

## FENOLOGICKÉ FÁZY A TRANSPIRÁCIA BUKA LESNÉHO V HORSKOM ZMIEŠANOM LESE

Katarína Střelcová  
Tibor Priwitzer  
Jozef Mind'áš

### SUMMARY

The presented results of 3-year phenological observations of beech (*Fagus sylvatica*) in site Poľana – Hukavský grúň, Central Slovakia situated at the altitude of 850 m showed that vegetation period begins at the second half of April to beginning of May. The period of beech foliage flushing lasts from the end of April to the second half of May. On the mentioned locality beech is fully in foliage since the half of May. The decisive meteorological characteristic influencing start of beech's buds flushing can be considered the average daily temperature in the interval 0 - 5 °C ( $TS_{0\approx}$  °C). Further phenophases occur after higher average daily air temperature above 5 °C. Foliage flushing corresponds also with occurrence of examined physiological process of beech transpiration. Measurable amounts of transpired water were recorded from the beginning of May after a start of phenophase 3 – burst bud within an occurrence of average daily temperature about 7 – 8 °C. Spring occurrence of transpiration is connected with intensity of beech cambial activity which begins every year on bud and branch apices. It is activated by auxins produced by physiologically active shoots after bursting of leaves transpiration and continues downwards the stem basis after foliage flushing. Daily totals of transpiration in spring period correlates tightly ( $R^2 = 0.9036$ ) with air temperature in spring season. Transpiration flow rapidly increased and in June it reached maximum due to an increase of air temperature in May and based on development of leaves area. High values of transpiration flow lasted till the beginning of September with exception to days with rain which negatively influences transpiration. In September and at the beginning of October the values were gradually decreasing together with air temperature decrease. In the second decade of October they practically reached zero which corresponds with beginning of autumn phenophases – phases of yellowing and leaf-falling.

From the observations resulted that vegetation period on the investigated locality lasts approximately 180 days for beech. Beech is physiologically active during this period. Temperature is considered the most important factor for scheduling (timing) of beginning of physiological processes and growth. Biological growing and dormancy cycle are synchronised with yearly temperature cycle, intensity of radiation and rainfall which influence growth and production of this economically the most important broadleaved tree species in Slovakia.

### ÚVOD

Nástup fenofázy pučania asimilačných orgánov listnatých drevín je ovplyvnený najmä teplotou ovzdušia a pôdy počas jarných mesiacov. Vplyv môže mať aj fotoperiód, množstvo zrážok a stav výživy dreviny (KRAMER 1996). Stav olistenia následne determinuje proces vyparovania vody v systéme pôda – rastlina – atmosféra transpiráciou cez asimilačné orgány. Množstvo vyparenej vody z drevín je okrem stavu olistenia priamo ovplyvnené zásobou vody v pôde a drevine a faktormi stavu atmosférického prostredia najmä intenzitou slnečného žiarenia, teplotou a vlhkosťou okolitého ovzdušia. Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) patrí medzi dreviny zvlášť citlivé na obsah vody v pôde.

Intenzívnou transpiráciou navyše dochádza k vyčerpaniu zásob pôdnej vody v okolí koreňových systémov buka (ČERMÁK *et al.* 1993, PICHLER *et al.* 2004, SCHUME *et al.* 2004). Dĺžka vegetačného obdobia drevín varíruje v závislosti od ich proveniencie a keďže je silne ovplyvnená obsahom pôdnej vody môžu tak extrémny v zrážkovom režime silne redukovať vitalitu buka (NIELSEN a JORGENSEN 2003). Drevina maximálne transpiruje počas fenofázy fyziologicky dospelého listu. S nástupom tejto fenofázy súvisí i maximálny fotosyntetický a transpiračný výkon pri dostatku pôdnej vody. Toto potvrdzujú aj HICKS a CHABOT (1985), ktorí uvádzajú, že čistá ročná produkcia opadavých drevín závisí od trvania teplej sezóny, počas

ktorej sú stromy plne olistené. Dĺžka trvania fázy fyziologicky dospelého listu je preto dôležitá pre množstvo transpirovanej vody a celkovú produkciu drevin.

V predloženej práci sú zhodnotené 3-ročné (1995-1997) fenologické pozorovania buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na lokalite Poľana – Hukavský grúň a posúdený vplyv nástupu fenofáz vegetatívnych orgánov a meteorologických charakteristík na množstvo vody transpirovanej vzorníkmi buka.

## MATERIÁL A METODIKA

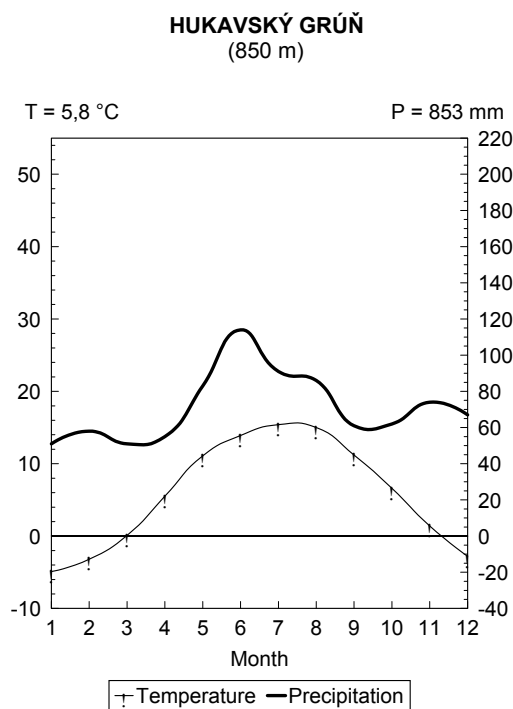
### Popis výskumnej plochy

Fenologické pozorovania a sledovanie intenzity transpiračného prúdu sme vykonávali na trvalej monitorovacej ploche II úrovne (TMP) – Poľana. Plocha patrí Lesníckemu vý-

skumnému ústavu vo Zvolene. Plocha je tiež súčasťou Výskumno demonštrakčného objektu (VDO) - Poľana – Hukavský grúň, ktorý sa nachádza v oblasti Vysokej Poľany, juhovýchodne od vrchu Poľana. Podľa geologického členenia patrí táto plocha do Veľkodetvianskej formácie tvorenej andezitovými lávovými prúdmi a pyroklastikami, na ktorých sa vytvorila kambizem andozemná a typická (BELÁČEK 2005). Podrobná charakteristika výskumnej plochy je uvedená v tabuľke 1, klimadiagram na obrázku 1. Výskumná plocha bola vyčlenená v zmiešanom poraste, ktorý má prirodzený pôvod a vyznačuje sa značnou druhovou, vekovou aj výškovou diferencovanosťou. V poraste doteraz neboli vykonávané žiadne pestovné zásahy, preto má charakter prírode blízkeho lesa.

Tabuľka 1: Charakteristika VDO Poľana - Hukavský grúň

Miesto	Poľana - Hukavský grúň (porast 123b)
Zemepisná dĺžka	19° 29'
Zemepisná šírka	48° 39'
Nadmorská výška	850 – 860 m n. m.
Expozícia	Severo-východná
Lesná správa	Poľana
Lesný závod	Kriváň
Sklon	5 – 35 %
Reliéf terénu	Mierny svah
Geologický podklad	Vulkanity
Pôdne pomery	Kambizem
Priemerná ročná teplota	5,8 °C
Priemerný ročný zrážkový úhrn	853 mm
Klimatická oblasť	Mierne chladná
Lesný vegetačný stupeň	5
Skupiny lesných typov	Abieto-Fagetum
Priemerný vek porastov	90-120 rokov
Zastúpenie drevín	Bk-70,0%, Sm-19,6%, Jvh-4,9%, Js-2,0%, Os-0,3%
Zápoj	90 %



**Obrázok 1:** Klimadiagram lokality Poľana – Hukavský grúň, T – priemerná ročná teplota (dlhodobý priemer), P – priemerný ročný úhrn zrážok (dlhodobý priemer)

### Fenologické pozorovania

Fenologické pozorovania poskytujú cenné informácie z hľadiska jarného nástupu a jesenného ukončenia fyziologických procesov. Jednotlivé fenofázy buka sme hodnotili podľa fenologickej stupnice, ktorú uvádza ZLATNÍK (1978) a podľa stupnice spracovanej Slovenským hydrometeorologickým ústavom (1984). Pomenovanie jednotlivých fenofáz vegetatívnych orgánov uvádzame v tabuľke 2.

