

# DYNAMIKA FUNKČNÍCH ÚČINKŮ LESNÍCH POROSTŮ JAKO SOUČÁST PROBLEMATIKY EKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽEB

## DYNAMICS OF FUNCTIONAL EFFECT OF FOREST STANDS WITHIN ECOSYSTEM SERVICES PROBLEMATICS

ILJA VYSKOT - JIŘÍ SCHNEIDER ✉ - ALICE KOZUMPLÍKOVÁ

*Mendelova Univerzita v Brně, Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií*

*Ústav environmentalistiky a přírodních zdrojů, Tř. Generála Píky, 2005/7, CZ - 613 00 Brno, Czech Republic*

✉ e-mail: [jiri.schneider@mendelu.cz](mailto:jiri.schneider@mendelu.cz)

### ABSTRACT

The paper presents a model solution of determination of a functional effects dynamics on forest stands, and a significance of the functional effect in terms of the ecosystem services evaluation. The ecosystem approach to a quantification of forest functions as a base for social utilization of forest benefits and its economic expression are presented. To determine the functional effect – the real effect of forest stands – the method “Quantification and evaluation of all–society forest functions” (VYSKOT et al. 2003) was used. A chronological development of forest stands and their functional effects were modelled on the stands of a certain stand type at one locality in different age class. The research itself was conducted on the territory of forest administration Plešný and Stožec (Šumava National Park, Czech Republic). A combination of value degrees classification and percentage expression of real effects of forest functions seems to be an adequate approach to the evaluation of functional effects of forest stands for decision-making at forest management level. Social requirements for forest benefits cannot be actually (and sustainably) implemented without knowledge of their ecosystem bases (forest functions).

**Klíčová slova:** ekosystémové služby, funkce lesů, funkční účinky, horské lesy, smrkové a bukové porosty

**Key words:** forest ecology, forest management, ecosystem services, forest function, mountain forest, spruce forest

### ÚVOD

Rostoucí celosvětový zájem o řešení environmentálních problémů se odráží i v pokusech kvantifikovat služby poskytované přírodními ekosystémy (COSTANZA et al. 1997; DAILY 1997; VYSKOT et al. 2003; MEA 2005). V rámci studie Millenium Environment Assesment (MEA 2005) byl vyhodnocen stav světových ekosystémů s konstatováním, že cca 60 % všech ekosystémů se rapidně zhoršuje, nebo je využíváno neudržitelně. Výzkum ekosystémových služeb se proto dostává do popředí zájmu mnoha studií (COSTANZA et al. 1997; HEAL et al. 2005; KREMEN 2005; CHAN et al. 2006; BRAUMAN et al. 2008; CROSSMAN et al. 2013; REYES et al. 2013). Základem pro výzkum ekosystémových služeb je simplifikace složitosti ekosystémů do zvládnutelných sad dobře definované metriky a determinace co a jak měřit (KLINE 2007). Hlavním problémem nejčastěji citovaných a všeobecně uznávaných prací v oblasti ekosystémových služeb (DAILY 1997; DE GROOT et al. 2002; MEA 2005) jsou požadavky ekonomů na jednoznačnou vazbu hodnocení na přínosy a koncové služby pro společnost a dále nejednotnost v měřítku a detailu stanovení jednotlivých služeb. Dalším podstatným problémem je komparabilita hodnot jednotlivých funkcí, služeb i užitků. Preferovány jsou analýzy soustředěné spíše na ekonomické atributy, než na ekosystémové funkce či procesy. Procesy a funk-

ce přitom nejsou koncové služby přímo využívané lidmi, ale „pouze“ biologické, chemické a fyzikální interakce mezi prvky (vlastnostmi, atributy) ekosystému (BOYD, BANZHAF 2006; KLINE 2007). I přesto např. KLINE (2007) uvádí na příkladu lesních ekosystémů, že užitky z lesa pocházejí ze sociálně hodnotných výstupů ekosystémových služeb, které jsou produkovány vlastnostmi a podmínkami lesnatých krajín. Konstatování Klineho (KLINE 2007) je v souladu s tezí Vyskota a kol. (VYSKOT et al. 2003), že funkce lesů jsou produkovány lesními ekosystémy primárně bez přímé lidské intervence (DE GROOT et al. 2002; VYSKOT et al. 2003). Pojem funkce lesů lze tedy terminologicky odlišit od pojmu služby lesního hospodářství, které jsou spojeny s lidskými aktivitami na podporu produkce těchto funkcí či na podporu jejich společenské utilizace. Četné studie upozorňují, že k tomu, aby ekosystémy mohly produkovat účinky v maximální možné míře, musí být obhospodařovány efektivně integrovaným způsobem (FAO 2006, 2010; CANADELL, RAUPACH 2008; DEAL et al. 2012). Efektivní integrovaný způsob obhospodařování lesů tedy musí vycházet z podrobné znalosti jejich ekosystémových zákonitostí a procesů. Potřeby společnosti však často znamenají specifickou utilizaci lesů limitovanou nikoliv jejich ekosystémovými účinky, ale výhradně společenskou náležitostí. Není dosud přijímáno, že funkční účinky lesního porostu vycházejí z jeho naturální podstaty, ať už se jedná o les hospodářský,

nebo je na něm deklarován jiný společenský zájem, např. vyhlášení zvláště chráněného území.

Představené danosti jsou rámcem pro hodnocení funkcí lesů jako integrální součásti ekosystémových služeb. Lesnické vědy v České republice disponují škálou sekulárních a rozsáhlých kvalifikovaných výsledků inventarizací a výzkumu lesů. Tyto výsledky tvoří optimální bázi pro ekologicky postavenou kvantifikaci jejich funkčních schopností a účinků. Navzdory odporu části lesnických ekonomů jde o exaktní přístupy stanovení schopnosti lesa produkovat funkce. Ty mohou být dále transformovány do systémů hodnocení služeb lesního hospodářství, potažmo ekosystémových služeb obecně. Teprve na základě kvantifikace funkčních schopností a účinků lze definovat koncové služby pro společnost (KLINE 2007). Příkladem tohoto řešení je práce Scarpy a kol. (SCARPA et al. 2000), kteří kalkulovali hodnotu nedřevních produktů (non-timber value NTV) v lesích státu Maine (USA) prostřednictvím hedonistického modelu. Jako vstup využili databázi inventarizace lesů FIA (Forest Inventory and Analysis). Dle Scarpy a kol. (SCARPA et al. 2000) ovlivňují NTV tři kategorie proměnných: ekologické atributy porostu, jeho fyzické (geografické) umístění a socioekonomický kontext. Z databáze FIA využili čtyři veličiny – index stanoviště SITE, vzdálenost lesních porostů od vodního prvku DWATR, svažítost pozemku SLOPE a vzdálenost od lesní dopravní sítě DROADS. Jako hlavní charakteristiky lesních porostů, ovlivňující jejich funkční účinky, stanovili druhovou a prostorovou strukturu lesních porostů. Tato ekosystémová část pracovního postupu Scarpy a kol. (SCARPA et al. 2000) se blíží pojetím metodickému přístupu Vyskota a kol., řešenému již v osmdesátých a devadesátých letech (VYSKOT et al. 2003). Pro hodnocení funkčních účinků lesních porostů jsou podle uznané a certifikované metodiky (VYSKOT et al. 2003, 2014), užívané MŽP ČR, zásadní funkční schopnosti lesních porostů (determinované vlastnostmi stanoviště i biocenózy) a tzv. funkčně redukční kritéria, která vycházejí z prostorové porostní struktury. Pro lesy se zjednodušenou strukturou jsou určující věk, zakmenění a zdravotní stav. V lesích strukturně diverzifikovaných ovlivňují funkční účinky tloušťková a výšková diferenciacie, horizontální smíšení a zdravotní stav (URBAN et al. 2010; SCHNEIDER, REBROŠOVÁ 2010; VYSKOT et al. 2014).

