. Obsah vody koncom vegetačného obdobia klesá pod kritickú hodnotu 10 %. Takáto minimálna zásoba vody predstavuje pokles pod bod vädnutia, čo znamená, že dreviny majú nedostatok prístupnej vody. V tabuľke 6 je preto ohraničené jarné obdobie s dostatkom vlhky (20 % a viac), obdobie zrýchleného poklesu pôdnej vlhky (10 % a viac za mesiac), ďalej z hľadiska vegetácie najdôležitejšie obdobie sucha (pod 10 %) a termín začiatku vzostupu vlhky v pôde. Podľa tohto členenia najdlhšie obdobie s dostatkom vlhky, ktoré sa viaže na zimnú a jarnú zásobu spojenú s častejšími jarnými zrážkami trvalo v najvlhšom roku 2004 (do 7. júla). Najkratšie obdobie s dostatkom pôdnej vlhky sa vyskytlo na jar v roku 2007 a 2009. Po tomto období nastáva veľký pokles vlhkosti pôdy, ktorého koniec je aj začiatkom sucha. Ako vidieť z tabuľky 6, obdobie sucha môže niekedy začať už koncom júna, ale vo väčšine prípadov začína až koncom júla, prípadne začiatkom augusta. V niektorých rokoch končí obdobie sucha koncom septembra (2008, 2009), v roku 2004 sucho skončilo v októbri a v rokoch 2005, 2006 a 2007 až v novembri. Treba ešte podotknúť, že samotné obdobie sucha nebýva úplne bez zrážok, ale keď sa vyskytnú, sú väčšinou slabé (1 až 5 mm). Ojedinelo sa vyskytnú aj zrážky s výdatnosťou 5 – 10 mm a len výnimočne aj zrážky okolo 20 mm. Ak sa takéto slabé zrážky vyskytnú v lete, dopadajú na prehriaty povrch vegetácie a pôdy pri teplotách vzduchu nad 30 °C sa rýchlo vyparujú, alebo slabou infiltráciou ovplyvňujú len povrchovú vrstvu pôdy (približne 5 – 15 cm).

V prebiehajúcich cyklických zmenách klímy sa stále častejšie vyskytuje znížená zásoba zimnej a jarnej vlhky v nižších lvs, ako aj podnormálny výskyt zrážok v prvej polovici vegetačného obdobia (napr. v rokoch 2007, 2009). Nepriaznivé dôsledky kli-

Tabuľka 6. Vlhkosť pôdy vo vegetačnom období rokov 2004–2009 na ploche 2. lvs
Table 6. Soil moisture in growing seasons of the years 2004 – 2009 in 30 cm depth on a plot in the 2nd altitudinal vegetation zone

Rok ¹⁾	Stav vlhkosti pôdy v hĺbke 30 cm ²⁾			
	Dostatok vlhky (≥ 20 % hmot.) ³⁾	Veľký pokles vlhky ⁴⁾	Sucho ⁵⁾ (≤ 10 % hmot.)	Vzostup vlhky ⁶⁾
2004	Do ⁷⁾ 7. 7.	8. 7. – 16. 8.	16. 8. – 19. 10.	Od ⁸⁾ 19. 10.
2005	Do ⁷⁾ 22. 5.	23. 5. – 23. 6.	24. 6. – 19. 11	Od ⁸⁾ 19. 11.
2006	Do ⁷⁾ 5. 7.	6. 7. – 30. 7.	31. 7. – 16. 11.	Od ⁸⁾ 17. 11.
2007	Do ⁷⁾ 12. 4.	13. 4. – 2. 6. 12. 6. – 27. 7.	29. 7. – 4. 11.	Od ⁸⁾ 5. 11.
2008	Do ⁷⁾ 8. 5.	9. 5. – 8. 7.	16. 8. – 23. 9.	Od ⁸⁾ 24. 9.
2009	Do ⁷⁾ 2. 5.	3. 5. – 26. 6. 2. 7. – 5. 8.	6. 8. – 15. 9.	Od ⁸⁾ 16. 9.

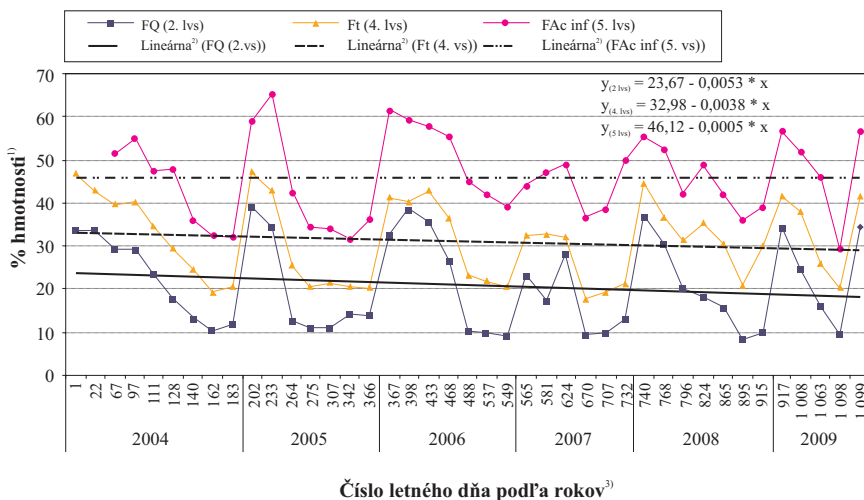
¹⁾Year, ²⁾ State of moisture content in 30 depth, ³⁾Sufficiency, ⁴⁾ Higt fall moisture weighted %, ⁵⁾ Drought, ⁶⁾Increase, ⁷⁾Until, ⁸⁾From

matických vplyvov aj na našej výškovo najnižšej ploche ešte zvyrazňuje nižšia vodná kapacita pôd, s ktorou sa stretávame v ďalších exponovaných spoločnostiach (2. lvs), napr. slt FQ, lt 2302 až 2305. Príčinou pomerne nízkej vodnej kapacity pôd je ich malá fyziologická hĺbka, zhoršený fyzikálny stav a vysoká skeletnosť. V pahorkatinách sucho znásobujú strmé svahy s teplou expozíciou.

