



Produktivita a fungovanie bukového ekosystému: Ekologický experimentálny stacionár – Kremnické vrchy (Západné Karpaty)

Productivity and functioning of the beech ecosystem: Ecological Experimental Station – Kremnické vrchy Mts. (Western Carpathians)

Milan Barna

Ústav ekológie lesa SAV, L. Štúra 2, SK – 960 53 Zvolen, Slovenská republika

Abstract

At beginning of the 1980's, the National Science Foundation (USA) came up with the initiation of the program for Long-Term Ecological Research (LTER), which is a program based on long-term comprehensive study of the structure and processes of ecosystems. The Ecological Experimental Station (EES) in the Kremnické vrchy Mountains (Western Carpathians, Slovakia, 1986) was founded for similar purposes. The aim of the research at EES was to evaluate the productivity, carrying capacity and functioning of the beech ecosystem. In February 1989, five plots were established. Four plots were subjected to a regeneration cutting of different intensities (clear-cut, strip shelterwood cut: light, medium and heavy). The fifth plot was left without any management treatments as a control. The second cutting was performed in 2004 followed by the final cutting five years later. Currently, the research is carried out on the EES control plot in the stand comprising 115–120 years old beech trees. In the other stands the research is focused on the development of naturally regenerated beech ecosystems established after different cutting interventions. The future of the EES is in addressing some global issues, particularly the impact of climate change on primary production, as well as on its other consequences for the functioning of the affected ecosystems.

Key words: Long-term research; beech ecosystem; tree layer; Western Carpathians

Abstrakt

Národná nadácia pre rozvoj vedy (NSF USA) už začiatkom 80. rokov minulého storočia prišla s iniciatívou programu pre dlhodobý ekologický výskum (LTER). Ide o program založený na dlhodobom komplexnom štúdiu štruktúry a procesov ekosystémov na vybraných lokalitách. Pre podobné účely bol v roku 1986 založený Ekologický experimentálny stacionár (EES) v Kremnických vrchoch. Cieľom výskumu bolo vyhodnotiť produktivitu a procesy v bukovom ekosystéme a únosnosť antropických vplyvov. Na EES v roku 1989 boli uskutočnené ťažbovo-obnovné zásahy rôznej sily (holorub, clonný rub: mierny, stredný, intenzívny). Jeden porast zostal bez zásahu ako kontrola. Tak vzniklo päť porastov (výskumných plôch) s rozdielnym zakmenením. Pätnásť rokov po prvom ťažbovom zásahu vo februári 2004 sa vykonal ďalší clonný rub. Po ďalších 5 rokoch (február 2009) bol vykonaný dorub. V súčasnosti výskum na EES prebieha na kontrolnej ploche v poraste dospelých 115 – 120-ročných bukov a na ostatných porastoch výskum je zameraný na vývoj bukových ekosystémov z prirodzenej obnovy po ťažbových intervenciách rôznej sily. Budúcnosť EES Kremnické vrchy vidíme v pokračujúcom výskume riešenia ekologických globálnych problémov, najmä vplyvu klimatickej zmeny na primárnu produkciu, ako aj ďalšie dôsledky pre fungovanie dotknutých ekosystémov.

Kľúčové slova: dlhodobý výskum; bukový ekosystém; stromová synúzia; Západné Karpaty

1. Úvod

Začiatkom 80. rokov 20. storočia vyvstala potreba dôkladnejšie poznať dôsledky globálnych zmien na fungovanie ekosystémov a bolo zrejmé, že na tento účel nie sú vhodné krátkodobé projekty. Preto Americká Národná nadácia pre rozvoj vedy (NSF) pripravila program pre dlhodobý ekologický výskum (Long-Term Ecological Research – LTER) a v roku 1980 publikovala výzvu na výber lokalít, na ktorých by sa mal tento výskum realizovať. Program postupne rástol až na súčasných 26 lokalít, tvoriacich národnú LTER sieť USA (Halada et al. 2014). Podobné požiadavky na Slovensku vyústili do založenia Ekologického experimentálneho stacionára (EES) v Kremnických vrchoch v roku 1986. V roku 2008 sa EES Kremnické vrchy stal jednou zo siedmich lokalít zaradených do zoznamu lokalít s dlhodobým ekologickým

výskumom siete LTER Slovensko. Cieľom založenia EES bolo konkrétne vyhodnotenie produktivity a fungovania bukového ekosystému a únosnosti antropických vplyvov naň. Podmienkou pre dosiahnutie cieľa, vzhľadom na veľké množstvo faktorov pôsobiach v lesnom ekosystéme, bola tímová práca širokého kolektívu špecialistov (multidisciplinárny výskum) a komplexnosť riešenia. Dosiahnuť sa to malo vo vhodnom bukovom ekosystéme, do ktorého sa experimentálnymi zásahmi nasimulovali fázy podrastového hospodárskeho spôsobu a holorubu. Tak sa mali získať základné teoretické poznatky o lesnom ekosystéme, ktoré mali vyústiť do podkladov pre zásady hospodárenia, využiteľných aj v praxi (Voško et al. 1986).

Po ťažbe clonnými rubmi sa uvoľní koruna stromov, dôjde k jej presvetleniu, k lepšiemu využitiu svetelnej energie, následne k zvýšenému vytváraniu asimilátov a väčšiemu

uskladneniu zásobných látok v danom roku. To spôsobí nielen nárast plochy listového aparátu v budúcom roku, ale aj väčšie prírastky drevnej hmoty. Z produkčného pohľadu clonná obnova tak umožňuje zvýšený svetelný prírastok na najkvalitnejších stromoch, ktoré zostali po ťažbe v mater-skom poraste a ktorými sa do značnej miery minimalizujú produkčné straty (Holgén et al. 2003).

Druhá významná výhoda clonnej obnovy je v tom, že patrí k základným spôsobom prirodzenej obnovy lesných porastov. Je veľmi vhodná predovšetkým pre prirodzenú obnovu tienných drevín, najmä buka a jedle (Korpeľ et al. 1991). Následný porast vzniká v prirodzených ekologických podmienkach, je chránený pred mrazom, stratou vody pri vysokej transpirácii, suchom a hlavne na lepších stanovištiach pred burinou a biotickými škodcami (Vacek et al. 2015).

Vystupňovaním sily úvodného ťažbového zásahu je možné dospieť k celkovému zníženiu počtu fáz, a tým zásahov clonného rubu. Predkladaná práca je zameraná na stromovú synúziu v procese obnovy lesa aplikáciou rôznych ťažbových zásahov.

2. Charakteristika Ekologického experimentálneho stacionára

EES sa nachádza v Kremnických vrchoch, lokalita Suchá dolina (na 48° 38' SZŠ a na 19° 04' VZD) v hornej časti povodia Kováčovského potoka. Nadmorská výška EES je od 470 do 510 m, ZJZ expozícia, sklon svahu od 13° do 20°.

Pôdne pomery

Pôdotvorný substrát tvoria andezitové tufové aglomeráty, z ktorých sa vyvinula nasýtená varianta kambizeme andozemnej s vysokým obsahom skeletu pribúdajúcim smerom do hĺbky (20 až 60 %). Stavba pôdneho profilu má na všetkých čiastkových plochách EES podobný ráz. Ol – horizont (opadanka) má hrúbku 1 – 3 cm. Je tvorený opadom listnatých, menej ihličnatých drevín a bylín. Of – horizont (drvina) má hrúbku od 0,5 – 1 cm. Tvorí ho bukové listie, konáriky a opad bylín. Al – horizont je tvorený hnedočiernou, hlinitou až ílovito-hlinitou, 6 – 10 cm hrubou zeminou. Bv – horizont vytvára zemina tmavohnedej farby, so žltkastými a sivastými škvrnami od tufového skeletu, 50 – 70 cm hrubá, ílovitohlinitá až ílovitá s pieskom. B/C – horizont je 25 – 45 cm hrubý, s veľkým obsahom skeletu. C1 – horizont je z 90 % tvorený pevnou kostrou kavernózne zvetrávajúceho tufu v rôznom stupni rozkladu. Jemnoz, vyplňa len voľné priestory medzi tufovými kameňmi. Hrúbka horizontu je 20 – 40 cm. Cn – horizont je pokračovaním horizontu C1 a tvorí ho pevný nezvetraný tuf so zvlneným povrchom (Kukla 2002).

Jednou zo základných vlastností pôdy je jej zrnitosť, ktorá ovplyvňuje mnohé fyzikálne vlastnosti a je významná pre diagnostiku pôd. Zrnitostná analýza pôdy na EES bola zistená pomocou laserového analyzátora častíc – Fritch, z odberov v roku 2013. Výsledky poukazujú na to, že diferencované hospodárenie v lese z pohľadu niekoľkých desaťročí nemá vplyv na fyzikálne vlastnosti pôdy. Podiel ílu v pôdnych vzorkách z jednotlivých porastov bol 9 – 20 % (rástol s hĺbkou: 0–10 cm priemerne 12,6 %, v hĺbke 10–20 cm 12,8 %

a v hĺbke 20 – 30 cm 13,7 %), obsah prachovej frakcie 55 – 64 % a piesku 23 – 33 % – prachovito-hlinitá zemina.