Za počiatočný deň fenologických pozorovaní sme vo všetkých rokoch vybrali 31. marec, pričom sme pozorovania vykonávali buď v pravidelných týždňových intervaloch pri jarných fenofázach, alebo v 10-14 dňových

intervaloch pri jesenných fenofázach. Pri fenofázach 2 – 4 bol pozorovací interval skrátený (2 krát týždenne), a to z dôvodu rýchleho rozvoja asimilačného aparátu drevín. Za nástup fenofázy bol považovaný deň, kedy viac ako 50% pozorovaných jedincov dosiahlo danú fenofázu. Dĺžka trvania fenofázy bola stanovená počtom dní medzi nástupom dvoch po sebe nasledujúcich fenofáz. Pozorovania sme robili pomocou ďalekohľadu z meracej veže, ktorá je súčasťou výskumnej plochy a umožňuje sledovanie vo vertikálnom profile korún. V jednotlivých rokoch sme na základe metodiky hodnotili 10 úrovňových a 10 podúrovňových jedincov buka.

**Tabuľka 2:** Fenologické fázy vegetatívnych orgánov listnatých drevín

Jarné fenofázy	Jesenné fenofázy
0. púčik v zimnom stave	6. žltnúci list
1. rastúci púčik	7. začiatok opadu listov
2. púčik na konci zelený	8. úplný opad listov
3. púčik rozpuknutý	
4. rastúci a vyvíjajúci sa list	
5. zelený (fyziologicky dospelý list)	

### Meranie intenzity transpiračného prúdu

Transpiračný prúd jednotlivých vzorníkov buka sme merali metódou tepelnej bilancie (THB) podľa Čermáka a Kučeru (ČERMÁK *et al.* 1973, KUČERA *et al.* 1977) s 10 minútovým intervalom ukladania údajov. THB metóda spočíva na princípe kvantifikácie množstva tepla unášaného prúdom vody cez vopred definovaný priestor vodivého xylému

z celkového množstva tepla dodaného do tohto priestoru. Metóda je absolútna, stanovuje intenzitu transpiračného prúdu v jednotkách hmotnosti (resp. objemu) vody za určitý čas. Meranie prebiehalo celé vegetačné obdobie v roku 1996 na troch modelových vzorníkoch buka, ktorých biometrické veličiny sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3: Biometrická charakteristika modelových vzorníkov

Strom	Evid. číslo v poraste	Sociologické postavenie stromu	Výška [m]	Hrúbka d <sub>1,3</sub> [cm]	Korunová projekcia [m <sup>2</sup> ]
buk 1	301	podúrovňové	32	25,5	19
buk 2	306	úrovňové	37	44,1	78
buk 3	228	úrovňové	37	49,8	69

### Meranie prvkov mikroklímy

Merania prvkov mikroklímy prebiehali na výskumnej ploche na meteorologickej veži vysokej 46,5 m v celom vertikálnom profile lesného porastu. Záznam hodnôt bol kontinuálny s automatizovaným režimom ukladania údajov spriemerovaných za 10 minút na meraciu ústredňu DELTA-T. V kmeňovom, korunovom i nadkorunovom priestore lesného porastu boli merané nasledovné veličiny: teplota vzduchu –  $T_v$  (meracie hladiny 0,3 m, 7 m, 29,5 m, 34 m, 46,5 m nad povrchom pôdy), relatívna vlhkosť vzduchu –  $RV$  (meracie hladiny 0,3 m, 7 m, 29,5 m, 34,5 m, 46,5 m nad povrchom pôdy), teplota pôdy –  $T_p$  (hlbky 0 – rozhranie opadanka-pôda, 5 a 10 cm), globálna radiácia nad porastom –  $GR$  (hladina 37 m), zrážky nad porastom –  $Z$  (hladina 37 m), smer vetra nad porastom –  $SV$  (hladina 46,5 m), rýchlosť vetra nad porastom –  $V$  (hladiny 46,5 m, 38,8 m a 37 m). Podľa našich doterajších výsledkov i podľa výsledkov publikovaných inými autormi majú k transpirácii drevín najtesnejší vzťah prvky mikroklímy merané na povrchu korún, čo je v našom prípade pre teplotu a vlhkosť vzduchu úroveň 34,5 m nad povrchom pôdy. Pri analýzach vzťahu transpirácie a nástupu fenofáz k teplote a vlhkosti vzduchu sme preto použili merania z tejto úrovne.

Pre zhodnotenie vplyvu teploty vzduchu na priebeh jarných fenofáz sme vyhodnotili tep-

lotné sumy z priemerných denných teplôt vzduchu vyšších ako 0°C (TS0), 5°C (TS5), 8°C (TS8) a 10°C (TS10) na základe merania teploty vzduchu v priestore nad korunami stromov. Osobitne bolo vyhodnotené obdobie pre nástupom 1. fenofázy a obdobie od nástupu 1. až po ukončenie 5. fenofázy.

### VÝSLEDKY A DISKUSIA

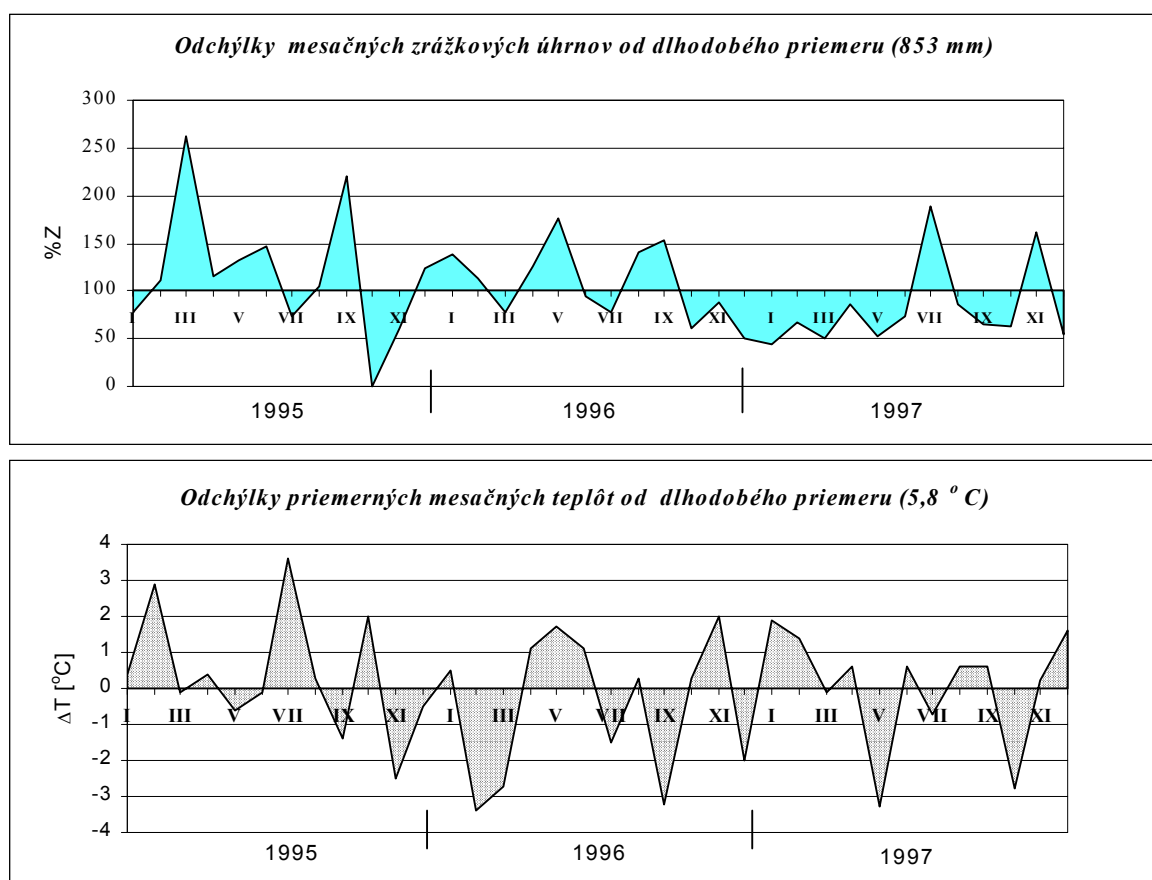
#### Bioklimatické charakteristiky v období experimentu