3.2. Trendy vlhkosti pôdy na výškovom tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Dynamika vlhkosti lesných pôd vo vegetačných obdobiach rokov 2004–2009 je znázornená na obrázkoch 2 a 3. Okrem dynamiky pôdnej vlhkosti (maximá počas jarých mesiacov a minimá v letných a jesenných mesiacoch) vidieť periodicitu i trendy. Vlhkosť pôdy sa počas roka veľmi mení aj v rámci jedného vegetačného stupňa, či toho istého segmentu slt. Najväčšia dynamika bola pozorovaná v povrchových vrstvách pôd, kde sú vstupy a výstupy vody najväčšie a najčastejšie. V hlbších vrstvách sú zvyčajne vlhkosťové pomery vyrovnannejšie. V grafoch vidieť aj rozdiely v obsahoch vody zistených v pôdach vegetačných stupňov. Je celkom logické, že najvlhkejšie pôdy sú po celý rok v 5. lvs a najsuchšie pôdy sa celoročne vyskytujú v 2. lvs. Základný priebeh kriviek s takmer konštantnými rozdielmi vlhkosti sa zachováva.

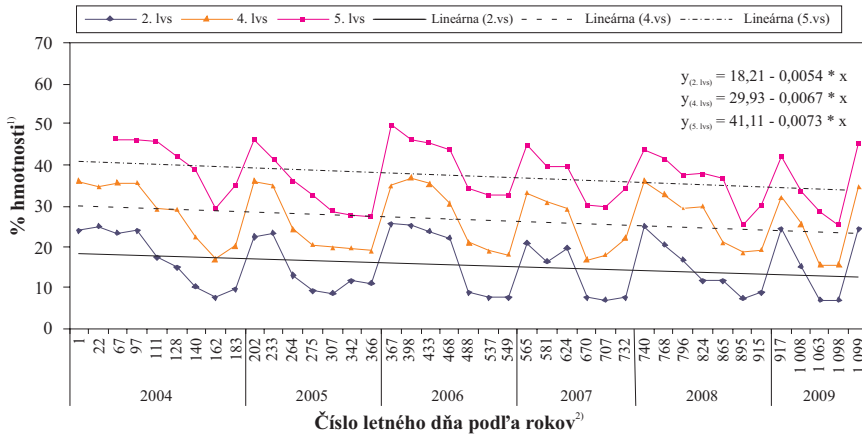
Zobrazené lineárne trendy (v obr. 2 a 3) i rovnice dokazujú, že v predmetnom území dochádzalo vo vegetačných obdobiach rokov 2004–2009 k poklesu vlhkosti pôdy. Pokles bol zistený v oboch sledovaných hĺbkach, a to vo všetkých štyroch vegetačných



Obr. 2. Dynamika vlhkosti pôdy (% hmot.) v 10 cm hĺbke vo vegetačných obdobiach (1. 4. – 30. 9.) rokov 2004–2010 (s vloženou trendovou čiarou) na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Fig. 2. Dynamics of soil moisture in the depth of 10 cm in growing seasons of 2004–2009 (with added trend line) in transect Hronská Dúbrava – Mláčik.

¹⁾Weighted %, ²⁾Linear, ³⁾Number of day during growing season



Obr. 3. Dynamika vlhkosti pôdy v 30 cm hĺbke vo vegetačných obdobiach (1. 4. – 30. 9.) rokov 2004–2010 (s vloženou trendovou čiarou) na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Fig. 3. Dynamics of soil moisture in 30 cm depth in growing seasons of 2004–2009 (with added trend line) in transect Hronská Dúbrava – Mláčik.

stupňoch. K výraznejšiemu poklesu vlhkosti v 30 cm hĺbke pôdy došlo v 2., 3. a 4. lvs. Ide o pokles približne 6 % za 6 rokov, teda každoročne o 1 %. Najnižší, takmer zanedbateľný trend poklesu vlhkosti pôdy (o 1 % za 6 rokov) sa prejavil v 5. lvs v hĺbke 10 cm. Kým v hĺbke 30 cm sa prejavil výrazný pokles vlhkosti pôdy aj v 5. lvs, menší pokles v hĺbke 10 cm je pravdepodobne spôsobený horizontálnymi zrážkami, ktorých účinok sa však v 30 cm už neprejavil. V tejto hĺbke sa naopak prejavil vysušací efekt koreňov drevín vplyvom väčšej spotreby pôdnej vlhky na transpiráciu.

V tabuľke 7 sú uvedené výsledky t-testu, podľa ktorých v 2. lvs došlo v období 1. 4. – 30. 9. k poklesu pôdnej vlhkosti v hĺbke 10 cm so 70 %, v 30 cm s 89 % a v hĺbke 50 cm až s 92 % spoľahlivosťou (istotou). Podobný trend významnosti zmien pôdnej vlhkosti sa zistil aj v 3. lvs.

V 4. a 5. lvs sa štatisticky významný pokles pôdnej vlhkosti zistil len v hĺbke 30 cm, ale už s 95 % spoľahlivosťou a v hĺbke 50 cm až s 98 % spoľahlivosťou. V hĺbke 10 cm nebol pokles pôdnej vlhkosti štatisticky významný.