Klimatické pomery

EES patrí do mierne teplého, mierne vlhkého, vrchovinového klimatického okrsku B_s. Priemerná ročná teplota vzduchu pre dlhodobý priemer (používaný IPCC) 1951–1980 na klimatologickej stanici SHMÚ Sliač (5,5 km východne od EES) je 7,9 °C a priemerný ročný úhrn zrážok 715 mm, pre porovnávací normál 1961–1990 (Svetová meteorologická organizácia – WMO) je priemerný ročný úhrn zrážok už 685 mm. Počas posledných 7 rokov 2008–2014 bola priemerná ročná teplota vzduchu na EES 8,5 – 10,0 °C, s teplotným rozmedzím od –20 do +40 °C (priemerné hodinové teplotné minimum –20,8 °C namerané 3. februára 2012 a maximum 40,5 °C namerané 8. augusta 2013 pomocou Minikinu TH s radiačným krytom, fa EMS Brno). Priemerný ročný úhrn zrážok za 13 rokov na EES bol 661 mm, v rozmedzí 508 – 1 036 mm (Dubová 2001), v roku 2014 ročný úhrn zrážok bol 800 mm.

Typologické pomery

V bylinnom podraсте pôvodne nudálneho charakteru majú dominantné zastúpenie bučínové druhy, najmä *Dentaria bulbifera* a *Carex pilosa*. V častiach so zníženým korunovým krytom, vysoké zastúpenie dosahujú druhy *Rubus hirtus* a *Rubus idaeus*. V zmysle Zlatníka patrí EES do 3. lvs, živného radu B, skupiny lesných typov *Fagetum pauper inferiora* – lesný typ 3312 (ostricová bučina nižší stupeň). Vyskytujú sa tu dva lesné spoločenstva typické pre submontánne bučiny Slovenska – *Carici pilosae-Fagetum* Oberd. 1957 a *Dentario bulbiferae-Fagetum* (Zlatník 1935) Hartmann et Jahn 1967 (Kukla et al. 1998).

Schéma Ekologického experimentálneho stacionára

V období zakladania EES (1986), bol lesný porast tvorený zmiešanou 85 ročnou kmeňovinou so zastúpením: buk obyčajný – 62 %, jedľa biela – 22 %, dub žltkastý – 7 %, hrab obyčajný – 6 %, lipa malolistá – 3 %, s nerovnomerným zakmenením 0,8 – 0,9. Do začiatku výskumu (1986) bol porast obhospodarovaný lesnou prevádzkou podľa platného lesného hospodárskeho plánu. Začiatkom roka 1989 boli uskutočnené ťažbovo-obnovné zásahy rôznej sily tak, aby tri plochy EES reprezentovali fázy clonného rubu a jedna, maloplošného holorubu. Pôvodné zakmenenie porastu (0,9) sa zmenilo na: 0,3 – po intenzívnom ťažbovom zásahu (porast I), 0,5 – stredný zásah (S), 0,7 – mierny zásah (M). Jeden porast sa vyrúbal naholo (H) a ďalší zostal bez zásahu (kontrola – K). Tak vzniklo päť porastov (výskumných plôch) s rozdielnym zakmenením. Zámerom bolo odstrániť stromy odumreté a odumierajúce, choré, krivo stojace a veľmi nekvalitné tak, aby sa zvýšila dominancia buka. Pätnásť rokov po prvom ťažbovom zásahu vo februári 2004 sa vykonal ďalší clonný rub, s tým že v poraste I bol urobený dorub, na S a M sa znížilo zakmenenie na 0,3, resp. 0,5. Po ďalších 5 rokoch (február 2009) bol vykonaný dorub už aj v porastoch S a M (Tabuľka 1). V súčasnosti výskum na EES prebieha na kontrolnej ploche v poraste dospelých 115 – 120-ročných bukov a na ostatných porastoch (M, S, I, H) výskum je zameraný

Tabuľka 1. Časový sled rubných zásahov a vývoj dendrometrických údajov materského porastu na jednotlivých plochach EES
Table 1. Chronology of interventions and dendrometric parameters of the parent stand at five EES plots.

Rok ¹⁾	Porast ²⁾	Ťažbový zásah ³⁾	N ⁴⁾ [N.ha ⁻¹]	h ⁵⁾ [m]	d _{1,3} ⁶⁾ [cm]	G ⁷⁾ [m ² .ha ⁻¹]	V ₇ ⁸⁾ [m ³ .ha ⁻¹]	Zakmenenie ⁹⁾
1989	K	kontrola (bez zásahu) ¹⁰⁾	700	23,6	24,1	40,9	571,2	0,9
	M	clonný rub (mierny) ¹¹⁾	397	25,4	29,4	28,8	398,9	0,7
	S	clonný rub (stredný) ¹²⁾	243	26,9	31,3	18,6	256,8	0,5
	I	clonný rub (intenzívny) ¹³⁾	160	27,7	32,0	13,5	193,7	0,3
	H	Holorub ¹⁴⁾	0	—	—	—	—	0,0
2004	K	kontrola (bez zásahu) ¹⁰⁾	627	26,3	27,9	44,5	630,8	1,0
	M	clonný rub (stredný) ¹²⁾	pred ¹⁶⁾	349	28,6	34,5	512,7	0,9
			po ¹⁷⁾	160	31,3	40,4	308,9	0,5
	S	clonný rub (stredný)	pred ¹⁶⁾	226	29,5	38,5	387,3	0,7
			po ¹⁷⁾	86	30,9	43,1	186,9	0,3
	I	dorub ¹⁵⁾	pred ¹⁶⁾	160	30,0	41,4	320,6	0,5
			po ¹⁷⁾	0	—	—	—	0,0
	H	—	0	—	—	—	—	0,0
2009	K	kontrola (bez zásahu) ¹⁰⁾	614	26,9	29,1	48,5	678,6	1,0
	M	dorub ¹⁵⁾	pred ¹⁶⁾	155	32,1	43,2	346,6	0,6
			po ¹⁷⁾	0	—	—	—	0,0
	S	dorub ¹⁵⁾	pred ¹⁶⁾	86	31,1	46,5	221,3	0,4
			po ¹⁷⁾	0	—	—	—	0,0
	I	—	0	—	—	—	—	0,0
	H	—	0	—	—	—	—	0,0

¹⁾Year, ²⁾Stand, ³⁾Treatment, ⁴⁾Number of trees, ⁵⁾Mean height, ⁶⁾Mean diameter, ⁷⁾Stand basal area, ⁸⁾Volume of timber to the top of 7 cm with bark, ⁹⁾Stocking, ¹⁰⁾Control plot (uncut), ¹¹⁾Shelterwood (light), ¹²⁾Shelterwood (moderate), ¹³⁾Shelterwood (heavy), ¹⁴⁾Clear cut, ¹⁵⁾Final cut, ¹⁶⁾State before cut, ¹⁷⁾State after cut

na vývoj bukových ekosystémov z prirodzenej obnovy, ktoré sú vo fáze mladiny – žrdkoviny.

Porasty mali rozmer 70 × 50 m, okrem H, ktorý mal 80 × 50 m a kontrolná plocha mala 50 × 30 m. Veľkosť všetkých výskumných porastov na EES, po doťažení materských stromov (december 2012) sa zjednotila na 0,35 ha (70 × 50 m). Plocha H z dôvodu okrajového poškodenia ťažbou na izolačných pásoch sa zmenšila a kontrolná plocha z dôvodu odrastania okolitých porastov sa čiastočne rozšírila do pôvodných izolačných pásov. Celý areál je oplotený (hrubá čiara, Obr. 1), čoho zámerom bolo hlavne zabránenie znehodno-

teniu výskumu poškodením lesnou zverou (pozri Ambrož et al. 2015).

3. Oblasť výskumu na EES

Aplikáciou prvých ťažbových postupov (1989) vzniklo päť porastov s výnimočne vhodnou bázou na sledovanie vývoja lesného ekosystému s prevahou buka. Táto vhodnosť zahŕňala oblasti klimatológie, pedológie, ale aj živých organizmov najmä bylinnú synúziu, konzumentov a dekompozítorov, a obnovu lesných porastov. Pre dospelé stromy výskum



Obr. 1. EES je tvorený z dvoch častí (1,0 ha a 4,0 ha) a piatich výskumných plôch, každý o výmere 0,35 ha (upravené podľa mapy Google)
Fig. 1. EES is composed of two parts (1.0 ha and 4.0 ha) and five research plots, each with an area of 0.35 hectares (adjusted Google Maps).

musel byť smerovaný na úrovni jedinca, keďže na úrovni porastov by mohlo dochádzať k pseudoreplikáciám. Hneď po ťažbe rubných porastov, s diferencovanou intenzitou, došlo k najmarkantnejším zmenám v oblasti abiotických faktorov. Tie mali základný vplyv na ďalší vývoj skúmaných lesných porastov, keďže určovali rastové podmienky.