**Rok 1995** bol na lokalite Pořana – Hukavský grúň teplotne i zrážkovo normálny s priemernou ročnou teplotou 6,2 °C s ročným úhrnom zrážok 1000 mm. Najchladnejším mesiacom v roku bol január (–4,6 °C), najteplejším júl (19,0 °C). Teplota pôdy v mesiacoch január a február klesla mierne pod 0°C (minimum –0,5 °C) vo vrchných vrstvách a k premrznutiu pôdy nedošlo. Maximálna výška snehovej pokrývky bola 15 cm v druhej dekáde januára. Snehová pokrývka trvala do tretej marcovej dekády. Z fyziologického hľadiska bol mimoriadne nepriaznivý mesiac júl (obrázok 2) s vysokou priemernou mesačnou teplotou vzduchu ( $\Delta T = +3,6$  °C) a nízkym úhrnom zrážok (66 %N). Mimoriadne suchý bol október (0,1 %N) a suchý november (44 %N). Nedostatok zrážok v októbri bol umocnený

vysokou priemernou mesačnou teplotou ( $\Delta T = +2,0$  °C).

**Rok 1996** s priemernou ročnou teplotou 5,3 °C a ročným úhrnom zrážok 921 mm bol teplotne i zrážkovo normálny. Najchladnejším mesiacom v roku bol február (-6,6 °C), najteplejším jún (15,0 °C). Teplota pôdy klesla začiatkom februára pod 0 °C. V poslednej dekáde februára a v marci bola pôda premrznutá do hĺbky 2 cm. Snehová pokrývka dosiahla maximálnu výšku koncom februára

(70 cm) a udržala sa až do tretej dekády apríla i napriek extrémne teplému počasiu koncom prvej dekády apríla. Z fyziologického hľadiska z pohľadu mesačných charakteristík (obrázok 2) bol rok 1996 priaznivý. V máji bola vysoká priemerná mesačná teplota vzduchu ( $\Delta T = +1,7$  °C) kompenzovaná dostatočným množstvom zrážok (177 %N). Teplý a vlhký máj sa prejavil aj na skorom nástupe fenofázy „fyziologicky dospelý list“ (tabuľka 3 a 4).



**Obrázok 2:** Odchýlky mesačných zrážkových úhrnov a priemerných mesačných teplôt od dlhodobého priemeru v rokoch 1995, 1996 a 1997 pre VDO Poľana – Hukavský grúň

**Rok 1997** môžeme charakterizovať ako teplotne normálny (5,9 °C) a suchý (742 mm). Najchladnejším mesiacom bol január (-3,0 °C), najteplejším august (15,6 °C). V poslednej januárovej dekáde klesla teplota pôdy pod 0 °C, v priebehu februára ďalej klesala a koncom februára premrzla pôda do hĺbky asi 4 cm. Snehová pokrývka bola najvyššia v januári (30 cm) a udržala sa do konca marca. Veľmi studený máj ( $\Delta T = -3,3$  °C) po teplej

aprílovej dekáde mal za následok mierne oneskorenie nástupu jarných fenofáz (tabuľka 3 a 4), s čím súvisí i neskorší nástup fyziologických procesov - fotosyntézy a transpirácie, ktoré sú podmienené vývinom asimilačného aparátu.

#### **Vplyv teplotných súm na fenofázy buka**

Priebeh jarných fenofáz je určený charakterom ukončenia zimy a nástupom teplých jar-

ných periód. Počasie v predjarí a a v jarnom období môže mať premenlivý charakter so striedaním teplých a chladných periód. Ako uvádzajú PRIWITZER a MINDÁŠ (1998) za rozhodujúcu meteorologickú charakteristiku ovplyvňujúcu začiatok rastu púčikov buka možno považovať priemerné denné teploty vzduchu v intervale 0-5°C (TS≈100°C). Časový priebeh jednotlivých fenofáz buka na lokalite Pořana - Hukavský grůň v rokoch 1995 - 1997 uvádzame v tabuľke 4. Zistené hodnoty teplotných súm do nástupu fenofázy 1 naznačujú, že najvýznamnejšia je teplotná suma TS0, nakoľko táto vykazuje najmenšiu variabilitu v jednotlivých rokoch. Vzostup priemerných denných teplôt nad 0 °C a dosiahnutie teplotnej sumy TS0≈100 °C sú potrebné pre „naštartovanie“ procesu prebudenia a rastu púčikov buka. Nízka hodnota sumy TS8 a TS10 v roku 1997 naznačuje, že pre nástup fenofázy 1 postačujú priemerné denné teploty v intervale 0-5 °C. Ďalšie fenofázy sa vyvíjajú po nástupe vyšších priemerných denných teplôt vzduchu (nad 5 °C). V roku 1996 mal vývoj jarných fenofáz veľmi rýchly priebeh. Sedem dní od ukončenia trvania snehovej pokrývky už nastupovala fenofáza 1, pričom v priebehu nasledujúcich 16 dní prebehli

všetky fázy rozvoja listov (1-5), na rozdiel od ostatných rokov, kedy toho obdobie trvalo 26-29 dní. Rýchly vývoj asimilačných orgánov v roku 1996 mal za následok aj vysokú intenzitu transpirácie počas prvej májovej dekády, ako aj celkové množstvo transpirovanej vody v mesiaci máj (obrázok 3 a 4). Takýto vývoj bol spôsobený dôsledkom dostatku tepla už v období nástupu fenofázy 1 (najvyššia hodnota TS10). Na druhej strane neprazdnivé vlhkosťné pomery môžu negatívne ovplyvniť vývoj fenofáz (NIELSEN a JORGENSEN 2003). Takýto prípad nastal v roku 1993, kedy bol už začiatkom vegetačného obdobia zaznamenaný mierny deficit obsahu vody v pôde (PRIWITZER a MINDÁŠ 1998).

Nástup jesenných fenofáz, najmä žltnutia, je sprevádzaný úbytkom chlorofylu v listoch a s fyziologickými zmenami tesne pred opadom asimilačných orgánov (KMEŤ a DITMAROVÁ 2000). Viacerí autori spájajú žltnutie listov s predchádzajúcim výskytom chladnejšieho a dostatočne vlhkého obdobia s výskytom zrážok (HASPELOVÁ -HORVATOVICHOVÁ 1981). Toto potvrdzujú aj naše výsledky, pretože v období 2–3 týždňov pred nástupom fenofázy žltnutia sa v rokoch 1995 a 1997 vyskytli výdatnejšie zrážky.