V porovnaní s letnými mesiacmi je v zimných obdobiach trend vlhkosti pôdy v niektorých prípadoch opačný. Hodnoty zimnej pôdnej vlhky v hĺbke 10 cm vykazujú stúpajúci trend okrem 5. lvs, kde je trend vyrovnaný. Zaujímavý je trend vlhkosti v 30 cm hĺbke pôdy v zimnom období. Kým v 2. lvs má krivka stúpajúci trend, v 3. lvs ide už len o minimálny vzostup, ktorý je možné charakterizovať ako stagnáciu. V 4. a 5. lvs dochádza k zjavnému poklesu vlhkosti, pričom priamka v 5. lvs má prudší pokles ako priamka vo 4. lvs. V hĺbke 50 cm sa prejavil vo všetkých vegetačných stupňoch mierny pokles obsahu zimnej pôdnej vlhky, ale podstatne miernejší, ako je tomu vo vegetačnej dobe. Veľmi dôležitý je fakt, že zimné trendy zmien vlhkosti

Tabuľka 7. Základné štatistické charakteristiky trendov pôdnej vlhkosti v období apríl – september a október – marec rokov 2004–2009 na výskumných plochách (t-test)

Table 7. Basic statistical characteristics of the soil moisture trends in period Apr – Sep and Oct – March of the 2004 – 2009 period on research plots (t-test)

slt ¹⁾ (lvs) ²⁾	Obdobie ³⁾	Hĺbka ⁴⁾ (cm)	N	a	b	R ²	p	P %
FQ ⁵⁾ (2. lvs)	4. – 9.	10	41	23,67	-0,0053	0,0276	0,2995	70
		30	41	18,2069	-0,0054	0,0640	0,1104	89
		50	41	17,0977	-0,0049	0,0763	0,0804	92
	10. – 3.	10	22	22,7106	0,0042	0,0169	0,5639	44
		30	22	15,2469	0,0018	0,0042	0,7745	23
		50	22	15,8853	-0,0024	0,0048	0,7851	22
Fp inf. ⁶⁾ (3. lvs)	4. – 9.	10	41	27,298	-0,0027	0,0130	0,4778	52
		30	41	24,1861	-0,0037	0,0573	0,1316	87
		50	41	27,2514	-0,0041	0,0761	0,0807	92
	10. – 3.	10	22	26,3901	0,0063	0,0542	0,2972	70
		30	22	23,8943	0,0007	0,0013	0,8745	13
		50	22	25,5409	-0,0027	0,0163	0,6138	39
Fr ⁷⁾ (4. lvs)	4. – 9.	10	41	32,989	-0,0038	0,0172	0,4142	59
		30	41	29,9325	-0,0067	0,0886	0,0587	94
		50	41	31,4313	-0,0082	0,1504	0,0122	99
	10. – 3.	10	22	33,6797	0,0046	0,0121	0,6258	38
		30	22	30,0106	-0,0037	0,0176	0,5564	44
		50	18	28,5611	-0,0018	0,0034	0,8178	18
FAC inf. ⁸⁾ (5. lvs)	4. – 9.	10	39	46,1189	-0,0005	0,0003	0,9184	8
		30	39	41,1141	-0,0073	0,1081	0,0410	96
		50	39	37,0915	-0,0066	0,1277	0,0255	98
	10. – 3.	10	22	51,5897	-0,0004	0,0001	0,9625	4
		30	22	42,4269	-0,0048	0,0267	0,4676	53
		50	18	37,0112	-0,0036	0,0122	0,6632	34

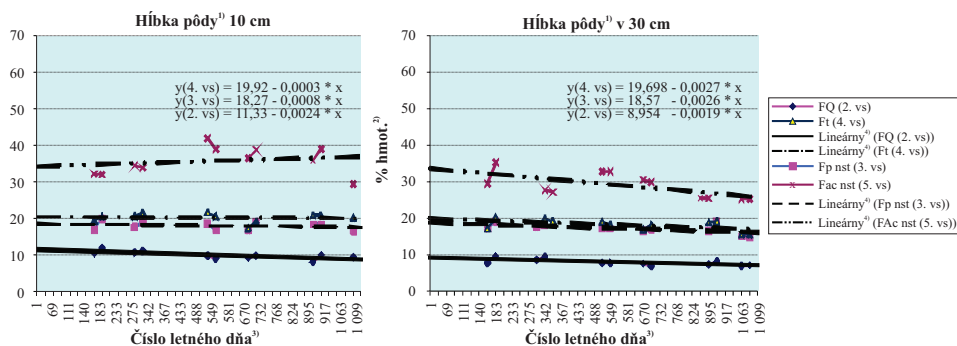
¹⁾Group of forest types, ²⁾Altitudinal vegetation zone, ³⁾Period, ⁴⁾Depth, ⁵⁾Fageto-Quercetum, ⁶⁾Fagetum pauper inf., ⁷⁾Fagetum typicum, ⁸⁾Fageto-Aceretum inf.

pôdy s vysokou miery istoty nie sú štatisticky významné. Táto informácia je z hľadiska vlhkosťného režimu pôd veľmi dôležitá, ale z hľadiska štatistickej nevýznamnosti sa problematikou vlhkosti pôdy v zimných mesiacoch nebudeme zaoberať.

Existencia jednotlivých rastlinných druhov a spoločenstiev na konkrétnom stanovišti nezávisí len od priemerných hodnôt jednotlivých ekologických charakteristík (klimatických, resp. meteorologických, pôdnych, vlahových a pod.), ale často oveľa dôležitejší býva výskyt a pretrvávanie ich extrémnych hodnôt. Vo vzťahu k vlhkosti pôdy rozhoduje absolútna hodnota (% objemu vlhkosti v pôde), doba výskytu (v ktorej

fáze vegetačného obdobia sa extremity vyskytujú), dĺžka trvania extrémnych, predovšetkým minimálnych hodnôt, ako aj častot výskytu stresujúcich (minimálnych alebo maximálnych) hodnôt vlhkosti v pôde.