Cílem této práce je stanovení a prezentace možnosti modelování časového vývoje funkčních účinků (reálných funkčních efektů) vybraných lesních porostů v různých věkových stupních a shodně stanoviště. Porostní typy D1P6 a M6Z1 (viz část Materiál a metodika) jsou reprezentanty smíšených porostů s převahou smrku, resp. buku.

## MATERIÁL A METODIKA

Reálný funkční efekt představuje podle metody „Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky“ (VYSKOT et al. 2003) aktuální funkční účinnost lesního ekosystému vyplývající z jeho aktuálního stavu. V procentuálních hodnotách vyjadřuje míru produkované funkce vzhledem ke kvantifikovanému potenciálnímu schopnostem (determinovanému reálnému potenciálu, klasifikovanému hodnotovými stupni  $F_i$ : 0 – funkčně nevhodný, 1 – velmi nízký, 2 – nízký, 3 – střední, 4 – vysoký, 5 – velmi vysoký, 6 – mimořádný). Komplex funkčních účinků lesních porostů je následující:

- Bioprodukční účinky – produkce biomasy a její vázání v trofických řetězcích;
- Ekologicko-stabilizační účinky – funkce autoregulačních procesů a zpětných vazeb (vyváženost energo-materiálových toků, odolnost vůči stresovým faktorům);
- Hydricko-vodohospodářské účinky – modifikace složek hydrologického cyklu, vodní bilance, tvorba vodních zdrojů v půdě a jejich ochrana, ovlivňování jakosti vody, formování bežeškodného odtoku vody;

- Edaficko-půdoochranné účinky – ovlivňování fyzikální, chemické struktury a aerace půdy, specifické mikroklima pro humifikační procesy, vytváření životních podmínek pro edafon, retardace kinetické energie erozně nebezpečného deště, prolongace množství působící srážkové vody na půdu, rozložení působení odtokového množství vody, transformace možného povrchového odtoku půdním profilem, vázání půdní vody specifickou strukturou lesní půdy, retardace a rovnoměrnost tání sněhu;
- Sociálně-rekreační účinky – fyziologická optimalizace mikroklimatu, modifikace struktury biotického prostředí, modifikace vlastností biotického prostředí, modifikace potravinových a jiných zdrojů (např. lovná zvěř), produkce přírodnin;
- Zdravotně-hygienické účinky – hygiena klimatu, tlumení klimatických extrémů, filtrace tuhých, plynných a radioaktivních látek, kyslíkový režim ovzduší, ionizace vzduchu, biocidní profylaxe prostředí, fotosyntetická aktivita vegetace, zdravotní prevence a profylaxe (produkce volatilních látek, fytoncidů), fyziologické klimatické optimum, produkce přírodních léčiv, produkce alergenních látek (pyl, detrity, těkavé látky).

Stanovení funkčních účinků je realizováno ve dvou na sebe navazujících krocích:

- 1) Determinace reálného potenciálu funkcí (hodnota produkovaných funkcí v optimálně možných ekosystémových podmínkách);
- 2) Determinace reálného aktuálního efektu funkcí (hodnoty produkovaných funkcí v aktuálních ekosystémových podmínkách).

Stanovení reálného efektu funkcí je založeno na kvantitativních interakcích tzv. funkčně redukčních kritérií charakterizujících stav porostů, jejich funkční dynamiku a účinnost. Jsou jimi věk, zakmenění a zdravotní stav. Kritérium věku je vyjádřeno pomocí tzv. porostní vývojové fáze, která představuje procentuální vyjádření věku z celkové doby předpokládané existence porostu – obmýtní doby. Prostorová struktura je posuzována kritériem zakmenění (redukováná plocha dřeviny). Jde o legislativně zakotvený ukazatel, který vyjadřuje stupeň využití růstového prostředí porostu. Hodnocení zdravotního stavu porostů, vycházející z metodiky ICP Forest, je založeno na hodnocení poškození jednotlivých stromů a jejich procentuálním zastoupení v klasifikačních stupních. Funkčně redukční kritéria působí vždy synergicky. Synergické vazby nejsou konstantní, ale dynamicky proměnné ve vztahu k aktuálnímu stavu porostu a typu funkčních účinků. Charakter synergie je determinován prostřednictvím významových vah působení jednotlivých funkčně redukčních kritérií.

Základním východiskem stanovení významnosti vlivu kritérií je dynamika růstových procesů lesních porostů a jejich vývojových fází. Determinace vah rezultuje průběh jednotlivých kritérií v této dynamice a jejich statistické vyhodnocení v podmínkách reálných porostů. Výsledný (synergický) reálný efekt (%) je váženým aritmetickým průměrem hodnot reálných efektů, determinovaných jednotlivými funkčně redukčními kritérii (vztahy (1) až (6)).