**Tabuľka 4:** Teplotné sumy dní s priemernou dennou teplotou vyššou ako 0, 5, 8, 10 °C v jednotlivých rokoch do začatia fenofázy 1 (0-1) a v priebehu fenofáz 1-5

Fenofáza 0-1	1995	1996	1997
TS0	129,6	143,8	99,7
TS5	108,1	141,5	74,4
TS8	96,2	134,7	18,3
TS10	77,9	106,6	0
Fenofáza 1-5			
TS0	212,6	206,0	312,4
TS5	199,2	206,0	303,4
TS8	125,9	206,0	245,5
TS10	43,9	168,8	218,8

Zhodnotenie vývoja jednotlivých fenofáz buka v rokoch 1995-1997 uvádzame v tabuľke 5. Vegetačné obdobie - rast a pučanie vegetatívnych púčikov buka - začalo v poslednej aprílovej a prvej májovej dekáde. Rozdiely medzi jednotlivými rokmi sú v rozpätí od 5 do 7 dní. Fáza olisťovania buka (fenofázy 3 a 4) trvala od 9 do 20 dní. Koruny dospelých bukov sa olisťovali smerom od spodných častí k vrcholu koruny, čo je v zhode aj s výsledkami výskumu iných autorov

(MC GEE 1986, CÍČÁK 1992, CÍČÁK a ŠTEFANČÍK 1993, ŠTEFANČÍK 1995).

Fenofáza fyziologicky dospelého listu (fáza 5) nastáva na skúmanej lokalite v druhej polovici mája. S nástupom tejto fenofázy súvisí i maximálny fotosyntetický a transpiračný výkon. V dôsledku vysokých májových teplôt v roku 1996 (obrázok 2) listy buka dosiahli fyziologickú dospelosť skôr než v iných rokoch. Dĺžka trvania fázy plného olistenia sa u buka pohybovala v rozpätí od 131 do 134 dní.

Dĺžka trvania tejto fázy je dôležitá pre množstvo transpirovanej vody a celkovú produkciu dreviny. Toto potvrdzujú aj HICKS a CHABOT (1985), ktorí uvádzajú, že čistá ročná produkcia opadavých drevín závisí od trvania teplej sezóny, počas ktorej sú stromy plne olistené. Dôkazom toho je aj práca MASAROVICHOVEJ (1989), v ktorej uvádza, že príjem vody štvorročných sadeníc duba letného sa objavil v

apríli pri raste prvej rastovej fázy výhonkov. Vyšší príjem vody pozorovala koncom mája pri dospievaní výhonkov prvej rastovej fázy a v júni, keď dosiahli listy tejto fázy fyziologickú dospelosť. Výrazne vyšší príjem vody v júli bol sprevádzaný predĺžovaním výhonkov druhej rastovej fázy. Maximálny príjem vody bol dosiahnutý pri dospievaní listov druhej rastovej fázy.

**Tabuľka 5:** Dátum nástupu a počet dní prechodu z jednej fenofázy do druhej, resp. suma dní od začiatku (31.marec) pozorovania vegetatívnych orgánov buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na lokalite Poľana – Hukavský grúň v rokoch 1995, 1996, 1997

Rok		Fenofáza							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1995	nástup	25.4.	28.4.	2.5.	9.5.	22.5.	19.9.	3.10.	2.11.
	trvanie	25/25	3/28	4/32	7/39	13/52	134/186	15/201	30/231
1996	nástup	30.4.	-	7.5.	9.5.	16.5.	25.9.	3.10.	22.10.
	trvanie	30/30	-	7/37	2/39	7/45	132/177	8/185	19/204
1997	nástup	30.4.	6.5.	8.5.	13.5.	29.5.	7.10.	21.10.	*
	trvanie	30/30	6/36	2/38	5/43	16/59	131/190	14/204	

(-) fenofáza 2 nezaznamenaná v roku 1996

(\*) fenofáza 7- opad listov do 31. 12. 97 neukončená, cca 50% suchých listov zostalo na stromoch

Ukončenie vegetačného obdobia opadavých drevín nastáva nástupom jesenných fenofáz žltnutia a opadu listov (fenofázy 6, 7 a 8). V sledovaných rokoch nastala fenofáza žltnutia listov buka koncom septembra a začiatkom októbra (tabuľka 5). Najskorší nástup tejto fenofázy nastal v roku 1995. Žltnutie trvalo v jednotlivých rokoch od 8 do 15 dní. CHALUPA (1969) uvádza, že fáza sfarbovania listov brezy, duba a buka trvá väčšinou 4–9 dní.

V období od začiatku do konca októbra nastúpili na sledovanej lokalite konečné fázy fenologického kalendára – opad až úplný opad listov buka. Z hľadiska úplného opadu listov buka bol zaujímavý rok 1997, kedy cca 50 % asimilačného aparátu neopadlo ani do konca decembra. Priebeh jesenných fenofáz významne ovplyvňujú vonkajšie podmienky prostredia, ako je vlhkosť pôdy a poveternostné vplyvy, najmä výkyvy teploty a pokles minimálnych teplôt pod bod mrazu (CHALUPA 1969, CICÁK 1992, CICÁK a ŠTEFANČÍK 1993). LARCHER (1988) pripisuje najväčší význam teplote, za ďalšie dôležité faktory považuje zásobu živín a vody a predovšetkým vplyv diurnálnej fotoperiody na dobu opadu listov a prechodu do zimného kľudu. Nástup jesenných fenofáz najmä fázy žltnutia sa spája

s predchádzajúcim výskytom chladného a dostatočne vlhkého obdobia.

#### **Fenofázy buka a intenzita transpirácie**

V roku 1996 od začiatku vegetačného obdobia stúpali priemerné denné teploty vzduchu pozvoľna s krátkymi prerušeniami vplyvom studených frontov (5.5. a 6.5., 20.5. a 28.5.) pričom kulminovali v 1.júnovej dekáde, kedy bolo veľmi teplé počasie. S nástupom západného zonálneho prúdenia vzduchu v druhej polovici júna s prechodom studených frontov 19.6. a tlakovej níže 22.6. klesali teploty pod úroveň hodnôt zo začiatku júna. Premennivý ráz počasia prevládal aj v priebehu júla a augusta, kedy sa striedali obdobia s prechodmi frontov i tlakovými výšami. Na prelome augusta a septembra došlo vplyvom studenej severozápadnej advekcie k výraznému poklesu teplôt vzduchu s trvalejším charakterom. Teplota pôdy v hĺbke 10 cm mala podstatne vyrovnanější chod ako teplota vzduchu a v letnom období kolísala spravidla v rozpätí 8 až 10 °C.

Transpiračný prúd sme v roku 1996 merali počas celého vegetačného obdobia, od 1.5. do 20.10. 1996, na modelových jedincoch buka (č. 301 s podúrovňovým postavením, č. 306 a