Preto sme aj minimálne ročné hodnoty vlhkosti pôdy, ktoré sa vyskytujú koncom leta a na jeseň, podrobili trendovej analýze. Na obrázku 4 sú vynesené dvojice minimálnych ročných hodnôt obsahu vlhkosti pre príslušný lvs s odpovedajúcim poradovým číslom letného dňa príslušného roka. Pre tieto minimálne hodnoty vlhkosti pôdy v hĺbkach 10 a 30 cm bola vložená trendová línia za sledované šesťročné obdobie.



Obr. 4. Trendy minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy v hĺbke 10 a 30 cm v období 1. 4. – 30. 9. rokov 2004–2009 na tranzekte Hronská Dúbrava – Mláčik

Fig. 4. Trends of minimal soil moisture values in the depth 10 and 30 cm in the years 2004–2009 in transect Hronská Dúbrava – Mláčik.

¹⁾Depth of soil, ²⁾Weighted %, ³⁾Number of summer day, ⁴⁾Linear

Tabuľka 8. Základné štatistické charakteristiky trendov minimálnych hodnôt pôdnej vlhkosti v období apríl – september rokov 2004–2009 (t-test)

Table 8. Basic statistical characteristics of the trends of minimal values of soil moisture in period Apr – Sep of the 2004 – 2009 period (t-test)

slt ¹⁾ (lvs) ²⁾	Hĺbka ³⁾ (cm)	N	a	b	R ²	p	P %
FQ (2. lvs)	10	11	11,33	-0,0024	0,5158	0,0128	99
	30	12	8,95	-0,0019	0,4929	0,0109	99
Fp inf. (3. lvs)	10	11	18,27	-0,0008	0,0439	0,5362	46
	30	12	18,57	-0,0026	0,3833	0,0318	97
Ft (4. lvs)	10	11	19,92	-0,0003	0,0057	0,8248	18
	30	12	19,69	-0,0027	0,3312	0,0502	95
FAc inf. (5. lvs)	10	11	34,05	0,0024	0,0371	0,5706	43
	30	12	32,98	-0,0069	0,4203	0,0226	98

¹⁾Group of forest types, ²⁾Altitudinal vegetation zone, ³⁾Depth (cm)

Základné štatistické charakteristiky trendov minimálnych hodnôt pôdnej vlhkosti v rokoch 2004–2009 v hĺbke 10 a 30 cm na trvalých monitorovacích plochách 2. až 5. lvs sú v tabuľke 8. Výsledky štatistickej analýzy trendových línií minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy v jednotlivých rokoch potvrdila s 95 až 99 % istotou, že v hĺbke 30 cm ide vo všetkých sledovaných vegetačných stupňoch o významný pokles.

Je zaujímavé a pomerne prekvapujúce, že najstrmší pokles pôdnej vlhkosti bol zistený v 5. lvs. Popri nedostatku zrážok môže byť tento pokles spôsobený vysúšaním silne prekorených stredových vrstiev pôdy drevinami, ktoré vzhľadom na zvýšenú teplotu majú aj zvýšenú transpiráciu. Dreviny 2. lvs rastú v podmienkach, kde sa minimálne hodnoty vlhkosti pôdy dostávajú ku kritickým hodnotám nedostatku vlhkosti, až k hodnotám bodu vädnutia, čo sa prejaví na ich zníženej transpirácii, zdravotnom stave, vitalite, ako aj zníženej produkčnej schopnosti. Dreviny 3. a 4. lvs sa pri extrémnom znížení hodnôt pôdnej vlhkosti dostávajú do situácie, keď množstvo pôdnej vlhky je tak nízke, že sa znižuje množstvo prístupnej vody pre tieto dreviny. Na uvedené skutočnosti (sucho) dreviny reagujú zníženou transpiráciou. Keďže spoločenstvá drevín rastúce v 5. lvs majú počas celého roka prístupnú pôdnu vlahu, v období rastúcich teplôt a pôsobenia vysušacích vetrov zvyšujú svoju transpiráciu, čo sa na grafoch trendových línií minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy v 30 cm prejavilo najprudším poklesom. Naopak v hĺbke 10 cm ide iba v 5. lvs o mierny, hoci štatisticky nevýznamný vzostup minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy, čo by bolo možné vysvetliť výskytom častejších slabších zrážok v najsuchšom období, alebo prípadným výskytom horizontálnych zrážok, prípadne veľmi dobrým plnením hydrických a atmosférických funkcií lesným porastom v 5. vegetačnom stupni. Keďže s klesajúcou nadmorskou výškou, a teda v nižších vegetačných stupňoch, stále prudšie klesajú trendové línie

Tabuľka 9. Rozdiely vo vlhkosti pôdy v 2. až 5. lvs zistené vo vegetačných obdobiach rokov 2004 – 2009 (t-test, $\alpha = 0,05$)

Table 9. Differences in soil moisture in the range of the 2nd to the 5th avz found in growing seasons of the years 2004–2009 (t-test, $\alpha = 0.05$)

slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAc inf.</i> (5. lvs)
hĺbka pôdy 30 cm²⁾				
<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp inf.</i>	(3. lvs)		**	**
<i>Ft</i>	(4. lvs)	**		**
slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAc inf.</i> (5. lvs)
hĺbka pôdy 10 cm²⁾				
<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp inf.</i>	(3. lvs)		**	**
<i>Ft</i>	(4. lvs)	**		**

¹⁾Group of forest types, altitudinal vegetation zone, ²⁾Depth of soil

Tabuľka 10. Rozdiely v minimálnej vlhkosti pôd 2. až 5. lvs zistené v rokoch 2004 – 2009 (t-test, $\alpha = 0,05$)

Table 10. Differences in minimal soil moisture from the 2nd to the 5th avz found during growing seasons of the years 2004–2009 period (t-test, $\alpha = 0.05$)

slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAC inf.</i> (5. lvs)
		hĺbka pôdy 30 cm ²⁾		
<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp inf.</i>	(3. lvs)			**
<i>Ft</i>	(4. lvs)			**
slt, (lvs) ¹⁾		<i>Fp inf.</i> (3. lvs)	<i>Ft</i> (4. lvs)	<i>FAC inf.</i> (5. lvs)
		hĺbka pôdy 10 cm ²⁾		
<i>FQ</i>	(2. lvs)	**	**	**
<i>Fp inf.</i>	(3. lvs)		**	**
<i>Ft</i>	(4. lvs)	**		**

¹⁾Group of forest types, altitudinal vegetation zone, ²⁾Depth of soil

minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy, ide o vplyv zvýšenej teploty na vysušanie vrchných vrstiev pôdy. Kým vo 4. lvs ide o štatisticky nevýznamný pokles, v 3. lvs je tento pokles významný a v 2. lvs veľmi významný.