Funkce bioprodukční (BP)

$$RE_{BP} = v_{T1} \cdot T_1 + v_{Z1} \cdot Z_1 + v_{ZS1} \cdot ZS_1 \quad (1)$$

Funkce ekologicko-stabilizační (ES)

$$RE_{ES} = v_{T2} \cdot T_2 + v_{Z2} \cdot Z_2 + v_{ZS2} \cdot ZS_2 \quad (2)$$

Funkce hydricko-vodohospodářská (HV)

$$RE_{HV} = v_{T3} \cdot T_3 + v_{Z3} \cdot Z_3 + v_{ZS3} \cdot ZS_3 \quad (3)$$

Funkce edaficko-půdoochranná (EP)

$$RE_{EP} = v_{T4} \cdot T_4 + v_{Z4} \cdot Z_4 + v_{ZS4} \cdot ZS_4 \quad (4)$$

Funkce sociálně-rekreační (SR)

$$RE_{SR} = v_{T5} \cdot T_5 + v_{Z5} \cdot Z_5 + v_{ZS5} \cdot ZS_5 \quad (5)$$

Funkce zdravotně- hygienická (ZH)

$$RE_{ZH} = v_{T6} \cdot T_6 + v_{Z6} \cdot Z_6 + v_{ZS6} \cdot ZS_6 \quad (6)$$

kde  $T_{1-6}$  je hodnota dílčího reálného efektu dané funkce v závislosti na věku (porostní vývojové fázi),  $Z_{1-6}$  je hodnota dílčího reálného efektu dané funkce v závislosti na zakmenění (porostní vývojové fázi),  $ZS_{1-6}$  je hodnota dílčího reálného efektu dané funkce v závislosti na zdravotním stavu (porostní vývojové fázi),  $v_{T1-6}$  je váha věku pro danou funkci ve vývojové fázi porostu,  $v_{Z1-6}$  je váha zakmenění pro danou funkci ve vývojové fázi porostu a  $v_{ZS1-6}$  je váha zdravotního stavu pro danou funkci ve vývojové fázi porostu.

Dynamika vývoje funkčních účinků (reálných efektů) lesních porostů je řešena na příkladu vybraných porostních skupin porostních typů D1P6 (smíšený porost s dominantním smrkem (71–90 %) a přímíšeným bukem (11–30 %)) a M6Z1 (smíšený porost s majoritním bukem (51–70 %) a základním podílem smrku (31–50 %)) na území lesů Plešný a Stožec (NP Šumava), souborů lesních typů 6K a 6S (tab. 1). Příspěvek prezentuje porostní typy D1P6 a M6Z1 jako reprezentanty smíšených porostů s převahou smrku, resp. buku.

Smyslem volby porostních skupin je simulace vývoje  $RE_{\eta}$  konkrétního lesního porostu v průběhu jeho života prostřednictvím reálných charakteristik. Výběr porostních skupin tangovaného porostního typu se řídil následujícími pravidly z hlediska jednotlivých funkčně redukčních kritérií a dalších charakteristik:

- redukční kritérium věku – jsou zastoupeny všechny přítomné věkové stupně (resp. % obmýtí); stejné obmýtí;
- redukční kritérium zakmenění – je vybrána reprezentativní hodnota pro daný věkový interval;
- redukční kritérium zdravotního stavu – je použita reprezentativní hodnota pro daný věkový interval;
- další charakteristiky – je kalkulováno se stejným lesním typem, podobnou plochou a polohou v rámci lesního komplexu.

Dynamika vývoje reálného efektu je prezentována dvěma způsoby. První způsob představuje vyjádření funkčními hodnotovými stupni, kterými jsou klasifikovány i reálné potenciály. Je-li např. reálný efekt  $RE_{\eta}$  roven 1 znamená to, že z hlediska podmínek České republiky jsou aktuální funkční účinky řešeného porostu velmi nízké. Druhým způsobem je procentuální vyjádření  $RE_{\eta}$ . Hodnota (%) udává, na kolik procent naplňují aktuální funkční účinky ( $RE_{\eta}$ ) potenciální schopnosti lesního porostu (reálný potenciál  $RP_{\eta}$ ).

## VÝSLEDKY

Dynamika vývoje reálného efektu celospolečenských funkcí lesů na příkladu porostních skupin vybraných porostních typů (tab. 1) je prezentována v následujících tabelárních přehledech. V tab. 2 a 3 jsou uvedeny hodnoty reálných efektů jednotlivých funkcí, kvantifikovaných na základě modelových funkčně redukčních kritérií (věku, zakmenění, zdravotního stavu). Reálné efekty jsou vyjádřeny v procentech reálného potenciálu funkcí lesů (%) a také jako redukovaný potenciál v absolutních hodnotách (0–6).

Dynamika vývoje reálných efektů (funkčních účinků) je znázorněna i na obr. 1 a 3, kde vývoj reálného efektu v rámci hodnotového vyjádření ukazuje aktuální hodnotový stupeň (relativní číslo) plnění funkcí, srovnatelný s hodnotou jejich reálného potenciálu. Vývoj reálného efektu v rámci procentuálního vyjádření (obr. 2 a 4) ukazuje odlišnost (vzdálenost) aktuálních funkčních účinků od reálného funkčního potenciálu.

Ze syntézního vyhodnocení obou grafů je zřejmé, že pro ucelený přehled o vývoji aktuálních funkčních účinků lesních porostů je vhodné využívat obou způsobů vyjádření. Průběh spojnic trendu (obr. 1) výrazně ovlivňuje hodnotový stupeň reálného potenciálu jednotlivých funkcí. Při velmi vysokém reálném potenciálu (v tab. 2, např.  $RP_{\eta ZH}$  – hodnotový stupeň  $F_v = 5$ ) je reálný efekt mladých porostů (ve věku 30 % doby obmýtí) na hodnotovém stupni 3 (průměrný). Naopak v případě nízkého reálného potenciálu (v tab. 2, např.  $RP_{\eta ES}$ ,  $RP_{\eta HV}$  – hodnotový stupeň  $F_v = 2$ ) je průběh funkce vyrovnanější.

Obr. 2 pak udává, jak rychle se aktuální funkční účinky (reálný efekt) přiblíží potenciálním funkčním schopnostem (reálnému potenciálu). V případě permanentně plného či jen mírně sníženého zakmenění a bezproblémového zdravotního stavu porostu dosahuje reálný efekt 100 % reálného potenciálu funkce hydricko-vodohospodářské již ve věku 30 % doby obmýtí. Ovšem s tím, že pro danou dřevinnou skladbu je tento potenciál nízký. Naopak, se snížením zakmenění (tab. 2) a potenciálně i zdravotního stavu může klesat až o 25 %. Reálný efekt funkcí bioprodukční, ekologicko-stabilizační, edafické-půdoochranné a zdravotně-hygienické v tomto modelovém případě nedosáhne 100 %  $RP_{\eta}$ , což je dáno sníženým zakmeněním porostu. I přesto však dosahuje RE především u funkce zdravotně hygienické hodnotového stupně 5 (v závislosti na  $RP_{\eta ZH}$ , viz výše). Nižší zakmenění je naopak optimální z hlediska funkce sociálně-rekreační. Hodnota  $RE_{\eta SR}$  dosahuje potenciálu ve věku od 89 % doby obmýtí, ale právě především v závislosti na hodnotě zakmenění.