č. 228 s úrovnovým postavením v poraste). Vzhľadom na kompletnosť údajov v tomto roku, vyhodnotili sme intenzitu transpirácie v súvislosti s nástupom jednotlivých fenofáz (obrázok 3 a 4). Merateľné hodnoty transpirácie sme zaznamenali od 1.5.1996 pri prechode fenofázy 1 (púčik na konci zelený) do fenofázy 3 (púčik rozpuknutý). Počas tohto vegetačného obdobia sme mali možnosť sledovať vplyv jarného rozvoja asimilačných orgánov buka na intenzitu transpiračného prúdu. Ako je uvedené v tabuľke 5, jarný vývin listov buka prebiehal od 30.4. do 16.5. V rámci tohto obdobia sa prejavili medzi jednotlivými stromami odlišnosti. Napr. pri buku č. 306 sme zaznamenali o niekoľko dní skorší nástup jarných fenofáz, zatiaľ čo asimilačné orgány buka č. 228 začali rašiť neskôr, čo sa prejavilo aj v oneskorenom jarnom nástupe transpirácie (obrázok 4). Denné sumy transpirovanej vody buka č. 306 dosahovali v prvej polovici mája vyššie hodnoty než sumy pre buk č. 228. Uvedené vyššie hodnoty sa prejavili i v celkovom transpiračnom úhrne v mesiaci máji (tabuľka 7). Príčinou zistenej skutočnosti je niekoľkodňový náskok vývinu listov buka č. 306, oproti buku č. 228. Od druhej polovice mája, kedy boli už listy na obidvoch stromoch plne vyvinuté, intenzívnejšie transpiroval buk č. 228 a to pravdepodobne v dôsledku vyššej ožiarenosti listového aparátu, nakoľko listy buka č. 306 boli zatienené korunou nadúrovňovej jedle nachádzajúcej sa pri buku z južnej strany. Najnižšie denné úhrny v celom sledovanom období sme zaznamenali na podúrovňovom buku (č.301), ktorý vykazuje najmenšie rozmery koruny a jeho asimilačné orgány sú vystavené priamemu slnečnému žiareniu len výnimočne. Nástup extrémne teplého počasia v 1. júnovej dekáde zapríčinil náhle zvýšenie denných úhrnov transpirovanej vody u všetkých troch sledovaných jedincov. Denné úhrny transpirovanej vody, ako aj meteorologické charakteristiky počas extrémne teplých

dní uvádzame v tabuľke 6. V dôsledku extrémne teplého počasia začiatkom júna boli počas uvedeného obdobia dosiahnuté najvyššie denné úhrny z celého vegetačného obdobia. Júl bol teplotne podpriemerný s častým striedaním studených frontov. Premennivý ráz počasia prevládal i v auguste, čo sa negatívne odrazilo aj na intenzite transpirácie. Najvyššie denné úhrny sme namerali počas teplých slnečných dní 8.,9. a 10. júna s vysokou priemernou dennou teplotou vzduchu, pri malých rýchlostiach vetra. V dňoch 11. a 12.6. sa zmenilo počasie pod vplyvom západného zonálneho prúdenia, ktoré prinieslo mierne ochladenie a zrážky, čo sa prejavilo aj poklesom hodnôt sýtostného doplnku ovzdušia ako aj denných úhrnov transpirovanej vody všetkými sledovanými jedincami (tabuľka 6).

Obrázok 3 svedčí o tesnej korelácii ( $R^2=0,8643$ ) medzi priemernou dennou teplotou a množstvom vody transpirovanej za deň (priemerná denná suma pre vzorníky) počas obdobia nástupu jarých fenofáz a obdobia jesenných fenofáz.. Merateľné množstvo transpirácie sme zaznamenali pri nástupe priemerných denných teplôt okolo 7 – 8 °C, ktoré sú potrebné pre začatie fenofázy 3 – púčik rozpuknutý.

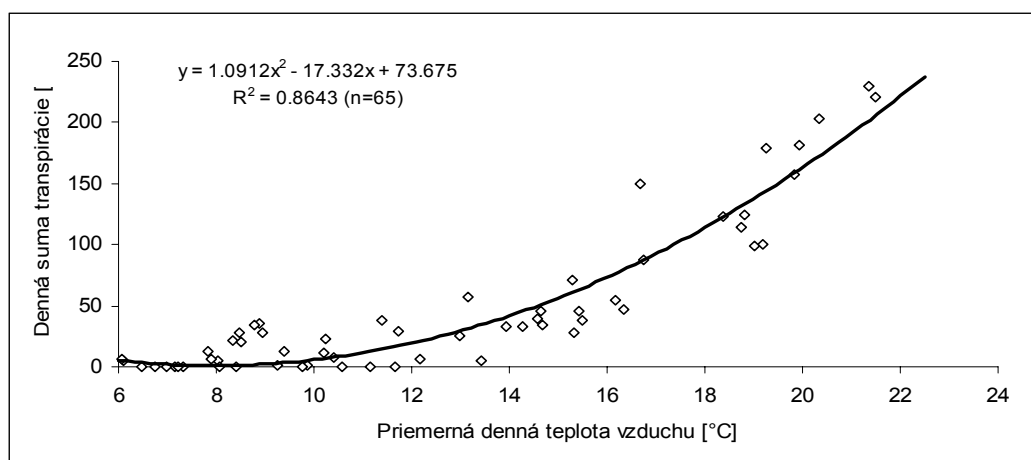
V jesennom období denné úhrny transpirácie pozvoľna klesali (obrázok 4 a 5) v súvislosti s klesajúcou teplotou vzduchu, následkom žltnutia a postupného opadu listov až na minimálne merateľné hodnoty, ktoré sme zaznamenali 30.9. 1996. Transpirácia klesala k nule až do 16.10.1996 (obrázok 4), čo korešponduje s dátumami nástupu fenofáz 6, 7 a 8 v tabuľke 5. Priemerná denná transpirácia podúrovňového buka za celé sledované obdobie (184 dní) bola 18 litrov a úrovnového buka č.306 – 64 litrov a buka č. 228 – 79 litrov.

Priemerné denné priebehy transpiračného prúdu počas mesiacov máj až október v roku 1996 sú zobrazené na obrázku 5.