Na základe uvedenej analýzy môžeme konštatovať, že kým vysušanie pôd v 30 cm hĺbke pôd je v podstatnej miere spôsobované ekofyziologickými vplyvmi drevín (sacia schopnosť koreňov drevín na zabezpečenie zvýšenej transpirácie drevín), pri vysušaní povrchových vrstiev pôdy, a teda aj pôdy v hĺbke 10 cm ide predovšetkým o fyzikálny proces vyparovania vody z pôdy priamo úmerný teplote ovzdušia a nepriamo úmerný jeho vlhkosti.

Ďalšie testovanie trendových rozdielov medzi hodnotenými lvs pri použití všetkých vo vegetačnom období rokov 2004 – 2009 nameraných hodnôt sa zistili štatisticky veľmi významné rozdiely trendov vlhkosti v 10 a 30 cm hĺbke pôd v 2. – 5. lvs (tab. 9). Podľa minimálnych hodnôt vlhkosti pôd (tab. 10) sa potvrdili významné zmeny medzi hodnotenými lvs pri hĺbke pôdy 10 a 30 cm. Výnimkou je iba trendový rozdiel medzi 3. a 4. lvs v hĺbke 30 cm.

4. Diskusia

Z priebehu trendových línií poklesu vlhkosti v hĺbke 30 cm vyplýva, že ak by sa uvedený trend vlhkosti pôdy posledných šiestich rokov nezmenil, kritický nedostatok dostupnej vody by sa prejavil v 2. lvs po štyroch rokoch, v 3. a 4. lvs o 10 až 12 rokov a v 5. lvs o 22 rokov.

Vzhľadom k tomu, že hodnoty meteorologických charakteristík nemajú lineárny priebeh, ale priebeh periodický (priebeh v sínusoidách), pričom dĺžka periódy sa mení podľa sledovanej charakteristiky, presnosti a dĺžky sledovania, predpokladáme

aj výskyt vlhších rokov, čo spôsobí zmiernenie poklesu vlhkosti pôdy vo vegetačných obdobiach 2. až 5. lvs.

Aj trendy výskytu minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy ukazujú, že pokles extrémne nízkych hodnôt vlhkosti pôdy nie je tak dramatický, ako trendy vlhkosti pôdy získané na základe všetkých hodnôt vlhkosti pôdy počas vegetačných období. Musíme si tiež uvedomiť, že pre trendové analýzy získaných hodnôt vlhkosti pôdy je šesťročné obdobie pomerne krátke. Preto aj interpretácia výsledkov musí zohľadňovať túto skutočnosť. Opatrnejším záverom je fakt, že každý vegetačný stupeň je reprezentovaný iba jednou pokusnou plochou založenou v segmente skupiny lesných typov s konkrétnou druhovou, vekovou a priestorovou štruktúrou. Keď si uvedomíme rozmanitosť ekologických podmienok, ktoré charakterizujú stanovištné podmienky 2. až 5. lvs, ako aj rozmanitosť spoločenských, ktoré sa tu vyskytujú, musíme konštatovať, že práčne získané hodnoty vlhkosti pôdy charakterizujú len dynamiku vlhkosti pôd na uvedených pokusných plochách. Zovšeobecnenie trendových analýz je možné pre všetky podmienky 2. – 5. lvs urobiť len rámcovo. Vzhľadom k tomu, že podobné výsledky neboli ešte publikované, možno získané poznatky považovať z hľadiska zmien klímy, riešenia problematiky štruktúry, ekologickej stability a plnenia funkcií lesov v krajine za veľmi cenné.

Viacerí v úvode citovaní autori naznačujú, že viac ako dvojnásobné zvýšenie koncentrácií skleníkových plynov v atmosfére podnecuje nielen celkové otepľovanie atmosféry, ale aj veľkú rozkolísanosť a častejší výskyt extrémov jednotlivých meteorologických prvkov. S uvedenými skutočnosťami úzko súvisí aj výraznejšie presychanie pôd a pokles zásob disponibilnej vody v pôde.

Klimatické údaje získané za posledných 100 rokov na Slovensku potvrdzujú trend rastu priemernej ročnej teploty o 1,1 °C a pokles ročných úhrnov zrážok v priemere o 5,6 %, pričom pokles na juhu SR bol väčší a na severe menší (LAPIN, DAMBORSKÁ, MELO 2001, LAPIN in BALAJKA *et al.* 2005). Na základe doterajšieho trendu otepľovania i literárnych údajov možno v našich podmienkach očakávať zvýšenie priemernej mesačnej teploty ovzdušia do roku 2030 o +1,5 až +2,5 °C a zníženie letných zrážok o 5 až 10 %. Naopak, v zimnom období sa očakáva ich zvýšenie o 5 až 15 %. V prognózach sa hovorí aj o 5 % poklese relatívnej vlhkosti vzduchu a veľkom poklese počtu dní so snehovou pokrývkou (LAPIN 2006). Dôležitá bude aj distribúcia zrážok z hľadiska času – obdobia roka a z hľadiska priestorového.