Výstupy z dlhodobého ekosystémového výskumu môžu sa zaradiť do určitých oblastí, ktoré sa vzájomne prelínajú v širších či užších ekologických vzťahoch (Terek & Dobrovič 2015). Napríklad produkčno-ekologický výskum bol orientovaný na: materský porast, prirodzené zmladenie, bylinnú fytozložku ale aj na plodnice makromycetov v súvislosti s rôznymi rubnými postupmi. Orientačne uvádzame niektoré oblasti s vybranými výstupmi:

- kvalita ovzdušia (H^+ , O_3 , trendy a dynamika): Kellerová (2002), Kellerová & Janík (2014),
- dynamika inputu živín zrážkami: Bublinec & Dubová (1993),
- vnútorporastové klimatické zmeny: Střelec (1992), Janík (2005), Barna et al. (2011),
- pôdny chemizmus a voda (lyzimetre): Kukla (2002), Janík et al. (2014),
- materský porast (hrúbkový prírastok sezónny, medzi-ročný, výškový a iné produkčné ukazovatele): Barna (1999), Ježík et al. (2011), Barna et al. (2011),
- morfológia a fyziológia bukových listov: Ditmarová & Kmeť (2002), Cicák (2003), Barna (2004),
- bylinná synúzia (druhovú skladbu, dynamiku, biomasa, akumulácia energie, vplyv ekologických faktorov): Janík (2005), Kuklová et al. (2005), Jamnická et al. (2013), Schieber et al. (2015),
- mykologický a fytopatologický výskum: Mihál (2012),
- zdravotný stav a nekrotické ochorenie buka: Cicák & Mihál (2005), Mihál et al. (2014),
- fenológia drevín a bylín: Cicák & Štefančík (1993), Schieber (2014),
- bukový ekosystém, dynamika vývinu fytocenóz: Bublinec (1994), Kontriš et al. (1993), Jamnická et al. (2007),
- prirodzená obnova (druhovú zloženie, rast, vývoj): Barna & Bošela (2015),
- bezstavovce: Mihál (1997), Stašiov & Svitok (2014).

4. Stromová synúzia

Stanovenie biomasy

Podľa Dykyjovej et al. (1989) primárna produkcia znamená výsledok syntetickej práce asimilujúcej rastliny alebo porastu a vyjadruje sa množstvom vytvorenej sušiny za určité časové obdobie, vo vzťahu k jednotke plochy porastu. Na stanovenie primárnej produkcie sa použila priama metóda (deštruktívna), založená na priamom odbere vzoriek. Biomasa (čerstvá hmotnosť) konkrétnych vzorníkov sa stanovila priamo v teréne, suchá hmotnosť laboratórne.

V rámci postupu stanovenia biomasy drevín sa použili tri etapy: i) výber vzorníkov, ii) analýza vzorníkov, iii) výpočet hmotnosti biomasy, resp. kategórií biomasy na celú výskumnú plochu, resp. jednotku plochy (1 ha).

i) Výber vzorníkov. Každému výberu vzorníkov predchádzala inventarizácia stromov, všetkých jedincov, ktoré

v čase merania dosahovali hrúbku $d_{1,3} \geq 8$ cm. Zisťovali sa základné taxačno-dendrometrické veličiny: počet stromov, výška stromu, výška nasadenia koruny, hrúbka kmeňa, stromová trieda (podľa Kraftovej klasifikácie). Vzorníky boli vybrané podľa strednej hrúbky reprezentujúcej skupiny nadúrovňových, úrovňových a podúrovňových stromov na každej ploche (I, S, M, K). Takým spôsobom bolo vybraných dvanásť vzorníkov.

ii) Analýza vzorníkov, sa robila v nasledujúcich pracovných krokoch: oddelenie biomasy koruny od biomasy kmeňa, rozpílenie kmeňa na 1 alebo 2 m sekcie (meranie ich hmotnosti za čerstva), rozdelenie koruny na vertikálne tretiny, rozdelenie častí koruny na biomasu konárov a konárikov s diferencovanou hrúbkou (0 – 1,5 cm, 1,6 – 3,0 cm, 3,1 – 5,0 cm, 5,1 – 7,0 cm, 7,1 – 10,0 cm, 10,1 – 15,0 cm, 15,1 – 20,0 cm, 20,1 – 25,0 cm, 25,1 cm a viac), oddelenie tohoročných výhonkov s listami, meranie hmotnosti a odber vzoriek zo všetkých kategórií, odber vzoriek (kotúčov) z kmeňa vo výške 1,3 m, zo stredu a z hornej tretiny kmeňa (drevo, kôra), podzemná biomasa – sa určila kombináciou vytrhnutím pňa s koreňmi a následným vyplavovaním pôdy z koreňového systému a archeologickou metódou, odber vzoriek z hrúbkových kategórií podzemnej biomasy (Barna & Kodrík 2002). Vzorníky sme spílili až po ukončení predĺžovacieho rastu výhonkov a fyziologickom dozretí listov. Ešte pred ťažbou vzorníka sa zistila veľkosť korunovej projekcie, kvalita koruny, zaznamenala sa už predtým zistená hrúbka ($d_{1,3}$) a stromová trieda. Bezprostredne po zoťatí stromu boli zistené hodnoty: dĺžky stromu a koruny, výšky nasadenia koruny, dĺžky kmeňa (po hrúbku 7 cm), hrúbky kmeňa v každej tretine, resp. v 2 m sekciách.

iii) Výpočet hmotnosti biomasy porastov. Zistená hmotnosť jednotlivých kategórií biomasy analyzovaných vzorníkov sa prepočítava dvomi spôsobmi: a) priamym násobením celkovým počtom stromov na 1 ha alebo počtom stromov na 1 ha nadúrovňových, úrovňových a vrástavých; b) pomocou rovníc regresných závislostí, kde nezávislé premenné veličiny sú hrúbka $d_{1,3}$, výška h, dĺžka koruny, kruhová plocha a i., a závislé premenné veličiny sú hmotnosti jednotlivých kategórií biomasy (Konôpka et al. 2015).

Pri všetkých kategóriách sa určila hmotnosť v čerstvom stave, a odobrali sa vzorky na určenie sušiny približne 0,2 kg. Vzorky sa v laboratóriu sušili až do konštantnej hmotnosti pri teplote 80 °C, aby nedošlo k stratám prchavých látok pri vyšších teplotách.

Clonný rub a porastové charakteristiky materského porastu

Predmetom výskumu boli všetky živé jedince stromov na výskumných plochách. Každoročne sa zisťoval počet stromov a ich hrúbka, výška a stromová trieda raz za 5 rokov. Porastové charakteristiky boli určené štandardnými metódami používanými pri výskume porastových a biometrických parametrov (Šebík & Polák, 1990). Všetky hodnoty porastových veličín sa menili so silou ťažbového zásahu (Tabuľka 1). Podľa kruhovej základne porastu bola sila ťažbových zásahov nasledujúca: v roku 1989 to bolo 22 % na ploche M, 44 % na S a 64 % na I (Štefančík 1994), v roku 2004 to bolo 42 % na ploche M a 53 % na S.

Výškové prírastky boli najväčšie na ploche M, a to vo všetkých stromových triedach. Na plochách S a I prírastok bol miernejší a významný iba v 1. stromovej triede. Stredná výška porastu so silou ťažbového zásahu rástla od 26 do 30 m, ale jej percentuálny prírastok klesal (od 13 do 8 %). Stredná hrúbka porastu so silou ťažbového zásahu tiež rástla (od 28 do 41 cm), ale rástol aj jej prírastok – od 9 do 29 %, tiež počet stromov, najmä v 1. a 2. stromových triedach a ich presuny vzrastali so silou ťažby. Sedem rokov po ťažbe (1996) vidieť výrazný presun jedincov do 1. a 2. str. triedy najmä na plochách I a S, kde došlo k najväčšiemu uvoľneniu rastovej plochy. V ďalšom období už k takému radikálnemu presunu nedošlo. To dokazuje vysokú plasticitu bukov a okamžitú reakciu na presvetlenie (podrobne Barna et al. 2007).