Zjištěné trendy potvrzují i údaje z porostů s převahou buku a základním podílem smrku (porostní typ M6Z1). Vývoj redukčních kritérií je ovlivněn především výrazně sníženým zakmeněním u porostů ve věku obmýtí a starších (hodnota 6) (tab. 3). To se projevuje výrazným poklesem reálného efektu u funkce hydricko-vodohospodářské (na 73 % reálného potenciálu) a snížením hodnot ostatních funkcí (obr. 4). Jedná se však o dočasný jev, daný zachovanou kontinuitou porostu. Ta je zajištěna rozvojem a odrůstáním přirozeného zmlazení, pro něž vytváří optimální podmínky právě snížené zakmenění. Obr. 3 dokresluje vývoj funkčních účinků v rozsahu hodnotových stupňů a jejich závislost na reálném potenciálu funkcí.

**Tab. 1**  
Modelové porostní typy  
Model stand types

Č./ No.	Porostní typ/ Stand type	Popis porostního typu/Stand type description	SLT/ Forest site	Lesní území/ Forest admin.
1	D1P6	dominantní zastoupení smrku (71–90 %) s přímíšeným bukem (11–29 %)/ spruce dominant (71–90 %), beech admixed (11–29 %)	6K – kyselá smrková bučina/ Acid spruce–beech	Plešný
2	M6Z1	majoritní zastoupení buku (51–70 %), základní zastoupení smrku (31–50 %)/ beech majority (51–70 %), spruce basic (31–50 %)	6S – svěží smrková bučina/ Fresh spruce–beech	Stožec

**Tab. 2.**

Hodnoty reálných potenciálů funkcí lesa ( $RP_{fl}$ ), funkčně redukčních kritérií a reálných efektů ( $RE_{fl}$ ) pro vybrané porostní skupiny porostního typu D1P6 (soubor lesních typů 6K, lesní správa Plešný)  
 The values of real potentials of forest functions ( $RP_{fl}$ ), functionally reducing criteria and real effects ( $RE_{fl}$ ) for selected stand groups of the stand type D1P6 (forest site 6K, Forest Administration Plešný)

Porostní typ:/ Stand type:		D1P6				SLT/ Forest site:					6K						Obmýti:/ Rotation period:					140																		
		RP <sub>fl</sub>									3					2					2					4					4					5				
		Funkčně redukční kritéria/ Functionally reducing criteria				Reálné efekty/ Real effects (% RP <sub>fl</sub> )					Reálné efekty (redukovaný potenciál)/ Real effects (reduced potential)																													
Věk/ Age	zakm./ stocking	zdrav. stav./ health cond.	% obmýti/ % of rotation p.	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH							
4	4	0/1	2,86	21,0	25,5	38,0	23,0	17,5	16,5	0,63	0,51	0,76	0,92	0,70	0,83																									
14	10	0/1	10	23,5	28,0	60,0	28,0	17,5	19,0	0,71	0,56	1,2	1,12	0,70	0,95																									
28	9	0/1	20	23,5	44,0	76,0	44,0	35,5	37,0	0,71	0,88	1,52	1,76	1,42	1,85																									
35	10	0/1	25	28,0	58,0	79,0	51,0	41,0	44,0	0,84	1,16	1,58	2,04	1,64	2,20																									
43	9	0/1	30,7	44,0	70,0	100	65,0	57,0	60,0	1,32	1,40	2,00	2,6	2,28	3,00																									
54	7	0/1	38,6	41,0	67,0	94,0	59,0	60,0	57,0	1,23	1,34	1,88	2,36	2,40	2,85																									
65	3	0/1	46,4	58,0	75,0	76,0	64,0	72,0	71,0	1,74	1,50	1,52	2,56	2,88	3,55																									
80	8	0/1	57,1	62,0	79,0	91,0	76,0	82,0	79,0	1,86	1,58	1,82	3,04	3,28	3,95																									
84	9	0/1	60	65,0	85,0	100	85,0	76,0	85,0	1,95	1,70	2,00	3,40	3,04	4,25																									
93	9	0/1	66,4	86,5	100	100	100	91,0	100	2,6	2,00	2,00	4,00	3,64	5,00																									
101	10	0/1	72,1	86,5	100	100	100	91,0	100	2,6	2,00	2,00	4,00	3,64	5,00																									
116	9	0/1	82,9	100	100	97,0	100	91,0	100	3,00	2,00	1,94	4,00	3,64	5,00																									
131	9	0/1	93,6	100	100	97,0	100	91,0	100	3,00	2,00	1,94	4,00	3,64	5,00																									
156	7	0/1	111	95,5	94,0	85,0	91,0	100	91,0	2,87	1,88	1,70	3,64	4,00	4,55																									

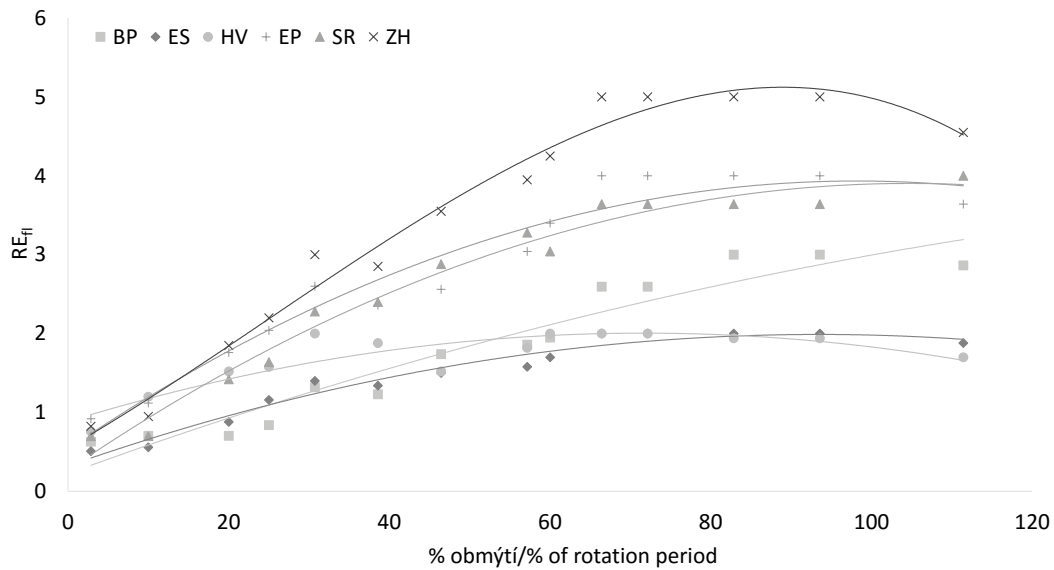
Vysvětlivky: BP: bioprodukční funkce; ES: ekologicko-stabilizační funkce; HV: hydricko-vodohospodářská funkce; EP: edafická-půdochranná funkce; SR: sociálně-rekreační funkce; ZH: zdravotně-hygienická funkce/Captions: BP: Bioproduction function; ES: Ecological-stabilization function; HV: Hydric-water-management function; EP: Edaphic-soil-conservation function; SR: Social-recreational function; ZH: Sanitary-hygienic function