NOVÁK & ŽALUDNÁ (1996) očakávajú hlavné zníženie obsahu vody v poľnohospodárskej pôde len v prvej časti roka (január – apríl) a najväčšie zníženie sa predpokladá pre ľahké, piesočnaté pôdy. ŠPÁNIK, REPA & ŠIŠKA (2002), IGAZ, ŠIŠKA & ŠPÁNIK (2004) na základe dlhších časových radov už skôr zaznamenali pokles zásoby pôdnej vody. Z toho môžeme predpokladať, že výsledkom bude častejšie znižovanie zásoby zimnej vlhky. Z doterajšej skúsenosti vieme, že jarné prísušky (napr. 2007 a 2009) sa veľmi negatívne prejavili na vzraсте a nakoniec i celkovej produkcii obilnín a lúčnej vegetácie.

Na všetky scenáre sa treba pozerať tak, že modelujú možné eventuality zmien klímy následkom zvyšujúcej sa koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Ich odporcovia tvrdia, že tieto prognózy sú veľmi neisté.

ŠKVARENINA *et al.* (2006) zhodnotili okrem iného potencionálne dopady klimatickej zmeny na vodnú bilanciu 4. – 8. lvs. Zistili, že polohy 4. – 5. lvs sa stanú viac aridnými a že vodná bilancia 6. – 9. lvs nebude signifikantne zhoršená. Autori ale upozorňujú, že sa zintenzívni pôsobenie celého radu negatívnych faktorov, medzi ktoré patrí častejší výskyt smrští a škodlivého žiarenia, gradácia hubových škodcov a významnejšie dopady kyslých imisí, hoci v zníženej miere.

Takisto TUŽINSKÝ (2004) na základe dlhodobého monitoringu vlhkosti pôdy konštatuje, že v oblasti dynamiky vlhkosti pôdy a zásoby využiteľnej vody došlo za posledných 35 rokov k výrazným zmenám.

Doterajší dlhodobý chod meteorologických prvkov vo vzťahu k vegetácii svedčí o tom, že lesné ekosystémy sa viac-menej úspešne vyrovnávajú so zmenami, ktoré priniesla tzv. industrializačná éra (od roku 1850). Túto etapu klimatickej zmeny (asi jednostupňové zvýšenie teploty) však sprevádzali viaceré kalamitné dopady a zhoršenie zdravotného stavu niektorých lesných drevín, či porastov. Ďalšie očakávané zmeny – zvýšenie teploty a deficitu pôdnej vlhky, by spôsobili značné zmeny v stanovištných podmienkach pre dreviny tvoriace základ lesných porastov v nižších vegetačných stupňoch. V našich podmienkach ide najmä o reakciu duba a buka.

Dubové spoločenstvá predstavujú významnú súčasť slovenských lesov 1. až 3. lvs. Buk je základnou drevinou 3. až 6. lvs, ale vyskytuje sa aj v 2. lvs. Obe dreviny majú pomerne širokú ekologickú amplitúdu. Duby sú zastúpené viacerými druhmi a mnohými krížencami. Preto sa predpokladá, že duby majú genetickú rezervu pre adaptáciu a prežitie v meniacich sa klimatických podmienkach. Oblasti presychaných stanovišť sa budú zväčšovať, pričom každý významný nedostatok vlhky bude zhoršovať zdravotný stav, produkciu i celkovú vitalitu na nich rastúcich spoločenstiev drevín.

V poslednom desaťročí bolo zaznamenaných viacero extrémne suchých rokov. Napriek tomu je v správe z monitoringu lesov Slovenska za rok 2008 uvedené, že v posledných jedenástich rokoch došlo k zlepšeniu zdravotného stavu drevín zisťovaného na základe defoliácie a stupňa poškodenia. Celkovo stabilizovaný zdravotný stav kolíše najmä pri listnatých drevinách, kde dochádza k jeho väčším výkyvom v jednotlivých rokoch z dôvodu vplyvu predovšetkým klimatických faktorov (PAVLENDÁ *et al.* 2009).

Antropogénnymi aktivitami zmenený chemizmus atmosféry, a tým aj jej vlastností, na niektorých lokalitách natoľko zmenili stanovištné podmienky lesných ekosystémov, že sa ich dreviny miestami dostávajú do krajne nepriaznivých podmienok. Očakávané zmeny klímy bude v prípade ich naplnenia potrebné zohľadniť najmä v záujme trvale udržateľného rozvoja. Vzhľadom na možnosti pozitívneho využitia funkcií lesov v krajine, je potrebné pestovať ekologicky stabilné lesy s druhovou štruktúrou zodpovedajúcou súčasným, ale aj meniacim sa stanovištným podmienkam. Treba poznať aj zmeny obsahu vlhky v pôdach jednotlivých vegetačných stupňov, aby mohli byť stanovené potencionálne využiteľné optimálne druhové štruktúry lesných porastov, vzhľadom na rozdielnú náročnosť drevín na obsah prístupnej pôdnej vody počas vegetačného obdobia. Zohľadnené musia byť pritom aj údaje o znižujúcom sa množstve vlhky v extrémne suchých rokoch, ale aj o celkovo klesajúcom trende

množstva prístupnej vlhky v pôde. Preto už teraz treba primeranými hospodársko-pestovnými zásahmi a opatreniami využívať hydrické funkcie lesa, udržiavať a využívať disponibilný obsah vlhky v lesných pôdach a čo najdlhšie zadržať odtok zrážkovej vody z lesných porastov.

5. Záver

V príspevku sme analyzovali dynamiku i trend vlhkostného režimu lesných pôd v hĺbke 10, 30 a 50 cm v rokoch 2004 až 2009. Štatisticky sa preukázali veľmi významné rozdiely v obsahu pôdnej vody medzi jarnými a letnými mesiacmi v rámci jedného spoločenstva i medzi vegetačnými stupňami. Pomerne malé rozdiely v obsahu vlhky v pôde boli zistené koncom leta až začiatkom jesene medzi 3. a 4. lvs.