Ročné radiálne prírastky materského porastu

Dendrologická analýza hrúbkového prírastku buka bola vypracovaná na 12 vzorníkoch, vybraných na základe dendrometrických meraní 316 bukov nachádzajúcich sa na EES (pozri vyššie). Vzorníky po spilení (1996) boli zmerané a určil sa aj vek ($99 \pm 0,85$ rokov). Kmeň bol rozdelený na tri rovnaké tretiny, zo stredu hornej a strednej tretiny boli odobraté kotúčové výrezy. Z dolnej tretiny kmeňa bol odobratý kotúč z výšky 1,3 m. Takýmto spôsobom bolo získaných 36 kotúčov. Ročné radiálne prírastky (i_r) boli zistené zmeraním šírky stromových letokruhov (Digitalpositionmetrom, s presnosťou na 0,01 mm) na 4 polomeroch v dvoch na seba kolmých smeroch. Získané empirické letokruhovú diagramy sa zosynchronizovali metódou krížového datovania v systéme DAS (Dendrochronological Analysis System) a následne sa údaje zo 4 polomerov spriemerovali. Výsledkom celého postupu boli synchronizované letokruhovú diagramy 12 vzorníkov v 3 rozličných výškach na kmeni (Barna et al. 2010).

Po ťažbových zásahoch sa významne zvýšili radiálne hrúbkové prírastky vo všetkých porastoch ($P \leq 0,05$, Tabuľka 2). Tak ako pri strednej hrúbke, najväčšie kladné prírastkové reakcie boli zaznamenané na ploche I s najväčšou ťažbovou intenzitou (redukcia zakmenenia na 0,3). Prírastky na vzorníkoch sa zväčšili v priemere takmer dvojnásobne. S poklesom sily ťažbových zásahov klesali aj pozitívne prírastkové reakcie (S – zvýšenie radiálnych prírastkov približne o 65 %, M o 20 %). Na kontrolnej ploche K bez zásahu sa očakávalo, že relatívna zmena radiálnych prírastkov sa nebude signifikantne líšiť od 0. Napriek tomu došlo k signifikantnému asi 10 % poklesu veľkosti radiálnych prírastkov, čo sa dá pripísať nepriaznivému, suchému počasiu v rokoch 1992 a 93 prejavujúcimi sa poklesom prírastkov v nasledujúcich rokoch

1993 a 94. Okrem toho sa dá predpokladať, že zvýšený konkurenčný tlak spôsobuje zhoršovanie postavenia podúrovňových stromov, ktoré potom majú tendenciu vykazovať nižšie prírastky oproti očakávanému vekovému trendu (Barna et al. 2010).

Z porovnateľných štúdií môžeme uviesť napríklad prácu Holgén et al. (2003), ktorý zaznamenal v 140-ročných smrekových porastoch 40 – 50 % nárast prírastkov pri 2 druhoch clonných rubov (tzv. riedky a hustý clonný rub, po redukcii kruhovej základne na 75 % a 50 %) v porovnaní s kontrolnými, neťaženými porastmi.

Vzťah medzi presvetlením porastu a veľkosťou prírastku bol pozitívny. Zníženie zakmenenia o 0,1 (10 %) prinieslo zväčšenie radiálneho prírastku priemerne o 15 % (na I a S viac ako 16 %, na M 10 %) (Barna et al. 2010). Žiadny negatívny efekt (poťažbový šok) vyvolaný náhlou zmenou radiačných podmienok nebol zaznamenaný. Rovnako nebola pozorovaná ani časovo opozdená prírastková reakcia vyvolaná potrebou prechodnej adaptačnej doby na nové mikroklimatické podmienky, ani pri potlačených podúrovňových stromoch (Holgén et al. 2003). Dĺžka trvania kladných prírastkových reakcií bola závislá na sile ťažbového zásahu. Na plochách s intenzívnejšou ťažbou (I a S) trvali kladné prírastkové reakcie celé skúmané obdobie po zásahu (výnimkou boli klimaticky nepriaznivé roky 1993 a 1994). Vplyv presvetlenia v jedľových a bukových porastoch môže trvať dlho, až 30 rokov (Korpeľ et al. 1991). Podobne Wang et al. (2013) pre svetlomilné dubové porasty udáva až 20-ročné obdobie. Na ploche M s nízkou silou zásahu trvalo obdobie zvýšeného prírastku iba 2 – 3 roky (podobne Štefančík 1994), takáto reakcia nadúrovňových a úrovňových stromov bola zistená aj na dĺžkových prírastkoch konárov skúmaných vzorníkov (Barna 1999).

Ťažbový zásah a jeho vplyv na koruny bukov

Silnejšími zásahmi do porastu a zväčšením rastového priestoru stromov nastáva väčší prírastok konárov a celej koruny. Plocha plášťa koruny sa nepriamo úmerne zväčšuje s objemom koruny a to je jedna z príčin, prečo sa silnou ťažbou, napriek značnému celkovému zväčšeniu korún, nemôže trvale zvýšiť hmotový prírastok porastov.

Využitie rastovej potencie zostávajúcich jedincov v materskom poraste po clonnej obnove, sa prejavuje hlavne produkciou biomasy. Produkcia biomasy konárov (hrúbkovej kategórie do 1,5 cm) pri buku je veľmi podobná produkcií biomasy listov, a to ako vplyvom tretín korún, sociologickým postavením stromu v poraste, tak aj silou ťažby. Nemusí to platiť pre celý porast rovnako, napr. predrastavý vzorník

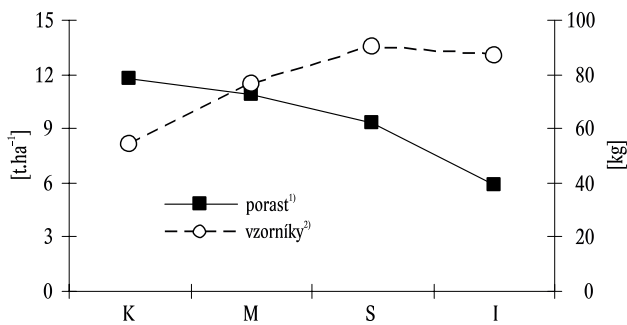
Tabuľka 2. Zmeny radiálnych hrúbkových prírastkov na letokruhových indexoch pred a po ťažbe (1989) v porastoch K, M, S, I
Table 2. Changes in radial growth documented on annual ring indexes before and after cutting (1989) in K, M, S, I stands.

Porast ¹⁾	Ťažbový zásah ²⁾	Počet letokruhových indexov ³⁾		Letokruhovú indexy ⁶⁾		Relatívna zmena ⁷⁾ [%]
		pred ťažbou ⁴⁾	po ťažbe ⁵⁾	pred ťažbou ⁴⁾	po ťažbe ⁵⁾	
K	kontrola (bez zásahu) ⁸⁾	259	69	1,030	0,932	-9,5^a
M	clonný rub (mierny) ⁹⁾	259	69	1,043	1,245	19,6
S	clonný rub (stredný) ¹⁰⁾	259	69	1,033	1,700	64,6
I	clonný rub (intenzívny) ¹¹⁾	229	69	1,039	2,057	98,0

¹⁾Stand, ²⁾Treatment, ³⁾Number of annual ring indexes, ⁴⁾Before cut, ⁵⁾After cut, ⁶⁾Mean annual ring index, ⁷⁾Relative change, ⁸⁾Control plot (uncut), ⁹⁾Shelterwood (light), ¹⁰⁾Shelterwood (moderate), ¹¹⁾Shelterwood (heavy)

^{a)} Tučné písmo reprezentuje štatisticky významné rozdiely medzi hodnotami letokruhových indexov pred a po ťažbe ($P \leq 0,05$) – Bold letters indicate statistically significant differences in annual ring indexes before and after cutting ($P \leq 0,05$).

z porastu po najsilnejšej ťažbe nevykazoval v hornej tretine koruny najväčšiu hodnotu biomasy konárov (ani listov), v strednej a dolnej tretine už áno. Horná časť korún predrastavých stromov je dostatočne osvetlená aj v hustejších porastoch, preto na ich rast vplyvajú vo veľkej miere aj iné faktory (zdravotný stav, dĺžka koruny a iné). Z obrázku 2 vidno opačný trend vplyvu ťažbových zásahov na biomasu jednotlivých stromov a celých porastov. Podobne ako pri listoch, ťažbový zásah vplyva pozitívne na produkciu konárov jednotlivých stromov, ale v rámci produkcie celých bukových porastov, vplyva negatívne (Barna et al. 2011).



Obr. 2. Vplyv ťažbového zásahu na produkciu biomasy konárov buka (hrúbka do 1,5 cm) celých porastov (t.ha⁻¹) a jednotlivých stromov (kg) (K – kontrola; M – mierna, S – stredná, I – intenzívna ťažba; pozri Tabuľka 1)

Fig. 2. Effect of harvesting intensity on biomass production in beech branches (diameter ≤ 1.5 cm), stands (t ha⁻¹), and individual trees (kg) (K – control; M – light, S – moderate, I – heavy cut; see Table 1).