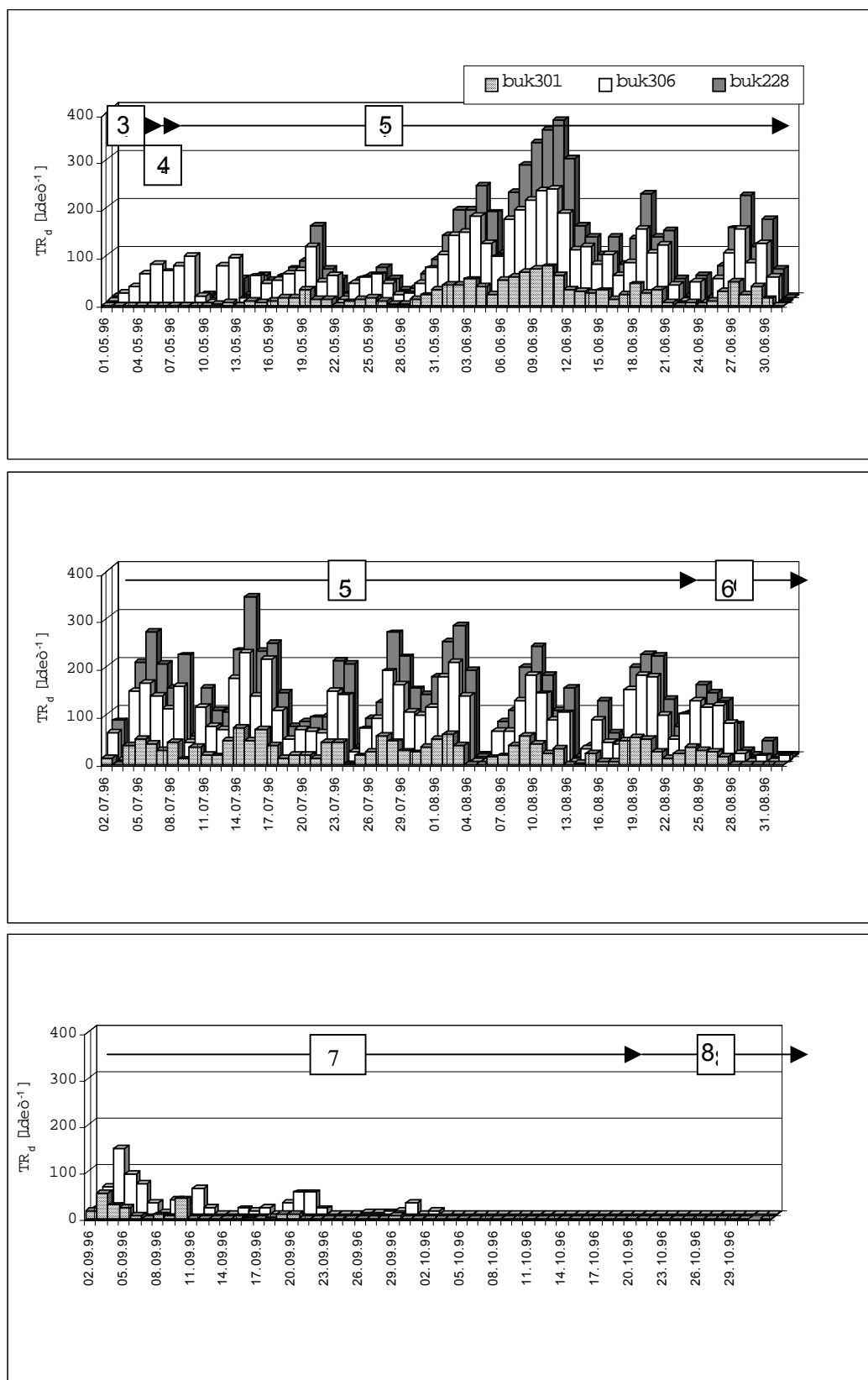


**Tabuľka 6:** Denné úhrny transpirovanej vody a priemerné denné hodnoty teploty vzduchu ( $T_v$ ), globálneho žiarenia ( $GR$ ), sýtostného doplnku ( $dE$ ), rýchlosti vetra ( $V$ ), potenciálnej evapotranspirácie ( $PET$ ) a zrážok ( $Z$ ) v období fenofáz 3-5 v roku 1996 v lokalite Poľana – Hukavský grúň

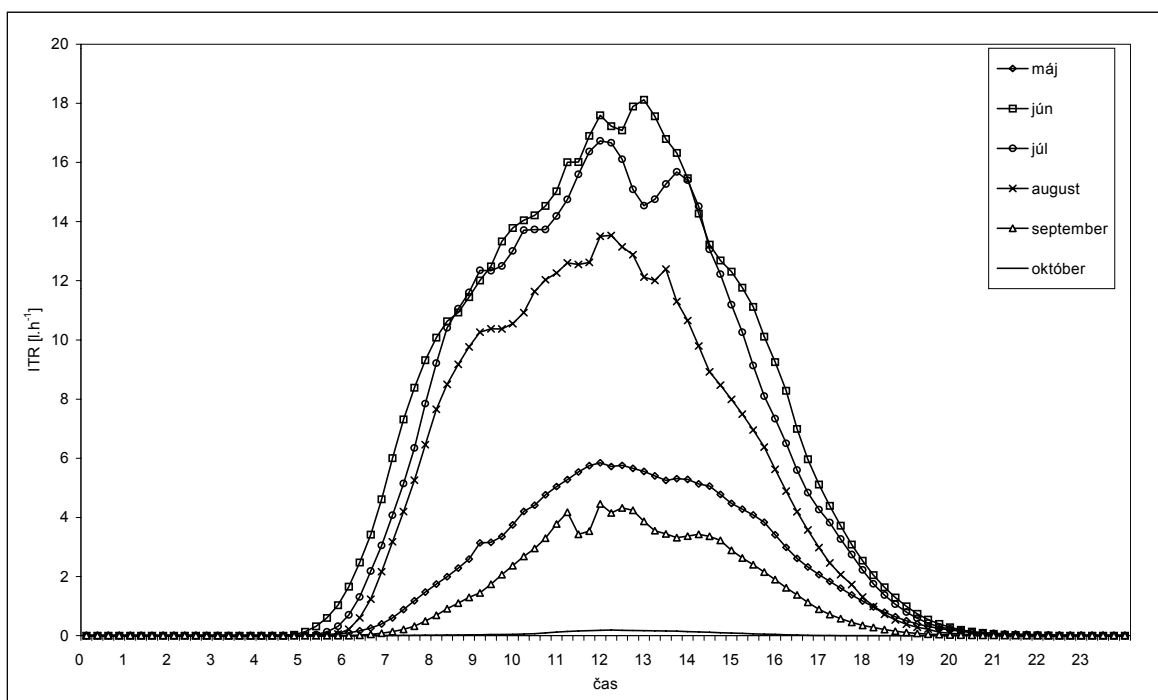
Dátum 1996	Fenofáza úroveň-podúroveň	Denný úhrn transpirácie			$T_v$ [°C]	GR [kW.m <sup>-2</sup> ]	V [m.s <sup>-1</sup> ]	dE [hPa]	PET [mm]	Z [mm]
		buk301 [litre]	buk306 [litre]	buk228 [litre]						
1/5	3-4	0.0	0.8	2.0	9.9	2.2	1.1	0.7	2.6	14.7
2/5	3-4	0.0	18.7	4.0	10.4	2.8	1.2	1.6	2.7	0.2
3/5	3-4	0.2	31.7	7.8	9.4	4.2	1.0	1.9	2.5	2.9
4/5	3-4	0.2	58.8	5.9	8.3	5.6	1.5	3.5	2.3	0.0
5/5	3-4	0.1	78.1	5.2	9.0	4.8	1.2	4.5	2.4	0.0
6/5	3-4	0.2	64.0	3.9	10.2	3.6	1.2	4.1	2.6	0.0
7/5	3-4	0.1	74.5	2.4	13.0	5.4	0.8	3.0	3.0	0.0
8/5	4-5	0.4	96.3	2.3	13.9	5.9	1.2	3.7	3.1	10.8
9/5	4-5	0.1	12.2	4.9	12.2	3.5	1.2	1.2	2.9	7.9
10/5	5	0.0	0.0	0.2	11.2	1.8	0.9	0.6	2.8	6.6
11/5	5	4.5	75.2	19.0	14.3	6.6	1.5	3.7	3.2	0.0
12/5	5	9.2	93.6	38.4	16.3	5.0	1.3	6.0	3.4	0.2
13/5	5	1.2	7.0	7.4	13.4	1.8	1.2	1.8	3.1	26.0
14/5	5	12.3	53.9	46.2	15.5	6.1	2.7	4.8	3.3	2.8
15/5	5	8.7	39.8	36.1	15.3	4.3	2.3	4.3	3.3	15.4
16/5	5	11.2	45.6	44.9	14.7	4.3	1.1	3.9	3.2	3.0
17/5	5	17.0	60.0	61.4	15.4	4.8	0.8	3.3	3.3	0.0
18/5	5	19.2	66.9	76.0	16.2	5.4	0.9	3.8	3.4	0.0
19/5	5	36.0	115.8	149.9	19.2	7.9	1.0	8.3	3.7	0.0
20/5	5	13.5	43.4	59.6	14.6	3.6	1.0	3.8	3.2	17.2
21/5	5	14.7	54.2	39.5	8.9	7.5	3.8	4.0	2.4	17.0
22/5	5	1.6	6.0	7.5	8.0	3.3	1.3	1.9	2.3	14.6
23/5	5	9.6	39.5	35.2	8.5	5.8	1.6	3.4	2.4	0.0
24/5	5	14.3	50.9	47.2	11.4	7.1	0.9	4.5	2.8	0.4
25/5	5	18.7	57.5	61.8	14.6	5.7	1.0	5.1	3.2	0.0
26/5	5	11.7	37.9	38.4	11.7	4.7	1.5	3.7	2.9	0.2
27/5	5	4.1	14.4	15.7	10.2	3.7	0.8	1.6	2.6	39.8
28/5	5	4.3	17.0	18.2	7.8	4.3	4.7	1.8	2.2	16.6
29/5	5	14.6	38.7	50.8	8.8	5.2	3.2	3.4	2.4	0.0
30/5	5	23.1	70.6	79.5	13.1	8.1	1.3	4.0	3.0	0.0
31/5	5	33.7	99.1	130.1	16.7	7.0	1.1	4.6	3.4	0.0
1/6	5	44.7	140.4	184.3	18.4	8.1	1.1	5.9	3.6	0.0
2/6	5	44.9	145.2	183.0	18.8	7.4	1.1	5.9	3.6	0.0
3/6	5	56.5	181.1	234.6	19.8	8.2	1.1	7.3	3.7	0.0
4/6	5	40.5	122.9	179.1	18.7	6.6	1.6	5.9	3.6	20.4
5/6	5	25.6	94.1	93.0	15.3	5.4	1.3	3.4	3.3	0.0
6/6	5	56.0	174.3	220.3	16.7	8.9	1.4	7.6	3.4	0.0
7/6	5	62.8	193.2	279.3	19.2	8.8	1.2	8.4	3.7	0.0
8/6	5	71.6	212.5	324.5	20.3	8.8	1.2	10.3	3.8	0.0
9/6	5	77.0	233.2	351.5	21.5	8.7	1.2	10.3	3.8	0.0
10/6	5	83.2	236.2	370.7	21.4	7.6	1.5	9.7	3.8	0.0
11/6	5	65.0	187.2	291.6	19.9	6.4	1.5	7.2	3.7	8.4
12/6	5	36.1	109.9	151.8	19.0	5.4	1.2	6.1	3.6	9.8