Najnižšie hodnoty vlhkosti pôdy boli zistené v 2. lvs (slt *FQ*) už začiatkom augusta a počas septembra, kde klesá pôdna vlhkosť až pod 10 %, kedy dreviny už majú nedostatok prístupnej vody. V uvedených mesiacoch klesá množstvo pôdnej vlhky aj v 3. lvs (slt *Fp inf.*) a 4. lvs (slt *Ft*), avšak jej hodnota ostáva tesne pod 20 %. V extrémne suchých rokoch klesá k hodnote 15 %, čo odpovedá len zníženej dostupnosti prístupnej vody pre dreviny. Výsledky z plochy 5. lvs (slt *FAc inf.*) dokazujú, že aj tu počas leta dochádza k rovnakému poklesu vlhkosti pôdy, tak že sa tiež zhoršuje jej vodná bilancia, ale obsah vlhkosti 25 až 35 % považujeme za dostatočný až veľmi dobrý.

Trendové čiary vlhkosti pôdy vo vegetačnom období za sledované obdobie 6 rokov poukazujú na všeobecný pokles obsahu pôdnej vody na celom tranzekte v pôdnom profile 50 cm. Významnosť trendu sa štatisticky potvrdila s 87 až 99 % spoľahlivosťou v hĺbke 30 a 50 cm. Aj trendové priamky minimálnych hodnôt vlhkosti pôdy poukazujú na významnosť poklesu minimálnych hodnôt množstva vlhky v pôde, najmä v hĺbke 30 cm. Tento pokles je štatisticky významný vo všetkých vegetačných stupňoch s 97 až 99 % istotou. V 2. lvs je štatisticky významný aj v hĺbke 10 cm.

Testy nepreukázali štatistickú významnosť zistených vzostupov ani poklesov vlhkosti pôd v zimnom období.

Trendová analýza vlhkostného režimu pôd 2. až 5. lvs v Kremnických vrchoch v rokoch 2004–2009 poukázala na nebezpečenstvo stupňujúceho sa sucha koncom leta a na jeseň nielen v nížinách a pahorkatinách, ale pri zachovaní klesajúcich trendov vlhkosti pôdy aj v bučinách 3. a 4. lvs, kde by sa mohlo výrazne prejaviť za 10 a 12 rokov.

Poďakovanie

Autori ďakujú Jánovi Šulkovi, Miroslavovi Lipnickému a Jánovi Mihálovi† za technickú a logistickú pomoc pri odbere pôdnych vzoriek.

Literatúra

1. BALAJKA J., LAPIN M., MINĐÁŠ J., ŠTASTNÝ P., THALMEINEROVÁ D., 2005: Štvrtá národná správa o zmene klímy a Správa o dosiahnutom pokroku pri plnení Kjótskeho protokolu. Bratislava: MŽP SR, s. 17–19; 85–89. – 2. HANČINSKÝ L., 1972: Lesné typy Slovenska. Bratislava: Príroda, 307 s. – 3. IGAZ D., ŠIŠKA B., ŠPÁNIK F., 2004: Zmena zásoby pôdnej vody v agroklimatických podmienkach Nitry v rokoch 1983–2002. [Change of soil water storage in agroclimatic conditions of Nitra during years 1983–2002].

In M. KLIMENT, K. PARILÁKOVÁ, Z. MUCHOVÁ, D. IGAZ (eds.): Veda mladých 2004 [elektronický zdroj] : Elektronický konferenčný zborník vedeckých príspevkov, Topoľčianky 7. – 8. októbra 2004. – 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, s. 68–73. ISBN 80-8069-419-2. – 4. IŠTOŇA J., 2009: Presychanie pôd 2. až 5. vegetačného stupňa v Kremnických vrchoch v rokoch 2004–2007. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **55**(1): 53–64. – 5. IŠTOŇA J., ČABOUN V., 2006: Hodnotenie dynamiky vlhkosti v lesných pôdach SR 1. –3. lesného vegetačného stupňa v rokoch 2004 a 2005. In Bioklimatológia a voda v krajine, medzinárodná vedecká konferencia. Bioklimatológia a voda v krajine, medzinárodná vedecká konferencia – Strečno. Zborník referátov na CD nosiči, Bratislava, 8 s., ISBN 80-89186-12-2. – 6. IŠTOŇA J., ČABOUN V., 2007: Odras zmeny klímy na presychaní pôd v 2. až 5. vegetačnom stupni (v rokoch 2004 a 2006). In CD zborník referátov: Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, September 17–20. 2007, ISBN 978-80-228-17-60-8. – 7. KOLEKTÍV, 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. Societas pedologica slovacica, Bratislava: VÚPaOP, 76 s. – 8. LAPIN M., DAMBORSKÁ I., MELO M., 2001: Scenáre časových radov mesačných klimatických údajov pre Slovensko v období 2001–2090. In Zborník z medzinárodnej konferencie Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov, Račková dolina 10. – 12. 9. 2001, Nitra: SPU Nitra, 9 s., CD, ISBN 80-7137-910-7. – 9. LAPIN M., 2006: New challenges, new demans and new methods in climate change scenarious design. In PRIWITZER T. (ed.): Climate Change – Forest Ecosystems & Landscape. Proceedings from the international scientific conferece and JRC workshop, Zvolen-Sielnica 19–22 October 2005. Zvolen: LVÚ Zvolen, p. 7–11. – 10. MINĐÁŠ J., ŠKVARENINA J., 1996: Analýza zmien klimatických podmienok lesných spoločenstiev podľa scenárov všeobecných cirkulačných modelov (Global Circulation Models-GCMs). Vedecké práce Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene, zväzok 41, s. 7–12. – 11. MINĐÁŠ J., ŠKVARENINA J., 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. Zvolen: EFRA Zvolen : LVÚ Zvolen, 128 s. – 12. NOVÁK V., ŽALUDNÁ I., 1996: Očakávané zmeny evapotranspirácie a produkcia biomasy nížinných oblastí Slovenska v podmienkach globálnych zmien klímy. In ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed.): XII. Česko-Slovenská bioklimatologická konferencia, Velké Bílovice, 1996. – 13. PAJTÍK J., IŠTOŇA J., 2003: Dynamika hrúbkového rastu duba cerového (*Quercus cerris* L.) na sprašovej hline v závislosti od klimatických faktorov. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **49**(1): 39–48. – 14. PAVLENDÁ P., PAJTÍK J., ĎURKOVIČOVÁ J., IŠTOŇA J., KRUPOVÁ D., LEONTOVÝČ R., PAVLENDOVÁ H., PRIWITZER T., STANČÍKOVÁ A., TÓTHOVÁ S., VODÁLOVÁ A., 2009: Monitoring lesov Slovenska, Forest Focus, ČSM Lesy, Futmon 2008. Správa za Forest Focus a ČSM Lesy za rok 2008. 1. vyd. Zvolen: NLC-LVÚ Zvolen, 113 s. ISBN 978-80-8093-091-2. – 15. ŠKVARENINA J., KUNCA V., KRIŽOVÁ E., TOMLAIN J., 2006: Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation zones and changed critical loads in forest ecosystems in Slovakia. *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, **52**(1–2): 49–59. – 16. ŠPANÍK F., REPA Š., ŠIŠKA B., 2002: Agroklimatické a fenologické pomery Nitry (1991–2000). Nitra: vyd. VES SPU Nitra, 39 s., ISBN 80-7137-987-5. – 17. TUŽINSKÝ L., 2004: Vodný režim lesných pôd. Zvolen: TU Zvolen, 101 s. – 18. ZLATNÍK A., 1959: Přehled slovenských lešů podle skupin lesních typů. Spisy Lab. biogeocenologie a typologie lesa, Brno: LF-VŠZ Brno, č. 3, 178 s. – 19. ZLATNÍK A., 1976: Přehled skupin lesních typů geobiocenů původne lesních a křovinných v ČSSR. Zprávy geografického ústavu ČSAV, 13, Brno, 16 s.