¹⁾Stand, ²⁾Sample trees

Pri porovnaní distribúcie biomasy, alebo percentuálnom rozložení jednotlivých častí stromovej biomasy, Barna & Kodrík (2002) zistili o rozložení biomasy v korunách buka, že percentuálne najviac najmenejších častí je pri podúrovňových stromoch: listy – 10,0 %, najmenejšie konáre (0,1 – 1,5 cm) – 24,3 %, (1,6 – 3,0 cm) – 26,8 %, a najviac najhrubších častí je pri predrastavých stromoch: konáre (3,1 – 5,0 cm) – 19,0 %, (5,1 – 7,0 cm) – 21,3 %, (7,1 – 10,0 cm) – 18,1 %. Pre distribúciu biomasy bukov, rôzne situovaných v rámci porastovej úrovne, boli pozorované určité závislosti: – so zvyšujúcim sa postavením stromu v porastovej úrovni rastie percento hmotnosti dreva v spodnej časti kmeňa a najhrubších konárov v korune, a naopak percento najmenejších konárov a listov klesá; – postupnosť percentuálneho zastúpenia jednotlivých častí biomasy bola: kmeň > konáre > korene > peň > listy > púčiky > plody; – zastúpenie všetkých najhrubších častí biomasy (hrubé konáre, korene, peň a kmeň) klesá s klesajúcim postavením stromu v poraste, pri celkovom hodnotení konárov je to opačne, s klesajúcim postavením stromu v poraste rastie ich percentuálne zastúpenie (predrastavý – 12,3 %, úrovňový – 13,1 %, vrstavý – 19,0 %), to platí aj pre najtenšie kategórie konárov a ostatné časti biomasy (korene, listy, púčiky a plody).

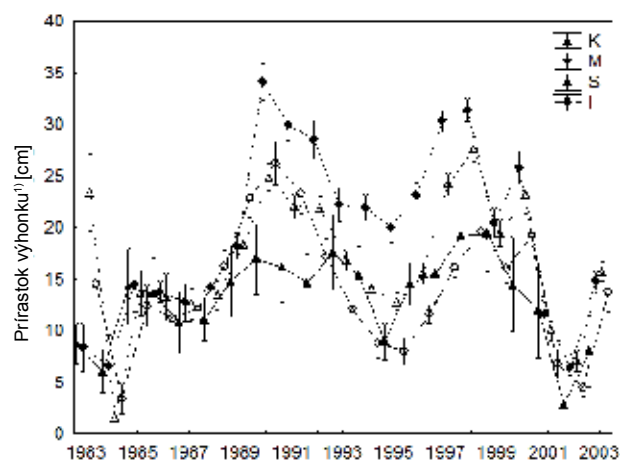
i) Ročné dĺžkové prírastky konárov

Dĺžkový rast konárov buka je riadený prísny ročným cyklom, ktorý sa prejavuje tvorbou výhonka na terminálnej časti konára medzi dvomi za sebou idúcimi obdobiami zimy.

Dĺžku ročných prírastkov vrcholových výhonkov konárov (letorastov) je možné pri buku jednoznačne určiť vďaka jazvám, ktoré ostávajú po odpadnutých šupinách terminálnych púčikov, spätne 10 – 30 rokov (Roloff 1986). Na dĺžkové prírastky môžu vplyvať nielen vek, choroba ale aj ďalšie faktory, klimatické – sucho, teplota, ale tiež fruktifikácia (Braun & Flückiger 1987; Power 1994).

Dĺžky prírastkov boli merané pravítkom s presnosťou na 1 mm. Merali sa od najmladších ročníkov konárov (terminálnych) po najstaršie. Dĺžka jedného ročného prírastkového úseku sa merala od začiatku nasadenia jaziev po hranicu dĺžkového prírastku, ktorý je pri poslednom ročnom prírastku ohraničený púčikom a pri starších ročníkoch konára, jazvami mladších ročných prírastkov. Pre určenie zmeny dĺžkovej prírastavosti korún boli odoberané hlavné konáre v maximálnom možnom počte; najmenej 9, pre hornú časť a 4 pre strednú a dolnú časť koruny.

Výskum dynamiky zmien dĺžkového prírastku vrcholových výhonkov konárov bol robený najprv na 12 vybraných vzorníkoch, neskôr na 70 vzorníkoch spílených počas druhého ťažbovo-obnovného zásahu na EES (2004, Tabuľka 1). Hodnotilo sa postavenie stromu v poraste (predrastavý, úrovňový a vrstavý jedinec) a miesto rastu konárov v korune (horná, stredná a dolná tretina koruny). Stromy zareagovali na tento zásah zvýšenými prírastkami až v druhom vegetačnom období po jeho realizácii. Štatisticky významné zvýšenie prírastkov konárov úrovňových stromov trvalo tri roky (1990–1992). Od 1993 roku nastal pokles, pravdepodobne spôsobený suchými a teplými rokmi (1992–1994), ale keď nastali vhodnejšie rastové podmienky zvýšené prírastky boli zaznamenané na niektorých plochách aj po jedenástich rokoch (rok 2000, Obr. 3). Od roku 2001 prírastky poklesli a rozdiely medzi porastmi sa znížili. Z abiotických faktorov, ktoré majú na rast konárov najväčší vplyv, sú najvýznamnejšie: teplota a zrážky. Predrastavé stromy vykazovali podobné tendencie rastu ako úrovňové, ale podúrovňové mali už iné zákonitosti (Barna et al. 2011).



Obr. 3. Priemerné ročné dĺžkové prírastky konárov z osvetlenej časti korún 70 bukov z porastov po rôznej ťažbe (K – kontrola; M – mierny, S – stredný, I – intenzívny clonný rub v roku 1989)

Fig. 3. Mean annual length increments in branches from the sunlit parts of 70 beech crowns at plots with various cutting (K – control plot; M – light, S – moderate, I – heavy shelterwood cutting in 1989).

¹⁾Shoot growth

ii) *Kvantitatívno-morfologické znaky asimilačných orgánov*
Rast, vývin a morfológia rastlín rastúcich v podmienkach vysokej intenzity ožiarenia sú odlišné od rastlín rastúcich v podmienkach nízkej intenzity ožiarenia, čo poukazuje na schopnosť rastlín a ich fotosyntetického aparátu reagovať na rôzne podmienky ožiarenia. Táto schopnosť adaptability je sprevádzaná špecifickými zmenami v štruktúre, morfológii a fyziológii listov (Bouman 2014).

Z vybraných 12 dospelých stromov (3 vzorníky z každého porastu) sa odobralo na vyhodnotenie listovej plochy po 100 listov z každej tretiny koruny (horná, stredná, dolná), spolu 3 600 listov. Odoberali sa vždy druhé listy z troj a viac listových výhonkov – metóda reprezentatívneho listu (t. j. plocha druhého listu od bázy reprezentuje priemernú plochu všetkých listov na výhonku; Cicák 1998). Tým sa vylúčili veľké vplyvy spôsobujúce variabilitu listovej plochy z rôzneho postavenia listov na konári, a zaručila sa vyššia presnosť a správnosť výsledkov.

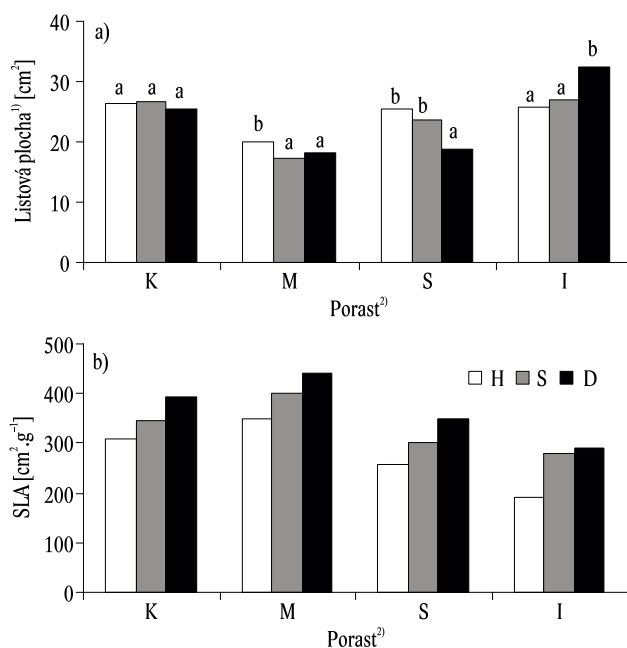
Listová plocha (LA) sa merala bezprostredne po odbere vzoriek pomocou fotoplanimetra LICOR LI-3000 A (USA). Po odmeraní, vysušení a odvážení listov boli zistené ďalšie znaky listov: špecifická listová plocha (specific leaf area, SLA) – vypočíta sa ako pomer listovej plochy a hmotnosti sušiny listov ($SLA = A/W [cm^2 \cdot g^{-1}]$) alebo špecifická listová hmotnosť (specific leaf mass) vypočíta sa z opačného pomeru ako pri SLA ($SLM = W/A [g \cdot cm^{-2}]$) (Barna et al. 2011; Konôpka & Pajtkík 2014).