**Obrázok 3:** Vzťah medzi priemernými dennými teplotami a dennou sumou transpirácie v období jarných fenofáz 3-5 (1.5.- 12.5. 1996) a v čase jesenných fenofáz 6-8 (25.9.-16.10. 1996) v lokalite Poľana – Hukavský grúň ( $\alpha < 0,001$ )



**Obrázok 4:** Denné úhrny transpirovanej vody ( $TR_d$ ) vzorníkov buka s rôznym postavením v poraste (č. 301 – podúrovňové, č. 306 a č. 228 úrovňové postavenie) v roku 1996 počas jednotlivých fenofáz (3-8)



**Obrázok 5:** Priemerné denné priebehy intenzity transpiračného prúdu úrovňového buka č. 306 pre jednotlivé mesiace vegetačného obdobia 1996

V máji sme zaznamenali nástup transpiračného prúdu v priemere o 6,00 h, priemerné denné májové maximum bolo okolo 12-tej hodiny (5,7 l.h<sup>-1</sup>), večer transpirácia klesala na hodnoty blízke nule po 21. hodine. Najvyššiu intenzitu transpiračného prúdu sme zaznamenali v júni, s ranným nástupom okolo 5-tej hodiny s poludňajším priemerným maximom 18 l.h<sup>-1</sup> a večerným poklesom na hodnoty blízke nule po 21,30 h. Z dôvodu chladnejšieho a daždivejšieho počasia bola v júli v priemernom dennom chode nižšia intenzita transpiračného prúdu než v júni. Časté zrážky a oblačnosť v tomto mesiaci zapríčinili aj neskorší ranný nástup transpirácie sledova-

ných bukov (v priemere okolo 5,20 h). Priemerné júlové maximum bolo 16,7 l.h<sup>-1</sup>. V auguste transpiračný prúd začal po 6-tej hodine ráno, poludňajšie maximum dosahoval okolo 13,5 l.h<sup>-1</sup> a večer klesal po 21. hodine k nule. V septembri bola intenzita transpiračného prúdu podstatne nižšia s ranným nástupom pred 7-mou hodinou, priemerným denným maximom 4,3 l.h<sup>-1</sup> a večerným poklesom okolo 19,30 h. V októbri bola intenzita transpirácie minimálna s ranným nástupom po 10-tej hodine, poludňajším maximom okolo 0,2 l.h<sup>-1</sup> a večerným poklesom pred 16-tou hodinou.

**Tabuľka 7:** Mesačné úhrny transpirovanej vody modelových bukov získané kontinuálnymi meraniami transpiračného prúdu v roku 1996

Strom	Transpirácia [litre]							rok
	apríl	máj	jún	júl	august	september	október	
buk 301	0	285	1099	1048	801	50	4	3287
buk 306	0	1522	3479	3272	2668	758	17	11716
buk 228	1	1101	4730	4424	3327	985	22	14589

Mesačné úhrny transpirovanej vody sme vyhodnotili pre podúrovňový buk č.301 a

úrovňový buk č.228 (tabuľka 7). Sumy transpirácie v jednotlivých mesiacoch potvr-

dzujú, že počas fenofázy 5 (zelený dospelý list) je najintenzívnejšia transpirácia (mesiace jún, júl a august), nakoľko index listovej plochy je počas tohto obdobia maximálny a súčasne na transpiráciu pôsobia aj vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia (vysoká teplota vzduchu, vysoký sýtosťný doplnok). Hodnota transpirácie podúrovňového buka predstavovala približne 20 - 30 % z transpirácie úrovňových bukov, čo vyplýva z nižšej úrovne ožiarenia koruny stromu nachádzajúcej sa v tieni úrovňových stromov.

Sezónna dynamika transpirácie drevín je vo veľkej miere ovplyvnená klimatickými charakteristikami lokality a konkrétnym priebehom počasia vo vegetačnom období. Na začiatku a na konci vegetačného obdobia má dominantný vplyv stav olistenia bukov. PENKA (1995), sledoval sezónnu dynamiku transpiračného prúdu duba letného. Tento sa začal prejavovať začiatkom mája, v období rašenia listov. S rozvojom listovej plochy transpiračný prúd prudko stúpá a už v júni dosahoval maximum. Vysoké hodnoty transpiračného prúdu pretrvávali prakticky až do konca septembra. Koncom septembra a v októbri hodnoty postupne klesali a začiatkom novembra sa prakticky blížili k nule. V našom prípade môžeme konštatovať o niekoľko dní neskorší jarný nástup z dôvodu neskoršieho rašenia buka na skúmanej lokalite, ako aj skorší jesenný pokles intenzity transpiračného prúdu, následkom odlišných klimatických podmienok (podstatne chladnejšie podnebie s kratším vegetačným obdobím). Najvyššie denné transpiračné úhrny pre dreviny sú zaznamenávané počas bezoblačných dní v letných mesiacoch (ČERMÁK *et al.* 1993, CIENCIALA *et al.* 1994, MOLNÁR a MĚSZÁROŠ 1995). Pokiaľ ide o celkové denné a sezónne úhrny transpirácie lesných drevín a porastov, výsledky mnohých terénnych meraní počas posledných 20-tich rokov uskutočnených THB metódou ukazujú na značnú variabilitu v denných a sezónnych úhrnoch pre jednotlivé dreviny. Napr. transpirácia mohutných dospelých stromov sa pohybuje v rozsahu niekoľkých stoviek litrov za deň, výnimočne nad tisíc litrov (ČERMÁK 1995, STŘELCOVÁ a MINĎÁŠ 2002). Pre naše podmienky v stredohorskej oblasti Poľany je to hodnota do 400 litrov za deň pre úrovňové buky. Za celé vegetačné obdobie je to pri-

bližne 11 tisíc až 16 tisíc litrov transpirovanej vody dospelými úrovňovými bukmi.