Summary

The aim of the paper is analysis of the dynamics and trends of changes in soil moisture under oak stand (the 2nd altitudinal vegetation zone – avz) and under beech stand (from the 3rd to the 5th avz) under the conditions of Kremnické vrchy (Kremnicke Mts.) for the years 2004–2009 and evaluation of significance of these changes.

Values of soil moisture found on permanent research plots in the transect Hronská Dúbrava – Mláčik at the altitude 350–850 m were used for the analysis. Plots that were chosen in the groups of forest types (slt) *FQ* (2nd avz), *Fp inf.* (the 3rd avz), *Ft* (the 4th avz) and *FAC inf.* (5th avz) in accordance with the work by ZLATNÍK (1959) represented altitudinal vegetation zones.

We determined soil moisture by gravimetric method. We took samples mostly in four-week intervals, usually at the end of drought episodes. We took samples of fine earth to aluminium weighing bottle from the profiles of boring hole, from five 10 cm layers down to the depth 50 cm. Trend lines were tested for the depth 10, 30 and 50 cm. Results have reliability 95% and accuracy $\pm 10\%$.

Trend analysis was used for partial evaluation of soil moisture content in the period Apr-Sep and Oct-March (for summer and winter half years) of the studied years and for the evaluation of the drop of minimal values.

We found basic statistical characteristics of trends of soil moisture in the soils of the 2nd up to 5th avz.

Results show different moisture content in the soils of the 2nd up to 5th avz, and different soil moisture contents in the beginning and end of growing season. Differences found in the years 2004–2009 were almost equal (17% – 18%). Statistically significant differences were found in the soil moisture contents between spring and summer months within one community and between altitudinal vegetation zones, with exception for summer and autumn in the 3rd and 4th avz.

The lowest values of soil moisture were found in the 2nd avz (slt *FQ*) already in the beginning of August and during September (below 10% when tree species have not sufficient available water). In the given months the amount of soil moisture decreases also in the 3rd avz (slt *Fp inf.*) and in the 4th avz (slt *Ft*), but still its value is closely below 20%. In extremely dry years the value of moisture content drops to 15% what corresponds only to lowered availability of water for tree species. The results from the plot in the 5th avz (slt *FAC inf.*) prove that also in summer the same drop may occur, what means that water balance also deteriorates, but the moisture content 25%–35% we consider sufficient or even very good.

Trend lines of soil moisture during growing season for the period of 6 years confirm in whole transect a general drop of water content in soil profile of 50 cm. Significance of the trend was confirmed statistically with reliability 87% – 99% in the depth 30 cm and 50 cm.

Based on trend analyses of minimal values of soil moisture in the depth 10 cm and 30 cm we may state that while desiccation of soil in the depth 30 cm is caused mostly by ecophysiological effects of tree species (sucking capability of the roots of tree species to secure increased transpiration of tree species), desiccation of surface layers of soil (it means also the soil in the depth 10 cm), is mostly physical process of evaporation of water from soil directly proportional to the air temperature and indirectly proportional to air humidity.

Tested winter trends of the changes in the moisture of studied soils were not significant.

Trend analysis of moisture region of the soils in the 2nd avz up to the 5th avz in Kremnicke Mts. in the years 2004–2009 showed a danger of growing drought at the end of summer and beginning of autumn not only in lowlands and highlands (oak forests) but with not changing trend of soil moisture decrease also in beech forests in the 3rd and 4th avz, where drought could exhibit markedly about 10 and 12 years.

Translated by Z. AL-ATTASOVÁ