Tienené listy nedostatok slnečného žiarenia kompenzujú väčšou listovou plochou. Preto v zhode s adaptabilitou listov na intenzitu žiarenia listová plocha na skúmaných predrastavých a úrovňových vzorníkoch sa zväčšovala od hornej tretiny koruny k dolnej. Predrastavé stromy mali v každom poraste dostatok svetla preto sa pri nich nemenila významne listová plocha so silou ťažby.

Na variabilite veľkosti listov úrovňových stromov už nemá najväčší podiel tretina koruny, ako to je u predrastavých stromov, ale sila ťažbového zásahu (Barna 2004). V tejto stromovej triede veľkosť listovej plochy už rastie so zakmenením, t. j. čím je hustejší porast, tým väčšie sú listy. Ide tu o morfológickú adaptáciu na rôzne svetelné podmienky, v ktorých sa listy dospelých stromov buka vyvíjali a rástli. Pri podúrovňových stromoch iba na ploche I (s najintenzívnejším zásahom) bol vplyv tretiny koruny na listovú plochu podobný ako vo vyšších stromových triedach, pravdepodobne silným preriedením porastu sa vzájomne konkurenčné vzťahy stromov narušili. Na kontrolnej ploche (K) boli rozdiely medzi tretinami korún v priemernej listovej ploche veľmi malé ($1,09 cm^2$) a štatisticky nevýznamné (Obr. 4a). To znamená, že na kontrolnej ploche bola porastová úroveň takmer úplne zapojená a celá koruna podúrovňových stromov malá približne rovnaké svetelné podmienky (hodnoty listovej plochy sú homogénne). Na plochách M a S, kde došlo k miernemu až silnému ťažbovému zásahu, boli rozdiely medzi tretinami korún priemernej listovej plochy už väčšie, a to $2,67 cm^2$ (M) a $6,63 cm^2$ (S). Došlo tu však k zaujímavému javu (Obr. 4a): veľkosť listov s klesajúcou tretinou koruny sa nezväčšovala ako pri predrastavých a úrovňových stromoch, ale sa zmenšovala (Barna 2004).

Listy zo spodnej časti korún aj keď mali menšiu listovú plochu ako listy z hornej a strednej časti, mali aj nízku hmot-

nosť a boli tenšie v porovnaní so slnnými listami predrastavých alebo úrovňových stromov. Hodnoty špecifickej listovej plochy (SLA) v nižších častiach korún boli väčšie (Obr. 4b), to dokazuje že tieto listy mali iné podmienky rastu, a to nielen v kvalite svetelného žiarenia ale aj ďalších faktorov (živín a vody). Determinácia mezofylu na palisádový a špongiový parenchým je jedným z najdôležitejších a najcharakteristickejších rozdielov v anatómii slnných a tienných listov (Eschrich et al. 1989).



Obr. 4. a) Priemerná listová plocha podúrovňových (vrástavých) vzorníkov z rôznych porastov (K, M, S, I pozri Tabuľka 1) podľa tretín korún (H horná, S stredná, D dolná tretina koruny). b) Hodnoty SLA získané z tých istých vzoriek listov. Rozdielne písmena poukazujú na významné rozdiely medzi priemermi podľa Duncanovho testu, ($P \leq 0,05$)

Fig. 4. a) Mean leaf area of suppressed sample trees from stands with various density (K, M, S, I see Table 1; H – upper, S – middle, D – lower third of crown). b) SLA acquired from the same leaf samples. Different letters indicate statistically significant differences between means; Duncan's test applied ($P \leq 0.05$).

¹⁾ Leaf area, ²⁾ Stand

Vývoj prirodzenej obnovy

V roku 2002 vo všetkých piatich porastoch bolo založených po 7 plôch. Celkom 35 plôch, každá o rozmere $3 m \times 3 m$ ($9 m^2$). Plochy boli v každom poraste zakladané náhodne vo vzájomnej vzdialenosti 20 m. Kvôli vysokej hustote skúmaných jedincov každá plocha bola rozdelená na 9 miniplôch. Výskum tak prebiehal na ploche o veľkosti $1 m \times 1 m$, kde sa zisťoval počet jedincov z prirodzeného zmladenia, druhové zloženie, ich výška a hrúbka. Prvá analýza stavu prirodzenej obnovy bola v roku 2002, štrnásť rokov (vegetačných období) po prvom ťažbovo-obnovnom zásahu. Nasledujúce výskumy boli po druhom zásahu v 16. a 18. roku od prvého zásahu a ďalšie dva po dorube v 22. a 24. roku od začiatku.

Hustota porastu (zakmenenie) sa v zásadnej miere podieľa na prenikaní svetla do vnútra porastu. Slnečné žiarenie ako základný zdroj energie je vo vnútri porastov transformované, čo sa odráža v priestorových i časových zmenách osvetle-

nia, teplotného a vlhkostného režimu a evapotranspirácie. Výslednica ich pôsobenia vplyva na produkčnú schopnosť jedincov (Jarčuška & Barna 2011), ale aj druhovú skladbu obnovy (Barna & Bošela 2015). Vývoj obnovy v jednotlivých porastoch a vývoj klimatických faktorov pod materskými stromami a na holine (100 %) je v tabuľke 3. Zmeny osvetlenia v porastoch EES po ťažbových zásahoch v roku 1989 sú uvedené podľa Střelca (1992) a priemerné zrážky podľa Dubovej (2001). Po nasledujúcich ťažbách sme osvetlenie nad úrovňou prirodzenej obnovy zisťovali pomocou hemisférických fotografií.

Hustota jedincov v prirodzenej obnove nemala lineárny vzťah k presvetleniu porastov, najlepšie výsledky sa dosiahli

po stredne silnom preriedení (plocha S s počiatočným znížením zakmenenia na 0,5 kde bolo v priemere 6 – 10 jedincov na m²) a naopak, najhoršie sa ukázal holorub (od 5 do 1 jedincov na m²) a taktiež vysoký zapoja materského porastu (K, M: od 4 do 2 jedincov na m²). Menší počet semenáčikov buka na hustejších plochách (K, M) bol výsledkom zhoršených rastových podmienok a na plochách so silnejšími zásahmi (I, H) bol menší počet fruktifikujúcich stromov (Barna & Bošela 2015).

Celková obnova buka bola výrazne ovplyvnená počiatočnými zásahmi v roku 1989 – čím väčšia intervencia, tým menšie zastúpenie buka. Z analýzy vývoja percentuálneho zastúpenia buka vyplýva, že najväčšie zastúpenie buka

Tabuľka 3. Časový sled rubných zásahov a vývoj následného porastu z prirodzenej obnovy a klimatických údajov na jednotlivých plochách EES

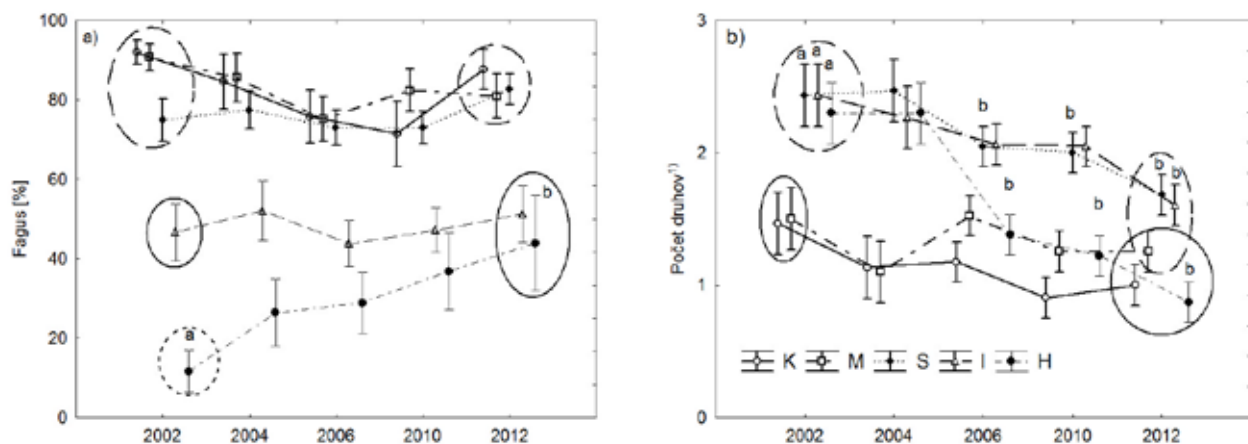
Table 3. Chronology of interventions and subsequent development of natural regeneration and climate data at five EES plots.