**Tab. 3.**

Hodnoty reálných potenciálů funkcí lesa  $RP_{fl}$ , funkčně redukčních kritérií a reálných efektů ( $RE_{fl}$ ) pro vybrané porostní skupiny porostního typu M6Z1 (soubor lesních typů 6S – lesní správa Stožec)  
 The values of real potentials of forest functions ( $RP_{fl}$ ), functionally reducing criteria and real effects ( $RE_{fl}$ ) for selected stand groups of the stand type M6Z1 (forest site 6S, Forest Administration Stožec)

Porostní typ:/ Stand type:		M6Z1				SLT/ Forest site:					6S						Obmýti:/ Rotation period:					150																		
		RP <sub>fl</sub>									5					4					3					3					4					5				
		Funkčně redukční kritéria/ Functionally reducing criteria				Reálné efekty/ Real effects (% RP <sub>fl</sub> )					Reálné efekty (redukovaný potenciál)/ Real effects (reduced potential)																													
Věk/ Age	zakm./ stocking	zdrav. stav./ health cond.	% obmýti/ % of rotation p.	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH	BP	ES	HV	EP	SR	ZH							
3	5	0/1	2	21	25,5	38	23	17,5	16,5	1,05	1,02	1,14	0,69	0,7	0,83																									
18	10	0/1	12	23,5	28	60	28	17,5	19	1,18	1,12	1,8	0,84	0,7	0,95																									
40	10	0/1	26,7	44	70	100	65	57	60	2,2	2,8	3	1,95	2,28	3																									
44	10	0/1	29,3	44	70	100	65	57	60	2,2	2,8	3	1,95	2,28	3																									
55	10	0/1	36,7	44	70	100	65	57	60	2,2	2,8	3	1,95	2,28	3																									
68	9	0/1	45,3	65	85	100	85	76	85	3,25	3,4	3	2,55	3,04	4,25																									
73	10	0/1	48,7	65	85	100	85	76	85	3,25	3,4	3	2,55	3,04	4,25																									
83	10	0/1	55,3	65	85	100	85	76	85	3,25	3,4	3	2,55	3,04	4,25																									
123	8	0/1	82	95,5	94	85	91	100	91	4,78	3,76	2,55	2,73	4	4,55																									
140	9	0/1	93,3	100	100	97	100	91	100	5	4	2,91	3	3,64	5																									
164	6	0/1	109	92,5	90	73	85	91	85	4,63	3,6	2,19	2,55	3,64	4,25																									
175	6	0/1	117	92,5	90	73	85	91	85	4,63	3,6	2,19	2,55	3,64	4,25																									

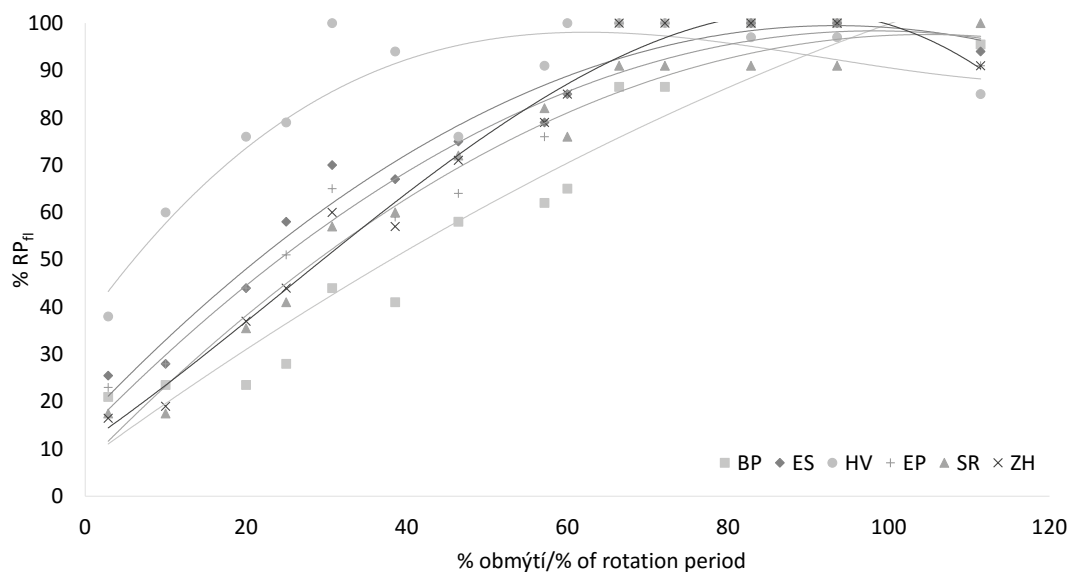
Vysvětlivky: BP: bioprodukční funkce; ES: ekologicko-stabilizační funkce; HV: hydricko-vodohospodářská funkce; EP: edafická-půdochranná funkce; SR: sociálně-rekreační funkce; ZH: zdravotně-hygienická funkce/Captions: BP: Bioproduction function; ES: Ecological-stabilization function; HV: Hydric-water-management function; EP: Edaphic-soil-conservation function; SR: Social-recreational function; ZH: Sanitary-hygienic function

**Obr. 1.**

Průběh vývoje funkčních účinků – reálného efektu lesních porostů, modelovaný ze stávajících porostních skupin porostního typu D1P6 (soubor lesních typů 6K, lesní území Plešný) – hodnotové vyjádření 0–6