## ZÁVER

Prezentované výsledky 3-ročných fenologických pozorovaní buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) na lokalite Poľana – Hukavský grúň na strednom Slovensku v nadmorskej výške 850 m ukázali, že vegetačné obdobie začína v druhej polovici apríla až začiatkom mája, obdobie olistovania buka trvá od konca apríla do druhej polovice mája. Od polovice mája je buk na skúmanej lokalite plne olistený. Za rozhodujúcu meteorologickú charakteristiku ovplyvňujúcu začiatok rastu púčkov buka možno považovať priemerné denné teploty v intervale 0-5 °C ( $TS0 \approx ^\circ C$ ). Ďalšie fenofázy sa objavujú po nástupe vyšších priemerných denných teplôt vzduchu nad 5 °C. S nástupom pučania listov korešponduje aj nástup skúmaného fyziologického procesu transpirácie dreviny buk. Merateľné množstvá transpirovanej vody sme zaznamenali od začiatku mája po nástupe fenofázy 3 – púčik rozpuknutý, pri nástupe priemerných denných teplôt okolo 7–8 °C. Jarný nástup transpirácie súvisí s intenzitou kambiálnej aktivity buka, ktorá každoročne začína na vrcholoch kmeňa a konároch, aktivovaná auxínmi produkovanými fyziologicky aktívnymi pupeňmi a až po vypučaní listov pokračuje smerom nadol ku báze kmeňa. Denné úhrny transpirácie v jarnom období tesne korelujú ( $R^2=0,9036$ ) s teplotou vzduchu v jarnom období. So zvyšovaním teploty vzduchu v máji a s rozvojom listovej plochy transpiračný prúd prudko stúpá a už v júni dosahoval maximum. Vysoké hodnoty transpiračného prúdu pretrvávali prakticky až do začiatku septembra a výnimkou dní so zrážkami, ktoré transpiráciu ovplyvňujú negatívne. V septembri a začiatkom októbra hodnoty postupne klesali s klesajúcou teplotou vzduchu a v druhej dekáde októbra sa prakticky blížili k nule, čo súvisí s nástupom jesenných fenofáz – fázy žltnutia a opadu listov.

Z pozorovaní vyplynulo, že vegetačné obdobie na skúmanej lokalite pre drevinu buk trvá približne 180 dní. Počas tohto obdobia je drevina buk fyziologicky aktívna. Za najvýznamnejší faktor pre načasovanie začiatku fyziologických procesov a rastu sa považuje teplota. Biologický cyklus rastu a dormancie

sú synchronizované s ročným cyklom teploty,  
intenzity žiarenia a zrážok, čím je ovplyvnený  
rast a produkcia tejto hospodársky

najvýznamnejšej listnatej dreviny na Sloven-  
sku.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- BELÁČEK, B., 2005: Geologický a morfológický vývoj stratovulkánu Poľana, Konferencia 15 rokov biosférickej rezervácie Poľana, TU vo Zvolene, Zvolen: 34-39.
- CICÁK, A., 1992: Vplyv zakmenenia materského porastu na fenológiu rašenia prirodzeného zmladenia buka. In: Ekologický a ekofyziologický výskum v lesných ekosystémoch. Zvolen LVÚ: 202-207.
- CICÁK, A., ŠTEFANČÍK, I., 1993: Phenology of bud breaking of beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to stocking of its tree component. Ekológia (Bratislava) 12: 441-448.
- CIENCIALA, E., LINDROTH, A., ČERMÁK, J., HÄLLGREN, J. E., KUČERA, J., 1994a: The Effects of Water Availability on Transpiration, Water Potential and Growth of *Picea abies* During Growing Season. Journal of Hydrology 155: 57-71.
- ČERMÁK, J., DEML, M., PENKA, M., 1973: A New Method of Sap Flow Rate Determination in Trees. Biologia Plantarum 15:171-178.
- ČERMÁK, J., MATYSSEK, R., KUČERA, J., 1993: Rapid Response of Large, Drought-Stressed Beech Trees to Irrigation. Tree Physiology 12: 281-290.
- ČERMÁK, J., 1995: Direct measurement of transpiration in forest stands and its dynamics under contrasting environmental conditions. In: Climate variability and climate change vulnerability and adaptation. September 11-15, 1995, Praha: 171186.
- HASPELOVÁ-HORVATOVIČOVÁ, A., 1995: Asimilačné farbivá v zdravej a chorej rastline. Bratislava, Veda, 308 s.
- CHALUPA, V., 1969: Počátek, trvání a ukončení vegetační činnosti u lesních dřevin. In: Práce VÚLHM 37: 41-68.
- KMEŤ, J., DITMAROVÁ, L., 2000: Sezónne zmeny fotosyntetickej aktivity buka (*Fagus sylvatica* L.) determinované fluorescenciou chlorofylu. Folia oecologica 27: 91-104.
- KRAMER, K., 1996: Phenology and growth of European trees in relation to climate change. Thesis Landbouw Universiteit Wageningen. ISBN 90-5485-464-2, 210 pp.
- KUČERA, J., ČERMÁK, J., PENKA, M., 1977: Improved Thermal Method of Continual Recording the Transpiration Flow Rate Dynamics. Biologia Plantarum 19:413-420.
- LARCHER, W., 1988: Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha, 361 s.
- MASAROVIČOVÁ, E., 1989: Water uptake, carbon dioxide assimilation and growth of the common oak saplings (*Quercus robur*, L.), Biológia 44: 827-836.
- MC GEE, C.E., 1986: Budbreak for twenty-three upland hardwoods compared under forest canopies and in recent clearcuts. Forest Science 32: 924-935
- MOLNÁR, L., MÉSZÁROS, I., 1995: Úloha transpirácie vo vodnej bilancii dunajských lužných lesov. Vodohospodársky časopis 43: 288-300.
- NIELSEN, CH. N., JORGENSEN, F. V., 2003: Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. Forest ecology and Management 174 (2003): 233-249.
- HICKS, D.J., CHABOT, B.F., 1985: Deciduous forest. In: Chabot, B.F., Mooney, H.A. (eds), Physiological ecology of north American plant communities, Chapman and Hall:257-277.
- PICHLER, V., GREGOR, J., TUŽINSKÝ, L., BUBLINEC, E., KONTRIŠ, J., SOROKOVÁ, M., 2004: Hydric differentiation of the edatop of trees and herb layers in beech ecosystems. Silva Balcanica 5 (2): 11-17.
- PRIWITZER, T., MINĎÁŠ, J., 1998: Výsledky fenologických pozorovaní lesných drevín v rokoch 1993 - 1997 na lokalite Poľana - Hukavský grúň. Vedecké práce LVÚ 42:17-32.
- SCHUME, H., JOST, G., HAGER, H., 2003: Soil water depletion and recharge patterns in a mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. Journal of Hydrology 289: 258-274.

- STŘELCOVÁ, K., MINDÁŠ, J., 2002: Transpirácia buka lesného vo vzťahu k meniacim sa podmienkam prostredia. Vedecké štúdie 11/2000/A. Technická univerzita v o Zvolene, ISBN 80-228-1099-1, 81 s.
- ŠTEFANČÍK, I., 1995: Fenológia v lesníctve. 1. Začiatok vegetačnej činnosti. Lesnícky časopis – Forestry Journal 41 (3): 193-198.
- ZLATNÍK, A., 1976: Lesnícká fytoecologie. Praha, SZN, 495 s.

#### **POĎAKOVANIE**

*Autori príspevku ďakujú za finančný príspevok grantovým agentúram Slovenskej republiky. Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantových úloh VEGA 1/2357/05, VEGA 1/4159/04, VEGA 1/2382/05 a APVT-27-023304.*

#### **KONTAKTNÉ ADRESY AUTOROV**

doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.  
Technická univerzita vo Zvolene  
Masarykova 24  
960 53 Zvolen  
SR  
e-mail: [strelcov@vsld.tuzvo.sk](mailto:strelcov@vsld.tuzvo.sk)

Ing. Tibor Priwitzer, PhD.  
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T.G. Masaryka 22  
960 92 Zvolen  
SR  
e-mail: [priwitzer@nlcsk.org](mailto:priwitzer@nlcsk.org)

doc. RNDr. Ing. Jozef Mindáš, PhD.  
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T.G. Masaryka 22  
960 92 Zvolen  
SR  
e-mail: [mindas@nlcsk.org](mailto:mindas@nlcsk.org)