Rok ¹⁾	Porast ²⁾	Ťažbový zásah ³⁾	N ⁴⁾ . 1 000 [N.ha ⁻¹]	h ⁵⁾ [cm]	Fagus.1 000 [N.ha ⁻¹]	Osvetlenie ⁶⁾ [%]	Zrážky ⁷⁾
1989	K	kontrola (bez zásahu) ⁸⁾	37	13,3	—*	2	67
	M	clonný rub (mierny) ⁹⁾	33	13,0	—	8	68
	S	clonný rub (stredný) ¹⁰⁾	23	13,7	—	22	78
	I	clonný rub (intenzívny) ¹¹⁾	26	15,9	—	53	92
	H	holorub ¹²⁾	16	18,2	—	100	100
2004	K	kontrola (bez zásahu) ⁸⁾	39	25,7	29	5	65
	M	clonný rub (stredný) ¹⁰⁾	41	43,4	35	19	82
	S	clonný rub (stredný) ¹⁰⁾	97	62,5	75	25	89
	I	dorub ¹³⁾	57	167,0	29	100	100
	H	(bez materského porastu ¹⁴⁾)	36	573,7	9	100	100
2009	K	kontrola (bez zásahu) ¹⁰⁾	19	27,5	14	3	66
	M	dorub ¹³⁾	32	78,2	26	100	100
	S	dorub ¹³⁾	73	154,0	53	100	100
	I	(bez materského porastu) ¹⁴⁾	48	277,2	22	100	100
	H	(bez materského porastu) ¹⁴⁾	16	699,5	6	100	100

¹⁾Year, ²⁾Stand, ³⁾Treatment, ⁴⁾Number of trees, ⁵⁾Mean height, ⁶⁾Illumination, ⁷⁾Throughfall / precipitation, ⁸⁾Control plot (uncut), ⁹⁾Shelterwood (Light), ¹⁰⁾Shelterwood (moderate), ¹¹⁾Shelterwood (heavy),

¹²⁾Clear cut, ¹³⁾Final cut, ¹⁴⁾Without parent stand

*V roku 1989 sa podiel buka v obnove nezisťoval – The share of beech in natural regeneration was not investigated in 1989.



Obr. 5. Vývoj: a) percentuálneho zastúpenia buka v prirodzenej obnove, b) priemerného počtu druhov drevín na m² z prirodzenej obnovy – v porastoch s rozdielnymi ťažbovými postupmi 14 – 24 rokov od začiatku obnovnej ťažby (K – kontrola; M – mierny, S – stredný, I – intenzívny clonný rub, H – holorub). Vertikálne čiary naznačujú smerodajnú chybu. Rozdielne písmena indikujú významný rozdiel medzi priemermi počas vývoja 2002–2012. Elipsa ohraničuje jednu homogénnu skupinu v rámci jedného roka. Duncanov test, $P \leq 0,05$.

Fig. 5. Development of: a) beech share (in percent) in regeneration, b) mean number of tree species in natural regeneration per m² – in forest stands with different cutting treatments 14–24 years after the beginning of regeneration cutting (K control; M light; S moderate; I heavy shelterwood cut; H clear cut). Vertical bars indicate $\pm$ SE from the mean. Different letters indicate statistically significant differences between the means during the development 2002–2012. Ellipses enclose homogenous groups in a particular year. Duncan's test applied ($P \leq 0.05$).

¹⁾Number of species

v obnove je v porastoch kde preriedenie bolo najmenšie (K, M, S), a zakmenenie nekleslo pod 0,5. Ďalšia ťažba a preriedovanie materského porastu (2004 a 2009) už nemalo významný vplyv na podiel buka v prirodzenej obnove (Obr. 5a). Zaujímavé je tiež, že počas desiatich rokov druhová bohatosť semenáčikov významne poklesla vo všetkých porastoch a vývoj obnovy po rozdielnych obnovných postupoch smeruje do jedného bodu. V druhovej vyrovnanosti (index E5) nenastali žiadne zmeny počas sledovaného obdobia, čo znamená že zmeny spôsobené počiatkovou ťažbou bili trvalé (až do konca výskumu). Z obrázku 5b vidíme, že s intenzitou ťažby sa zvyšuje aj rozptyl rôznych druhov semenáčikov. Na začiatku výskumu sa vytvorili 2 homogénne skupiny. V prvej je kontrola a plocha s najslabším zásahom, kde v priemere sa vyskytuje 1 druh dreviny na m² a plochy so silnejšími zásahmi – priemerne viac ako 2 druhy rôznych drevín na každom m². S postupom času, rozptyl druhov resp. druhová rôznorodosť na m² klesá, najviac na plochách po holorube (H). Je to štatistický významný pokles a tieto sa v roku 2006 dostávajú na úroveň najhustejších a najzapojenejších plôch.

Najväčšie rozdiely boli zistené vo vývoji výškového rastu. Od začiatku obnovy všetky druhy stromov využívajú svetelný a vlhkostný benefit, ktorý prichádza s presvetlením porastov podľa sily intervencie. Aj keď rast bol najmarkantnejším prejavom rozdielnej intenzity zásahov do porastov, nedá sa jednoznačne tvrdiť, že to bude trvalá zmena.

Výsledky preukázali, že pomocou manažmentových opatrení je možné ovplyvniť štruktúru a diverzitu zmladenia. Aj keď buk je v týchto podmienkach kompetične veľmi silný, ťažbovými zásahmi pri obnove lesa je možné doceliť zvýšenie druhovej diverzity (Barna & Bošľa 2015).

5. Záver

Európske lesy predstavujú približne polovicu územia Európy. V osemdesiatych rokoch minulého storočia v mnohých krajinách Európy bolo zaznamenané výrazné zhoršenie stavu lesov. Za prioritnú príčinu tohto stavu sa považoval vplyv imisií (prevažne NO_x a SO₂). Riešením daného problému bolo vytvorenie základne na medzinárodnej vedeckej a politickej spolupráci, v spustení Medzinárodného kooperatívneho programu monitorovania a hodnotenia vplyvu znečisteného ovzdušia na lesy (ICP Forests). Redukcia emisií z energetiky, priemyslu i dopravy mala priaznivý vplyv na zlepšenie kvality vzduchu, a tým i na stav lesov v Európe. Zlepšenie sa neprejavilo pri depozícii iónov dusíka, či pôsobení troposférického ozónu na vegetáciu, čím sa regionálne stav lesov opäť zhoršuje (Krupová & Pavlenda 2013). Výsledky štúdií európskych lesov indikujú možnosť negatívnych vplyvov aj klimatickej zmeny na ich produkčné schopnosti (Gömöry et al. 2015). Preto budúcnosť EES Kremnické vrchy vidíme napríklad v riešení ekologických globálnych problémov a otázok: či zmeny primárnej produkcie budú predstavovať všeobecnejší trend, aké sú ich možné príčiny a dôsledky pre fungovanie dotknutých ekosystémov? Z možných hnačiek síl týchto zmien môžu byť okrem zmeny klímy (Hlásny et al. 2014) atmosférická depozícia (Bowman et al. 2008). Na kvantifikovanie dlhodobých zmien primárnej produkcie lesných ekosystémov je takéto modelové územie ako EES zvlášť vhodné (Horemans et al. 2016). Význam vidíme aj v pokračovaní

monitoringu vplyvu manažmentu na stav diverzity v prirodzenej obnove v období silných kompetičných vzťahov počas fázy maximálneho výškového prírastku až do jeho kulminácie (Pretzsch et al. 2015). Dôležitým poslaním EES naďalej zostane vytváranie výskumného prostredia pre vedecké účely.

Podakovanie

Práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou (VEGA) MŠ SR a SAV grantovým projektom č. 2/0039/14.

Literatúra

- Ambrož, R., Vacek, S., Vacek, Z., Král, J., Štefančík, I., 2015: Current and simulated structure, growth parameters and regeneration of beech forests with different game management in the Lány Game Enclosure. Lesnícky časopis - Forestry Journal, 61:78–88.
- Barna, M., 1999: Process of twig growth of beech (*Fagus sylvatica* L.) of dominant and codominant trees after regeneration cutting. Ekológia (Bratislava), 18:233–245.
- Barna, M., 2004: Adaptation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to different ecological conditions: leaf size variation. Polish Journal of Ecology, 52:35–45.
- Barna, M., Kodrík, M., 2002: Beech biomass distribution after shelterwood cutting according to tree social status. Ekológia (Bratislava), 21:61–73.
- Barna, M., Marušák, R., Sedmák, R., Dobrovič, J., 2007: Diameter and height increment of beech trees after shelterwood cutting. Forest Science - Nauka za Gorata, 44:67–76.
- Barna, M., Sedmák, R., Marušák, R. 2010. Reponse of European beech radial growth to shelterwood cutting. Folia oecologica, 37:125–136.
- Barna, M., Kulfan, J., Bublinec, E., 2011: Buk a bukové ekosystémy Slovenska. Bratislava, VEDA vydavateľstvo SAV, 636 p.
- Barna, M., Bošľa, M., 2015. Tree species diversity change in natural regeneration of a beech forest under different management. Fores Ecology and Management, 342:93–102.
- Bouman, O. T., 2014. Plasticity of beech (*Fagus sylvatica* L.) in advance regeneration on soils with chronic nitrogen deposition and low magnesium availability. Forstarchiv, 85:155–162.
- Bowman, W. D., Cleveland, C. C., Halada, L., Hreško, J., Baron, J. S., 2008: Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity. Nature Geoscience, 1:767–770.
- Braun, S., Flückiger, W., 1987: Untersuchungen an Gipfeltreiben von Buche (*Fagus sylvatica* L.). Botanica Helvetica, 97:61–73.
- Bublinec, E., 1994: Koncentrácia, akumulácia a kolobeh prvkov v bukovom a smrekovom ekosystéme. Acta Dendrobiologica, 85 p.
- Bublinec, E., Dubova, M., 1993: Annual dynamics of deposition of calcium and its ecological consequences for forest ecosystems. Lesnícky časopis - Forestry Journal, 39:405–413.
- 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.
- Cicák, A., 1998: Knowledge of leaf area distribution in beech (*Fagus sylvatica* L.) spring shoots and possibility of its application in production ecology. Lesnictví - Forestry, 44:250–255.
- Cicák, A., 2003: Estimation of morphological parameters for European beech leaves on spring shoots using the method of calculation coefficients. Folia oecologica, 30:131–140.
- Cicák, A., Mihál, I., 2005: Development of beech necrotic disease in the growing phase of maturing stand under air pollution stress. Journal of Forest Science, 51:101–107.