**Fig. 1.**

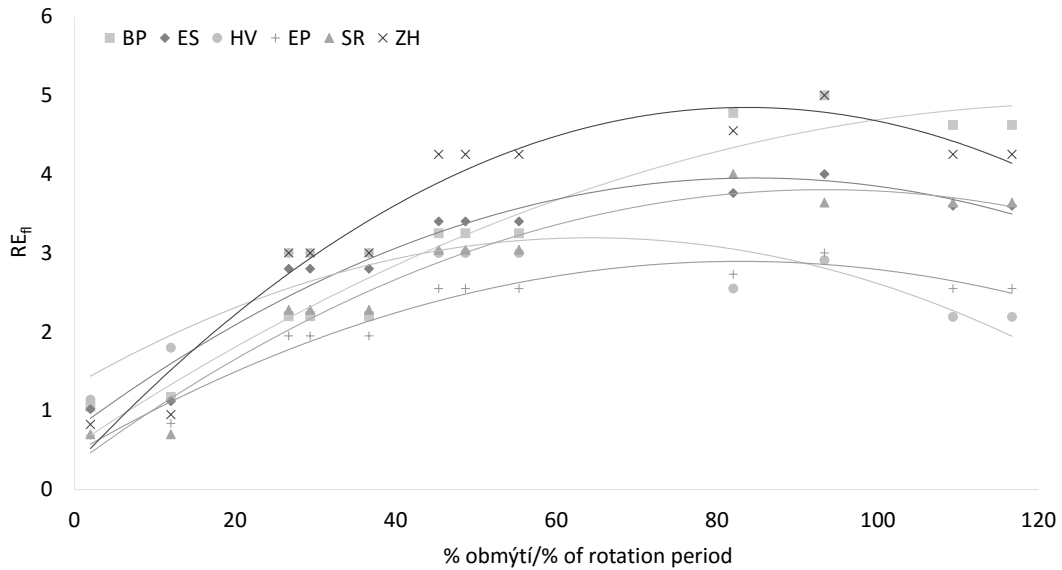
The development trend of the real effect of forest stands modelled on existing stand groups of stand type D1P6 (forest site 6K, Forest Area Plešný) – the value expression 0–6

**Obr. 2.**

Průběh vývoje reálného efektu lesních porostů modelovaného na příkladu stávajících porostních skupin porostního typu D1P6 na SLT 6K, lesní území Plešný – procentuální vyjádření od 0 do 100% reálného potenciálu funkcí lesa ( $RP_{fi}$ )

**Fig. 2.**

The development trend of the real effect of forest stands modelled on existing stand groups of stand type D1P6 (forest site 6K, Forest Area Plešný) – the percentage expression from 0% to 100% of the real potential of forest function ( $RP_{fi}$ )

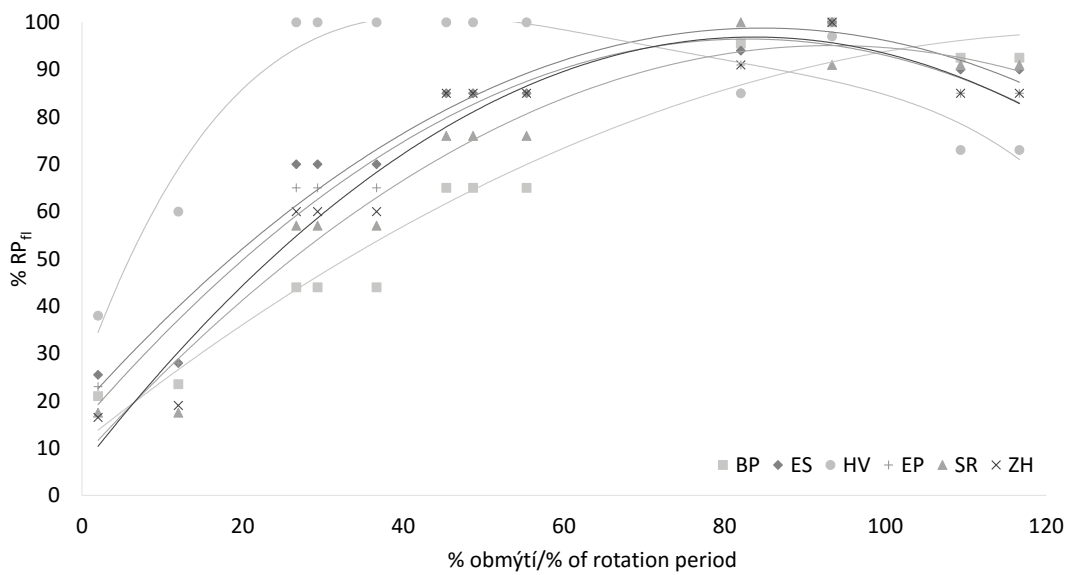


**Obr. 3.**

Průběh vývoje reálného efektu lesních porostů modelovaného na příkladu stávajících porostních skupin porostního typu M6Z1 (soubor lesních typů 6S, lesní území Stožec) – hodnotové vyjádření 0–6

**Fig. 3.**

The development trend of the real effect of forest stands modelled on existing stand groups of stand type M6Z1 (forest site 6S, Forest Area Stožec) – the value expression 0–6



**Obr. 4.**

Průběh vývoje reálného efektu lesních porostů modelovaného na příkladu stávajících porostních skupin porostního typu M6Z1 (soubor lesních typů 6S, lesní území Stožec) – procentuální vyjádření od 0% do 100% reálného potenciálu  $RP_{fi}$

**Fig 4.**

The development trend of the real effect of forest stands modelled on existing stand groups of stand type M6Z1 (forest site 6S, Forest Area Stožec) – the percentage expression from 0% to 100% of the real potential of forest function  $RP_{fi}$

## DISKUSE

Grafická prezentace dynamiky vývoje reálných funkčních efektů modelových porostních typů je pro názornost zjednodušená. Syntézu obou deklarovaných způsobů lze rovněž vyjádřit grafy kombinovanými. Stejně tak lze hodnotit a prezentovat vliv všech funkčně redukčních kritérií prostřednictvím statistických metod, např. vícekritériální analýzou ANOVA. Bodový graf se spojnicemi trendu však pro názornost a přehlednost průběhu reálných efektů modelových lesních porostů považujeme za nekomunikativnější.

Reálný funkční efekt lesních porostů se – z modelu vyplývající – zjednodušenou prostorovou porostní strukturou je především v první polovině obmýti výrazně závislý na věku. Jeho váha se u všech funkcí pohybuje v rozsahu 0,8 (0,9)–0,6. Ve druhé polovině obmýti se zvyšuje váha zdravotního stavu i zakmenění (Vyskot et al. 2003). U strukturně diferencovaných lesních porostů zůstává jedním z určujících funkčně-redukčních kritérií zdravotní stav a ztrácí význam věk (různověkové porosty) a zakmenění. Tato kritéria naznačuje především rozložení tloušťkových tříd a stromová stratifikace.