- Ditmarová, L., Kmeť, J., 2002: Physiological and biochemical aspects of stress impact on beech saplings growing under varying site conditions. *Biologia (Bratislava)*, 57:533–540.
- Dubová, M., 2001: Sulphates dynamic of surface water in beech ecosystem of the Kremnické vrchy Mts. *Folia oecologica*, 28:101–109.
- Dykyjová, D. et al., 1989: Metody studia ekosystému. Praha, Academia, 690 p.
- Eschrich, W., Burchardt, R., Essiamah, S., 1989: The induction of sun and shade leaves of European beech (*Fagus sylvatica* L.); anatomical studies. *Trees*, 3:1–10.
- Gömöry, D., Longauer, R., Krajmerová, D., 2015: Choice of forest reproductive material under conditions of climate change. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 61:124–130.
- Halada, L., Oszlányi, J., Kanka, R., 2014: Long-Term Ecological Research (LTER) at the Institute of Landscape Ecology of SAS. *Životné prostredie*, 48:161–163.
- Hlásny, T., Mátyás, C., Seidl, R., Kulla, L., Merganičová, K., Trombik, J. et al., 2014: Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 60:5–18.
- Holgén, P., Söderberg, U., Hånell, B., 2003: Diameter increment in *Picea abies* shelterwood stands in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18:163–175.
- Horemans, J. A., Bošefa, M., Dobor, L., Barna, M., Bahyl, J., Deckmyn, G. et al., 2016: Variance decomposition of prediction of stem biomass increment for European beech: Contribution of selected sources of uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 361:46–55.
- Jamnická, G., Bucinova, K., Havranova, I., Urban, A., 2007: Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Ziar nad Hronom, Central Slovakia. *Forest Ecology and Management*, 248:26–35.
- Jamnická, G., Válka, J., Bublinec, E., 2013: Heavy metal accumulation and distribution in forest understory herb species of Carpathian beech ecosystems. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 25:209–215.
- Janík, R., 2005: Dynamics of soil temperature and its influence on biomass production of herb layer in a submontane beech forest. *Journal of Forest Science*, 51:276–282.
- Janík, R., Bublinec, E., Dubová, M., 2014: Space-time patterns of soil pH and conductivity in submountain beech ecosystems in the West Carpathians. *Folia oecologica*, 41:141–145.
- Jarčuška, B., Barna, M., 2011: Plasticity in above-ground biomass allocation in *Fagus sylvatica* L. saplings in response to light availability. *Annals of Forest Research*, 54:151–160.
- Ježík, M., Blaženec, M., Střelcová, K., Ditmarová, L., 2011: The impact of the 2003–2008 weather variability on intra-annual stem diameter changes of beech trees at a submontane site in central Slovakia. *Dendrochronologia* 29:227–235.
- Kellerová, D., 2002: Ground-level ozone in the beech EES Kremnické Vrchy Mts. *Ekológia (Bratislava)*, 21, Supplement 2/2002:26–32.
- Kellerová, D., Janík, R., 2014: Analysis of ambient ozone in a foothill area in the Western Carpathians. *Folia oecologica*, 41:146–152.
- Konôpka, B., Pajtik, J., 2014: Similar foliage area but contrasting foliage biomass between young beech and spruce stands. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 60:205–213.
- Konôpka, B., Pajtik, J., Marušák, R., 2015: Biomass allocation influenced by canopy closure in a young spruce stand. *Journal of Forest Science*, 61:62–71.
- Kontriš, J., Kontrišová, O., Gregor, J., 1993: Dynamics of the phytocenoses development of the submountain beech forest stands. *I. phytocenoses*. *Ekológia (Bratislava)*, 12:417–428.
- Korpeľ, Š., Tesař, V., Peňáz, J., Saniga, M., 1991: Pestovanie lesa. Bratislava, Príroda, 464 p.
- Krupová, D., Pavlenda, P., 2013: Monitoring of forest ecosystems in Europe and in Slovakia. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 59:289–294.
- Kukla, J., 2002: Variability of solutions percolated through cambisol in a beech ecosystem. *Ekológia (Bratislava)*, 21, Supplement 2/2002:13–25.
- Kukla, J., Kontris, J., Kontriso, O., Gregor, J., Mihalik, A., 1998: Causes of floristical differentiation of Dentario bulbiferae-Fagetum (Zlatník 1935) Hartmann 1953 and Carici pilosae-Fagetum Oberd. 1957 associations. *Ekológia (Bratislava)*, 17:177–186.
- Kuklová, M., Kukla, J., Schieber, B., 2005: Individual and population parameters of *Carex pilosa* Scop. (Cyperaceae) in four forest sites in Western Carpathians (Slovakia). *Polish Journal of Ecology*, 53:427–434.
- Mihál, I., 1997: Harvestmen (Opiliones) in a brush stand and fir-beech forest of the Kremnické vrchy mountains. *Biologia, Bratislava*, 52:191–194.
- Mihál, I., 2012: Species diversity, abundance and dominance of macromycetes in beech forest stands with different intensity of shelterwood cutting interventions. *Folia oecologica*, 39:53–62.
- Mihál, I., Cicák, A., Tsakov, H., 2014: Selected biotic vectors transmitting beech bark necrotic disease in Central and South-Eastern Europe. *Folia oecologica*, 41:62–74.
- Power, S. A., 1994: Temporal Trends in Twig Growth of *Fagus sylvatica* L. and their Relationships with Environmental Factors. *Forestry*, 67:13–30.
- Pretzsch, H., del Río, M., Ammer, C., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielak, K. et al., 2015: Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research*, 134:927–947.
- Roloff, A., 1986: Morphologische Untersuchungen zum Wachstum und Verzweigungssystem der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). *Mitteilungen der Deutschen dendrologischen gesellschaft*, 76:5–47.
- Schieber, B., 2014: Effect of altitude on phenology of selected forest plant species in Slovakia (Western Carpathians). *Folia oecologica*, 41:75–81.
- Schieber, B., Kubov, M., Pavelka, M., Janík, R., 2015: Vegetation dynamics of herb layer in managed submountain beech forest. *Folia oecologica*, 42:35–45.
- Stašiov, S., Svitok, M., 2014: The influence of stand density on the structure of centipede (Chilopoda) and millipede (Diplopoda) communities in the submountain beech forest. *Folia oecologica*, 41:195–201.
- Střelec, J., 1992: Vplyv ťažbového zásahu v bukovom poraste na zmeny osvetlenia. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 30:551–558.
- Šebík, L., Polák, L., 1990. Náuka o produkcii dreva. Bratislava, Príroda, 322 p.
- Štefančík, I., 1994: Vplyv ťažbovo-obnovného zásahu na štruktúru a hrúbkový prírastok bukovej kmeňoviny. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, 40:285–296.
- Terek, J., Dobrovič, J., 2015: Ecologically active surfaces, methodological approach to the study of ecological functions. *Ekológia (Bratislava)*, 34:207–215.
- Vacek, Z., Vacek, S., Podrázský, V., Bílek, L., Štefančík, I., Moser, W. K. et al., 2015: Effect of tree layer and microsite on the variability of natural regeneration in autochthonous beech forests. *Polish Journal of Ecology*, 63:233–246.
- Voško, M., Bublinec, E., Greguš, C., 1986: Vybrané lesné ekosystémy SSR, ich produktivita, stabilita a ochrana. In: Projekt ŠPZU. Zvolen, ÚEL SAV, 64 p.
- Wang, W. J., He, H. S., Spetich, M. A., Shifley, S. R., Thompson, III, F. R., Fraser, J. S., 2013: Modeling the Effects of Harvest Alternatives on Mitigating Oak Decline in a Central Hardwood Forest Landscape. *PLoS ONE* 8: e66713.