Kvantifikace reálného efektu funkcí lesů je hodnotovým výstupem funkční účinnosti lesních ekosystémů. Ten však není pro (environmentální) ekonomy, politiky, případně další decision-makersy manažersky a ekonomicky dostatečně uchopitelný (např. KLINE 2007). V rámci metody Vyskot et al. (2003, 2014) je proto vypracována metodická nastavba, umožňující finanční vyjádření potenciálních funkčních schopností lesních porostů a jejich aktuálních funkčních účinků. Společenské hledisko je vyjádřeno faktorem tzv. aktuálního společenského zájmu (FAZ), udávající váhu deklarované společenské poptávky po jednotlivých funkcích lesů (např. příměstské lesy, pásma hygienické ochrany vodních zdrojů aj.). Celkově pak metoda umožňuje praktické společenské aplikace, např. při preferenci či integraci managementu jednotlivých funkcí (např. národní přírodní rezervace jako součást příměstských rekreačních lesů a genové základny) nebo při posouzení dopadů společenských aktivit na funkční účinky porostů (např. realizace golfového hřiště namísto lesních porostů) (SCHNEIDER et al. 2008). Možnost modelovat dynamiku funkčních účinků lesních porostů je prakticky využitelná i pro finanční vyjádření újmy na lesních ekosystémech způsobené přírodními i antropogenními faktory (např. MELICHAROVÁ et al. 2007; SCHNEIDER et al. 2013).

Z ekonomického hlediska není dosud vyřešena otázka anuálního vyjádření finanční hodnoty funkčních účinků (tj. např. Kč/rok/ha). Ta je předmětem dalšího vývoje finanční nastavby metody.

## ZÁVĚR

Hodnocení funkčních účinků lesních porostů (reálné efekty funkcí lesa) je podstatnou součástí problematiky kvantifikace a evaluace ekosystémových služeb lesů. Na příkladu dvou vybraných, stanovištně shodných porostních typů, lesních území Stožec a Plešný (NP Šumava), v různých věkových stupních jsou prezentovány dynamiky vývoje reálných efektů celospolečenských funkcí lesa (dle metodiky Vyskot et al. 2003). Reálné efekty jednotlivých funkcí lesů jsou kvantifikovány na základě funkčně redukčních kritériích (věku, zakmenění, zdravotního stavu). Jsou představeny dva způsoby vyjádření. Jedním způsobem je hodnotové vyjádření  $RE_n$ , kde reálný efekt dané funkce lesa může nabývat hodnot od 0 (reálný efekt funkce lesa funkčně nevhodný) po 6 (reálný efekt funkce mimořádný). Druhým způsobem je procentuální vyjádření aktuální funkční efektivity ( $RE_n$ ), které prezentuje, do jaké míry lesní porosty aktuálně naplňují své potenciální schopnosti. Pro lesohospodářské praktiky je doporučeno využívat obou typů vyjádření reálného efektu funkcí lesů. Trend vývoje reálných efektů vyjádřených jako redukovaný potenciál v absolutních hodnotách 0–6

v závislosti na věku porostů informuje o tom, jak se v čase reálný efekt funkcí lesních porostů vyvíjí. Aktuální naplňování funkčních schopností udává druhý způsob, tedy procentuální vyjádření reálných efektů ( $\% RP_n$ ) k potenciálu jednotlivých funkcí. Znalost vývoje i aktuálního stavu funkční účinnosti ( $RE_n$ ) je důležitá pro cílený management lesů (sociálně-rekreační a zdravotně-hygienickou funkci v příměstských či lázeňských lesích, ekologicko-stabilizační a edafickou-půdoochrannou funkci v ochranných lesích, hydricko-vodohospodářskou funkci v PHO apod.). Dále při posuzování dopadů společenských aktivit na funkční účinky lesních porostů s možností finančního vyjádření ekologické i produkční újmy.

### Poděkování:

Metodika praktického hodnocení vývoje reálného efektu funkcí lesů byla vyvinuta v rámci projektu VaV MŽP Sp-2d3-56-07 – „Ekologické a ekonomické hodnocení funkcí strukturně variantních typů lesních porostů“. Postavení funkcí lesů v rámci systémů hodnocení ekosystémových služeb řeší autoři v rámci projektu EHP-CZ02-OV-1-032-2015 – „Zvyšování povědomí a propagace významu funkcí lesů v krajině a přírodě blízkých koryt vodních toků v městském prostředí jako součást ekosystémových služeb povodí“. Tento projekt byl podpořen grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska. Výsledná syntéza jednotlivých problematik a vlastní zpracování článku proběhlo v rámci projektu IGA FRRMS č. 16/2015 – „Vybrané environmentální nástroje jako faktory regionálního rozvoje“.

## LITERATURA

- BOYD J., BANZHAF S. 2006. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Discussion Paper RFF-DP-06-02. Washington, DC, Resources for the Future: 26 s.
- BRAUMAN K.A., DAILY G.C., DUARTE T., MOONEY H.A. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environmental Resources*, 32: 67–98.
- CANADELL J.G., RAUPACH M.R. 2008. Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320: 1456–1457.
- COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTON P., VAN DEN BELT M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260.
- CROSSMAN N.D., BRYAN B.A., DE GROOT R.S., LIN Y.P., MINANG P.A. 2013. Land science contributions to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5 (5): 509–514. DOI: 10.1016/j.cosust.2013.06.003
- DAILY G.C. (ed.) 1997. *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC, Island Press: 392 s.
- DE GROOT R., WILSON M.A., BOUMANS R.M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393–408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- DEAL R.L., COCHRAN B., LAROCCHIO G. 2012. Bundling of ecosystem services to increase forestland value and enhance sustainable forest management. *Forest Policy and Economics*, 17: 69–76. DOI: 10.1016/j.forpol.2011.12.007
- FAO. 2006. *Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest management*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: xxvii, 320 s. FAO Forestry Paper 147. Dostupné na/Available on: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf>

- FAO. 2010. Global forest resources assessment 2010. Main report. Rome, Food and Agricultural Organization of the United Nations: xxxi, 340 s. FAO Forestry Paper 163. Dostupné na/Available on: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>
- HEAL G.M., BARBIER E.B., BOYLE K.J., COVICH A.P., GLOSS S.P., HERSHNER C.H. 2005. Valuing ecosystem services: toward better environmental decision-making. Washington, DC, National Academies Press: 277 s.
- CHAN K.M.A, SHAW M.R., CAMERON D.R., UNDERWOOD E.C., DAILY G.C. 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, 4: 2138–2152. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040379
- KLIN J.D. 2007. Defining an economics research program to describe and evaluate ecosystem services. Portland, OR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 46 s. General Technical Report PNW-GTR-700. Dostupné na/Available on: [http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw\\_gtr700.pdf](http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr700.pdf)
- KREMEN C. 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8, 468–479. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x
- MEA. 2005. [Millennium Ecosystem Assessment]. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Volume 1. Ed. Hassan, R. et al. Washington DC, Island Press: 917 s.
- MELICHAROVÁ A., SCHNEIDER J., MIKITA T., CELER S., KUPEC P., VYSKOT I. 2007. On the possibility of usage of GIS for ecological damage evaluation, demonstrated on example of the wind calamity in the High Tatra National Park. *Folia Oecologica*, 34 (2): 125–145.
- REYERS B., BIGGS R., CUMMING G.S., ELMQVIST T., HEJNOWICZ A.P., POLASKY S. 2013. Getting the measure of ecosystem services: a social-ecological approach. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11 (5): 268–273. DOI: 10.1890/120144
- SCARPA R., BUONGIORNO J., HSEU, J.-S., ABT K.L. 2000. Assessing the non-timber value of forests: a revealed-preference, hedonic model. *Journal of Forest Economics*, 6 (2): 83–107.
- SCHNEIDER J., KUPEC P., KOZUMPLÍKOVÁ A., DOMOKOŠOVÁ K., VYSKOT I. 2008. Usage of ecosystem forest functions evaluation for the assessment of investment project realization influence to forest ecosystems on the example of natural preserve Klanovický les – Cyrilov. *Acta Scientiarum Polonorum – Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 7 (2): 29–38.
- SCHNEIDER J., REBROŠOVÁ K. 2010. Prostorová struktura porostu zakrslých kyselých bučin v přírodní památce Máchova dolina. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, LVIII (1): 156–168.
- SCHNEIDER J., VYSKOT I., LAMPARTOVÁ I., KOZUMPLÍKOVÁ A., LORENCOVÁ H. 2013. Practical experiences with ecosystem evaluation of forest functions in the Czech and Slovak Republics. In: ICABR 2013 Abstracts. VIII. International Conference on Applied Business Research. April 22–26, 2013 East London, South Africa. Brno, Mendel University: 489–501. [CD ROM]
- URBAN J., REBROŠOVÁ K., DOBROVOLNÝ L., SCHNEIDER J. 2010. Allometry of four European beech stands growing at the contrasting localities in small-scale area. *Folia Oecologica*, 37 (1): 103–112.
- VYSKOT I. et al. 2003. Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky. Praha, MŽP ČR: 210 s.
- VYSKOT I. et al. 2014. Metodika ekologického a ekonomického hodnocení celospolečenských funkcí variantně strukturálních lesů. Praha, MŽP ČR: 82 s.



## DYNAMICS OF FUNCTIONAL EFFECT OF FOREST STANDS WITHIN ECOSYSTEM SERVICES PROBLEMATICS

### SUMMARY

Nowadays, research of ecosystem services is a supported activity. Requirements of economists for a clear link between services evaluation with benefits and services for society on the one hand, and a solving a disunity of a scale and detail of particular services evaluation on the other are deal with the context of ecosystem services evaluation. The authors deal with the ecosystem functions of forest stands, and the methodology "Quantification and evaluation of all-society forest functions in the Czech Republic" has been processed (VYSKOT et al. 2003). The method works with the evaluation real potentials of forest functions (Bioproduction, Ecological-stabilization, Hydric–water-management, Edaphic–soil-conservation, Social–recreational, and Sanitary–hygienic function). Furthermore, it is possible to evaluate a real effect of individual functions. The real effect represents the actual functional efficiency of the forest ecosystem – functional effect resulting from the current stand state. The calculation of the real effects of forest functions is based on so-called functional reduction criteria. These criteria characterize a condition of the forest stands, their functional dynamics and efficiency. The criteria are age, stocking, and state of health. The criterion of age is expressed by a stand development phase, which represents the percentage expression of the age from the total period of the expected existence of forest stand (the rotation period). The spatial structure of forest stands is expressed by stocking. The health state assessment of forest stands is based on an assessment of defoliation of individual trees.

The paper presents the possibility of modelling the time development of the functional effects of forest stands (the real effect) by means of the forest stands of different age classes on the same habitat, the same species composition, and of stands managed by an equivalent forest management practices. The development of the functional effects of forest stands is shown on the example of selected stand types D1P6 and M6Z1 (according to VYSKOT et al. 2003) on the forest administration Plešný and Stožec (Šumava National Park, Czech Republic) and forest site 6R and 6S (see Tab. 1). Two ways of expressing the real effects of forest functions were used. The first way is an expression by value degrees (0–6), by which the real potentials of forest functions are also classified. For example, if the real effect ( $RE_{\text{f}}$ ) is equal to 1, it means that the actual functional effects of solved forest stand are very low from the point of view of overall terms of the Czech Republic. The second method is a percentage expression of the REfl. The percentage value indicates how (by what percent) the current functional effects fulfil the potential ability of the forest stand (the real potential of forest functions  $RP_{\text{f}}$ ). The development trend of the real effect within the value expression (see Fig. 1 and 3) shows the actual value degree (relative number) of forest function comparable to the real potential of forest function. The development trend of the real effect in the percentage expression (see Fig. 2 and 4) shows the difference of the actual functional effects of the real potential – the rate of the real potential filling. Synthetic evaluation of the two graphs shows that it is appropriate to use both methods of representing the development trend of the real effect for a comprehensive overview of the development of actual functional effects of forest stands. The course of trend lines in Fig. 1 is significantly influenced by the value degree of the real potential of each function. At very high real potential (see Tab. 2, for example  $RP_{\text{fZH}}$  – the value degree  $Fv = 5$ ) is the real effect of young stands (aged 30% of the time of rotation) on the value degree 3 (average). Conversely, in the case of low real potential (see Tab. 2, for example  $RP_{\text{fES}}$ ,  $RP_{\text{fHV}}$  – the value degree  $Fv = 2$ ) the behavior of the function is more balanced. It is recommended to use both types of expression of the real effect of forest functions for practical forest management proposals. The trend development of the real effects expressed as the reduced potential in absolute values (0–6) depending on stand age informs us how the real effect of forest functions develops over time. From these observations it is not clear how forests depending on the function of reducing criteria fulfil their potential abilities. This lack is replaced by the percentage expression of the real effect (%  $RP_{\text{f}}$ ) of the individual function. Forest managers can use these expressions of functional effects in real time as the practical application for direct management of selected forest function (Social–recreational and Sanitary–hygienic function in suburban or spa forests, Ecological-stabilization, Edaphic–soil-conservation function in protective forests etc.) or when assessing the impact of social activities on the functional effects of forest stands with the possibility of financial expression of damage on forest ecosystems.

Zasláno/Received: 01. 12. 2015

Přijato do tisku/Accepted: 22. 02. 2016